

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมอัตราการไหลของเหลว

LIQUID FLOW RATE CONTROL SYSTEM



T104088



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104088
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

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

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID FLOW RATE CONTROL SYSTEM



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ระบบควบคุมอัตราการไหลของเหลว
LIQUID FLOW RATE CONTROL SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายโชคชัย กรพันธ์ รหัสนักศึกษา 49015365
นายพีระพัชร สุวรรณรัตน์ รหัสนักศึกษา 49015384
นายสุริยะ เสนากลาง รหัสนักศึกษา 49015400

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2551

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ. ศักรียา ชิตวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท ระบบควบคุมอัตราการไหลของเหลว
 LIQUID FLOW RATE CONTROL SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายโชคชัย กรพันธ์ รหัสนักศึกษา 49015365
 นายพีระพัชร สุวรรณรัตน์ รหัสนักศึกษา 49015384
 นายสุริยะ เสนากลาง รหัสนักศึกษา 49015400

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สักกรียา ชิตวงศ์

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปริญญาโทนี้ ได้นำเสนอหลักการออกแบบสร้างและการควบคุมกระบวนการควบคุมอัตราการไหลและความดันของเหลว สำหรับการออกแบบและสร้างกระบวนการ อุปกรณ์เชิงกลและไฟฟ้า จะถูกติดตั้งและประกอบเป็นกระบวนการทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมความดัน และส่วนควบคุมอัตราการไหล โดยที่ส่วนควบคุมความดันจะประกอบด้วยถังเก็บของเหลว ป้อนน้ำที่ได้รับการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์และถังความดัน ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน ส่วนควบคุมอัตราการไหลจะประกอบด้วย อุปกรณ์วัดอัตราการไหล และวาล์วควบคุมที่ได้รับการติดตั้งตัวควบคุมตำแหน่ง สำหรับการควบคุมกระบวนการจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมความดันในถัง และส่วนควบคุมอัตราการไหล โดยที่ส่วนควบคุมความดันในถังจะใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมและส่วนควบคุมอัตราการไหล ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม ซึ่งจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับกระบวนการ ไปผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเป็นสัญญาณอินพุตและดิจิทัลเป็นแอนะล็อกเป็นสัญญาณเอาต์พุตทั้งในโหมดแรงดันและกระแส ส่วนในการทดลองเลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณของบริษัท NI รุ่น PCI-6238 และ PCI-6014 ซึ่งได้นำโปรแกรม Lab Windows/CVI ถูกติดตั้งเพื่อทำการรับ-ส่งสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตพร้อมทั้งประมวลผลตามวิธีการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งปริญญาโทนี้จะได้ประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอดีชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้

Thesis Title Liquid Flow Rate Control System
Authors Mr. Chokechai Kornpan
Mr. Peerapahd Suwannarahd
Mr. Suriya Senaklang
Thesis Advisor Assoc. Prof. Sakreya Chitwong
Year 2008

ABSTRACT

In this thesis, we represent principle of designing, assembling and controlling pressure and flow rate control process. For designing and assembling process, mechanical and electrical devices are installed and assembled to be overall system. The system, consisted of 2 parts, is pressure control and flow rate control. The pressure control part is consisted of storage tank, pump with inverter, and pressure tank with pressure transmitter. The flow rate control part is consisted of flow transmitter and control valve with positioner. For controlling the process, consisted of 2 parts, is pressure control in pressure tank and flow rate control. PLC as controller is used to control pressure in tank and computer as controller is used to control flow rate. Analog to digital circuit as input signal and digital to analog circuit as output signal, PCI-6238 and PCI-6014 selected operating in both voltage and current mode, is interfaced to computer. LabWindows/CVI is install in computer to input and output signal together with processing control algorithm for controlling flow rate. At here, adaptive PID controller is applied by adjustable parameter.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้มีการดำเนินการจนประสบความสำเร็จได้นั้น ซึ่งคณะผู้จัดทำได้รับความกรุณา เอื้อเฟื้อสถานที่จาก รองศาสตราจารย์สักรียา ชิตวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความกรุณา ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ทำในปริญญาบัตร และให้คำแนะนำ คำปรึกษา มาโดยตลอดจนแนวคิดต่างๆ ในการปรับปรุงแก้ไขการทดลองอีกทั้งยังมีอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ทำให้นำความรู้มาใช้ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ซึ่งคณะผู้จัดทำได้ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีการไหล.....	3
2.1.1 ธรรมชาติของการไหล	3
2.1.2 ชนิดของการไหล	3
2.1.3 สมการแบร์นูลลี	5
2.1.4 การเปลี่ยนขนาดของท่อทันทีทันใด	5
2.1.5 การเปลี่ยนขนาดของท่อ	6
2.1.6 การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอของท่อ.....	7
2.1.7 ข้อต่อของท่อและวาล์ว	7
2.1.8 พลังงานกระเดียนต์และกระเดียนต์ไฮดรอลิก.....	9
2.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	9
2.3 อุปกรณ์วัดความดัน.....	12
2.3.1 ความดันเกจ	15
2.4 วาล์วควบคุม.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1	วาร์ลทรงกลม.....	16
2.5	ตัวควบคุมตำแหน่ง.....	17
2.5.1	ตัวควบคุมตำแหน่งวาร์ลนิวเมติก.....	17
2.5.2	ตัวควบคุมตำแหน่งสมดุลงแรงชนิดนิวเมติกเชิงไฟฟ้า.....	19
2.6	ปั้ม.....	20
2.6.1	แบบต่างๆของปั้มหอยโข่ง.....	20
2.6.1.1	แบบไหลเชิงรัศมี.....	20
2.6.1.2	แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน.....	20
2.7	โปรแกรม Lab Windows/CVI.....	24
2.8	ตัวควบคุมพีไอดี.....	24
2.8.1	การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี.....	24
2.8.2	กริยาการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	26
2.8.2.1	กริยาการควบคุมแบบเปิด-ปิด.....	26
2.8.2.2	กริยาการควบคุมแบบสัดส่วน (พี).....	27
2.8.2.3	กริยาการควบคุมแบบอินทิกรัล (ไอ).....	28
2.8.2.4	กริยาการควบคุมแบบอนุพันธ์ (ดี).....	29
2.8.2.5	กริยาการควบคุมแบบพีไอ.....	30
2.8.2.6	กริยาการควบคุมแบบพีดี.....	31
2.8.2.7	กริยาการควบคุมแบบพีไอดี.....	32
2.8.3	ทฤษฎีการควบคุมพีไอดีชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้.....	32
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงาน.....	37
3.1	บทนำ.....	37
3.2	การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์.....	38
3.2.1	การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์รูปควบคุมความดัน.....	39
3.2.2	การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์รูปควบคุมอัตราการไหล.....	40
3.3	การเลือกอุปกรณ์.....	42
3.3.1	การเลือกปั้ม.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1.1 เสด	42
3.3.2 การเลือกवाल	44
3.3.3 การเลือกอุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....	45
3.3.4 การเลือกการเลือกอุปกรณ์วัดความดัน.....	45
3.4 การออกแบบระบบท่อ.....	46
3.4.1 หัวข้อที่จะพิจารณาในการออกแบบท่อ	46
3.4.1.1 วัสดุ	46
3.4.1.2 จัดจำกัดการใช้งาน	46
3.4.1.3 การขยายตัวของท่อ	46
3.4.1.4 การยึดท่อ	49
3.4.1.5 การสั้นสะเทือน.....	50
3.4.1.6 ข้อต่อ.....	52
3.5 แนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม	53
3.6 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	55
3.6.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีโดยวิธีซิคเลอร์นิโคล	55
3.6.1.1 วิธีการทดลองแบบลูเปิด.....	56
3.6.1.2 วิธีการทดลองแบบลูปิด.....	57
3.6.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีโดยวิธีการแกว่งกวัดแบบหนึ่ง.....	58
3.6.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมพีไอดีแบบปรับค่าได้	59
บทที่ 4 การทดลอง	61
4.1 กล่าวนำ	61
4.2 การทดลองที่ 1 การควบคุมความดัน	61
4.3 การทดลองที่ 2 การควบคุมอัตราการไหล	62
4.4 สรุป	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผล	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่า K ที่ลดลงตามมุม 2θ	7
2.2 แสดงค่า K ของข้อต่อและวาล์ว.....	8
2.3 แสดงค่า K สำหรับวาล์วที่เปิดบางส่วนและเปิดจนสุด.....	8
3.1 แสดงระยะที่ขยายของท่อเหล็กและทองแดงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (นิ้วต่อ 100).....	47
3.2 แสดงขนาดของตัว “u” และออฟเซ็ทของลวดทองแดง.....	47
3.3 ระยะห่างระหว่างตัวรับน้ำหนักของท่อเหล็กสเปกซ์ 40.....	49
3.4 ระยะห่างระหว่างตัวรับน้ำหนักของท่อทองแดง.....	50
3.5 เป็นความดันลดข้อต่อคิดเป็นความยาวเมื่อเทียบกับเท่ากับท่อรูปข้อต่อท่อ.....	52
3.6 เป็นความดันลดข้อต่อคิดเป็นความยาวเมื่อเทียบกับเท่ากับท่อรูปข้อต่อท่อ	53
3.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธีแบบรูปเปิด.....	57
3.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธีแบบรูปปิด.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การสูญเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อแบบทันทีทันใด.....	6
2.2 การสูญเสียที่เกิดจากการค่อย ๆ เปลี่ยนขนาดของท่อ.....	6
2.3 การคำนวณค่า K จากการโค้งงอของท่อ R/D.....	7
2.4 (ต่อ) การคำนวณค่า K จากการโค้งงอของท่อ.....	7
2.5 พลังงานเกรเดียนต์และเกรเดียนต์ไฮดรอลิก.....	9
2.6 โครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก	10
2.7 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก	11
2.8 รูปร่างของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรม	12
2.9 ชนิดของความดัน.....	14
2.10 ชนิดของความดัน.....	14
2.11 ไดอะแกรมของไดอะแกรมของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วนิวเมติก.....	17
2.12 หลักการทำงานของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว.....	18
2.13 หลักการของรีเลย์	18
2.14 ไดอะแกรมของตัวควบคุมตำแหน่งสมมูลแรงชนิดนิวเมติกเชิงไฟฟ้า.....	19
2.15 ป้อนหอยโข่งแบบการขดเป็นเกลียว.....	21
2.16 ป้อนหอยโข่งแบบการขดเป็นเกลียวคู่.....	21
2.17 ป้อนหอยโข่งแบบกระจาย.....	22
2.18 ป้อนแบบกักหนั.....	22
2.19 ป้อนหอยโข่งแบบเสตจเดี่ยว เสือป้อนเป็นแบบผ่าซีกตามแนวแกน	23
2.20 ป้อนหอยโข่งแบบสองเสตจ	23
2.21 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป.....	25
2.22 แสดงกริยาการควบคุมแบบเปิด-ปิด.....	27
2.23 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบสัดส่วน.....	28
2.24 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบอินทิกรัล.....	29
2.25 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบอนุพันธ์	30
2.26 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบพีไอ.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.27 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบพีดี.....	31
2.28 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบพีไอดี	32
2.29 แสดงเป็นลักษณะ โครงสร้างการควบคุมแบบพีไอดีปรับค่าพารามิเตอร์ได้	33
2.30 การเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน.....	33
2.31 แสดงบล็อกไดอะแกรม	34
3.1 โครงสร้างของกระบวนการทั้งหมด.....	38
3.2 การออกแบบฐานรองลูปลูกควบคุมความดัน.....	39
3.3 โครงสร้างของกระบวนการลูปลูกควบคุมความดัน.....	39
3.4 การออกแบบฐานรองลูปลูกควบคุมอัตราการไหล.....	40
3.5 การออกแบบตัวกรองท่อที่ใช้ในกระบวนการ.....	41
3.6 โครงสร้างของกระบวนการลูปลูกควบคุมอัตราการไหล.....	41
3.7 ความสัมพันธ์ของความดันต่าง ๆ	43
3.8 ชาร์ทการเปลี่ยนค่าความดันเป็นเฮด	43
3.9 รูปของตัววัดอัตราการไหล	45
3.10 แสดงขนาดตัว “u” เพื่อรับการขยายตัวของท่อเหล็ก	48
3.11 แสดงการหาระยะ “xa” ของออฟเซ็ทของท่อเหล็ก	48
3.12 การยึดท่อด้วยปลอกโลหะ	50
3.13 การยึดท่อด้วยแขนยึด	51
3.14 การยึดท่อเข้ามุม	51
3.15 การต่อท่อโดยคูทิสทางการไหล	52
3.16 การต่ออุปกรณ์เข้ากับส่วนควบคุม	53
3.17 หน้าตาโปรแกรมทดสอบการ์ด.....	54
3.18 หน้าต่างพาเนลของโปรแกรม Lab windows/CVI	55
3.19 แสดงค่าพุงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีซิคเลอร์-นิโคล.....	56
3.20 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อปรับ โดยใช้วิธีแบบลูปลูกเปิด.....	56
3.21 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องเมื่อปรับ โดยใช้วิธีลูปลูกปิด.....	57
3.22 แสดงค่าอัตราการเสื่อม $\frac{1}{4}$ เมื่อปรับ โดยวิธีวิธีการแกว่งแบบหน่วง.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงการควบคุมความดันที่ 40 psi	61
4.2 แสดงการควบคุมอัตราการไหลที่ 25%	62
4.3 แสดงการควบคุมอัตราการไหลที่ 50%	63
4.4 แสดงการควบคุมอัตราการไหลที่ 75%	63
4.5 แสดงการเคลื่อนสัณฐานเมื่อทำการปรับขึ้น	64
4.6 แสดงการเคลื่อนสัณฐานเมื่อทำการปรับลง	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่จะมีการควบคุมในแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) ในกระบวนการผลิตต่างๆ ที่ถูกควบคุมให้มีผลตอบสนองตามที่ต้องการ ซึ่งที่พบได้บ่อยที่สุดคือ ความดัน อัตราการไหล ระดับ อุณหภูมิ และ ความเร็วรอบ เป็นต้น การควบคุมตัวแปรของกระบวนการเหล่านี้ จะใช้ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องอาศัยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวควบคุมจากผู้มีประสบการณ์ หรือ มีความชำนาญในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เพื่อให้ได้ค่าที่ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดตามต้องการ

สำหรับการควบคุมอัตราการไหล (Flow Ratio Control) ก็เป็นกระบวนการหนึ่ง ที่มีส่วนสำคัญมากในอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID อย่างไรก็ตามการใช้ตัวควบคุม PID นั้นจะต้องปรับค่า PID ที่เหมาะสม ไม่อย่างนั้นระบบจะเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) หรือการแกว่ง (Oscillate) และใช้เวลานานในการเข้าสู่เป้าหมาย (Settling time) ข้อเสียของการเกิดค่าพุ่งเกินหรือการแกว่งนี้เอง ที่ทำให้เกิดอัตราการไหลที่ผิดพลาด ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการควบคุมโดยใช้โปรแกรม Lab Windows/CVI เพื่อที่จะดูผลและนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้งานในการควบคุมต่าง ๆ ได้เนื่องจากโปรแกรม Lab Windows/CVI สามารถนำไปใช้ควบคุมได้หลากหลาย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาและการออกแบบกระบวนการในการใช้งานในส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง เพื่อให้สามารถเข้าใจศึกษาการควบคุมระบบที่จะนำอุปกรณ์ไปใช้ระบบควบคุมความดันและควบคุมอัตราการไหล ว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างไร

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหล
2. ศึกษาโปรแกรม Lab Windows/CVI เพื่อติดต่อสื่อสารกับ PCI-6238 และ PCI-6014
3. ศึกษาการควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์และการควบคุมด้วย PLC
4. ศึกษาการควบคุมพีไอดีแบบปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์

เริ่มจากการศึกษาหลักการควบคุมการไหลธรรมชาติของการไหล ในรูปแบบการควบคุม อัตราการไหลให้พอรู้จักธรรมชาติของการไหล แต่เราก็จะทำการศึกษาอุปกรณ์ที่จะนำมาออกแบบ การควบคุมระบบ ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้เราจะแบ่งระบบการควบคุมออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เราจะทำการควบคุมความดันในแทงค์โดยใช้ อุปกรณ์วัดความดัน ในการวัดค่าความดันที่ในถัง ที่ต้องการวัดจะส่งสัญญาณกระแส 4-20 mA เพื่อเป็นสัญญาณในการสื่อสารกับ PLC โดย PLC จะเป็นตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID เพื่อให้เป็นระบบควบคุมที่ดีเพื่อส่งสัญญาณ 4-20 mA ไปยังเครื่องอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ต่อไป และส่วนในส่วนที่ 2 จะเป็น หลักการการวัดและควบคุมการไหล เพื่อจะทำการเปรียบเทียบความดันที่เราทำการอัดความดันใน ส่วนที่ 1 จะมีผลอย่างไรต่อการไหลของระบบเมื่อมีการเปิด-ปิดก้านวาล์ว หลังจากที่ได้ข้อมูลมาก็ จะทำการออกแบบระบบ ซึ่งเราก็จะทำการสร้างกระบวนการเพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อทำการ ทดลองต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหลักการควบคุมการไหล ว่าผลที่มีต่อระบบการควบคุม ความดันจะมีต่อกรควบคุมอัตราการไหลมากน้อย เมื่อเราทำการเปลี่ยนค่าอัตราการไหล โดยใช้ Lab windows/CVI และ PLC เพื่อควบคุมระบบอัตราการไหลและความดันตามลำดับและเพื่อจะ ให้ เกิดความเข้าใจในการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบใน โครงการนี้ และเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในอนาคตได้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการไหล

การควบคุมการไหลมีด้วยกันหลายวิธีและหลายตัวแปร ที่ทำให้การควบคุมอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงนั้นคือธรรมชาติของการไหล รูปแบบการไหล มีผลต่อการควบคุมอัตราการไหล โดยกล่าวรายละเอียดต่อไป เมื่อเราสามารถควบคุมอัตราการไหลได้แล้วเราก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพื่อทำการวัดอัตราการไหลแล้วเราก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพื่อที่จะทำการควบคุมต่อไป

2.1.1 ธรรมชาติของการไหล

ของไหล (Fluids) คือ สสารที่ไม่ต้านทานการบิดเบี้ยวได้อย่างถาวร ซึ่งของไหลสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามภาวะที่บรรจุ ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปร่าง มวลของของไหลจะมีผลต่อชั้นของของไหลที่เลื่อนไหลไปบนของไหลชั้นอื่น ๆ จนได้รูปร่างใหม่ในระหว่างเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง จะเกิดความเค้นเฉือน (Shear stresses, τ) ขนาดของความเค้นเฉือน ที่เกิดขึ้นอยู่กับความหนืด ของของไหล (Viscosity, μ) และอัตราของการเลื่อนไหลหรือ อัตราเฉือน (shear rate) แต่เมื่อของไหลหยุดการเปลี่ยนรูปร่างแล้ว ความเค้นเฉือนทั้งหมดจะหายไปดังนั้นของไหลเมื่ออยู่ในสมดุลจึงจะทำให้ปราศจากความเค้นเฉือน

2.1.2 ชนิดของการไหล

การไหลของของไหล สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ แบบที่หนึ่ง เป็นการไหลในหนึ่งมิติ สองมิติ และสามมิติ (one two and three dimensional flows) แบบที่สอง เป็นการไหลแบบหนืดและไม่หนืด (Viscous and inviscous flows) แบบที่สาม เป็นการไหลของแบบราบเรียบและปั่นป่วน (Laminar and Turbulent flows) และแบบที่สี่ เป็นการไหลแบบอัดไม่ได้และอัดได้ (Incompressible and Compressible flows)

การไหลแบบที่หนึ่ง เป็นการไหลตามแกนที่กำหนด โดยแกนการไหลจะประกอบไปด้วยแนวแกน x แกน y และแกน z ดังนั้นการไหลแบบหนึ่ง สอง และสามมิติจึงเป็นการไหลของของไหลตามแนวแกน ดังกล่าวตามมิติการไหลรูปแบบการไหลง่ายที่สุดเป็นการไหลที่หนึ่งมิติตัวอย่างของการไหลแบบนี้ ได้แก่การไหลแบบราบเรียบในท่อตรง

การไหลแบบที่สอง เป็นการไหลแบบหนืดและไม่หนืด การไหลที่ความหนืดมีผลและไม่ มีผลต่อการไหลของของไหล การไหลแบบที่สาม การไหลแบบราบเรียบ และปั่นป่วน เป็นการไหล ที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ตามกันไปเป็นแผ่นหรือชั้นที่เรียบ อนุภาคของของไหลมีหรือไม่มี ขึ้นอยู่กับการผสมกันและการไหลแบบที่สี่การไหลแบบอัดไม่ได้และอัดได้ เป็นการไหลที่ของไหล มีการยุบตัวหรือไม่ ขณะที่ของไหลเคลื่อนที่

เรย์โนลด์ ได้ศึกษาสภาวะที่ของเหลวไหลแบบราบเรียบ เปลี่ยนรูปแบบไปเป็นการไหล แบบปั่นป่วน พบว่าความเร็ววิกฤติที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ ขึ้นอยู่กับปริมาณ 4 ชนิด คือขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความหนืด ความหนาแน่น และความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของของเหลว นอกจากนี้ เรย์โนลด์ยังพบว่าตัวประกอบทั้งสี่ ยังสามารถรวมกันเป็นค่าค่าหนึ่งและเปลี่ยนไปตามแบบของ ชนิดของการไหล ค่าที่ได้แสดงรูปแบบการไหล เรียกว่า เลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) โดย มีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Re = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad (2.1)$$

ความหนืดของของเหลวหาได้จาก

$$\mu = \nu\rho \quad (2.2)$$

ดังนั้น เมื่อแทนค่าสมการที่ 2.2 ลงในสมการที่ 2.1 จะได้

$$Re = \frac{D\bar{V}}{\nu} \quad (2.3)$$

เมื่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

\bar{V} = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลว

μ = ความหนืดของของเหลว

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

ν = ความหนืดจลนศาสตร์ของของเหลว

2.1.3 สมการแบร์นูลลี (Bernoulli)

สมการแบร์นูลลีที่ได้ศึกษา เป็นการศึกษาโดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทาน จากภาพที่ 2.1 เมื่อของไหล ไหลผ่านท่อตรงที่มีภาคตัดขวางที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามแนวการไหลด้วยมุม Φ ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ถ้าแกน x ขนานกับแกนของท่อ แบร์นูลลีได้เสนอสมการแสดงการไหลของของไหลที่มีความหนาแน่นคงตัวตามแนวการไหล ดังนี้

$$\frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{u_a^2}{2} = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{u_b^2}{2} \quad (2.4)$$

สำหรับสมการแบร์นูลลีในหน่วยเอฟพีเอส จึงเป็น

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{gZ_a}{g_c} + \frac{u_a^2}{2g_c} = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gZ_b}{g_c} + \frac{u_b^2}{2g_c} \quad (2.5)$$

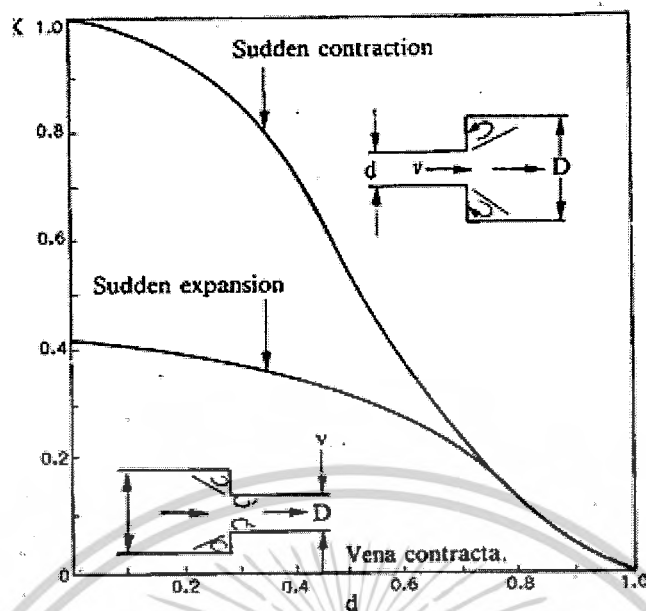
เมื่อ

- P_a P_b = ความดันที่จุด a และ b
- ρ = ความหนาแน่น
- g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
- g_c = ตัวประกอบการปรับส่วนตามกฎของนิวตัน
- u_a u_b = ความเร็วที่จุด a และ b ตามลำดับ
- Z_a Z_b = ระดับความสูงเร็วที่จุด a และ b ตามลำดับ

สมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.5 เรียกว่า สมการของแบร์นูลลีเมื่อไม่มีแรงเสียดทาน

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อทันทีทันใด

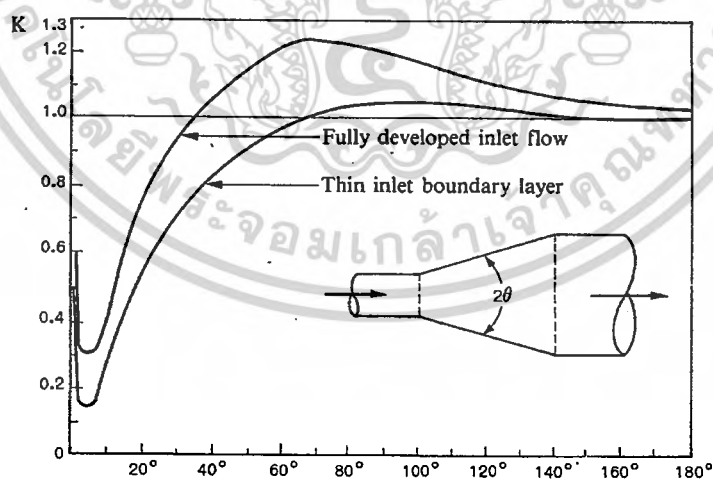
ซึ่งอาจจะเป็นการลดขนาดของท่อทันที (Sudden Contraction) และการเพิ่มขนาดของท่อทันที (Sudden Expansion) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การสูญเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อแบบทันทีทันใด

2.1.5 การเปลี่ยนขนาดของท่อ

ซึ่งอาจจะเป็นวิธีการที่ค่อย ๆ เพิ่มขนาดของท่อ (Gradual expansion) และการค่อย ๆ ลดขนาดของท่อ (Gradual contraction) สำหรับการค่อย ๆ เพิ่มขนาดของท่อ ซึ่งค่า K หาได้จากกราฟ ภาพที่ 2.2 ส่วนการค่อย ๆ ลดขนาดของท่อ ค่า K จะหาได้จากตาราง ในภาพที่ 2.3 และ ภาพที่ 2.4

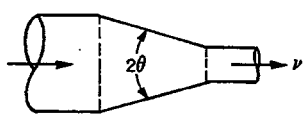


ภาพที่ 2.2 การสูญเสียที่เกิดจากการค่อย ๆ เปลี่ยนขนาดของท่อ

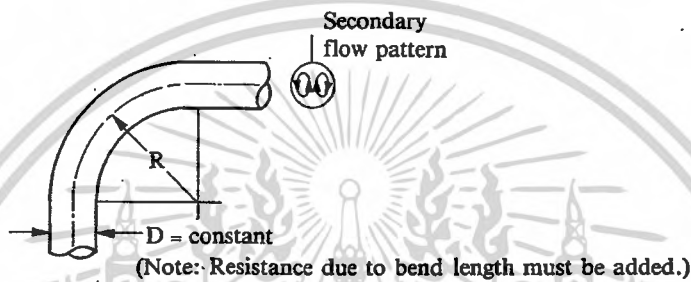
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า K ที่ลดลงตามมุม 2θ

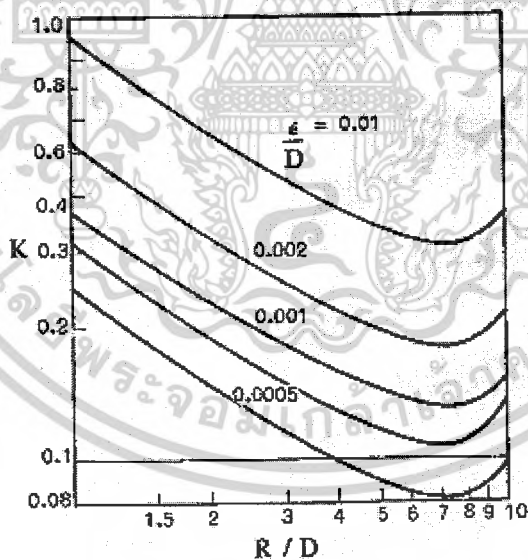
มุมการโค้งงอ (องศา)	ค่า K
30	0.02
45	0.04
60	0.07



2.1.6 การสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอของท่อ



ภาพที่ 2.3 การคำนวณค่า K จากการโค้งงอของท่อ R/D



ภาพที่ 2.4 (ต่อ) การคำนวณค่า K จากการโค้งงอของท่อ

2.1.7 ข้อต่อของท่อและวาล์ว

ค่า K จะหาได้จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 สำหรับวาล์วที่เปิดจนสุด และวาล์วที่เปิดบางส่วน

ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า K ของข้อต่อและวาล์ว

Nominal Diameter, in	Screwed				Flanged				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20
Valves (fully open):									
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Elbows									
45° long radius	0.39	0.32	0.30	0.29					
90° regular					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° long radius	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
180° regular	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° long radius	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
Tees:									
Line flow					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Branch flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า K สำหรับวาล์วที่เปิดบางส่วนและเปิดจนสุด

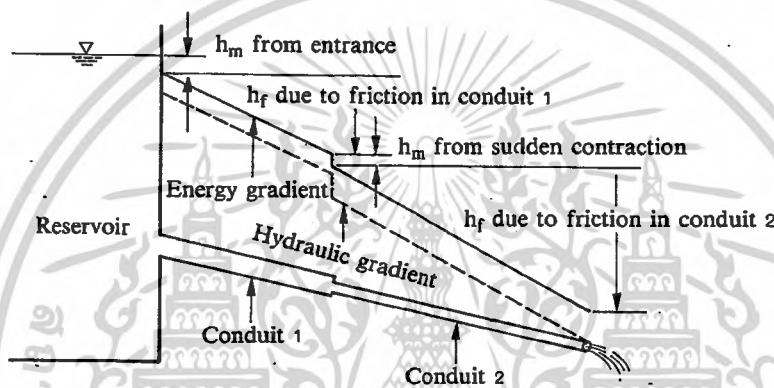
Condition	Ratio K/K_{open}	
	Gate valve	Globe valve
Open	1.0	1.0
Closed, 25%	3.0 - 5.0	1.5 - 2.0
50%	12 - 22	2.0 - 3.0
75%	70 - 120	6.0 - 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 พลังงานเกรเดียนต์และเกรเดียนต์ไฮดรอลิก

Energy gradient หรือ Total head line หมายถึง เส้นกราฟที่แสดงผลรวมของ Head ทั้งหมด คือ Velocity head ($v^2/2g$), Pressure head (P/γ) และ Elevation head (Z) เส้นกราฟนี้จะได้เริ่มต้นที่ของพื้นผิวของน้ำ ซึ่งได้แสดงในภาพที่ 2.5 น้ำค่อยๆ ลดต่ำลงเรื่อยๆ เนื่องจากการสูญเสียรองและการสูญเสียหลัก

Hydraulic gradient หรือ Piezometric head line หมายถึง เส้นกราฟที่แสดงผลรวมของค่า Pressure head (P/γ) และ Elevation head (Z) ดังนั้นเส้น Hydraulic gradient และ Energy gradient จะต่างกันตรงที่ Velocity head



ภาพที่ 2.5 พลังงานเกรเดียนต์และเกรเดียนต์ไฮดรอลิก

2.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

ในโครงการนี้ เราจะใช้อุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic Flow-Meters) เหมาะสำหรับการวัดการไหลของของเหลว ที่มีสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้าและมีปริมาณการไหลเต็มที่ การทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้จะอยู่บนกฎพื้นฐานของฟาราเดย์ (Faraday's Law)

โดยใช้การเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากกฎดังกล่าวจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของของเหลว ที่ไหลผ่านในทิศทางที่ตั้งฉากกับขั้วไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (emf) ขึ้นที่บริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสองตามกฎมือขวา ทั้งนี้ ความนำไฟฟ้าของของเหลวจะต้องมีค่า ไม่น้อยกว่า $10^{-3} \Omega^{-1} m^{-1}$ ดังแสดงลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์ชนิดนี้ในภาพที่ 2.6 และ 2.7 จากรูปหลอดที่ให้ของเหลวไหลผ่านจะถูกวางในตำแหน่งทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) คงที่ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะถูกสอดเข้าไปภายในหลอด โดยปลายด้านหนึ่งของขั้วไฟฟ้าจะสัมผัสที่ของเหลวที่ไหลผ่านในหลอด ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อออกมาด้านนอกหลอดเพื่อจะใช้เป็นจุดวัดที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของของเหลวที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งของเหลวที่มีสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้า จะไหลภายในหลอดที่มีลักษณะเป็นฉนวน (Insulated Tube) ในทิศทางที่ตั้งฉากกับขั้วไฟฟ้า ด้วยความเร็วเฉลี่ย (v) ผ่านสนามแม่เหล็กและทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (e) ขึ้น โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่ได้จาก ดังสมการที่ (2.6)

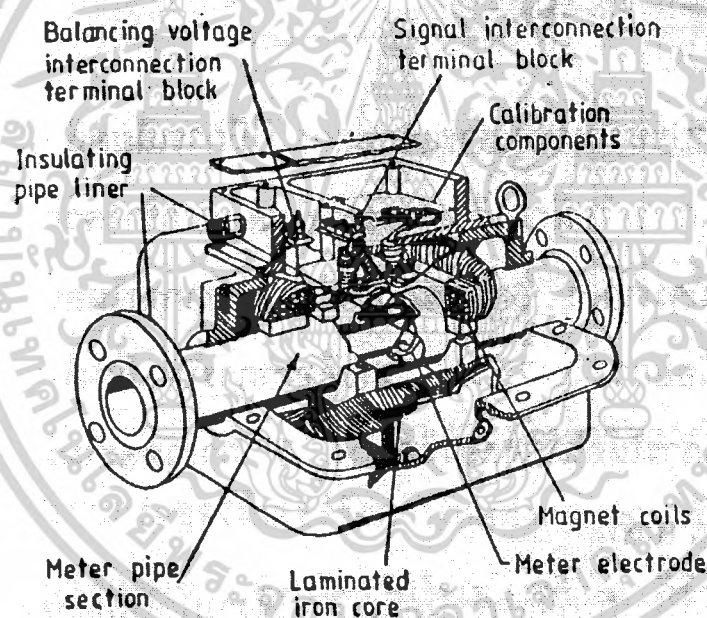
$$e = Bdv \times 10^{-8} \quad (2.6)$$

เมื่อ e คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (V)

B คือ ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก (Tesla, T)

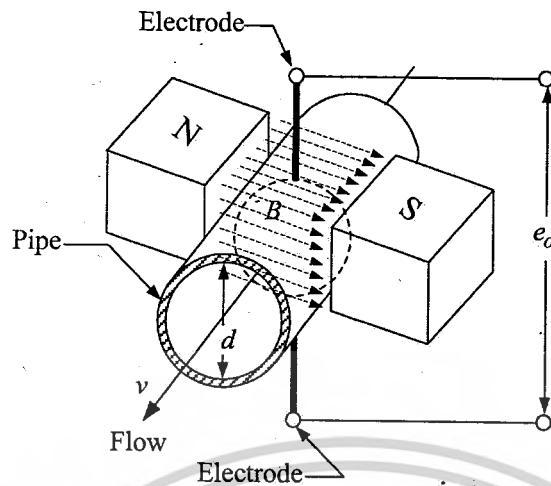
d คือ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง (m)

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของของเหลว (m/s)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก

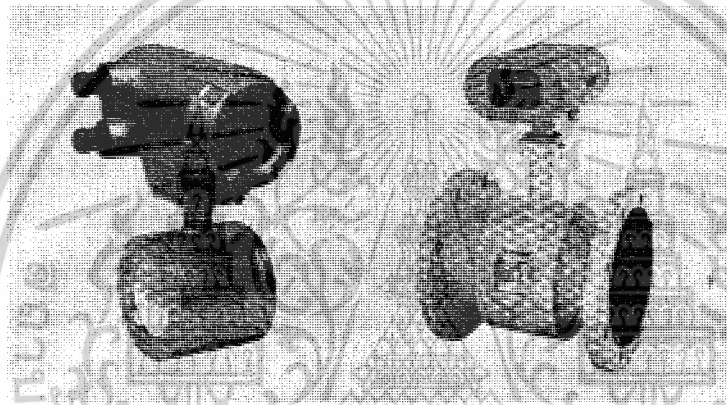
ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจะเกิดขึ้น โดยตรงจากการตั้งฉากของทั้งความเร็วในการไหลของของเหลวที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่า Reynold's Number

ความหนืดและความหนาแน่นของของเหลว ค่าที่ได้นี้เป็นผลคูณมาจากพื้นที่บริเวณที่ทำการเซนเซอร์ภายในท่อ (Cross Section Area) ในทางปฏิบัติ การสร้างสนามแม่เหล็กสามารถทำได้โดยการใช้แม่เหล็กถาวรหรือไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current) หรือสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ต่ำ ๆ เป็นการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรง จะเหมาะสำหรับของเหลวที่มีการไหลที่ไม่ราบเรียบหรือของเหลวที่มีความนำไฟฟ้าสูง ๆ แต่ผลเสียของที่สร้างสนามแม่เหล็กด้วยวิธีนี้คือจะก่อให้เกิดการแตกตัวทางไฟฟ้า (Electrolytic Polarization) ของของเหลวขึ้นที่บริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสองทำให้ขั้วไฟฟ้านั้นมีสภาพความนำไฟฟ้าที่ไม่ดี ผลที่ตามมาคือจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัด ส่วนการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ จะเหมาะสำหรับของเหลวที่มีการไหลที่ราบเรียบหรือของเหลวที่มีความนำไฟฟ้าต่ำ ๆ โดยปกติแล้วค่าของสนามแม่เหล็กที่ใช้ควรจะมีค่าตั้งแต่ $(\mu V) 75 \times 10^4 A/m$ ขึ้นไป และอัตราการไหลของของเหลวไม่ควรต่ำกว่า $10^{-6} m/s$ จึงจะสามารถวัดได้

อย่างไรก็ตาม การวัดการไหลด้วยวิธีการลักษณะนี้จะมีประโยชน์ที่สำคัญคือการไม่เป็นการกีดขวางการไหล จึงทำให้ของเหลวไหลได้อย่างอิสระและไม่มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนใด ๆ ดังนั้น จึงทำให้เครื่องมือชนิดนี้มีความถูกต้องแม่นยำสูง มีความน่าเชื่อถือ มีโครงสร้างและของการทำงานที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังมีความแข็งแรงทนทาน นอกจากนี้ยังมีความเร็วที่ทำให้การตอบสนองโดยไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลว แต่จะยกเว้นที่สภาพของความนำไฟฟ้าที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงเงื่อนไขเดียวเท่านั้นที่จะต้องคำนึงถึงในขณะที่ใช้งานคือของเหลวจะต้องไหล ในปริมาณเต็มท่อ โดยปกติแล้ว สัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก จะมีขนาดน้อยมากคือในหน่วยไมโครโวลต์ (μV) ถ้าต้องการให้มีขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะต้องต่อกับวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณที่ประกอบด้วยวงจรขยาย

ข้อดีอีกประการหนึ่ง ของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็กคือสามารถวัดการไหลของเหลวได้ทั้งสองทิศทาง อีกทั้งยังเหมาะสำหรับการวัดของเหลวที่มีลักษณะที่เป็น สารกัดกร่อน และของเหลวที่มีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับตัวอุปกรณ์แต่อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีราคาค่อนข้างแพง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้งานสำหรับท่อที่มีขนาดเล็กซึ่งจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 รูปร่างของอุปกรณ์วัดการไหลแบบสนามแม่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2.3 อุปกรณ์วัดความดัน

เป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้เพื่อทำการวัดค่าของกระบวนการ เพื่อให้รับรู้ถึงสภาพของสัญญาณ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับแต่งควบคุม (Control) ให้กระบวนการนั้นต้องเป็นไปตามที่ต้องการ (Set Point) ในการวัดและการควบคุม เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่กันต้องการวัดค่าออกมา โดยอุปกรณ์วัดความดันเป็นอุปกรณ์ที่แปลงค่าตัวแปรที่เป็นความดันให้มาอยู่รูปสัญญาณระบบมาตรฐานที่เป็นกระแสหรือแรงดัน ซึ่งในที่นี้ได้ศึกษานี้ได้ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดัน 0-60 psi ให้อยู่ในรูปสัญญาณของกระแส 4-20 mA เพื่อเป็นค่าสัญญาณมาตรฐาน ซึ่งได้ศึกษาหลักการต่างๆ ของแรงดันว่ามีลักษณะดังนี้ ความดัน คือ แรงกระทำต่อพื้นที่

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

F คือ แรงกระทำซึ่งอาจเกิดจากของแข็ง, ของเหลวหรือก๊าซ ก็ได้ มีหน่วยมาตรฐาน เป็น Newton :N เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ถูกแรงกระทำ มีหน่วยมาตรฐานเป็น ตารางเมตร ความดันที่เกิดจากของเหลว (Liquid Pressure)

$$P = \rho gh \quad (2.8)$$

เมื่อ

P คือ ความดัน (N/m²) ซึ่งเป็น Static Head

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m³)

h คือ ความสูงของของเหลว (m)

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²)

สำหรับ Dynamic Head (Velocity Pressure) นั้นจะถูกกำหนดโดยสมการของ Bernoulli ได้กล่าวไว้ในเรื่องการวัดอัตราการไหล

ความดันแบบ Static จากของเหลวเป็นรูปแบบที่จะพบเห็นมากที่สุดในระบบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม

$$\text{Velocity Pressure} = \text{Total Pressure} - \text{Static Pressure}$$

ความดันที่เกิดจากก๊าซ (Gas Pressure) สามารถได้สมการที่ (2.9)

$$p = \frac{1}{3} mnv \quad (2.9)$$

เมื่อ

P คือ ความดัน (N/m²)

n คือ จำนวนโมเลกุลของก๊าซ (Number/m³)

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลก๊าซ (m/s)

m คือ มวลโมเลกุลของก๊าซ (kg)

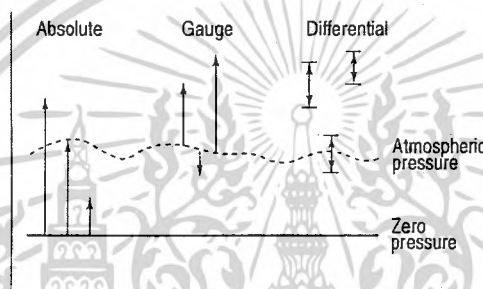
การวัดความดันของอากาศอัด (Compressed Air)

ประเภทของความดัน (Types of Pressure) มี 4 ประเภท คือ

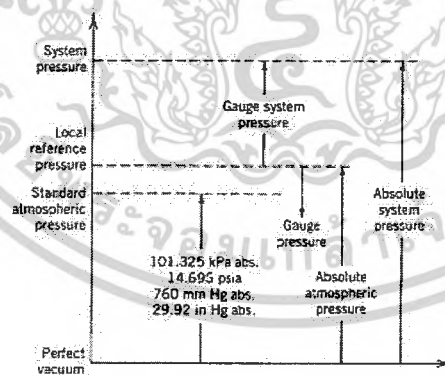
- ความดันเกจ (Gauge Pressure)
- ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure)
- ความดันแตกต่าง (Differential Pressure)
- สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้การเรียกชื่อเป็นแบบสากล ควรเรียกเป็นภาษาอังกฤษดีกว่าเพราะสื่อความหมายได้มากกว่าการเรียกเป็นภาษาไทย ซึ่งการแปลเป็นไทยบางครั้งทำให้เกิดสูญเสียความหมายได้ เช่น คำว่า Superheated steam บางคนแปลว่า ไอน้ำยิ่งยวด หรือ Yield point แต่บางคนก็อาจแปลว่า จุดจำนน ซึ่งล้วนแต่ทำให้เสียความหมายทั้งสิ้น รวมทั้งทำให้ผู้ที่ศึกษาไม่รู้อรรถาธิบายที่แท้จริงไปด้วย ดังภาพที่ 2.9 และ ภาพที่ 2.10 จากประสบการณ์ของผู้เขียนเห็นว่า การแปลนั้นไม่ได้สื่อความหมายได้เลย ดังนั้นจึงไม่ต้องแสดงความเก่งที่จะพยายามแปลศัพท์เทคนิคใดๆ ทั้งสิ้น ลองแปลคำว่า Software หรือ Windows จะแปลว่าอะไรที่สื่อความหมายได้ถึงแปลได้ก็พูดกับใครไม่รู้เรื่อง



ภาพที่ 2.9 ชนิดของความดัน



ภาพที่ 2.10 ชนิดของความดัน

ณ จุดความดันบรรยากาศหรือ Standard Atmospheric Pressure จะพบว่าเข็มของของกาวัด Pressure Gauge จะชี้ที่เลขศูนย์ หมายความว่า ความดันเกจมีค่าเป็นศูนย์ ณ ที่บรรยากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Perfect Vacuum หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Zero Absolute (จุดศูนย์ความดันสัมบูรณ์) มีค่า $P_{abs} = 0$ หรืออยู่ในสถานะสูญญากาศสมบูรณ์นั่นเอง $P_{abs} = P_{atm} + P_g$ ที่ $P_{abs} = 0$ $P_g = -P_{atm}$ หมายความว่า Pressure gauge จะชี้ค่าที่ -101325 kPa โดยประมาณ

2.3.1 ความดันเกจ (Gauge Pressure)

เป็นค่าที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม โดย Gauge Pressure มีค่าเป็นศูนย์ที่ความดันบรรยากาศ สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ P_g หน่วยวัดที่ใช้จะมีตัวอักษร g กำกับอยู่ เช่น Barg, Psig เป็นต้น

2.4 วาล์วควบคุม (Control valve)

Control Valve เป็นอุปกรณ์หนึ่งใน Final Element โดยมีหน้าที่หลักที่สำคัญคือ การควบคุมอัตราการไหลของของไหล (fluid flow control) หากกล่าวในภาษา Control System คือ ทำหน้าที่ในการปรับแต่ง Manipulated Variable เพื่อให้ได้ค่าตาม Set Point โดยมีการตรวจสอบ Instrument ที่คอยตรวจจับค่าตัวแปรหรือ Measured Variable (Controlled Variable) หรือค่า PV แล้วทำการส่งสัญญาณไปยัง Controller เพื่อเปรียบเทียบกับ Set Point (SP) หากยังมีค่า Offset, Error (SP-PV) เกิดขึ้นอยู่ ตัว Controller ก็จะสั่งการไปยัง Control Valve ให้ทำการปรับแต่ง Process ต่อไปจนกว่าจะได้ค่าที่ต้องการหรือ Error = 0 เป็นการสิ้นสุด ขบวนการทำงานคอนโทรลวาล์วโดยทั่วไปเป็นอุปกรณ์มีหน้าที่ในส่วน Final control Element เพื่อควบคุมการไหลของของไหล (Fluids) ในระบบ ซึ่งได้แก่ ไอน้ำ (Steam) น้ำ (Water) ก๊าซ (Gas) และ Chemical Solution ซึ่งได้รับสัญญาณควบคุมเป็นไปตามอัตโนมัติ เราสามารถแบ่งประเภทของวาล์วควบคุมตามลักษณะการเปิดปิดมี 2 ประเภท คือ

Linear-Shaft Valve จะเป็นวาล์วที่ทำการเปิด-ปิด ของวาล์วเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง เช่น

Globe valve

Rotary-Shaft Valve จะเป็นวาล์วที่ทำการเปิด-ปิด ของวาล์วเคลื่อนที่ตามเส้นรอบวง เช่น

Butterfly valve, Eccentric rotating, Ball valve, Diaphragm valve

ส่วน Body ของวาล์วควบคุม

Valve body ที่ใช้ในระบบควบคุมมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบ จะมีลักษณะเฉพาะตามความเหมาะสมของการทำงาน แต่จะอธิบาย แบบที่นิยมใช้งานกันดังนี้

- Globe Valve
- Butterfly Valve
- Eccentric Rotating Valve
- Ball Valve
- Diaphragm Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในโครงการนี้เราจะใช้ Globe Valve ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 วาล์วทรงกลม (Globe Valve)

ในการควบคุมกระบวนการนั้นเป็นแบบวาล์วทรงกลมเป็นที่นิยมกันมากที่สุดที่สุด ซึ่งมีชนิดและขนาดต่าง ๆ กัน สำหรับทิศทางการไหลนั้นมีทั้งแบบ Flow-to-Close ซึ่งแรงดันการไหลจะช่วยดันก้านวาล์วให้เข้าหาป่าวาล์ว และ Flow-to-Open แรงดันการไหลจะไปช่วยดันที่ก้านวาล์วให้ลอยห่างจากป่าวาล์ว ซึ่งแบบนี้จะเป็นที่นิยมมากที่สุด สามารถแบ่งออก Port ได้ 2 แบบ คือ

1. Single Port Globe Valve
2. Double Port Globe Valve

คอนโทรลวาล์วที่นำมาใช้ในโครงการนี้นั้น เป็นแบบ Single Port Globe Valve เนื่องจากมีอัตราการรั่วซึมน้อยกว่าแบบ Double Port Globe Valve ซึ่งได้รับค่าสัญญาณลม 3-15 psi เพื่อทำการควบคุมการไหลของระบบตามต้องการ ซึ่งจะได้รับสัญญาณลมมาจาก Positioner ซึ่ง Positioner จะเป็นตัวแปลงค่าสัญญาณกระแสที่รับจาก NI 6238 ให้มาอยู่ในค่าสัญญาณลมตามที่ต้องการและจะเป็นตัวตรวจจับการก้านวาล์วให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งตัวควบคุมตำแหน่งนั้นจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ตัววาล์วหรือการไหลกลับวาล์วโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

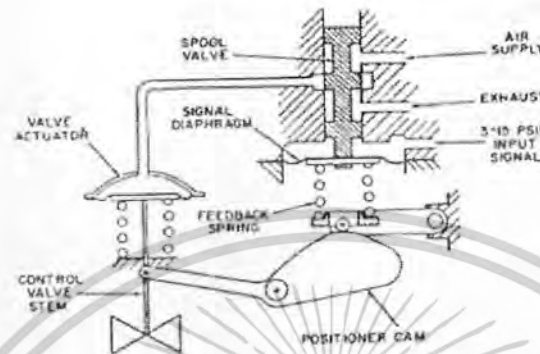
1. ทำให้วาล์วควบคุมการทำงานตามค่าสัญญาณควบคุมที่ถูกต้อง
2. ทำให้วาล์วควบคุมการทำงานตามการตอบสนองการทำงานของสัญญาณได้รวดเร็ว
3. ทำให้วาล์วควบคุมรักษาเสถียรภาพของกระบวนการ
4. ทำให้วาล์วควบคุมการทำงานตามเงื่อนไขของระบบควบคุม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

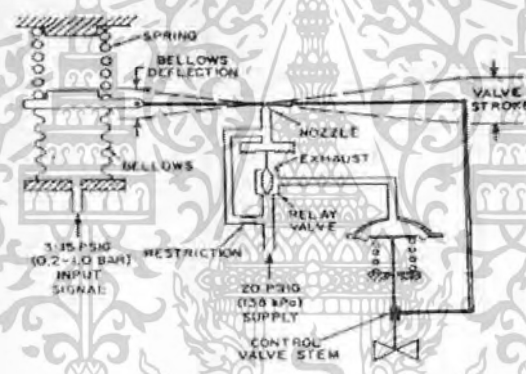
2.5 ตัวควบคุมตำแหน่ง (Positioner)

ตัวควบคุมตำแหน่งที่มีใช้งานหลายชนิดด้วยกัน ขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุท

2.5.1 ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วนิวแมติก (Pneumatic Valve Positioner)



(ก) ใช้หลักการ Force Balance

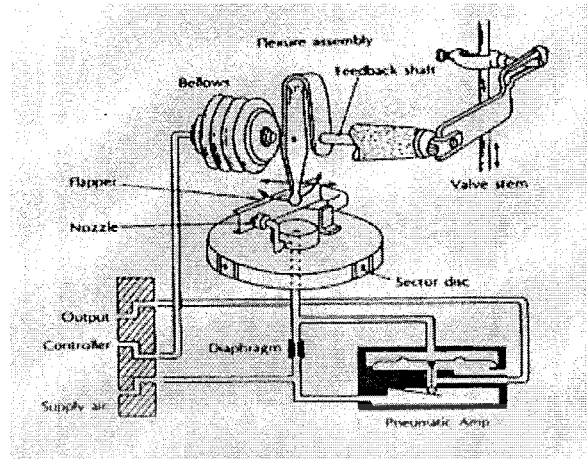


(ข) ใช้หลักการ Motion Balance

ภาพที่ 2.11 โค้ดแกรมของตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วนิวแมติก

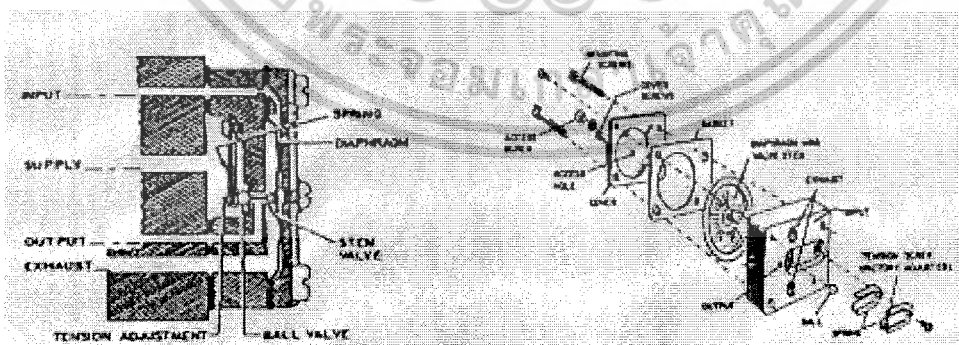
ตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วนิวแมติก ซึ่งจะได้รับสัญญาณเข้าไปเป็นสัญญาณลมที่มาตรฐาน 3-15 psi และส่งสัญญาณไปที่ยัง Actuator ดังในภาพที่ 2.11(ก) ซึ่งจะได้แสดงโค้ดแกรมลักษณะของ Force Balance Positioner ซึ่งได้อาศัยหลักการสมดุลของแรง โดยเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณที่ได้จาก Feedback Spring ซึ่งต่ออยู่กับก้านวาล์วส่วนในภาพที่ 2.11(ข) ได้ทำการแสดงที่โค้ดแกรมของ Motion Balance Positioner จากรูปเมื่อสัญญาณอินพุทเพิ่มขึ้น จะทำให้ Bellow ขยายตัวออกดันให้สปริงหุบตัวเข้า มีผลทำให้เกิดความดันย้อนกลับ Back Pressure เพิ่มขึ้นที่ nozzle จะทำให้เอาท์พุทของรีเลย์ได้เพิ่มขึ้นและส่งเป็นเอาท์พุทไปยัง Actuator ทำให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว

จากภาพที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานเหมือนกับตัวควบคุมแบบ Proportional Control ที่ใช้ Flapper Nozzle โดยมี Proportional Band ถ้าตำแหน่งของวาล์วอยู่ในตำแหน่งไม่ถูกต้องจะทำให้สัญญาณลมมาตรฐาน ที่ส่งมาจากตัวควบคุมความดันที่ป้อนให้กับแผ่นไดอะแฟรมจะเปลี่ยนไปในทิศทางที่ถูกต้อง เพื่อที่จะไปเสริมแรงให้อาชนะแรงต้านใด ๆ และจะทำให้กำหนดตำแหน่งของวาล์ว ได้เที่ยงตรง จากรูปสัญญาณความดันจากตัวควบคุม มีค่าอยู่ในช่วง 3-15 psi เพื่อจะถูกส่งไปยังเบลดและที่เบลดนี้จะมี Fluxure Assembly ด้านอยู่ ดังนั้นความไม่สมดุลใด ๆ ระหว่างแรงทั้งสองนี้จะทำให้ Flapper เคลื่อนออกห่างหรือเข้าใกล้ Nozzle มากกว่าเดิมผลก็คือทำให้ความดันที่ได้ป้อนให้กับไดอะแฟรมของรีเลย์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจะมีสัญญาณเอาท์พุท ซึ่งสามารถนำไปควบคุมวาล์วได้ในตำแหน่งที่ถูกต้องสำหรับ แผ่นดิส นั้นมักจะถูกกำหนดตำแหน่ง เพื่อที่จะทำให้วาล์ว เปิด-ปิด เป็นเชิงเส้นตามสัญญาณลมที่เข้ามา

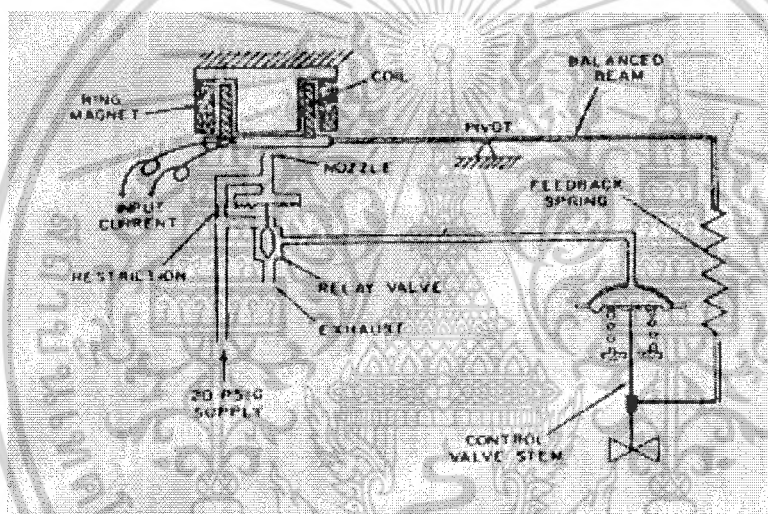


ภาพที่ 2.13 หลักการของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.13 แสดงถึงโครงสร้างของรีเลย์ ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นไดอะเฟรมและบอลวาล์วเล็ก ๆ ตัวรีเลย์นี้ จะเป็นตัวทำให้บอลวาล์วเคลื่อนตัวเปิดออกได้ ก็คือจะต้องมีสัญญาณลมป้อนอินพุท เข้ามาจะทำให้บอลวาล์วเปิดออกจะทำให้มีสัญญาณเอาต์พุทไป ปรากฏที่ทางออกและส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ แล้วเมื่อบอลวาล์วปิดก็จะทำให้ความดันนี้ไหลออกสู่บรรยากาศซึ่งเราจะเห็นได้ว่า การควบคุมสัญญาณลมทางออกสามารถควบคุมได้โดยการให้บอลวาล์ว ปิด-เปิด ตามระยะที่ออกแบบไว้ ซึ่งโดยทั่วไปจะเคลื่อนตัวไม่เกิน 2 มม. และการเคลื่อนตัวนี้ก็สามารถควบคุมการยืดหรือหดตัวของแผ่นไดอะเฟรมได้ด้วยสัญญาณลมทางเข้านั่นเอง

2.5.2 ตัวควบคุมตำแหน่งสมดุลแรงชนิดนิวแมติกเชิงไฟฟ้า (Electro-Pneumatic Force Balance Positioner)



ภาพที่ 2.14 ไดอะแกรมของตัวควบคุมตำแหน่งสมดุลแรงชนิดนิวแมติกเชิงไฟฟ้า

ส่วนประกอบต่าง ๆ และไดอะแกรมของ Elec-Pne Positioner หรือ Electro-Pneumatic Force Balance Positioner แสดงในภาพที่ 2.15 โดย Elec-Pne Positioner จะเป็น Valve Positioner ที่จะได้รับสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า 4-20 mA และให้สัญญาณออกเป็นสัญญาณลมเพื่อส่งไปที่ Actuator เมื่อสัญญาณเข้ามาที่ Coil จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำซึ่งเป็นสัดส่วนกับกระแสเข้า Balanced Beam ที่ติดอยู่บน Coil จะเกิดการเคลื่อนที่เข้าหา Nozzle จะทำให้เกิดความดันย้อนกลับในรีเลย์ ทำให้มีสัญญาณเอาต์พุทออกมา จาก Positioner ไปที่ Actuator ทำให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปั๊ม (PUMP)

ปั๊มแบบปริมาตรคงที่และแบบโรตารี เป็นปั๊มที่จัดอยู่ในประเภท Positive displacement หมายความว่า ของเหลวไหลเข้าสู่ปั๊มในจังหวะที่เกิดความดันต่ำภายในปั๊มและจะถูกแรงกระทำจากลูกสูบหรือตัวโรเตอร์อัดออกจากตัวปั๊ม มีปั๊มอีกประเภทหนึ่งซึ่งของเหลวที่เข้าสู่ปั๊มถูกเร่งให้เกิดความเร็วสูงขึ้น โดยใบพัดของปั๊มและหลังจากนั้นความเร็วจะเปลี่ยนในรูปของความดัน (ดังได้กล่าวแล้วว่า “ความเร็วและความดันของของเหลวต่างก็เป็นพลังงานซึ่งเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้”) ปั๊มประเภทนี้ ได้แก่ kinetic pump ซึ่งแบบที่มีใช้การใช้งานกันมากและรู้จักกันทั่วไปคือ เซนตริฟิวกัลปั๊ม Centrifugal pump หรือที่เรียกกันว่า “ปั๊มหอยโข่ง” เพราะโดยทั่วไปตัวเสื้อปั๊มมักมีลักษณะแบบหอยโข่ง อย่างไรก็ตามปั๊มบางแบบของเซนตริฟิวกัลปั๊มอาจไม่ได้มีลักษณะแบบหอยโข่งก็ได้ แต่ในที่นี้เราเรียกรวมๆว่า “ปั๊มหอยโข่ง”

2.6.1 แบบต่างๆของปั๊มหอยโข่ง

ปั๊มหอยโข่งแบ่งเป็นแบบต่างๆ ตามลักษณะการไหลของของเหลวได้ 3 แบบ คือ

- Radial flow หรือ Centrifugal มีลักษณะของเสื้อปั๊มและที่มีใบพัดทำให้ของเหลวภายในปั๊ม เคลื่อนที่ในแนวรัศมี ปั๊มแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม
- Axial flow หรือ propeller มีของเหลวภายในปั๊มเคลื่อนที่ในแนวแกนของปั๊ม ลักษณะของใบพัดคล้ายใบพัดของพัดลม
- Mixed flow เป็นปั๊มที่รวมลักษณะของ Radial flow และ Axial flow เข้าด้วยกันกับปั๊มแบบ Radial flow

ซึ่งการโครงการนี้จะใช้ปั๊มแบบ Radial flow ซึ่งมรายละเอียดดังนี้

2.6.1.1 แบบไหลเชิงรัศมี (Radial flow)

ของเหลวไหลเข้าสู่ปั๊มศูนย์กลางของใบพัดและถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นหลังจากนั้นจะถูกใบพัดเหวี่ยงออกจากศูนย์กลางในแนวรัศมี และเคลื่อนไปสู่ทางออกของปั๊ม ซึ่งขณะนั้นพลังงานในรูปความเร็วส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นความดันปั๊มแบบ Radial flow ยังแบ่งเป็นแบบย่อยได้หลายแบบ ขึ้นกับลักษณะของการแบ่ง ดังนี้

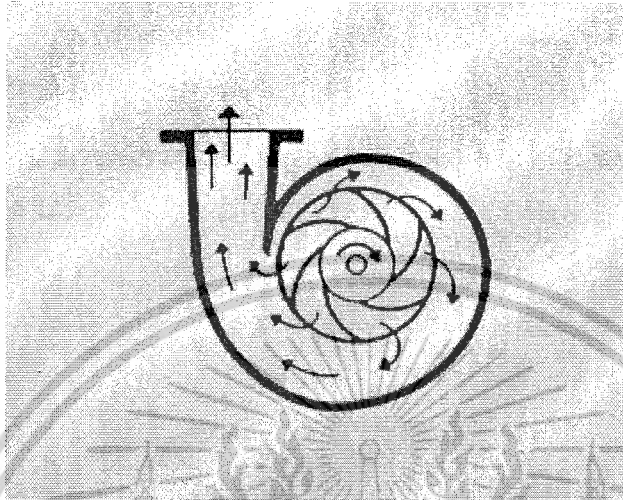
2.6.1.2 แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน

- Volute-type ปั๊มแบบนี้ใบพัดเหวี่ยงของเหลวไปยังเสื้อปั๊ม ซึ่งมีลักษณะแบบหอยโข่ง เนื่องจากทางที่ของเหลวไหลภายในเสื้อปั๊มขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ความเร็วของเหลวที่ถูกเหวี่ยงออกมาจะลดลง ในขณะที่เดียวกันความดันของมันจะเพิ่มขึ้นได้คือ พลังงานจลน์ของของเหลวเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์นั่นเอง

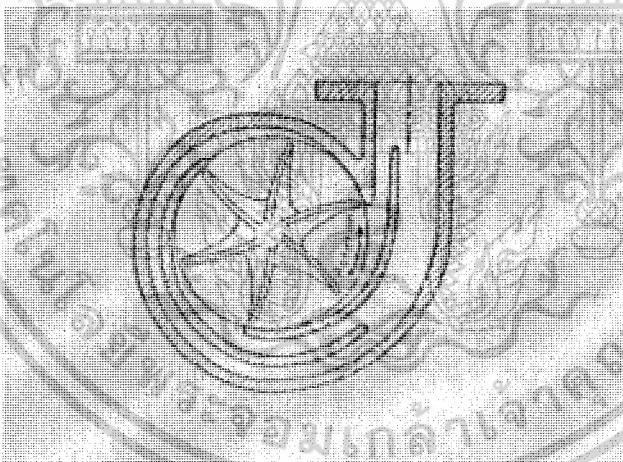
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.15 เป็นปั๊ม volute-type แบบง่ายที่สุด โปรดสังเกตรูปร่างของตัวใบพัด และลักษณะแนวโค้งของใบพัดและของเสื้อด้วย เพราะผู้ที่ไม่เคยสังเกตร้อยละ 80 จะประกอบใบพัดกลับข้าง



ภาพที่ 2.15 ปั๊มหอยโข่งแบบการขุดเป็นเกลียว

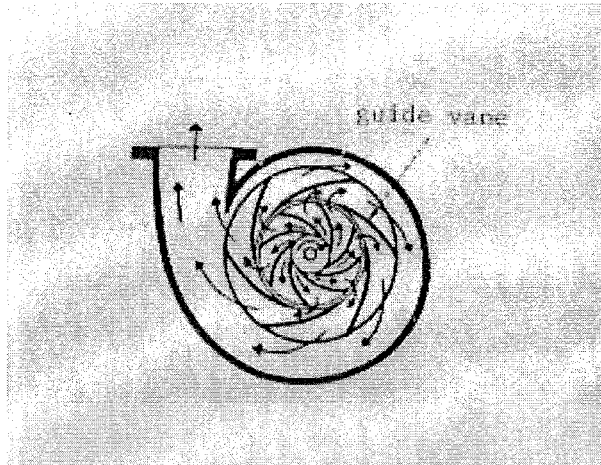


ภาพที่ 2.16 ปั๊มหอยโข่งแบบการขุดเป็นเกลียวคู่

จากภาพที่ 2.16 เป็นปั๊ม volute type อีกแบบหนึ่ง ซึ่งออกแบบให้เกิดการสมดุลของแรงตามแนวรัศมีที่กระทำต่อเพลลาของใบพัด เป็นการขจัดปัญหาของเพลลาของ

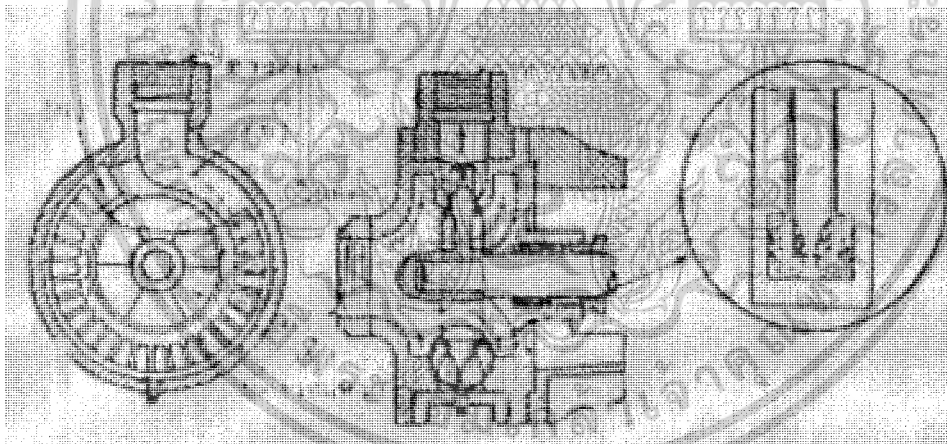
- Diffuser-type ลักษณะทั่ว ๆ ไป เหมือนกับปั๊มแบบ volute type แต่มีแผ่นโลหะเรียกว่า guide vane ติดอยู่รอบ ๆ เสื้อ guide vane เหล่านี้ทำหน้าที่เป็น “ดิฟฟิวเซอร์ (diffuser)” คือเปลี่ยนพลังงานการไหลไปเป็นความดัน นอกจากนี้ยังเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลด้วย ดังแสดงภาพที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.17 ปัมฮอยโข่งแบบกระจาย

- Turbine-type บางครั้งเรียกว่า Regenerative หรือ Peripheral หรือ Vortex pump
 ดังภาพที่ 2.18 ตัวใบพัดประกอบด้วยเวน (vane) เล็ก ๆ ติดอยู่รอบ ๆ ใบพัด เวนเหล่านี้จะหมุนไปรอบ ๆ ภายในช่องวงแหวน โปรดสังเกตว่าช่องวงแหวนนี้มีสันกันระหว่างด้านเข้า และด้านออก แต่เวนของตัวใบพัดสามารถหมุนผ่านไปได้ ดังนั้นตรงส่วนนี้ของปั๊มจะมี clearance น้อยมาก

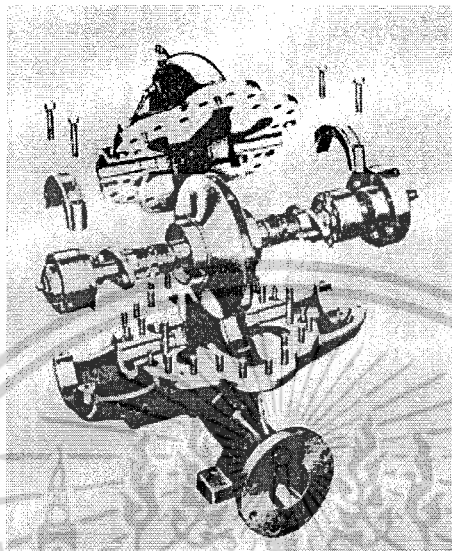


ภาพที่ 2.18 ปั๊มแบบกัณฑ์

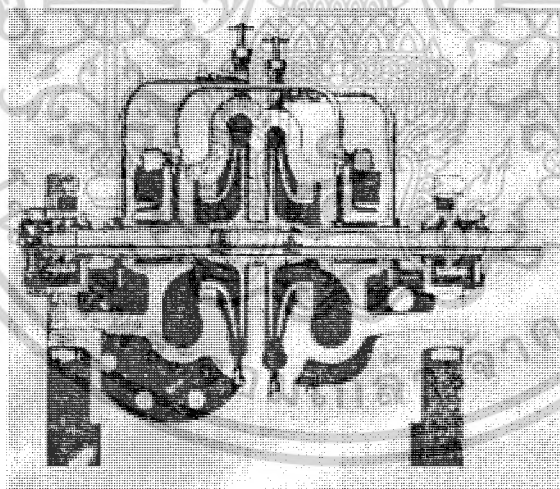
เมื่อของเหลวไหลเข้าสู่ปั๊มทางด้านเข้าที่ศูนย์กลางของปั๊มมันจะถูกใบพัดเหวี่ยงโดยแรงหนีศูนย์กลางออกไปยังช่องวงแหวนที่อยู่รอบนอกช่องวงแหวนนี้ จะถูกออกแบบให้ค่อยๆเปลี่ยนพลังงานความเร็ว ไปเป็นความดันด้วยนอกจากนี้ความดันของของเหลวจะเพิ่มขึ้นอีกโดยการเคลื่อนที่ของเหลวที่อยู่รอบนอก (ในช่องวงแหวน) ดังนั้นปั๊มแบบนี้ยังสามารถทำให้เกิด Head สูง ๆ ได้ แม้ว่าปริมาณการไหลจะน้อยของเหลวจะเคลื่อนไปรอบ ๆ ภายในช่องวงแหวน จนกระทั่งถึงช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางออก การเคลื่อนที่ของของเหลวในช่องวงแหวนจะเป็นแบบ Turbulent Friction Drag และมักเกิด vortex ด้วย บางครั้งจึงเรียกว่า vortex pump ซึ่ง Vortex คือ ลักษณะที่ของไหลหมุนเป็นวง ๆ ตัวอย่างโครงสร้างของปั๊มหอยโข่งแบบแสดงเดี่ยวและสองแสดงดังภาพที่ 2.19 และ ภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.19 ปั๊มหอยโข่งแบบแสดงเดี่ยว เสือปั๊มเป็นแบบผ่าซีกตามแนวแกน



ภาพที่ 2.20 ปั๊มหอยโข่งแบบสองแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โปรแกรม Lab Windows/CVI

ได้พัฒนามาจากการควบคุมการวัดและการทดสอบการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลใน ANSIC ซึ่งมีความพิเศษตรงที่สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันมาตรฐานต่าง ๆ ที่มีให้ไว้ใน Library มาตรฐานได้ง่าย ยังใช้ควบคุมในงานวัดกระบวนการและในงานควบคุมได้ซึ่ง โปรแกรม Lab windows/CVI นี้มีมาตรฐานของข้อมูลในการติดต่อดังนี้

- GPIB
- RS-232
- VISA
- Data acquisition
- Data analysis
- TCP
- Data socket
- DDE communication
- File I/O
- Data formatting
- ANSIC
- Analysis

กราฟฟิคที่ใช้สามารถติดต่อรวบรวมข้อมูลสร้างโค้ด สร้างไลบรารี เพื่อแสดงและควบคุมกราฟฟิคได้ สามารถคอนโทรล Active & Servers สามารถสร้าง Driver ของการวัดกับโครงสร้าง VXI plug & play สามารถใช้ลักษณะของ โมเดลจำลอง ติดตั้งการวัดฟังก์ชันและติดต่อกับฟังก์ชัน แชนเนล สามารถสร้างเครื่องมือและเพิ่มเครื่องมือ NI-DAQ mx Tasks ซึ่งสามารถสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและควบคุมได้ ซึ่ง Lab Windows/CVI แบ่งส่วนต่างๆที่ใหญ่ดังนี้ คือ Project Tree, Library Tree, Windows

2.8 ตัวควบคุมพีไอดี (PID)

2.8.1 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี (PID)

ระบบควบคุมแบบ Closed-loop เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่ง ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Closed-loop ก็คือระบบควบคุมป้อนกลับนั่นเอง สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นสัญญาณแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณที่ได้มีป้อนกลับจะถูกป้อนให้ตัวควบคุม เพื่อที่จะได้ลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงและทำให้เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบมีค่าตามที่ต้องการสัญญาณป้อนกลับนี้ อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรงหรืออาจเป็นสัญญาณที่ได้เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาต์พุต

ระบบควบคุมป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้

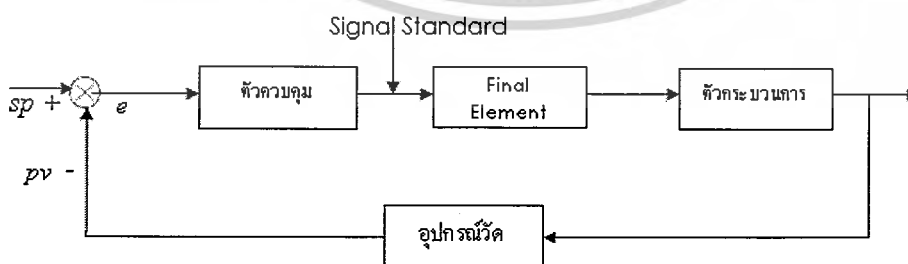
- ตัวควบคุม (Controller) คือ ตัวรับสัญญาณวัดเพื่อนำมาเปรียบเทียบ เพื่อเป็นค่าเป้าหมาย แล้วคำนวณหาค่าที่เหมาะสม เพื่อส่งเป็นสัญญาณควบคุมออกไปควบคุม โพรเซส ซึ่งเราจะสามารถตั้งเป้าหมายให้กับตัวควบคุมนี้ได้ ดังเช่น แบบการควบคุมมีหลายแบบ เช่น ON-OFF Control, P Control, PI Control, PID Control เป็นต้น

- อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึง อุปกรณ์ได้แก่จำพวก Sensor, Transducer หรืออุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Converter) หรือวัดสัญญาณอื่น ๆ ที่เอาต์พุตตามค่าสัญญาณมาตรฐานของเอาต์พุต

- อุปกรณ์ปรับกระบวนการ (Final Control Element) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ ในการปรับสถานะ ของกระบวนการด้วยสถานะของกระบวนการที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ตามค่าสัญญาณควบคุม (Manipulated Variable) ของกฎการควบคุมอุปกรณ์พวกนี้ได้แก่ วาล์วควบคุม (Control - Valve), Inverter, Actuator ต่าง ๆ เป็นต้น

- ตัวกระบวนการ (Plant or Process) หมายถึงกระบวนการที่ถูกทำการควบคุมกระบวนการทางฟิสิกส์ ที่เราต้องการควบคุมให้มีสถานะตามต้องการ ขณะที่สถานะการทำงาน สภาพแวดล้อม อาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา กระบวนการได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ระดับความ เป็นกรดต่าง เป็นต้น

- สัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) ในการที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ในระบบควบคุมอัตโนมัติให้ทำงาน ได้ตามต้องการนั้นจำเป็นต้องมีมาตรฐานรองรับ ซึ่งวิวัฒนาการตั้งแต่เริ่มมีระบบควบคุมอัตโนมัติมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงระบบตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดมาตั้งแต่ยุคลม (Pneumatic), ไฟฟ้า (Electrical) แล้วปัจจุบันเริ่มมีการใช้สัญญาณดิจิทัลกันแล้ว สัญญาณลม 3-15 psi และอีกอย่างสัญญาณไฟฟ้า 1-5 V.d.c หรือ 4-20 mA



ภาพที่ 2.21 แสดง โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งจะใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) เพราะรูปแบบของตัวควบคุมเป็นตัวควบคุมที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีระบบโครงสร้างการทำงานที่ไม่ซับซ้อนช่วยสามารถเข้าใจได้ง่าย การใช้งานตัวควบคุมพีไอดีนี้ขึ้นอยู่กับ การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของออกตรงตามกระบวนการตามที่ต้องการตัวควบคุม PID ประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) ซึ่งมีฟังก์ชันในการถ่ายโอน ดังนี้

$$m(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.10)$$

โดยที่ K_p = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional Gain)

T_i = ค่าเวลา Integral (Integral Time)

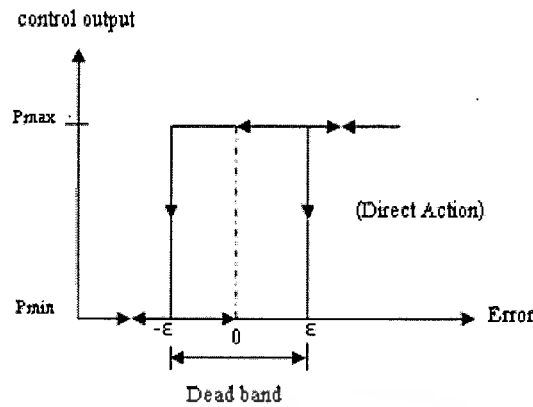
T_d = ค่าเวลา Derivative (Derivative Time)

จากภาพที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุม หรือตัวแปรปรับกระบวนการ (mv) ที่ได้จากตัวควบคุม PID จะถูกกำหนด ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าตัวควบคุมกับตัวแปรของกระบวนการ (pv) กับสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (sp) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์การควบคุมที่ผู้ควบคุมปรับแต่งไว้ล่วงหน้า (ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม) จะเป็นไปตามกริยาควบคุมแบบต่างๆ ดังที่กล่าวต่อไปนี้

2.8.2 กริยาการควบคุมแบบป้อนกลับ

2.8.2.1 กริยาการควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF)

การควบคุมแบบ ON-OFF เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยการควบคุมจะทำงานเพียง 2 สถานะคือเปิด (100%) กับปิด (0%) กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF ดังแสดง ภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 แสดงกริยาการควบคุมแบบเปิด-ปิด

จากภาพที่ 2.22 จะเห็นได้ว่า ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤต (+ ϵ) ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต (- ϵ) ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ค่าเอาต์พุทที่อยู่ในช่วงเดธแบนด์ (Dead Band) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใดซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเสียดทานที่ไม่ได้คาดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็จำเป็นต้องทำให้เกิดช่วงเดธแบนด์ขึ้น เพื่อป้องกัน ON-OFF บ่อยเกินไปอันจะทำให้ การควบคุมหรือกระบวนการ ได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเดธแบนด์นี้ต้องไม่กว้างนักเพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการควบคุมลดลง กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการ (4.2) ได้ดังนี้

$$m(t) = \begin{cases} 0\% & , e < -\epsilon \\ 100\% & , e > +\epsilon \end{cases} \quad (2.11)$$

เมื่อ $m(t)$ = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุทของตัวควบคุม

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน

ϵ = $\frac{1}{2}$ ของค่าเดธแบนด์

2.8.2.2 กริยาการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional (P))

กริยาการควบคุม P นั้น เอาต์พุทของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลงดังแสดงในภาพที่ 2.23 ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตามกริยาการควบคุมแบบ P สามารถเขียนสมการ (2.12) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$mp(t) = Kp e(t) + \bar{m} \quad (2.12)$$

$mp(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Proportional

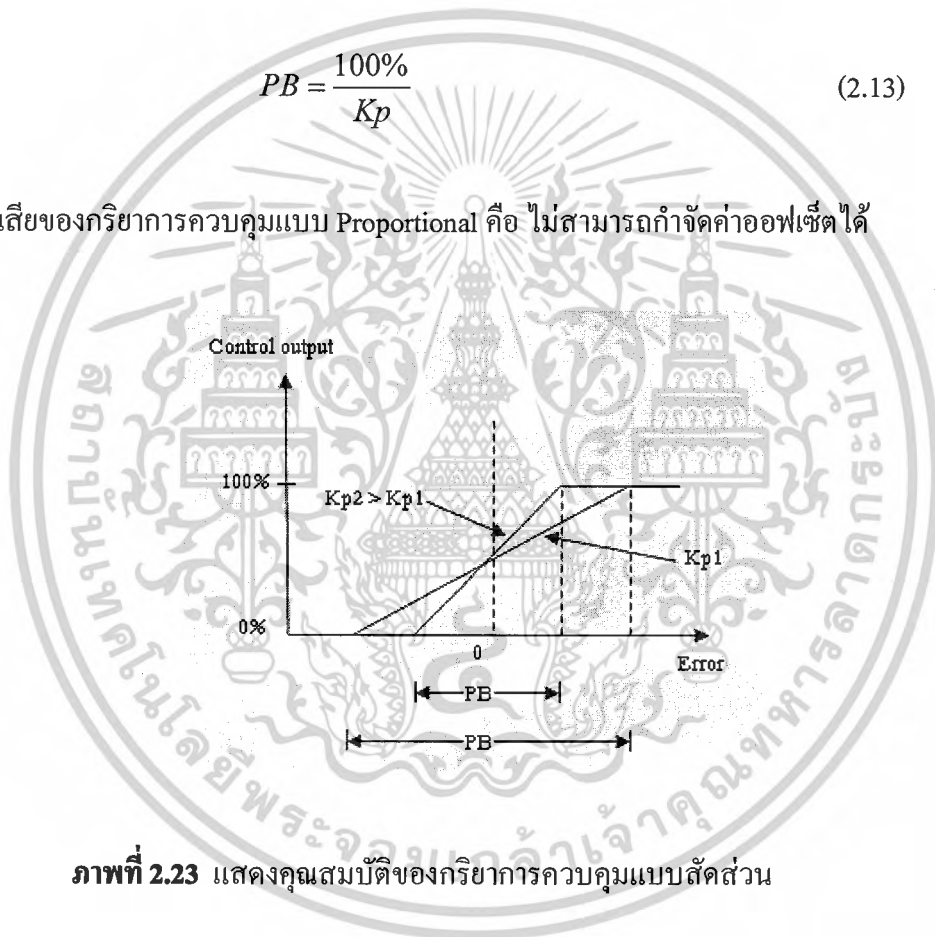
Kp = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional

\bar{m} = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตัวควบคุมแบบ P บางตัวอาจจะใช้ค่า Proportional Band (PB) แทนการใช้ค่า Kp ซึ่ง PB คือ ช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่เอาต์พุตของตัวควบคุมมีค่า 0-100% ดังสมการ 2.13

$$PB = \frac{100\%}{Kp} \quad (2.13)$$

ข้อเสียของปฏิบัติการควบคุมแบบ Proportional คือ ไม่สามารถกำจัดค่าออฟเซตได้



ภาพที่ 2.23 แสดงคุณสมบัติของปฏิบัติการควบคุมแบบสัดส่วน

2.8.2.3 ปฏิบัติการควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral (I))

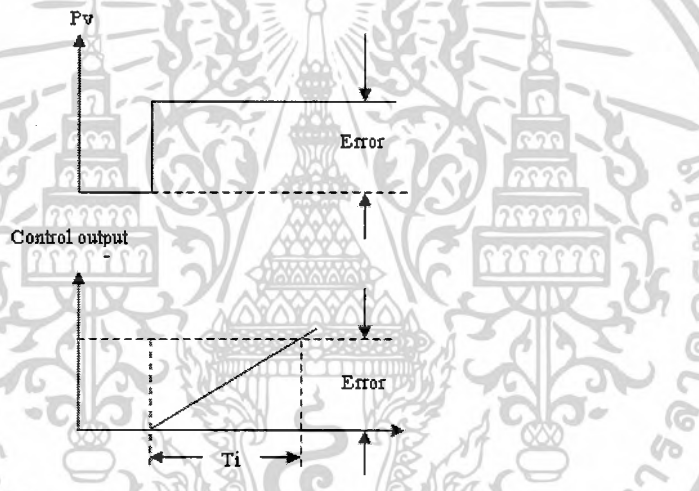
ปฏิบัติการควบคุมแบบ I หรือเรียกการควบคุมอีกอย่างหนึ่งได้ว่า การควบคุมแบบ รีเซ็ต (Reset Control) โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม จะได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่า ความคลาดเคลื่อนต่อเวลาคูณกับค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain) ดังสมการ (2.14) ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt + \bar{m}_I(0) \quad (2.14)$$

- เมื่อ $m_I(t)$ = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ Integral
 K_I = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral
 $\int_0^t e(t) dt$ = พื้นที่ทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน
 $\bar{m}_I(0)$ = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมที่เวลา t เท่ากับศูนย์

ผลของกริยาการควบคุมแบบ I นี้ จะทำให้ไม่เกิดค่าออฟเซตขึ้นในระบบและลดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ของระบบลงได้ แต่ถ้ากริยาการควบคุมมีค่าสูงเกินไป อาจจะทำให้ผลตอบสนองที่ได้ของกระบวนการช้าลง ผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ I ดังแสดงในภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบอินทิกรัล

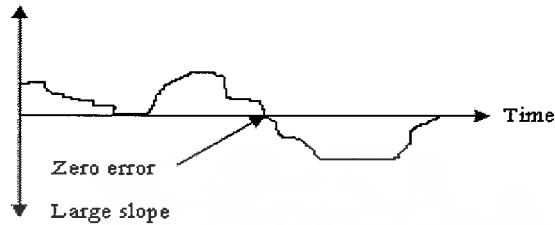
2.8.2.4 กริยาการควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative (D))

กริยาการควบคุมแบบ D เรียกอีกอย่างว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุทของตัวควบคุม จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้และค่าเอาต์พุทก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น ดังภาพที่ 2.25 เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการ (2.15) ต่อไปนี้

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative
 K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative
 $\frac{de(t)}{dt}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t



ภาพที่ 2.25 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบอนุพันธ์

2.8.2.5 กิริยาการควบคุมแบบพีไอ (Proportional- Integral (PI))

ตามที่กล่าวมาแล้วว่ากิริยาการควบคุมแบบ P นั้นจะมีค่าออฟเซ็ทเกิดขึ้นได้ ซึ่งการกำจัดค่าออฟเซ็ทนี้ สามารถทำได้โดยการเพิ่มกิริยาการควบคุมแบบ I เข้าไป ดังภาพที่ 2.25 และจะได้ ดังสมการต่อไปนี้

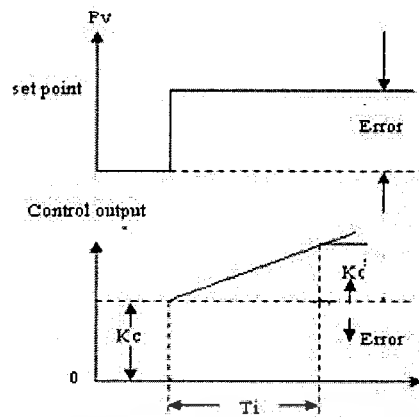
$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.16)$$

หรือ

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.17)$$

เมื่อ $K_c = K_p$ และ $K_I = \frac{1}{T_i}$

T_i = ค่าเวลา Integral



ภาพที่ 2.26 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบพีไอ

2.8.2.6 กริยาการควบคุมแบบพีดี (Proportional-Derivative (PD))

การประยุกต์ใช้กริยาการควบคุมแบบ P ร่วมกับกริยาการควบคุมแบบ D เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองของระบบที่สภาวะคงที่ ซึ่งสมการเอาท์พุทของกริยาการควบคุมแบบ PD ดังภาพที่ 2.27 และ ได้ดังสมการ (2.18)

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.18)$$

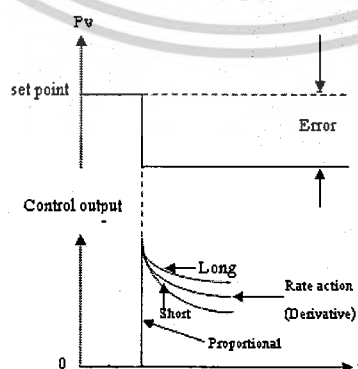
หรือ

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.19)$$

เมื่อ

$$K_D = T_d$$

T_d = ค่าเวลา Derivative



ภาพที่ 2.27 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบพีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

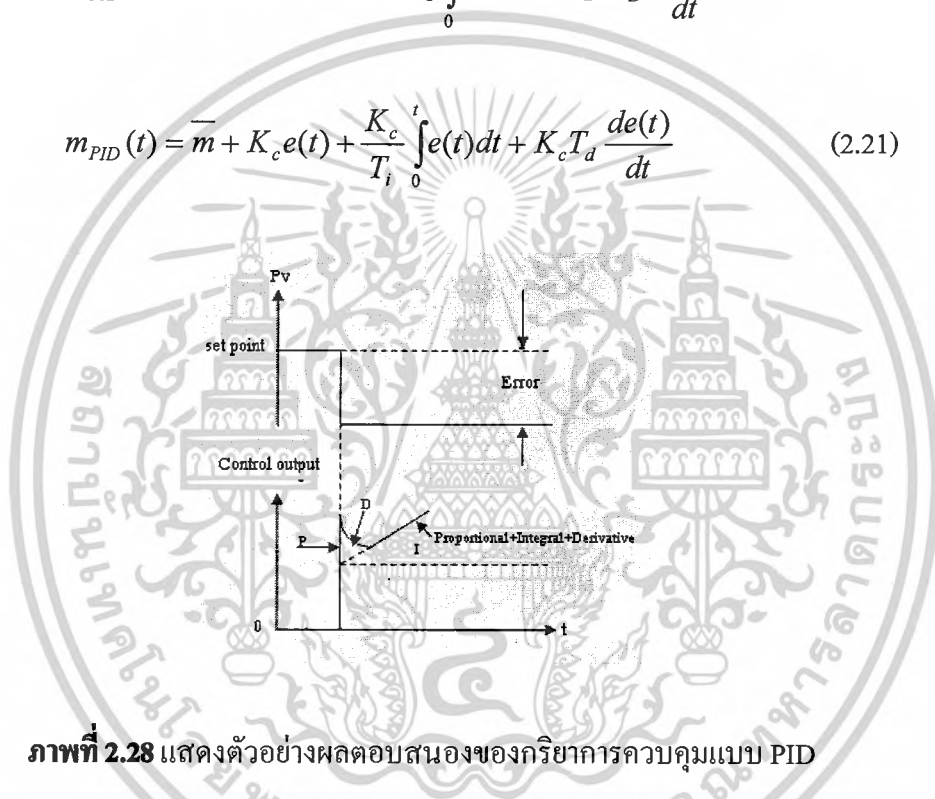
2.8.2.7 ฏิกิริยาการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional – Integral- Derivative)

เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการ จึงใช้ฏิกิริยาการควบคุมทั้ง 3 แบบร่วมกัน ได้ทำการแสดงตัวอย่างผลตอบสนองของฏิกิริยาการควบคุมแบบ PID (Direct action) ดังภาพที่ 2.28 ซึ่งจะมีผลทำให้ได้ฏิกิริยาการควบคุมแบบ PID ที่มีสมการ (2.20) ต่อไปนี้

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_i \int_0^t e(t) dt + K_p K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.20)$$

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.21)$$

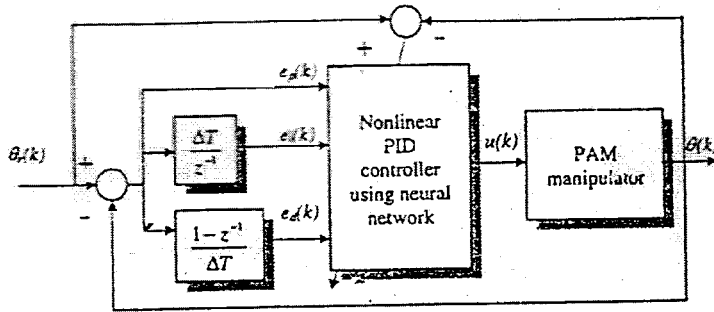


ภาพที่ 2.28 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของฏิกิริยาการควบคุมแบบ PID

2.8.3 ฏุกฎการควบคุมพีไอดีชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้

การควบคุมแบบ PID มีความสำคัญมากในการใช้มาก ในการแก้ปัญหาความซับซ้อนของกระบวนการมีการควบคุมแบบนี้จำนวนมากในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีความซับซ้อนมากในแพลน เพื่อจะแก้ไขกระบวนการการควบคุมแบบนี้จำนวนมากในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด และมีประสิทธิภาพในการทำงาน เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางและเหมาะกับการควบคุมในแพลนที่ยู่งยาก แต่ในการควบคุมในบางกระบวนการอาจทำได้ง่ายมากขึ้น จึงมีวิธีการการควบคุม PID แบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อแก้ไขความซับซ้อนในการปรับค่าตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.29 แสดงเป็นลักษณะโครงสร้างการควบคุมพีไอดีแบบไม่เป็นเชิงเส้น

จากภาพที่ 2.29 แสดงเป็นลักษณะโครงสร้างการควบคุมแบบ PID แบบไม่เป็นเชิงเส้น เป็นกรรมวิธีที่แสดงลักษณะการควบคุมของโครงสร้างแบบง่าย แล้วส่งค่าเอาต์พุตไปตัวควบคุม PAM ส่วนการควบคุมอินพุต u สามารถหาได้จากสมการดังนี้

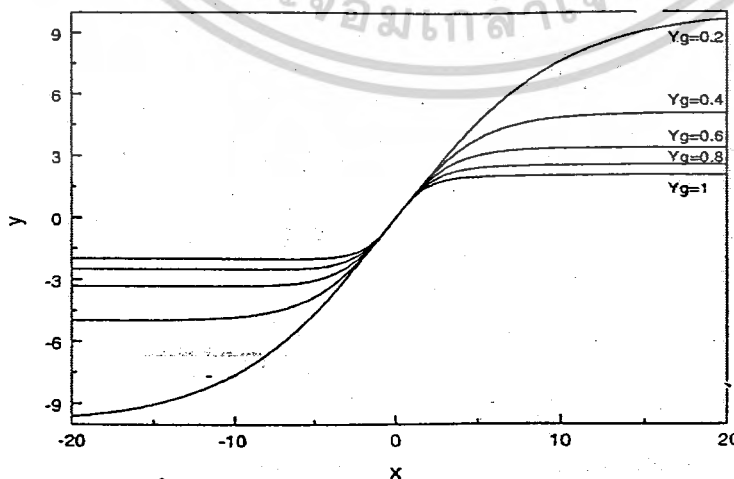
$$u = f(x) \quad (2.22)$$

เมื่อ x คือ อินพุตของฟังก์ชัน f

f คือ ความสัมพันธ์ของสมการไม่เป็นเชิงเส้น สามารถอธิบายตามสมการดังนี้

$$f(x) = \frac{2(1 - e^{-xY_g})}{Y_g(1 + e^{-xY_g})} \quad (2.23)$$

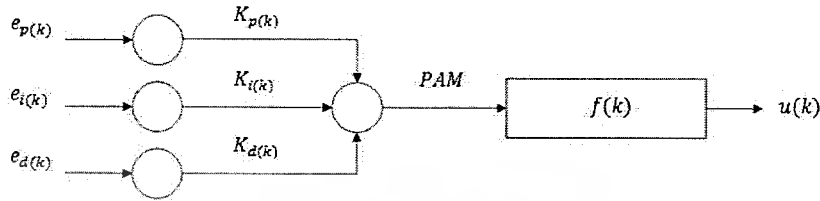
เมื่อ Y_g คือ พารามิเตอร์ เมื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน



ภาพที่ 2.30 การเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Block diagram ที่แสดงในภาพที่ 2.31 แสดงค่า $K_p, K_i, K_d, e_p, e_i, e_d$ ก็คือค่าของ Proportional , Integral , Derivative และ ค่าความผิดพลาดระหว่างค่า Set point และ ค่า Output เพื่อเข้าไปร่วมในส่วนการควบคุมของ PAM ซึ่งได้สมการดังนี้



ภาพที่.2.31 แสดงบล็อกไดอะแกรม

$$x(k) = K_p(k)e_p(k) + K_i(k)e_i(k) + K_d(k)e_d(k) \quad (2.24)$$

เมื่อ

$$e_p(k) = \theta_r(k) - \theta(k) \quad (2.25)$$

$$e_i(k) = \sum_{n=1}^k e_p(n) \Delta T \quad (2.26)$$

$$e_d(k) = \frac{e_p(k)(1 - z^{-1})}{\Delta T} \quad (2.27)$$

ΔT คือ ค่าเวลาการสุ่มตัวอย่าง

Z คือ กระจวนการของ Z-transform

K คือ ลำดับการสุ่ม

$\theta_r(k)$ และ $\theta(k)$ คือ การอ้างอิงเอาต์พุตอ้างอิงและที่ร่วมกับ PAM

ซึ่งอัตราการปรับค่าอัตราขยายของ PID มีวิธีการดังสมการดังนี้

$$K_p(k-1) = K_p(k) - \eta_p \frac{\partial E(k)}{\partial K_p} \quad (2.28)$$

$$K_i(k-1) = K_i(k) - \eta_i \frac{\partial E(k)}{\partial K_i} \quad (2.29)$$

$$K_d(k-1) = K_d(k) - \eta_d \frac{\partial E(k)}{\partial K_d} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ η_p, η_i, η_d คืออัตราการเรียนรู้ที่วิ่งเข้าหา และ $E(k)$ คือ การกำหนดความผิดพลาดตามสมการ

$$E(k) = \frac{1}{2}(\theta_r(k) - \theta(k))^2 \quad (2.31)$$

จากสมการที่ (2.28 , 2.29 , 2.30) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial E(k)}{\partial K_p} = \frac{\partial E(k)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} \frac{\partial u(k)}{\partial x} \frac{\partial x(k)}{\partial K_p} \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial E(k)}{\partial K_i} = \frac{\partial E(k)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} \frac{\partial u(k)}{\partial x} \frac{\partial x(k)}{\partial K_i} \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial E(k)}{\partial K_d} = \frac{\partial E(k)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} \frac{\partial u(k)}{\partial x} \frac{\partial x(k)}{\partial K_d} \quad (2.34)$$

เมื่อ นำสมการ (2.32 , 2.33, 2.34) จะได้สมการ

$$\frac{\partial E(k)}{\partial \theta} = -e_p(k) \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial x} = f'(x(k)) \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial x(k)}{\partial K_p} = e_p(k) \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial x(k)}{\partial K_i} = e_i(k) \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial x(k)}{\partial K_d} = e_d(k) \quad (2.39)$$

และ เมื่อ ได้สมการที่ (2.35 , 2.36 , 2.37 , 2.38 , 2.39) นำมาแทนในสมการที่ (2.32 , 2.33 , 2.34) จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(k)}{\partial k_p} &= \frac{\partial E(k)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} \frac{\partial u(k)}{\partial x} \frac{\partial x(k)}{\partial k_p} \\ &= -e_p(k) \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} f'(x(k)) e_p(k) \\ &= -\frac{\partial \theta(k)}{\partial u} f'(x(k)) e_p^2(k) \end{aligned} \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E(k)}{\partial k_i} &= \frac{\partial E(k)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} \frac{\partial u(k)}{\partial} \frac{\partial x(k)}{\partial k_i} \\
&= -e_p(k) \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} f'(x(k)) e_i(k) \\
&= -\frac{\partial \theta(k)}{\partial u} f'(x(k)) e_p(k) e_i(k)
\end{aligned} \tag{2.41}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E(k)}{\partial k_d} &= \frac{\partial E(k)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} \frac{\partial u(k)}{\partial} \frac{\partial x(k)}{\partial k_d} \\
&= -e_p(k) \frac{\partial \theta(k)}{\partial u} f'(x(k)) e_d(k) \\
&= -\frac{\partial \theta(k)}{\partial u} f'(x(k)) e_p(k) e_d(k)
\end{aligned} \tag{2.42}$$

และจะได้

$$f' = 4 \frac{e^{-xy_s}}{(1 - e^{-xy_s})^2} \tag{2.43}$$

และจะได้ค่าใหม่ดังนี้

$$k_p(k+1) = k_p(k) + \eta_p e_p(k) e_p(k) 4 \frac{e^{-xy_s}}{(1 - e^{-xy_s})^2} \tag{2.44}$$

$$k_i(k+1) = k_i(k) + \eta_i e_p(k) e_i(k) 4 \frac{e^{-xy_s}}{(1 - e^{-xy_s})^2} \tag{2.45}$$

$$k_d(k+1) = k_d(k) + \eta_d e_p(k) e_d(k) 4 \frac{e^{-xy_s}}{(1 - e^{-xy_s})^2} \tag{2.46}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

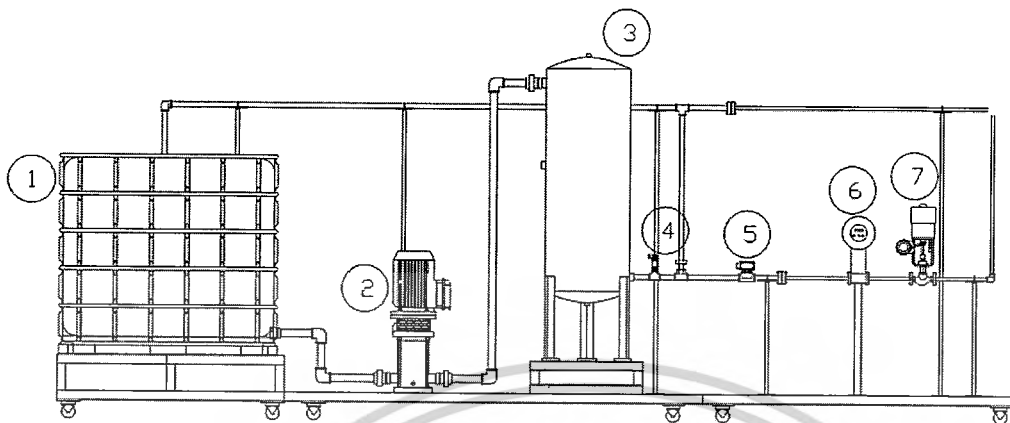
วิธีการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

ในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะการผลิตกระบวนการแบบต่อเนื่องและในการผลิตที่มีขนาดใหญ่ อย่างเช่น กระบวนการกลั่นน้ำมัน กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า กระบวนการถลุงเหล็ก ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนมาก การควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ รวมทั้งต้องประหยัดพลังงานด้วย เหล่านี้นับเป็นสิ่งสำคัญอันเป็นที่ต้องการสำหรับเจ้าของกิจการ โดยการนำเทคโนโลยีการวัดคุมและระบบควบคุมเข้ามาใช้งาน จึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการผลิตที่ดีตามต้องการ ในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบควบคุมได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ได้มีอุปกรณ์แบบใหม่ๆ ได้ถูกนำมาใช้ในงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการผลิต ซึ่งตัวควบคุมพีไอดีแบบแอนาล็อกซึ่งเคยถูกนำมาใช้แทนที่ตัวควบคุมพีไอดีแบบนิวแมติกกำลังจะล้าสมัยไปแบบสิ้นเชิง การนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมได้เข้ามาแทนที่เกือบจะทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณากันให้ลึกซึ้งจะพบว่าหลักการควบคุมของตัวควบคุมไม่ว่าจะเป็นแบบนิวแมติก แบบแอนาล็อก แบบดิจิตอล และแบบการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ยังคงใช้หลักการเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลงเพียงแต่พัฒนาการของระบบควบคุมจะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่มีขนาดเล็กลงระบบควบคุมใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมก็ยังคงเป็นแบบพี ไอ ดี หรือพี ไอ ดี นั้นเองไม่เปลี่ยนแปลง

ดังนั้น โครงการนี้ได้ศึกษาการรูปแบบออกแบบกระบวนการและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมอัตราการไหลของเหลวเพื่อควบคุมอัตราการไหล โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการติดตั้งโปรแกรม LabWindows/CVI สำหรับประมวลผลและวงจรแปลงสัญญาณ โหมดแรงดัน (0-10 V) และกระแส (4-20 mA) ของบริษัท NI รุ่น PCI-6014 และ PCI-6238 ตามลำดับ เพื่อเชื่อมต่อกับกระบวนการ ศึกษาการควบคุมความดันในถังโดยใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมความดัน ด้วยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ผ่านตัวควบคุมความเร็วรอบ สำหรับอุปกรณ์การวัดที่ใช้ในกระบวนการประกอบด้วย อุปกรณ์วัดความดัน (0-60 psi) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลขนาด 0.5 นิ้ว ซึ่งรวมทั้งตัวควบคุมอัตราการไหล ซึ่งก็คือ วาล์วควบคุมขนาด 0.5 นิ้ว ที่ได้รับการติดตั้งตัวควบคุมตำแหน่ง

3.2 การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์



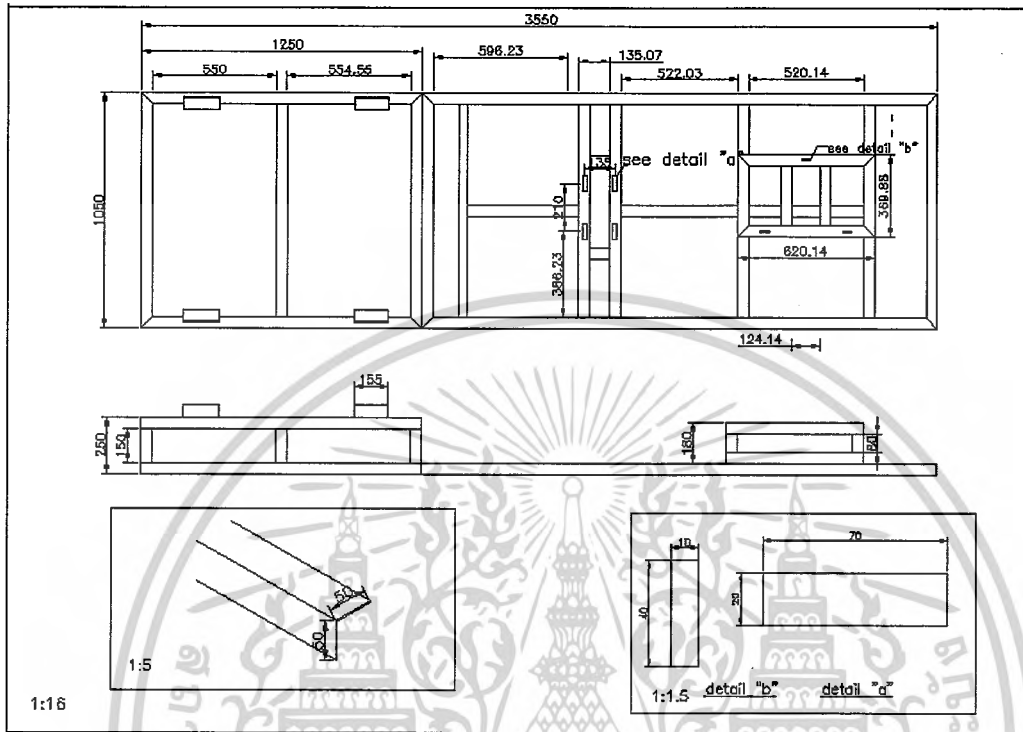
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของแพลนโดยรวม

1. ถังพักน้ำ
2. ปั๊มน้ำ
3. ถังอัดความดัน
4. อุปกรณ์วัดความดัน
5. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล
6. อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของวาล์ว

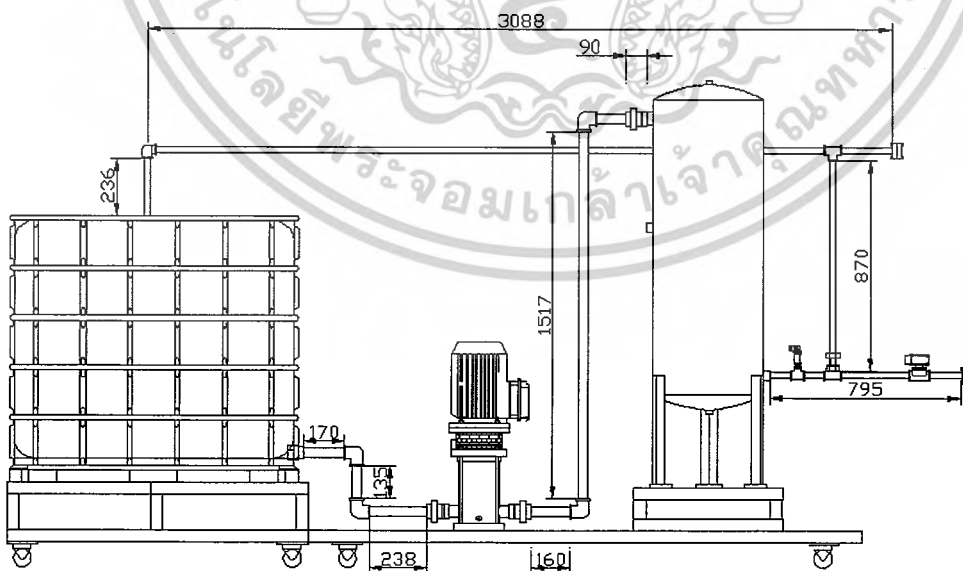
ในการออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์ เราจะแบ่งการออกแบบเป็นสองการควบคุม ซึ่งในแต่ละการควบคุมจะมีความสัมพันธ์กัน โดยในการควบคุมความดันเป็นการควบคุมในส่วนที่ 1 เพื่อจะเป็นการควบคุมความดันในถังอัดความดัน ในส่วนที่ 2 จะเป็นการควบคุมอัตราการไหล โดยการควบคุมอัตราการไหลของของเหลวจะใช้วาล์วควบคุมเป็นตัวควบคุมอัตราการไหล ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์กัน ถ้าความดันในถังอัดความดันต้องอัดให้คงที่การควบคุมการไหลก็จะทำได้ง่ายขึ้น แต่เมื่อความดันที่ทำการควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การควบคุมอัตราการไหลก็จะทำการควบคุมยาก จึงต้องทำการออกแบบควบคุมให้มีความเสถียรภาพตามต้องการ ซึ่งเราได้ใช้การควบคุมแบบพีไอดีเป็นตัวควบคุมกระบวนการซึ่งในโครงการนี้ เราได้ทำการควบคุมในส่วนที่ 1 โดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี ส่วนในการควบคุมในส่วนที่ 2 เราได้ทำการควบคุม โดยใช้การควบคุมแบบปรับค่าได้ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมซึ่งไม่ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ ซึ่งในการออกแบบจะใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์ควบคุมความดัน



ภาพที่ 3.2 การออกแบบฐานรองรับรูปควบคุมความดัน

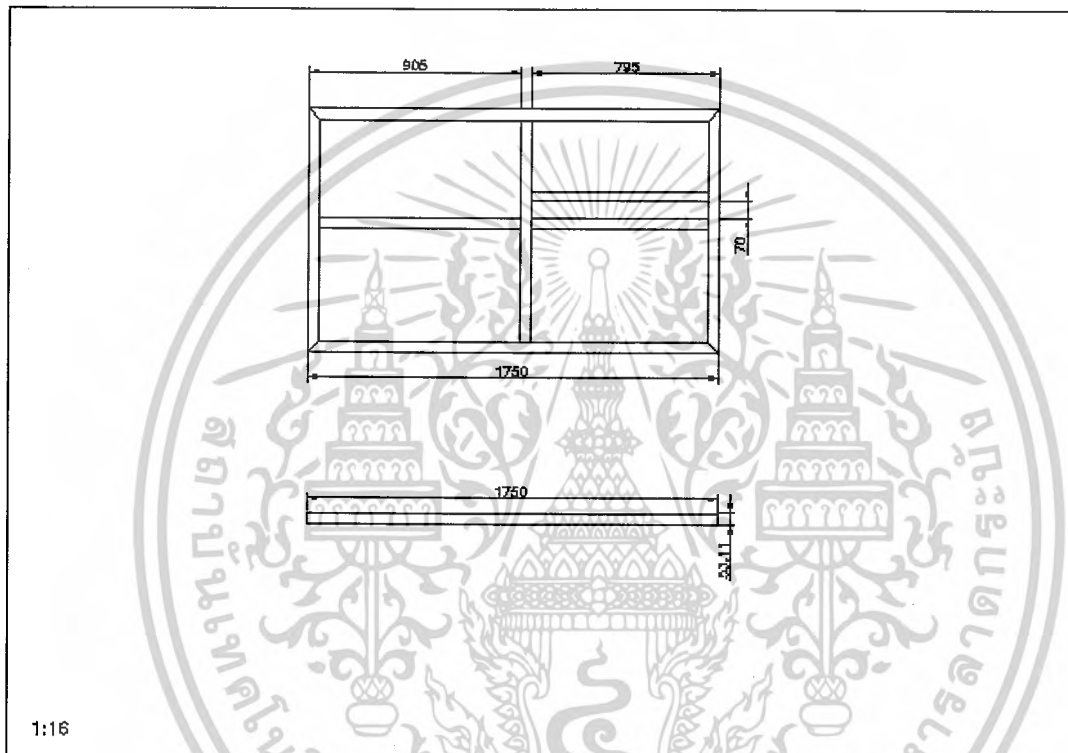


ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของกระบวนการรูปควบคุมความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

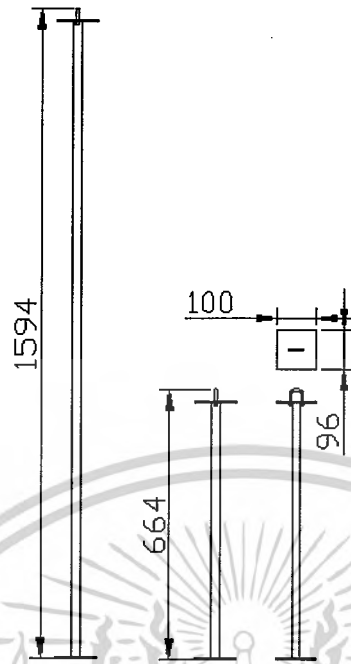
ในส่วน 1 นั้นเป็นการควบคุมความดันในถังอัดความดันซึ่งเราจะใช้ป้อนน้ำดูจากถังพักน้ำอัดน้ำเข้าไปที่ถังอัดความดัน ซึ่งท่อทางออกของถังอัดความดันก็จะติดอุปกรณ์วัดความดันไว้เพื่อตรวจวัดค่าความดันและส่งสัญญาณเอาที่พุ่งออกมาประมาณ 4-20 mA และนำค่าสัญญาณที่ได้ไปให้ส่วนของการควบคุม

3.2.2 การออกแบบโครงสร้างฮาร์ดแวร์รูปควบคุมอัตราการไหล

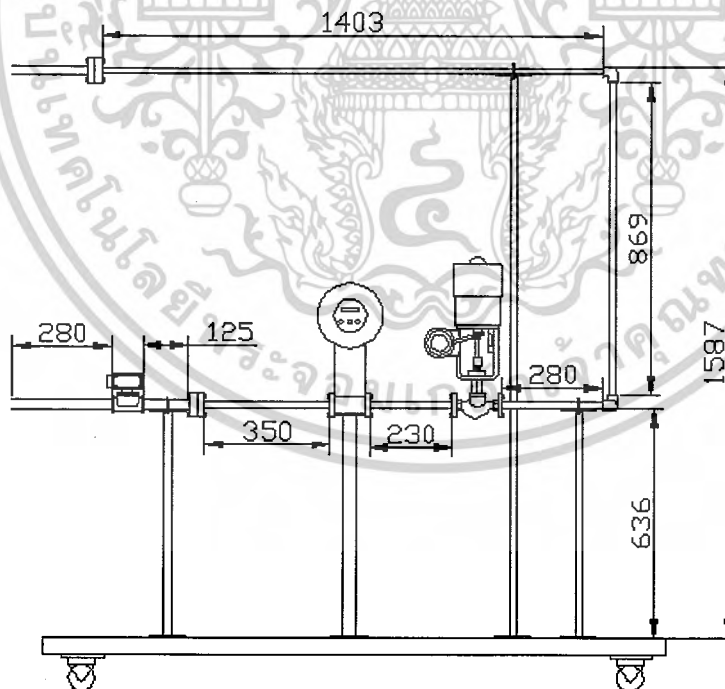


ภาพที่ 3.4 การออกแบบฐานรองรับรูปควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 การออกแบบตัวรองท่อที่ใช้ในกระบวนการ



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างของกระบวนการควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 จะเป็นการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ออกมาจากถังอัดความดัน ในส่วนนี้เราจะติดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเอาไว้เพื่อจะใช้วัดอัตราการไหลและให้สัญญาณเอาที่พุ่งออกมาเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA และนำค่าสัญญาณที่ได้ไปให้ส่วนของการควบคุมโดยโปรแกรม Lab Windows/CVI เพื่อทำการควบคุมการทำงานของ Control Valve ต่อไป

3.3 การเลือกอุปกรณ์

3.3.1 การเลือกปั๊ม

การเลือกปั๊มมาใช้ให้เหมาะสมกับงานจะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างรวมกันได้แก่

1. ชนิดของปั๊ม
2. ขนาดได้แก่ เฮด และอัตราการไหล
3. วัสดุของปั๊ม
4. อัตราพิกัดด้านความดันและอุณหภูมิ
5. ลักษณะการติดตั้ง
6. ลักษณะเฉพาะอื่น ๆ

แต่ละองค์ประกอบเหล่านี้ ก็มีได้มีความสำคัญยิ่งหย่อนกว่ากัน แต่สิ่งที่เราคำนึงถึงอันดับแรกในการออกแบบก็คืองานนั้น ๆ ต้องการปั๊มชนิดใด ขนาดเท่าไร

ขนาดของปั๊มซึ่งสามารถจะทำงานตามที่ต้องการได้นั้น จะพิจารณาในแง่ของอัตราการไหลและเฮดของปั๊มที่อัตราการไหลตามที่ออกแบบไว้ อัตราการไหลของของเหลว ในระบบนั้นขึ้นกับว่าเราต้องการให้มีการปั๊มปริมาณเท่าใดภายในเวลาเท่าใด หรือเรามีความต้องการใช้ปริมาณของเหลวในอัตราเท่าใด หน่วยที่ใช้กันมากได้แก่ แกลลอนต่อนาที (GPM) และลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

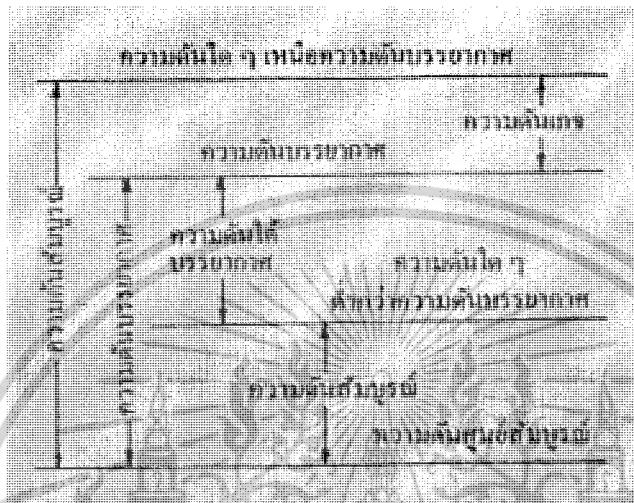
3.3.1.1 เฮด (Head)

“เฮด” หมายถึง พลังงานในรูปความสูงของของเหลวมีความเกี่ยวโยงโดยตรงกับ “ความดัน” ของของเหลวทั้งเฮดและความดันสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ดังนั้นก่อนที่จะพูดถึงเรื่องเฮดต่อไป เราควรทำความเข้าใจกับเรื่องความดันก่อน

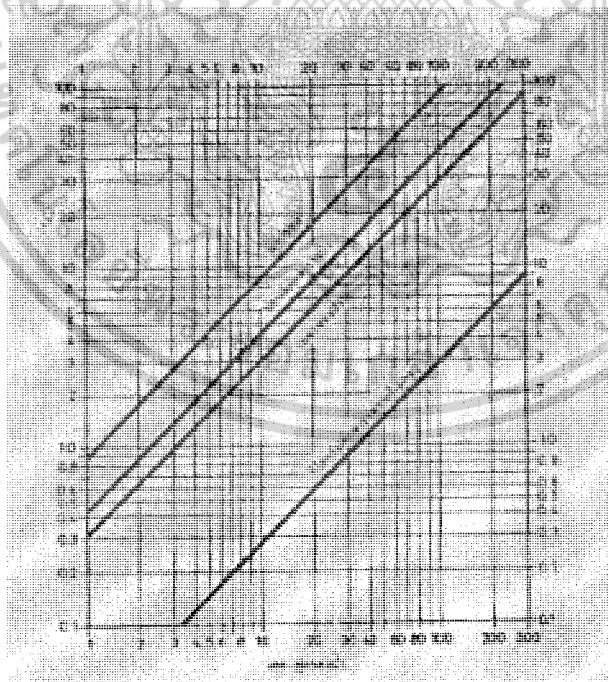
ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงต่อหน่วยพื้นที่ที่กระทำ ณ จุดใด ๆ คำว่า “แรง” อาจจะเป็นน้ำหนักของของเหลว หรืออื่น ๆ ที่กดทับอยู่บนพื้นที่ ณ จุด ๆ นั้น การบอกค่าความดันยังแบ่งเป็นหลายแบบ ขึ้นกับว่าเราจะตั้งบรรทัดฐานที่ตรงไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเอาความดันที่ “ศูนย์สัมบูรณ์” เป็นบรรทัดฐาน ค่าความดันนั้นจะเป็น “ความดันสัมบูรณ์” (absolute pressure) และถ้าใช้ความดันบรรยากาศเป็นบรรทัดฐาน ของความดันส่วนที่สูงกว่าความดันบรรยากาศจะเรียกว่า ความดันเหนือบรรยากาศหรือ “ความดันเกจ” (gauge pressure) ดังนั้นค่าความดันสัมบูรณ์จะเท่ากับความดันบรรยากาศบวกกับความดันเกจ ภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของความดันต่าง ๆ



ภาพที่ 3.8 ชาร์ทการเปลี่ยนค่าความดันเป็นเฮด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซต ดังได้กล่าวแล้วว่า เซต คือ พลังงานในรูปความสูงของของเหลว ดังนั้นหน่วยของเซตจะเป็นฟุตของเหลว เมตรของเหลว หรืออื่นๆ

3.3.2 การเลือกวาล์ว

การเลือกขนาดของวาล์วเราจำเป็นต้องทราบถึง ความสามารถสำหรับการไหลของวาล์วควบคุม (Capacity of Control Valve) หรืออัตราการไหล (Flow Rating) ก่อนความสามารถ สำหรับการไหลของวาล์วควบคุมนี้จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขของกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งค่าที่ใช้อธิบายถึงความสามารถของการไหลของวาล์วควบคุมก็คือค่า C_v นั่นเอง บริษัทผู้ผลิตวาล์วควบคุมทุกบริษัทกำหนดค่า C_v ของวาล์วไว้ (เป็นตารางหรือกราฟสำหรับใช้เลือกขนาดวาล์ว)

การเลือกขนาดของวาล์วควบคุมที่เหมาะสมนั้น เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในงานการควบคุมกระบวนการ ถ้าเลือกวาล์วที่มีขนาดใหญ่มากเกินไป ก็จะมีค่าความต้านทานไม่เพียงพอ (ยกเว้นช่วงขีดจำกัดของระยะปิดของวาล์ว) ในการควบคุมของไหลและถ้าเลือกใช้วาล์วขนาดเล็กเกินไปแล้ว ปริมาณการไหลที่ต้องการ (เมื่อวาล์วเปิดกว้างสุด) ก็ไม่สามารถไหลผ่านวาล์วที่มีขนาดเล็กเกินไปนี้ ได้การเลือกขนาดของวาล์วนั้นจำเป็นที่จะต้องรู้ค่า C_v ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.1

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G}}} \quad (3.1)$$

เมื่อ

V คือ อัตราไหลเข้าสู่สูงสุด GPM

ΔP คือ ความดันแตกต่างของระดับน้ำ

G คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

เมื่อเราคำนวณหาค่า C_v ได้แล้วเราก็ไปเปรียบเทียบกับ Catalog วาล์วในบริษัทต่างๆ ซึ่งเราต้องทำการเลือกวาล์วที่มีขนาดเล็กที่สุดที่มีค่า C_v ที่เราต้องการ จากนั้นคำนวณหาระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว แล้วนำไปเทียบกับช่วงชักของวาล์วที่เราเลือก จากนั้นนำไปหา Actuator ที่อยู่ในย่านที่ต้องการ

$$C_v \text{ ที่คำนวณได้} / C_v \text{ ของวาล์ว} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป การคำนวณหาขนาดของวาล์วและวาล์วควบคุม ให้เราเลือกวาล์วที่มีขนาดเล็กที่สุด เพื่อที่จะทำให้ค่าสูงสุดการไหลที่ต้องการไหลผ่านได้แล้วจะทำให้การควบคุมดีที่สุดประหยัดสูงสุดด้วย แต่จะต้องคำนึงถึงขนาดข้างหน้าในการขยายขบวนการผลิตด้วย ดังนั้นการเลือกที่เพื่อไว้ในอนาคตข้างหน้าเราควรเลือกวาล์วควบคุมเปิดใช้งานในช่วงทำงานปกติ อยู่ในช่วงชักอยู่ที่ 40-60 %

3.3.3 การเลือกอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

ในการวัดอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งในโครงการนี้เราใช้ Electromagnetic Flow Meter ในการวัดการอัตราไหลระบบท่อ ½ นิ้ว เป็นผลิตภัณฑ์ของ YOKOGAWA แต่เนื่องจากคอนโทรลวาล์วที่มีขนาดของท่อ ½ นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลในท่อจึงเหมาะแก่การใช้งาน ซึ่งสามารถปรับย่านการวัดใช้งานได้และยังสามารถปรับเปลี่ยนหน่วยการวัดพื้นที่ได้



ภาพที่ 3.9 รูปของตัววัดอัตราการไหล

3.3.4 การเลือกการเลือกอุปกรณ์วัดความดัน

ระดับความดันที่เราต้องการควบคุมนั้น อยู่ที่ 0-30 psi จึงเลือกใช้ Pressure Transmitter ที่มีขนาดย่านวัดที่มากกว่าหรือกับขนาดที่เราต้องการ ดังนั้นในโครงการนี้เราใช้ Pressure Transmitter ขนาดของย่านวัดที่มากกว่าคือ 0-60 psi

3.4 การออกแบบระบบท่อ

การออกแบบระบบท่อนั้นจะพูดถึงหลักสำคัญหลายๆ ที่ต้องพิจารณา เช่น วัสดุท่อ ผิวในท่อ ความดันลดในท่อ สิ่งเหล่านี้มีผลต่ออายุการใช้งาน ค่าบำรุงรักษา ต้นทุน ของเหลวที่เกี่ยวข้อง กับบัพริญญาณิพนธ์นี้จะเน้นเฉพาะน้ำและไอน้ำเท่านั้น

3.4.1 หัวข้อที่จะพิจารณาในการออกแบบท่อ

3.4.1.1 วัสดุ

วัสดุที่เราใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับของเหลวในท่อดังนี้

- น้ำเย็นมากอย่างที้ออกจากเครื่องทำความเย็น (Chilled Water) จะใช้เป็นเหล็กดำ เหล็กชุบ สังกะสี หรือท่อทองแดง ท่อชนิดนี้จะหุ้มฉนวนไว้ภายนอกท่อ
- น้ำเย็นธรรมดา เช่น น้ำคูลลิ่งเทอเวอร์หรือน้ำประปา จะใช้ท่อชุบสังกะสีหรือเป็นทองแดง ไม่ค่อยใช้ท่อเหล็ก เนื่องจากว่าท่อน้ำเย็นเหล่านี้มักไม่มีฉนวนหุ้ม เพียงแต่ทาสีกันสนิมไว้ ซึ่งไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวจับอยู่ที่ผิวภายนอกท่อ ถ้าใช้ท่อเหล็กดำทาสีไว้สีเมื่อได้รับความชื้นก็จะลอกออก จากนั้นก็จะเป็นสนิม
- น้ำที่กลั่นจากไอน้ำ (Condensat Water) จะใช้ท่อชุบสังกะสี หรือท่อเหล็กดำ หรือท่อทองแดง

3.4.1.2 ขีดจำกัดการใช้งาน

จำเป็นที่จะต้องมีส่วนที่ต้องพิจารณาคืออุณหภูมิและความดัน การออกแบบท่อให้คิดตามมาตรฐาน ASA

3.4.1.3 การขยายตัวของท่อ

ในเมื่อท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีความยืดและหดตัวตามแนวยาวของท่อ จึงต้องออกแบบให้คลายความเค้นในท่อก็คือ

- การงอท่อให้เป็นรูปตัวยูและออฟเซ็ท (Loops and Offsets)
- ใช้เอ็กแพนชันจอยท์ (Expansion joint) ซึ่งมีสองแบบ คือ แบบเลื่อนและแบบลอนแบบเลื่อนมีข้อเสียดตรงที่มันต้องใช้แพคกิ้ง (Packing) และการหล่อลื่น และต้องมีแนวท่อไกลตามแนวยาว แบบเป็นลอนจะเหมาะกับระยะสั้น แต่ก็ต้องการแนวให้ท่อไกลเหมือนกัน
- ท่ออ่อน เช่น ยาง จะใช้กับท่อขนาดเล็กเท่านั้น เพราะถ้าจะใช้กับท่อขนาดใหญ่จะต้องใช้ท่อที่มีความยาวมากจึงจะได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

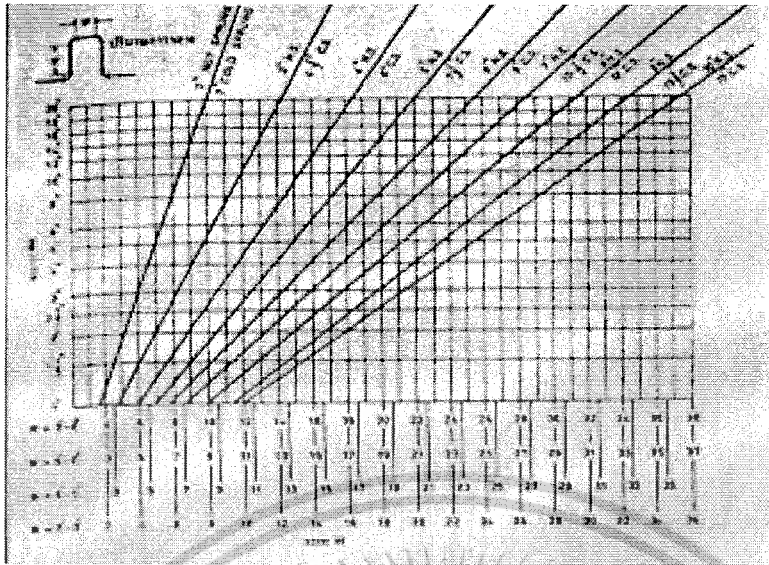
ตารางที่ 3.1 แสดงระยะที่ขยายของท่อเหล็กและทองแดงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
(นิ้วต่อ 100)

ช่วงอุณหภูมิ °F	ท่อทองแดง	ท่อเหล็ก
0	0	0
50	0.56	0.37
100	1.12	0.76
150	1.69	1.15
200	2.27	1.55
250	2.85	1.96
300	3.45	2.38
350	4.05	2.81
400	4.65	3.25
450	5.27	3.70
500	5.89	4.15

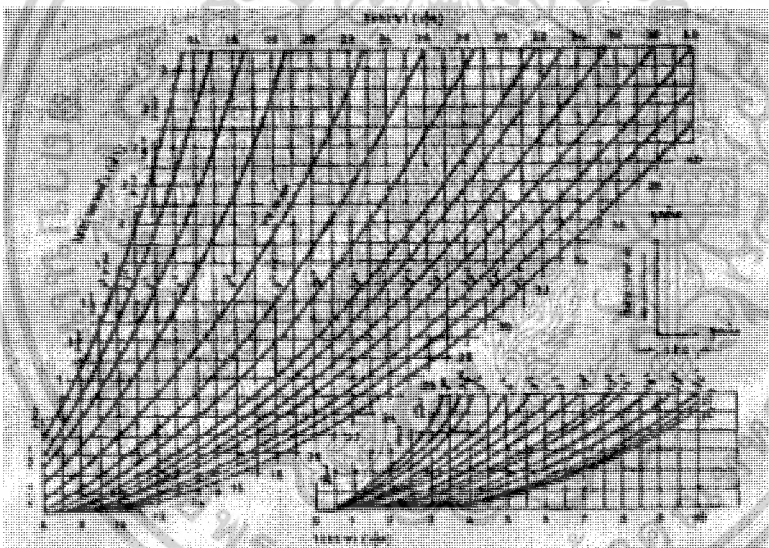
ตารางที่ 3.2 แสดงขนาดของตัว “u” และออฟเซ็ทของลวดทองแดง

ขนาด ท่อ (นิ้ว)	ความยาว L (นิ้ว) สำหรับระยะขยายตัว							
	½"	1"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"
⅞	10	15	19	22	25	27	30	34
1⅛	11	16	20	24	27	29	33	38
1⅜	11	17	21	26	29	32	36	42
1⅝	12	18	23	28	31	35	39	46
2⅛	14	20	25	31	34	38	44	51
2⅝	16	22	27	34	37	42	47	56
3⅛	18	24	30	37	39	45	53	60
4⅛	20	28	34	39	44	48	58	66
5⅛	22	31	39	44	49	54	62	70
6⅛	24	34	42	48	54	59	68	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 แสดงขนาดตัว “น” เพื่อรับการขยายตัวของท่อเหล็ก



ภาพที่ 3.11 แสดงการหาระยะ “ขา” ของออฟเซ็ทของท่อเหล็ก

จากภาพที่ 3.10 แสดงการหาขนาดของตัวยู ดูตัวอย่าง เช่น เรามีท่อขนาด 4 นิ้ว ซึ่งจากตารางที่ 3.10 สมมติให้ในระยะ 100 ฟุต เราหาได้ว่ามันผลจากขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 3 นิ้ว จากนั้นมาดูภาพที่ 3.11 เราจะหาขนาดตัวยูที่สามารถรับการขยายตัวได้ 3 นิ้วได้จากแนวอนที่ลาดออกจากขนาดท่อ 4 นิ้ว มาตัดเส้นเอียงเส้นที่สามนิ้วที่ปลายเส้นเอียง จะมีเลขกำกับอยู่ซึ่งตัวเลขนี้คือระยะที่ตัวยูสามารถหัดได้ นอกจากนี้ยังมีคำภาษาอังกฤษว่า HOT SPRUNG และ COLD SPRUNG การทำตัวยูให้เกิด COLD SPRUNG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้นั้นก่อนที่จะใส่ตัวลงไปเข้ากับท่อตรง เราจะตัดท่อตรงให้สั้นลงประมาณ 50% ของท่อที่ขยายตัว ในที่นี้ขยายตัว 3 นิ้ว ก็ตัดท่อตรงออกนิ้วครึ่ง เมื่อจะใส่ตัวจึงต้องง้างออกเล็กน้อย ดังนั้นจะติดตัวอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ ตัวจะคลายกับสปริงตัวหนึ่งจึงเรียกการติดตั้งแบบนี้ว่า COLD SPRUNG ถ้าหากทำ COLD SPRUNG จะสามารถลดขนาดตัวยูงได้ ขณะที่ขนาดขยายเท่ากัน การใส่ตัวยูงโดยไม่ทำ COLD SPRUNG ก็เรียกว่า HOT SPRUNG

ภาพที่ 3.11 เป็นรูปสำหรับหาขนาดของออฟเซทของท่อเหล็ก สมมุติว่าท่อจะขยาย 2 นิ้ว ตำแหน่งที่ท่อหักมุมเปลี่ยนทิศทางหรือที่เรียกว่าออฟเซ็ท (offset) จะสามารถรับการยึดได้ ถ้าเรายึดท่อที่ระยะห่างจากหัวมุมท่อในระยะพอสมควร ระยะนี้เรียกว่า ขา

3.4.1.4 การยึดท่อ

เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบท่อก็คือ ตัวรับน้ำหนักท่อ (Support) และตัวยึดท่อ (Anchors) ตัวรับน้ำหนัก จะคอยรับน้ำหนักของท่อ ข้อต่อวาล์ว ของเหลวในท่อและฉนวนหุ้มถ้ามีและคอยรักษาระดับท่อให้อยู่ในแนว ถ้าหากท่อกมีการยึดหยุ่นตัวรับน้ำหนัก จำเป็นต้องมีผิวเรียบและมีระยะห่างพอสมควร

ตารางที่ 3.3 ระยะห่างระหว่างตัวรับน้ำหนักของท่อเหล็กสเก็ชคู่ 40

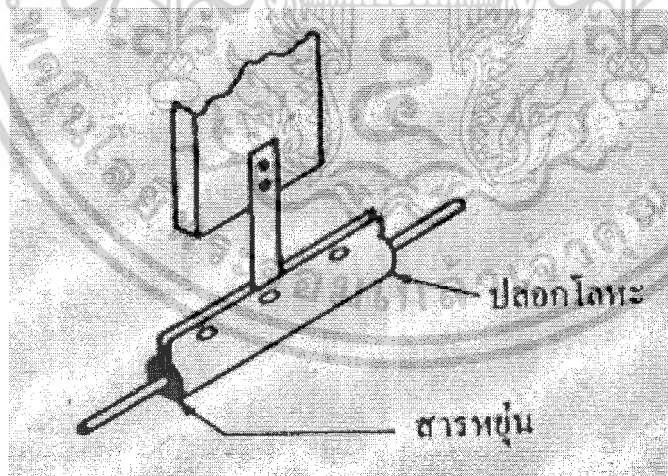
ขนาดท่อ(นิ้ว)	ระยะห่างระหว่างตัวรับน้ำหนักท่อ(ฟุต)
$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{4}$	8
$1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{2}$	10
$3 - 3\frac{1}{2}$	12
4 - 6	14
8 - 12	16
14 - 24	20

ตารางที่ 3.4 ระยะระหว่างตัวรับน้ำหนักของท่อทองแดง

ขนาดท่อ (นิ้ว)	ระยะห่างระหว่างตัวรับน้ำหนักท่อ (ฟุต)
$\frac{5}{8}$	6
$\frac{7}{8} - 1\frac{1}{8}$	8
$1\frac{3}{8} - 2\frac{1}{8}$	10
$2\frac{5}{8} - 5\frac{1}{8}$	12
$6\frac{1}{8} - 8\frac{1}{8}$	14

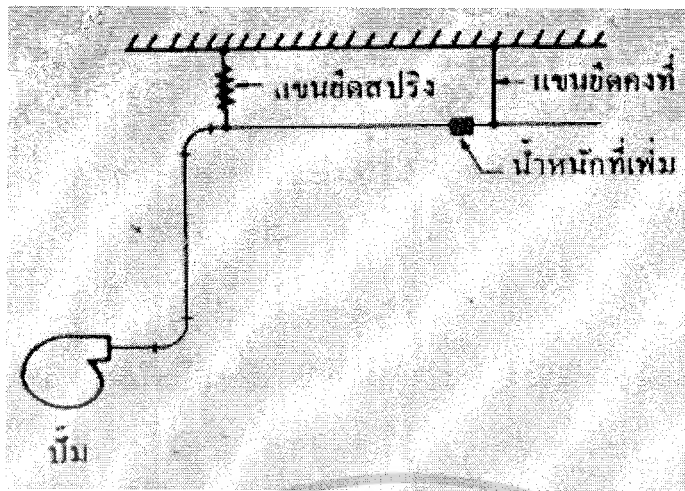
3.4.1.5 การสันตะเทือน

การสันตะเทือนนั้นมึผลเสียต่อระบบโดย ผลเสียของการสันตะเทือนคือ ทำให้ท่อนั้นเสียหายได้และยังพลอยทำให้ส่วนอื่นให้เสียหายไปด้วย บางทีก็เกิดเสียงรบกวนทางระบบ การยึดท่อต้องวางในตำแหน่งที่เหมาะสม ตัวรองรับท่อต้องมีหน้ากว้างพอสมควร ควรยึดท่อตรงที่เกิดการสันตะเทือน ควรจะปรับปรุงตำแหน่งของการยึด เพื่อให้แก้ไขเสียงที่เกิดขึ้นให้หายไป ส่วนสุดท้ายคือใช้เครื่องป้องกันการสันตะเทือนตามรูป

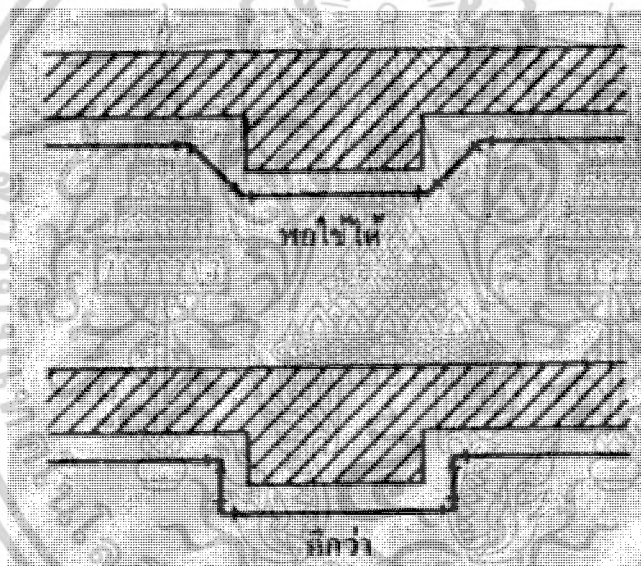


ภาพที่ 3.12 การยึดท่อด้วยปลอกโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

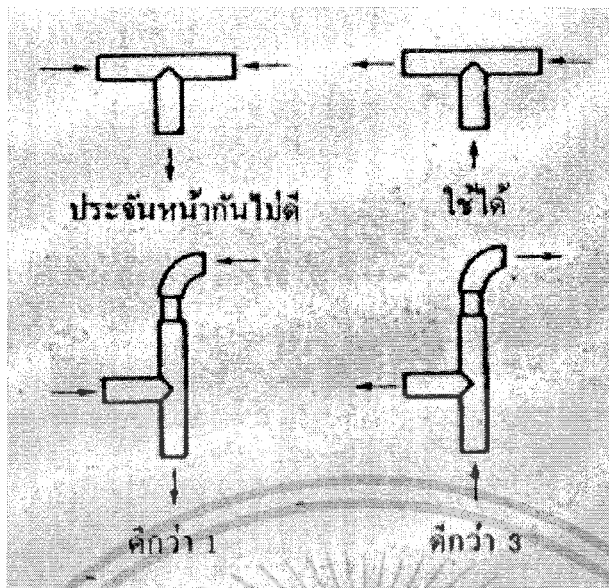


ภาพที่ 3.13 การยึดท่อด้วยแขวนยึด



ภาพที่ 3.14 การยึดท่อเข้ามูม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 การต่อท่อโดยคูทิสทางการไหล

3.4.1.6 ข้อต่อ

ปัญหาของข้อต่อที่เกิดกับการออกแบบระบบท่อ คือความดันลด (Pressure Loss) ของ 90 องศา มีส่วนสำคัญมากที่สุด ถ้าหลีกเลี่ยงการใช้ท่อของ 90 องศา ได้ก็ควรหลีกเลี่ยง เช่น ใช้ข้องอ 45 องศา แทนตัวสามทาง ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการประจันหน้าของภาพที่ 3.15 และควรที่จะหลีกเลี่ยงการกระแทกอย่างรุนแรงทางด้านขวา

ตารางที่ 3.5 ความดันลดข้อต่อคิดเป็นความยาวเมื่อเทียบกับเท่ากับท่อรูปข้อต่อท่อ

NOMINAL PIPE OR TUBE SIZE (in)	SMOOTH BEND ELBOWS						Flow-Thru Branch	SMOOTH BEND TEES			MITRE ELBOWS			
	90° Std	90° Long Rad t.	90° Street	45° Std	45° Street	180° Std		Straight-Thru Flow No Reduction	Reduced 1/4	Reduced 1/2	90° Ell	60° Ell	45° Ell	30° Ell
3/8	1.4	0.9	2.3	0.7	1.1	2.3	2.7	0.9	1.2	1.4	2.7	1.1	0.6	0.3
1/2	1.6	1.0	2.5	0.8	1.3	2.5	3.0	1.0	1.4	1.6	3.0	1.3	0.7	0.4
3/4	2.0	1.3	3.2	0.9	1.6	3.2	4.0	1.4	1.8	2.0	4.0	1.6	0.9	0.5
1	2.6	1.7	4.1	1.3	2.1	4.1	5.0	1.7	2.3	2.6	5.0	2.1	1.0	0.7
1 1/4	3.3	2.3	5.6	1.7	3.0	5.6	7.0	2.3	3.1	3.3	7.0	3.0	1.5	0.9
1 1/2	4.0	2.6	6.3	2.1	3.4	6.3	8.0	2.6	3.7	4.0	8.0	3.4	1.6	1.1
2	5.0	3.3	8.2	2.6	4.5	8.2	10	3.3	4.7	5.0	10	4.5	2.3	1.3
2 1/2	6.0	4.1	10	3.2	5.2	10	12	4.1	5.6	6.0	12	5.2	2.8	1.7
3	7.5	5.0	12	4.0	6.4	12	15	5.0	7.0	7.5	15	6.4	3.2	2.0
3 1/2	9.0	5.9	15	4.7	7.3	15	18	5.9	8.0	9.0	18	7.3	4.6	2.4
4	10	6.7	17	5.2	8.5	17	21	6.7	9.0	10	21	8.5	4.5	2.7
5	13	8.2	21	6.5	11	21	25	8.2	12	13	25	11	5.0	3.2
6	16	10	25	7.9	13	25	30	10	14	16	30	13	7.0	4.0
8	20	13	-	10	13	33	40	13	18	20	40	17	9.0	5.1
10	25	16	-	13	-	42	50	16	23	25	50	21	12	7.2
12	30	19	-	16	-	50	60	19	26	30	60	25	13	8.0
14	34	23	-	18	-	55	68	23	30	34	68	29	15	9.0
16	38	26	-	20	-	62	76	26	33	38	76	31	17	10
18	42	29	-	23	-	70	85	29	40	42	85	37	19	11
20	50	33	-	26	-	81	100	33	44	50	100	41	22	13
24	60	40	-	30	-	94	115	40	50	60	115	49	25	16

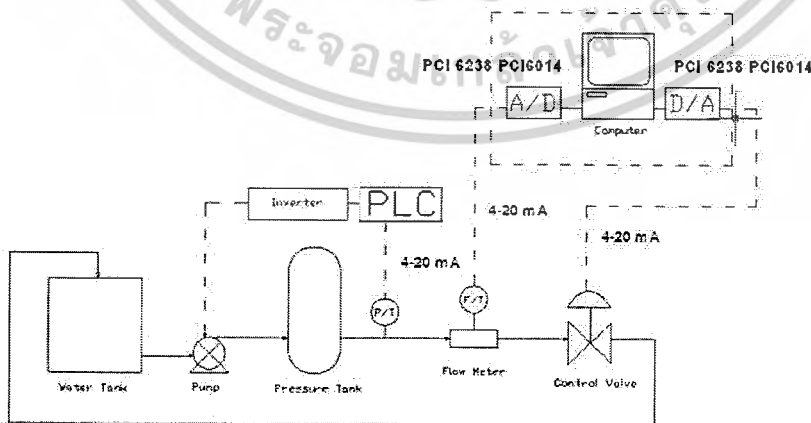
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ความดันลดข้อต่อคิดเป็นความยาวเมื่อเทียบกับเท่ากับท่อรูปข้อต่อท่อ

NOM. PIPE OR TUBE SIZE (in)	SUDDEN ENLARGEMENT d/D			SUDDEN CONTRACTION d/D			SHARP EDGE		PIPE PROJECTION	
	1/4	1/2	3/4	1/4	1/2	3/4	Entrance	Exit	Entrance	Exit
3/8	1.4	0.8	0.3	0.7	0.5	0.3	1.5	0.8	1.5	1.1
1/2	1.8	1.1	0.4	0.9	0.7	0.4	1.8	1.0	1.8	1.5
3/4	2.5	1.5	0.5	1.2	1.0	0.5	2.8	1.4	2.8	2.2
1	3.2	2.0	0.7	1.6	1.2	0.7	3.7	1.8	3.7	2.7
1 1/4	4.7	3.0	1.0	2.3	1.8	1.0	5.3	2.6	5.3	4.2
1 1/2	5.8	3.6	1.2	2.9	2.2	1.2	6.6	3.3	6.6	5.0
2	8.0	4.8	1.6	4.0	3.0	1.6	9.0	4.4	9.0	6.8
2 1/2	10	6.1	2.0	5.0	3.8	2.0	12	5.6	12	8.7
3	13	8.0	2.6	6.5	4.9	2.6	14	7.2	14	11
3 1/2	15	9.2	3.0	7.7	6.0	3.0	17	8.5	17	13
4	17	11	3.8	9.0	6.8	3.8	20	10	20	16
5	24	15	5.0	12	9.0	5.0	27	14	27	20
6	29	22	6.0	15	11	6.0	33	19	33	25
8	—	25	8.5	—	15	8.5	42	24	42	35
10	—	32	11	—	20	11	60	29	60	46
12	—	41	13	—	25	13	73	37	73	57
14	—	—	16	—	—	16	86	45	86	66
16	—	—	18	—	—	18	96	50	96	77
18	—	—	20	—	—	20	115	58	115	90
20	—	—	—	—	—	—	142	70	142	108
24	—	—	—	—	—	—	163	83	163	130

3.5 แนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม

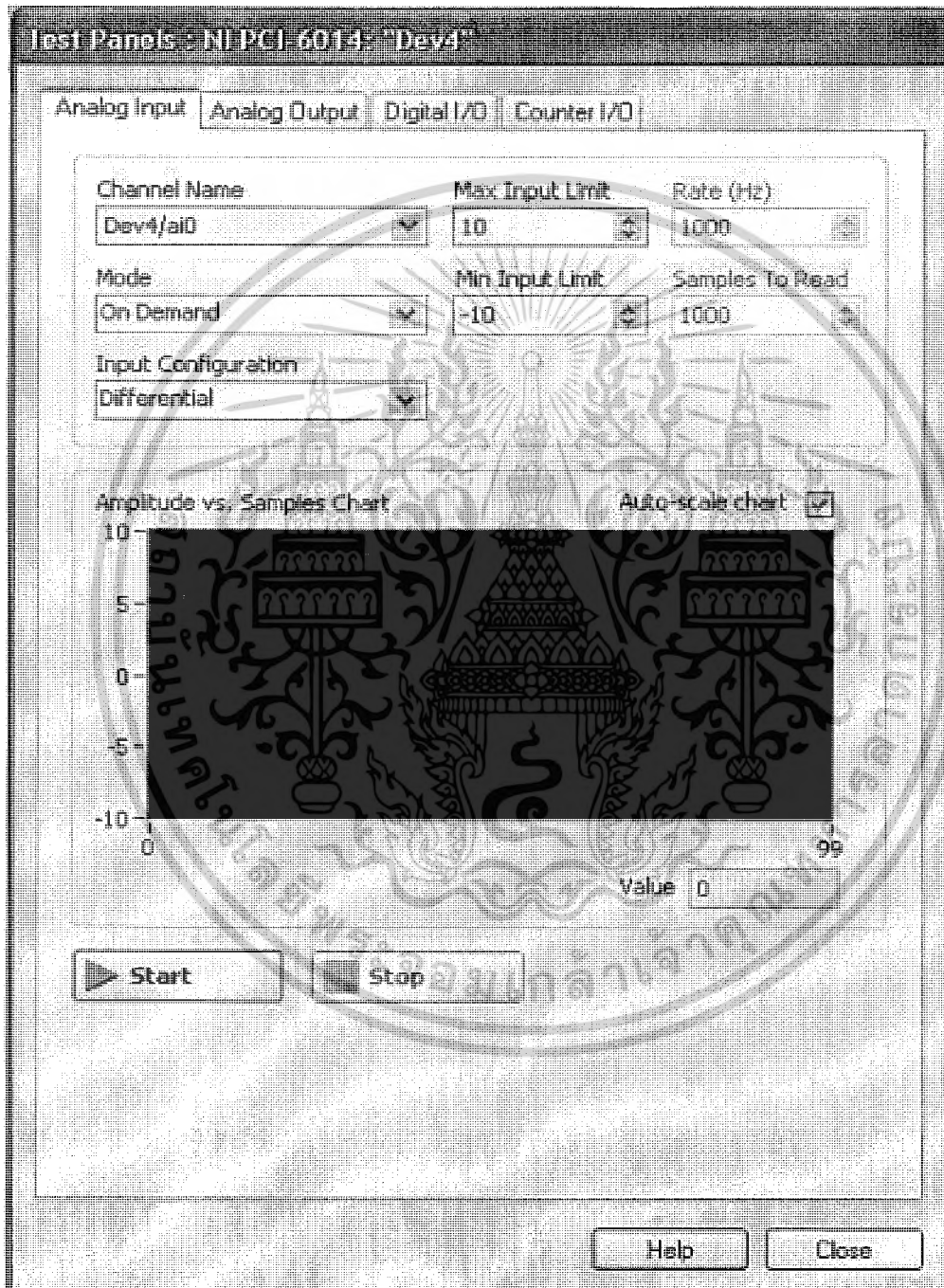
ระบบควบคุมของโครงการนี้ เพื่อเป็นการศึกษาเรื่องการไหลและความดันสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางการวัดการไหลโดยใช้โปรแกรม LabWindows/CVI เพื่อรับและส่งค่าสัญญาณมาตรฐาน ที่ทำการควบคุมกระบวนการทางการไหล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการควบคุมความดัน โดยรับค่าจากค่าสัญญาณจากอุปกรณ์วัดความดันและอุปกรณ์วัดความอัตราการไหลเพื่อกระทำเปรียบเทียบการวัด เพื่อทำการควบคุมความเร็วของปั๊มและเปิด-ปิดวาล์วควบคุมโดยที่มีตัวควบคุมของก้านวาล์วเพื่อเป็นตัวแปลงสัญญาณจากกระแสเป็นแรงดันนิวแมติกส์และทำการควบคุมก้านวาล์วอีกด้วย ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 การต่ออุปกรณ์เข้ากับส่วนควบคุม

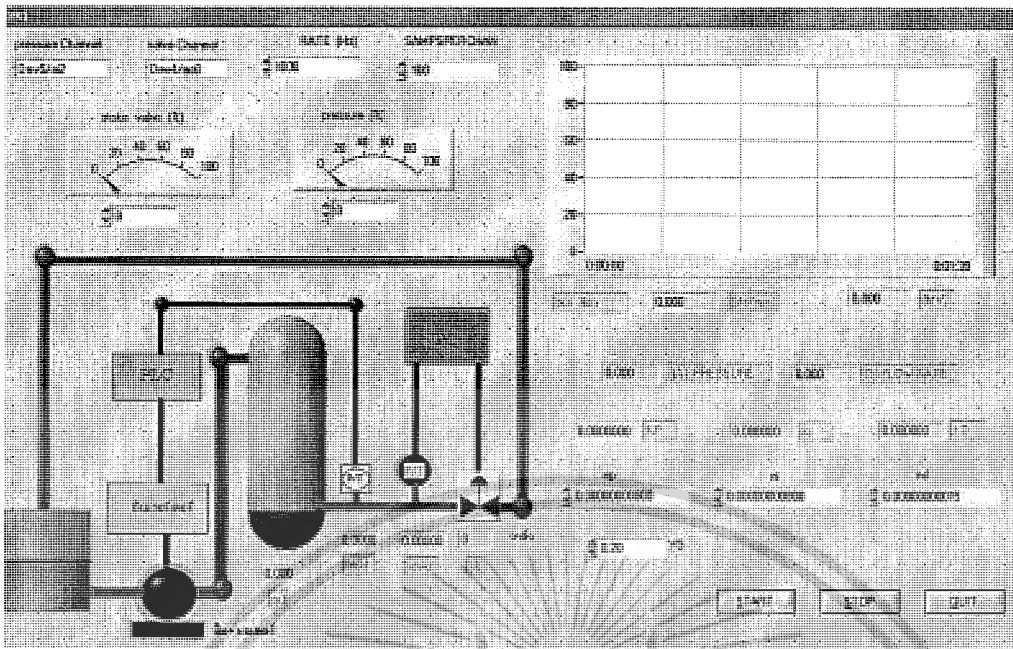
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทดลองนี้ เราทำการควบคุมความดัน เมื่อปั้มน้ำเข้าถังอัดความดันก็จะทำให้ อุปกรณ์วัดความดันส่งสัญญาณกระแสเพิ่มขึ้นเพื่อทำการควบคุมความดัน ส่วนการควบคุมในส่วนที่สองจะทำการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้โปรแกรม Lab Windows/CVI ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันทั้งสองกระบวนการ



ภาพที่ 3.17 หน้าตาโปรแกรมทดสอบการ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.18 หน้าต่างแผงของโปรแกรม Lab windows/CVI

3.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี

การนำตัวควบคุม PID ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ จำเป็นต้องทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามความต้องการซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID นี้สามารถทำได้หลายวิธี อาจพิจารณาจากผลตอบสนองของกระบวนการ จากการทดสอบกระบวนการหรืออาศัยประสบการณ์จากตัวควบคุม บางวิธีอาจจะอาศัยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์และส่วนใหญ่ ซึ่งจะพิจารณาจากเงื่อนไขในรูปแบบของโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่ ซึ่งวิธี Ziegler-Nichols นี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในทางปฏิบัติ

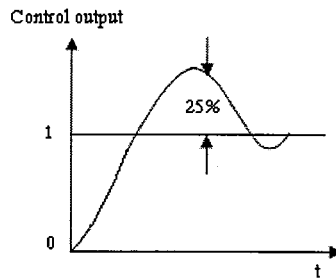
3.6.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีโดยวิธีซิกเลอร์นิคอส

การหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะผลตอบสนองชั่วคราวของกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. วิธีลูปเปิด (Process Reaction Curve)
2. วิธีลูปปิด (Ultimate Method)

ซึ่งแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมาย ที่จะทำให้ผลตอบสนองต่อเวลาของกระบวนการต่ออินพุทแบบขั้นบันได มีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25% ดังแสดงในภาพที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



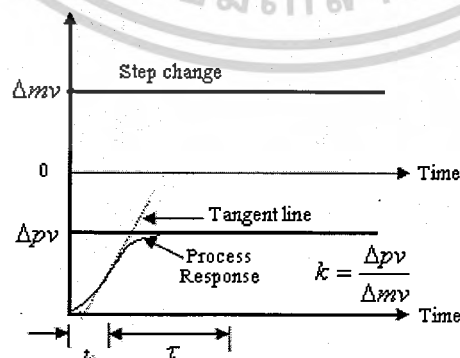
ภาพที่ 3.19 แสดงค่าพุ่งเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีซิกเลอร์นิโคล

3.6.1.1 วิธีการทดลองแบบรูปเปิด (Process Reaction Curve)

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนอง ของกระบวนการ แบบรูปเปิดที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได โดยที่กระบวนการในกรณีนี้จะไม่มีค่า Pole ที่จุด Origin หรือ ไม่มี Dominant complex conjugate poles ดังนั้นผลตอบสนองของเวลาจะได้ในลักษณะเป็นรูปตัว S (ถ้าผลตอบสนองของเวลาไม่มีลักษณะเป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากผลตอบสนองต่อเวลา สามารถแยกพิจารณาเป็นค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ (Delay time: t_0) และเวลาคงที่ของกระบวนการ (Time Constant: T) โดยลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เส้นนี้จะตัดกับแกนเวลา และเส้นตรงของเอาท์พุต $C(t)$ ที่ $C(t) = K$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งแบบมีการหน่วงเวลา (FOPDT) ดังสมการ (3.2)

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-t_0s}}{Ts + 1} \quad (3.2)$$



ภาพที่ 3.20 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อปรับ โดยใช้วิธีรูปเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

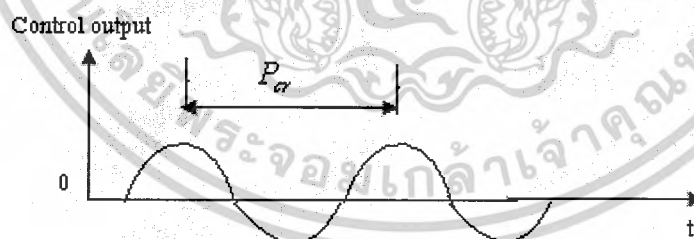
Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p, T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆดังตาราง

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Process Reaction Curve

Controller Type		Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time 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-Integral-Derivative	PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$2.0t_0$	$0.5t_0$

3.6.1.2 วิธีการทดลองแบบลูปิด (Ultimate Method)

วิธีนี้ จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองของกระบวนการแบบลูปิด ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P ต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได โดยปรับค่า K_p ไปเรื่อยๆ จนผลตอบสนองของกระบวนการเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีการนี้จะใช้ไม่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง ใช้วิธีลูปิด

เมื่อ

K_{cr} (Critical Gain) คือ อัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (Oscillation Period) คือ คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p, T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังตาราง

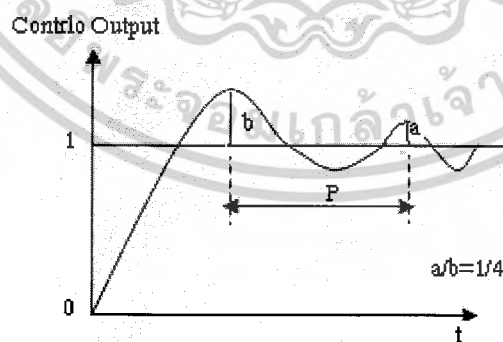
ตารางที่ 3.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Ultimate Method

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

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้นอาจไม่ใช่เป็นค่าที่เที่ยงตรงที่จะนำไปใช้งานได้ทันทีและมีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25 % ตามที่กล่าวไว้แต่ค่าที่ได้อาจจะเพียงแค่ออกใกล้เคียงเท่านั้น หรือไม่ใกล้เคียงก็ตาม ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

3.6.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีโดยวิธีการแกว่งแบบหน่วง

วิธีปรับปรุงมาจากวิธี Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับค่าของ K_p ไปอย่างไรก็ตาม แต่ผลตอบสนองต่อเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4เมื่อปรับโดยวิธีวิธีการแกว่งกวัดแบบหน่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี Damped Oscillation นี้ ปรับค่าของ K_p ไปจนเรื่อยจนผลตอบสนองต่อเวลาของระบบควบคุมแบบลูปปิดมีอัตราเสื่อม 1/4 ดังภาพ จากนั้นวัดค่าของ P และใช้ค่า $K_p (1/4)$ เพื่อคำนวณหา ค่า K_p, T_i และ T_d ดังนี้

$$K_p = (1/4)$$

$$T_i = P/1.5$$

$$T_d = P/6$$

3.6.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุม PID แบบปรับค่าได้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า η_p, η_i และ η_d

$$\text{อย่างเช่น } \eta_p = 8 \times 10^{-9}, \eta_i = 8 \times 10^{-9} \text{ และ } \eta_d = 15 \times 10^{-9}$$

ขั้นตอนที่ 2 อ่านข้อมูลค่าที่ต้องการ (Set Point : SP) และตัวแปรกระบวนการ (Process Variable : PV)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณ

$$x = K_p e_p + K_i e_i + K_d e_d$$

$$f'(x) = 4 \frac{e^{x/y_s}}{(1 - e^{-x/y_s})^2}$$

$$\frac{K_p}{K} (kT + T) = K_{p+1} = K_d + \eta_d e_p e_d f'(x)$$

(3.3)

$$e_i(k) = \sum_{n=1}^k e_p(n) \Delta T \quad (3.4)$$

โดยที่ ΔT คือเวลาสุ่มตัวอย่าง (Sampling time)

$$e_p(k) = \frac{e_p(k)(1 - z^{-1})}{\Delta T} = \frac{e_p(k) - e_p(k-1)}{\Delta T} \quad (3.5)$$

ตัวอย่างการคำนวณกรณีสุ่มตัวอย่างมา 3 ค่า

$$e_p(kT) = SP(kT) - PV(kT) \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SP(kT) = sp, PV(kT) = pv, e_p(kT) = e_p$$

$$e_p(kT - T) = SP(kT - T) - PV(kT - T) \quad (3.7)$$

$$SP(kT - T) = sp_{-1}, PV(kT - T) = pv_{-1}, e_p(kT - T) = e_{p-1}$$

$$e_p(kT - 2T) = SP(kT - 2T) - PV(kT - 2T) \quad (3.8)$$

$$SP(kT - 2T) = sp_{-2}, PV(kT - 2T) = pv_{-2}, e_p(kT - 2T) = e_{p-2}$$

จะได้

$$e_i(k) = e_i = e_p \Delta T + e_{p-1} \Delta T + e_{p-2} \Delta T \quad (3.9)$$

และ

$$e_d(k) = e_d = \frac{e_p - e_{p-1}}{\Delta T} \quad (3.10)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวน

$$x(kT) = K_p(kT)e_p(kT) + K_i(kT)e_i(kT) + K_d(kT)e_d(kT) \quad (3.11)$$

หรือ

$$x = K_p e_p + K_i e_i + K_d e_d \quad (3.12)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวน

$$f'(x) = 4 \frac{e^{xy_g}}{(1 - e^{-xy_g})^2} \quad (3.13)$$

โดยกำหนดให้ Y_g มีค่าในช่วง 0.2-0.8

ขั้นตอนที่ 6 คำนวน

$$K_p(kT + T) = K_{p+1} = K_p + \eta_p e_p^2 f'(x) \quad (3.14)$$

$$K_i(kT + T) = K_{i+1} = K_i + \eta_i e_p e_i f'(x) \quad (3.15)$$

$$K_d(kT + T) = K_{d+1} = K_d + \eta_d e_p e_d f'(x) \quad (3.16)$$

โดยที่ K_{p+1} , K_{i+1} และ K_{d+1} คือค่าพารามิเตอร์ของ PID ใหม่ที่ผ่านการปรับค่า

K_p , K_i และ K_d คือค่าพารามิเตอร์ของ PID เดิม

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 กล่าวนำ

จากการทดลองได้แบ่งการทดลองได้เป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมความดันโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ และการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้ เพื่อใช้ทดลองให้สอดคล้องกับทฤษฎีการควบคุมที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากโครงการนี้ต้องการวัดอัตราการไหลให้ได้ผลตอบสนองดีที่สุด จึงจำเป็นต้องทำการควบคุมความดันในถังความดันให้คงที่ จึงใช้ตัวควบคุมควบคุมแบบพีไอดีเพื่อควบคุมความดันของระบบให้คงที่ เมื่อความดันคงที่แล้วก็จะทำการวัดและควบคุมอัตราการไหลได้

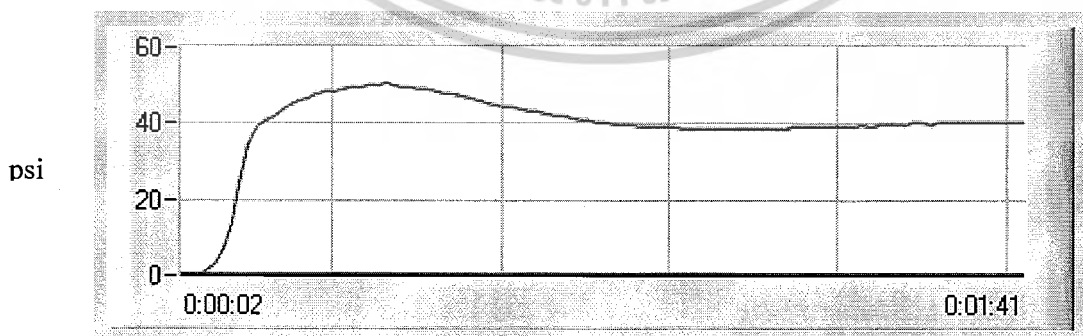
4.2 การทดลองที่ 1 การควบคุมความดันในถังความดัน

ได้ทำการทดลองควบคุมความดันโดยใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมระบบซึ่ง ได้ทำการเรียกใช้ฟังก์ชันพีไอที่มีอยู่ในพีแอลซี ในการทดลองนี้ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอแบบลองผิดลองถูก เพื่อให้ควบคุมความดันให้มีเสถียรภาพและได้ผลตอบสนองดีที่สุด ซึ่งจะได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งค่าที่ได้อาจเป็นค่าที่ใช้ได้ในการทดลอง แต่ยังไม่ใช่ว่าดีที่สุดตามการทดลองดังนี้

ทำการเซตค่าให้ค่าความดันในถังเท่ากับ 40 psi โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$T_s = 100 \text{ ms}$, Input Filter = 75%, $T_i = 100 \text{ ms}$, $K_p = -30$, $K_d = 0$ $T_d = 0$

จะได้ผลตอบสนองของความดันในถังความดัน ดังภาพที่ 4.1



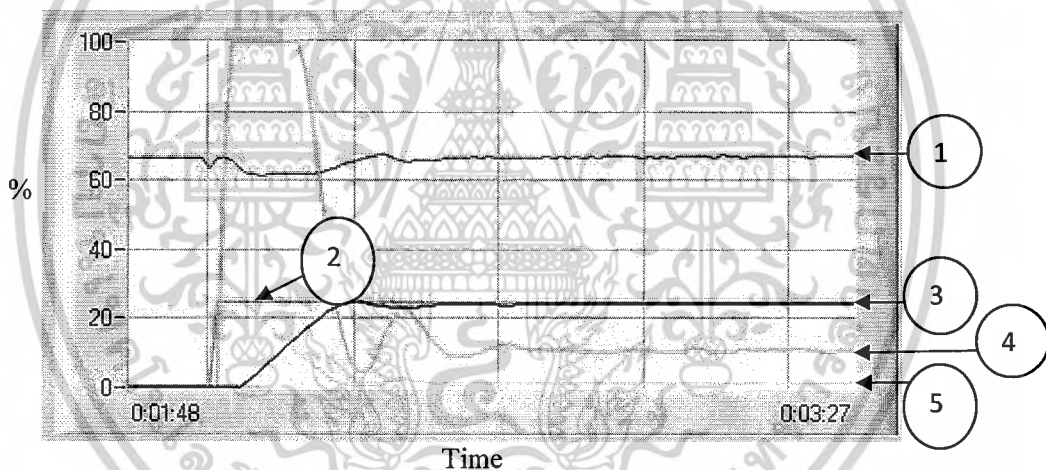
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการควบคุมความดันที่ 40 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองที่ 2 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้

ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้ เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามต้องการทำให้ไม่ต้องเสียเวลาปรับแต่หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุมคือ $\eta_p = \eta_i = \eta_d = 8 \times 10^{-3}$ และ $Y_g = 0.2$ และได้ปรับเทียบตัวแปรต่างๆ ของกระบวนการ ดังนี้ กำหนดให้ความดันในถังความดันเท่ากับ 40 psi ซึ่งก็คือ 66.66% จากนั้นทำการเปิดวาล์วควบคุม 100 % จะได้อัตราการไหลเท่ากับ 40 ลิตรต่ออนาที ซึ่งก็คือ ผลตอบสนองของอัตราการไหลเท่ากับ 100 %

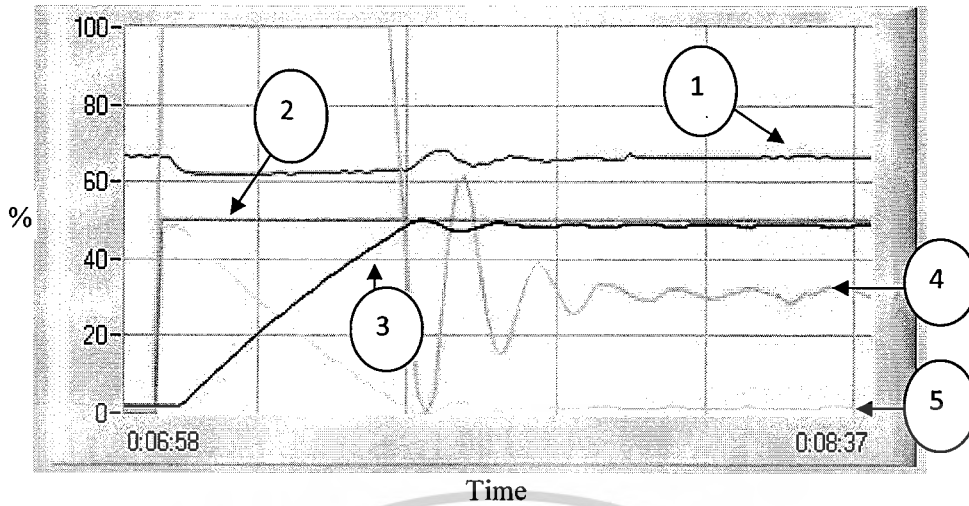
ภาพที่ 4.2 ถึง 4.6 แสดงให้ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหล เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราการไหลที่ต้องการเท่ากับ 25% 50% 75% ปรับขึ้น-ลง ตามลำดับ



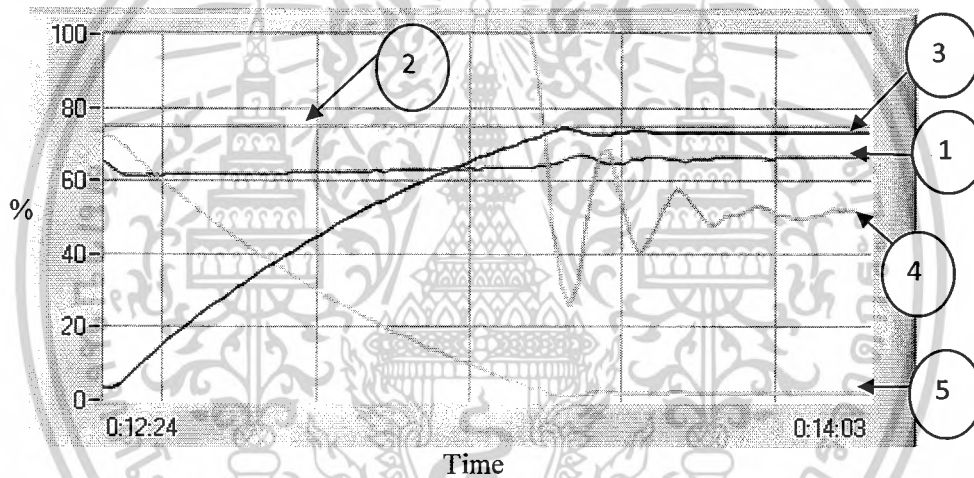
ภาพที่ 4.2 แสดงการควบคุมอัตราการไหลที่ 25% ($k_p = 14 \times 10^{-6}$, $k_i = 3.8 \times 10^{-3}$)

- โดยที่ หมายเลข 1 คือ ตัวแปรความดันของกระบวนการ (66.66%) หรือ 40 psi
 หมายเลข 2 คือ ค่าอัตราการไหลที่ต้องการ
 หมายเลข 3 คือ ตัวแปรอัตราการไหลของกระบวนการ
 หมายเลข 4 คือ ตัวแปรอัตราการไหลควบคุม
 หมายเลข 5 คือ ค่าความผิดพลาดของอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

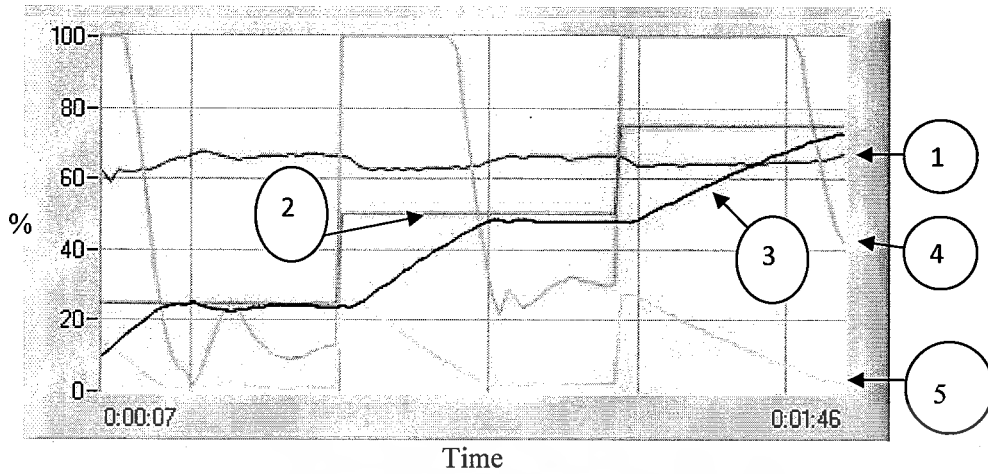


ภาพที่ 4.3 แสดงการควบคุมอัตราการไหลที่ 50% $k_p = 27 \times 10^{-6}$, $k_i = 7.6 \times 10^{-3}$

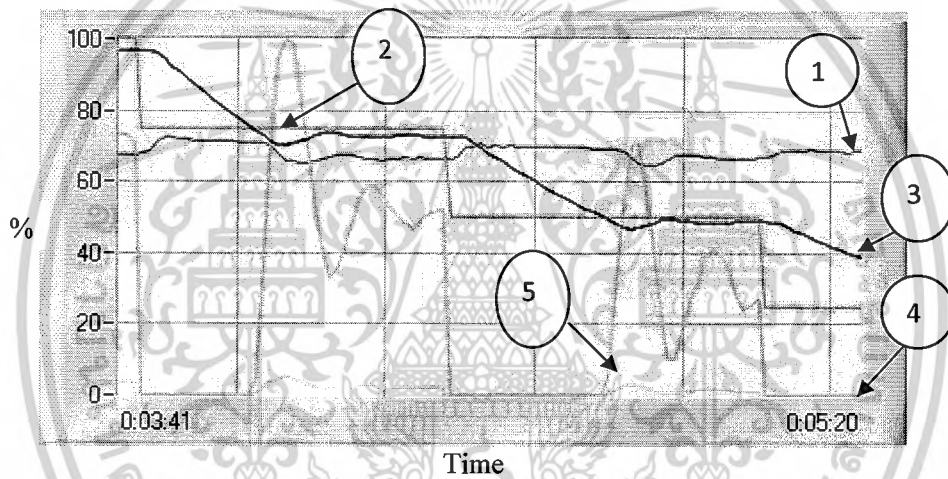


ภาพที่ 4.4 แสดงการควบคุมอัตราการไหลที่ 75% $k_p = 32 \times 10^{-6}$, $k_i = 3.2 \times 10^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แสดงการเคลื่อนสัญญาณเมื่อทำการปรับขึ้น



ภาพที่ 4.6 แสดงการเคลื่อนสัญญาณเมื่อทำการปรับลง

4.4 สรุป

จากการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นการควบคุมความดันในถังอัดความดันด้วยตัวควบคุมพีไอ และใช้วิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธีแบบลองผิดลองถูก จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใกล้เคียงแต่ยังไม่ได้ค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะได้ผลตอบสนองความดันในถังความดันคงที่ ส่วนการทดลองที่ 2 ทำการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้ จะเห็นว่าผลตอบสนองของอัตราการไหลมีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลตามที่ต้องการ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตัวควบคุมเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและการออกแบบการควบคุมอัตราการไหลในกระบวนการควบคุมของเหลว โดยอาศัยหลักการควบคุมแบบ PID เพื่อใช้ในการศึกษาการควบคุมการไหลให้มีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง โดยในการควบคุมการไหลในโครงการนี้ต้องอาศัยการควบคุมความดันที่เป็นตัวจ่ายการไหลให้กับระบบ เพื่อให้การวัดให้คงที่และมีเสถียรภาพ เราอาศัยการควบคุมการควบคุมของ PLC ซึ่งเลือกเอาส่วนที่เป็น PID มาควบคุมความดันโดยทำการปรับค่าแบบ Trial and Error เพื่อให้ได้ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม อาจเป็นค่าที่ใช้งานได้แต่ยังเป็นค่าที่ไม่ดีที่สุดใน การทดลองส่วนที่สองเราจึงเลือกการควบคุม PID แบบปรับค่าได้ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม ทำให้ไม่ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำมาควบคุมระบบ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนการขยายของอินพุต

ในการทดลองโครงการนี้ ได้ทำการศึกษาส่วนที่เป็นอุปกรณ์จริงที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยตรง ในการรับส่งสัญญาณจะใช้เป็น 4-20 mA ซึ่งจะช่วยลดการขาดหายของสัญญาณ ที่เกิดจากสายสัญญาณที่มีระยะการใช้งานที่ไกลได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการรับสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นมาตรฐาน อาจมีปัญหาในการเกิดสัญญาณรบกวนระบบ เช่น บัมพ์น้ำ อินเวอร์เตอร์ อื่นๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบ ควรที่จะแยกอุปกรณ์และกราวด์ให้ห่างจากระบบการควบคุมพอสมควร

บรรณานุกรม

1. ผศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์. หลักการของเครื่องมือวัด ทางอุตสาหกรรม.
2. รศ. วิศรุต ศรีรัตนะ. เอกสารประกอบการเรียนวิชา เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์
3. อ. ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Instrument Engineering.
4. พงษ์ศักดิ์ เสริมสาธนสวัสดิ์, ประมาณ เสริมสาธนสวัสดิ์, พงษ์ศักดิ์ เสริมสา
เรื่องกลศาสตร์ของของไหล
5. เอกสารคู่มือการออกแบบระบบท่อ วาล์ว ป้อน
6. เขียน โดย Micheal A. Johnson, Mohammad H. Moradi
เรื่อง PID Control New Identification and Design Methods
7. เขียน โดย B. Wayne Beyne Bequette
เรื่อง Process Control Modeling, Design, and Simulation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

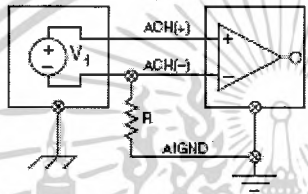
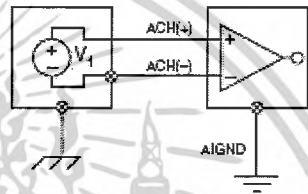
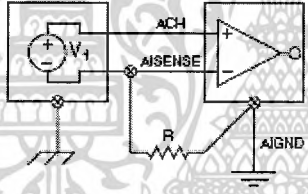
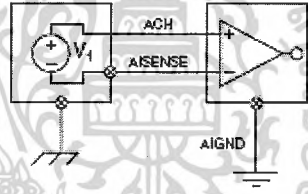


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connecting Analog Input Signals

The following sections discuss the use of single-ended and differential measurements and make recommendations for measuring both floating and ground-referenced signal sources.

Figure 4-3 summarizes the recommended input configuration for both types of signal sources.

	Input	
	Floating Signal Source (Not Connected to Building Ground)	Grounded Signal Source
Input	Examples <ul style="list-style-type: none"> • Ungrounded Thermocouples • Signal Conditioning with Isolated Outputs • Battery Devices 	Example <ul style="list-style-type: none"> • Plug-in Instruments with Nonisolated Outputs
Differential (DIFF)	 <p>See text for information on bias resistors.</p>	
Single-Ended Nonreferenced (NRSE)		

การต่ออินพุตของ NI 6014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACH8	34	68	ACH0
ACH1	33	67	AIGND
AIGND	32	66	ACH9
ACH10	31	65	ACH2
ACH3	30	64	AIGND
AIGND	29	63	ACH11
ACH4	28	62	AISENSE
AIGND	27	61	ACH12
ACH13	26	60	ACH5
ACH6	25	59	AIGND
AIGND	24	58	ACH14
ACH15	23	57	ACH7
DAC0OUT1	22	56	AIGND
DAC1OUT1	21	55	AOGND
RESERVED	20	54	AOGND
DIO4	19	53	DGND
DGND	18	52	DIO0
DIO1	17	51	DIO5
DIO6	16	50	DGND
DGND	15	49	DIO2
+5V	14	48	DIO7
DGND	13	47	DIO3
DGND	12	46	SCANCLK
PF10/TRIG1	11	45	EXTSTROBE*
PF11/TRIG2	10	44	DGND
DGND	9	43	PF12/CONVERT*
+5V	8	42	PF13/GPCTR1_SOURK
DGND	7	41	PF14/GPCTR1_GATE
PF15/UPDATE*	6	40	GPCTR1_OUT
PF16/WFTRIG	5	39	DGND
DGND	4	38	PF17/STARTSCAN
PF19/GPCTR0_GATE	3	37	PF18/GPCTR0_SOURK
GPCTR0_OUT	2	36	DGND
FREQ_OUT	1	35	DGND

หมายเลขต่างๆ ของจุดต่อสายของ NI 6014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connecting Analog Output Signals

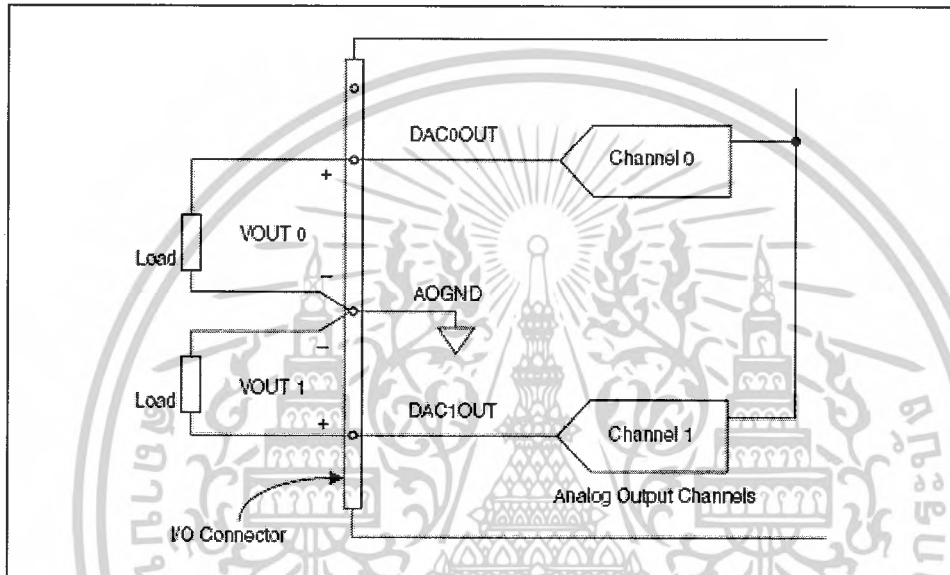
- ◆ NI 6014 only

The AO signals are DAC0OUT, DAC1OUT, and AOGND. DAC0OUT and DAC1OUT are not available on the NI 6013.

DAC0OUT is the voltage output signal for AO channel 0. DAC1OUT is the voltage output signal for AO channel 1.

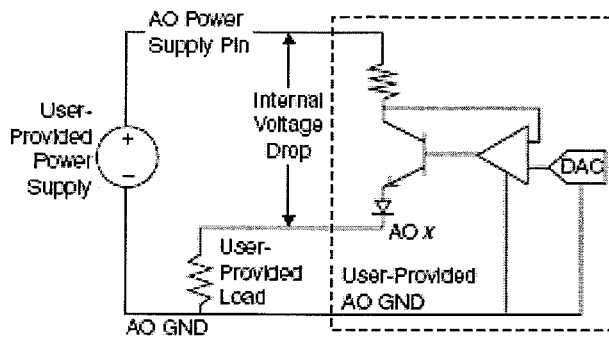
AOGND is the ground-referenced signal for both AO channels and the external reference signal.

Figure 4-8 shows how to connect AO signals to the NI 6013/6014.

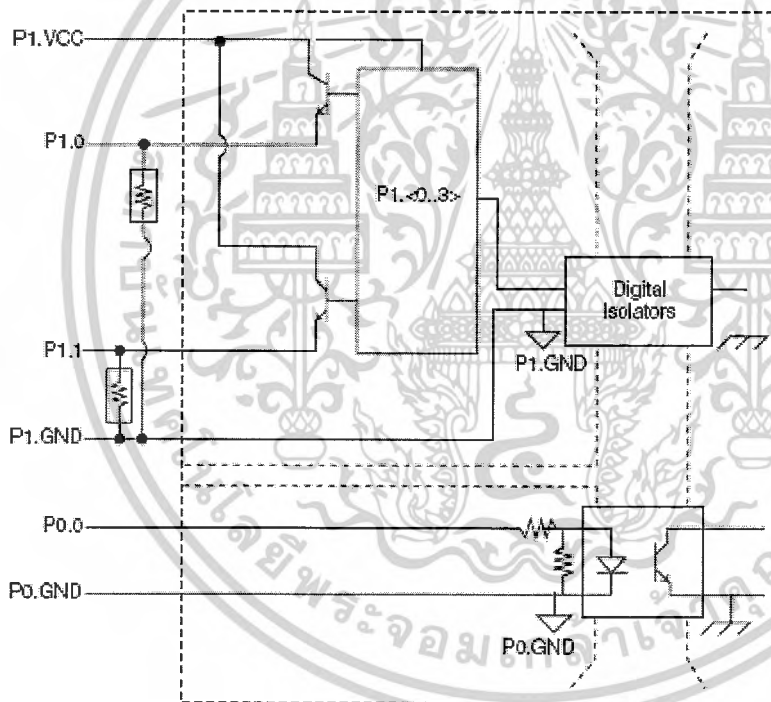


การต่อเอาต์พุตของ NI 6014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การต่อเอาต์พุตของ 6238



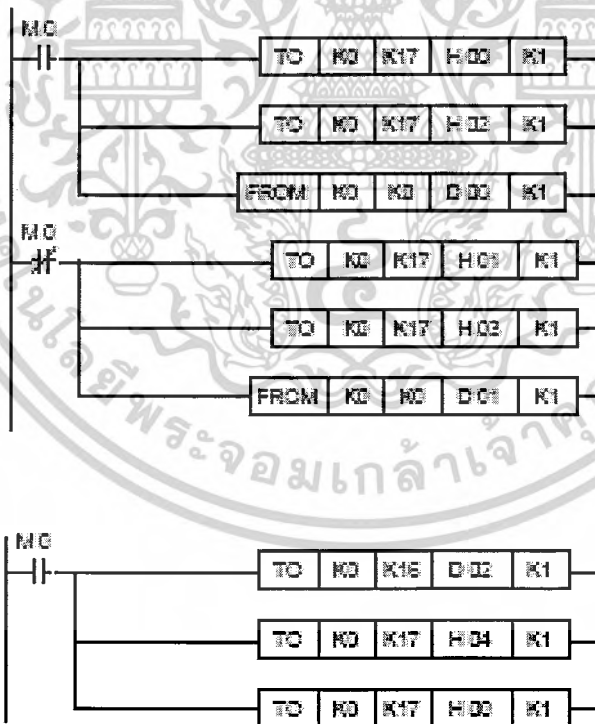
การต่ออินพุตของ NI 6238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AI 0-	20	1	AI 0+/CAL+
AI 1+	21	2	AI 1-
AI 2+	22	3	AI GND
AI 3-	23	4	AI 2-
AI GND	24	5	AI 3+
AI 4-	25	6	AI 4+
AI 5+	26	7	AI 5-
AI 6+	27	8	CAL-
AI 7+	28	9	AI 6-
NC	29	10	AI 7-
AO 0	30	11	NC
AO GND	31	12	AO 1
PFI 1/P0.1 (Input)	32	13	PFI 0/P0.0 (Input)
PFI 2/P0.2 (Input)	33	14	P0.GND
PFI 4/P0.4 (Input)	34	15	PFI 3/P0.3 (Input)
P1.VCC	35	16	PFI 5/P0.5 (Input)
PFI 7/P1.1 (Output)	36	17	PFI 6/P1.0 (Output)
PFI 8/P1.3 (Output)	37	18	PFI 8/P1.2 (Output)
		19	P1.GND

NC = No Connect

หมายเลขต่างๆ ของจุดต่อสายของ NI 6238

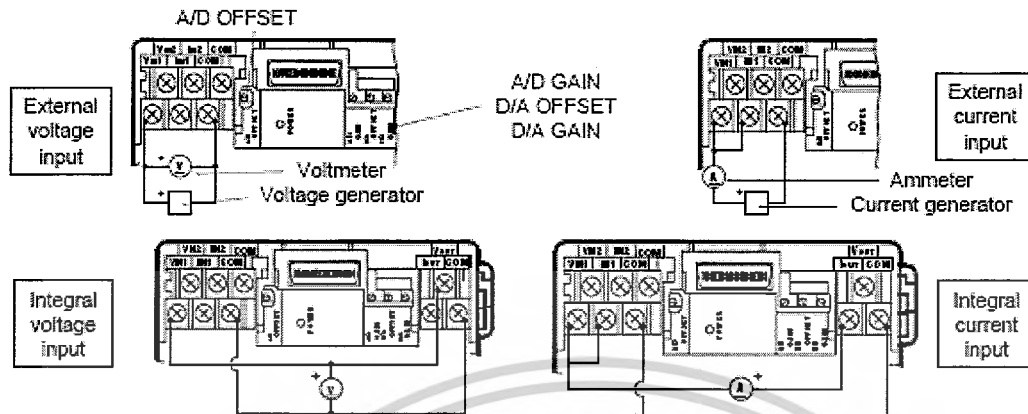


การเขียนโปรแกรมอินพุตและเอาต์พุตของ PLC เพื่อติดต่อ FXon-3A

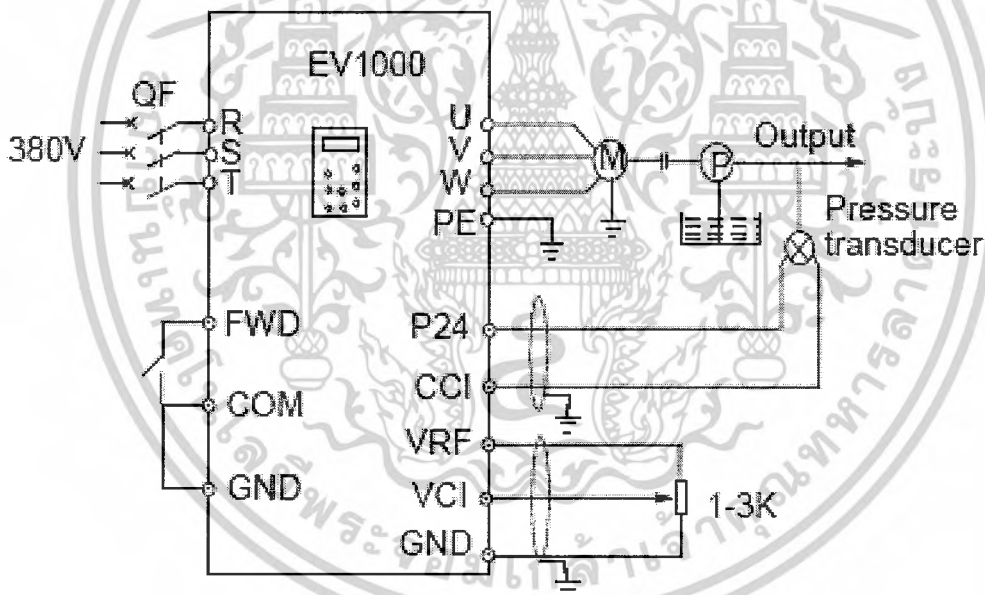
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 Method of calibration

Use the following program and the appropriate wiring configuration to calibrate input channel 1 (and indirectly channel 2) of the FXON-3A.



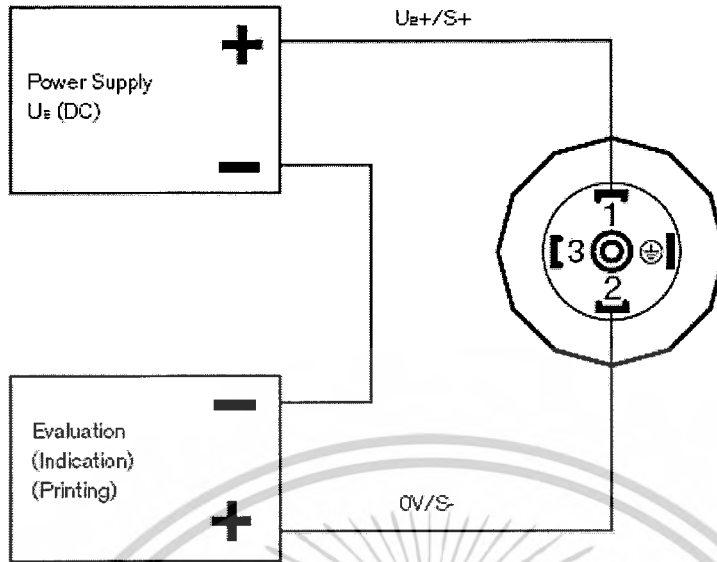
การต่อสายของอินพุตและเอาต์พุตของ FXon-3A



จุดต่อสายของอินเวอร์เตอร์ Emerson EV 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

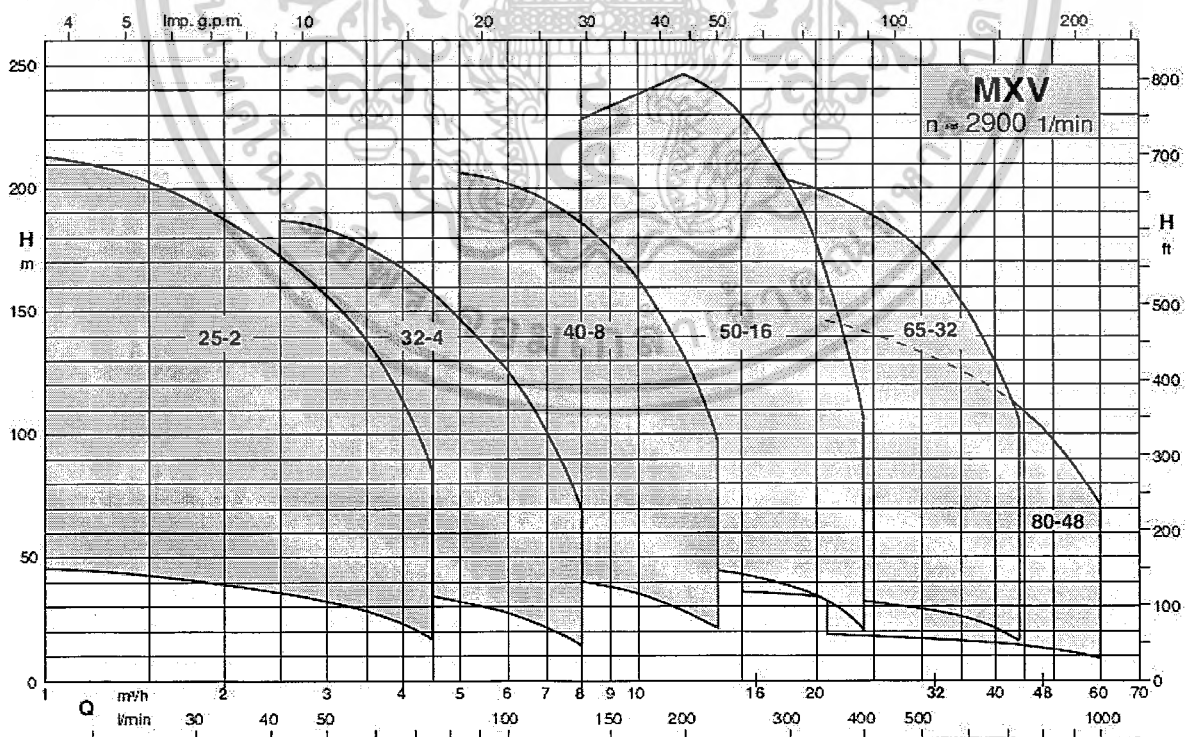
2-wire system (DIN 43 650 plug)



การต่อสายเข้ากับอุปกรณ์วัดความดัน

แสดงค่าเสดของปั้มต่ออัตราการไหลที่ใช้ในโครงการคือ MXV 40-8

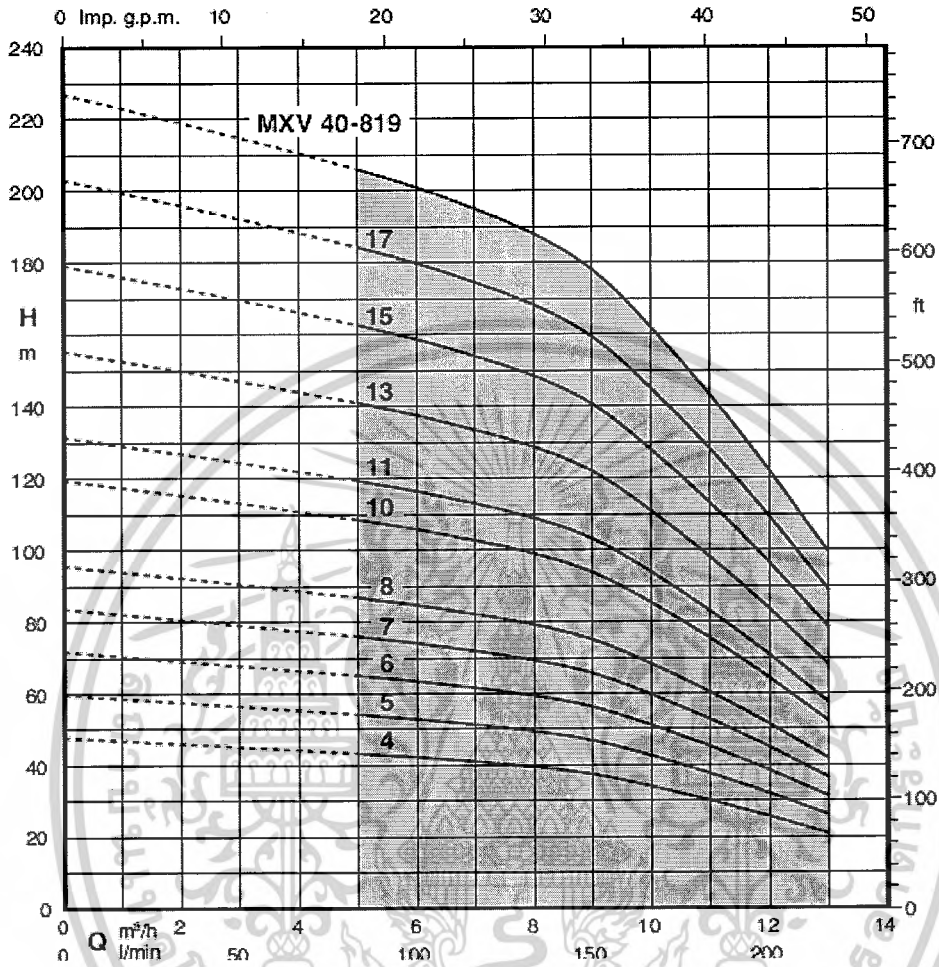
Coverage chart



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงประสิทธิภาพการทำงานของปั๊ม

Characteristic curves and performance $n \approx 2900$ rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้