

การควบคุมอัตราไหล
FLOW RATIO CONTROL



นายณรงค์ ควรรชม
นายนพดล อสุณี ณ อยุธยา
นายไพรวรรณ รุ่งพลอย

ปพ.
กช ๕๑๑ ก
๕๕๔๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 45859
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี 19 ก.พ. ๕๕๔๔

FLOW RATIO CONTROL



NARONG KUNCHOM
NOPPADON ASUNEE NA AYUTTHATA
PIRWAN RUNGPOI

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

2001

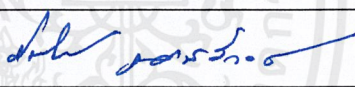
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การควบคุมอัตราการไหล
FLOW RATIO CONTROL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณรงค์ ควระชม รหัสประจำตัว 42015431
นายนพดล อสุณี ณ อยุรยา รหัสประจำตัว 42015436
นายไพโรวัน รุ่งพลอย รหัสประจำตัว 42015447

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2544

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์	
อ.พิทยา ปานนิล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 มีนาคม 2545
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การควบคุมอัตราการไหล

FLOW RATIO CONTROL

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายณรงค์ กวระชม

นายนพดล อสุณี ณ อยุธยา

นายไพรวรรณ รุ่งพลอย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

อาจารย์พิทยา ปานนิล

ปีการศึกษา

2544

บทคัดย่อ

การควบคุมอัตราการไหลในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม โดยปกติจะใช้การควบคุมแบบ PID ร่วมกับการควบคุมการไหลแบบอนุกรม แต่จะทำให้เกิด Overshoot ขนาดใหญ่และช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise Time) ยาวนาน ซึ่งปัญหาเหล่านี้นำไปสู่ความไม่ถูกต้องหรือความผิดพลาดในการควบคุมอัตราการไหล เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการด้อยหรือการต่ำลงของสมรรถนะของระบบควบคุมจึงออกแบบให้ระบบควบคุมมีโหมดการทำงาน 2 โหมด สำหรับควบคุมอัตราการไหล คือมีการรวมเอาวิธีการของ Lookup Table และระบบควบคุมแบบ PID ไว้ด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่เร็วขึ้น และการลดต่ำลงของ Overshoot ซึ่งโหมดการทำงานของตัวควบคุมแบบ PID จะทำงานเมื่ออัตราการไหลใกล้ถึงจุดค่าเป้าหมาย (Set Point) ที่ตั้งไว้ และโหมดการทำงานของ Lookup Table จะใช้ในช่วงของจุดเริ่มต้น (Initial) ของกระบวนการ

Thesis Title	Flow Ratio Control	
Authors	Mr. Narong	Kuanchom
	Mr. Noppadon	Asunee na ayuthaya
	Mr. Pirwan	Rungploy
Thesis Advisor	Asip. Prof. Prasit	Julsereewong
	Mr. Pitaya	Pannil
Year	2001	

ABSTRACT

The flow ratio in the industrial process is usually accomplished by using PID controller with series type ratio. But always the large overshoot and a long rise time may be achieved from this conventional control. These problems are involved to the inexact flow ratio control. In order to avoid this poor performance, the paper presents a designing of the two controller modes for the flow ratio plants. This proposed controller combine the Lookup Table technique and the well – known PID controller to obtain the fast response and low overshoot of flow ratio control. The PID controller mode will be operated when the flow ratio reaches the preset value while the Lookup Table is applied for initial operation.

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จทั้งหมดของการดำเนินงานทั้งหมดของปริญญาบัตรนี้ จะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าขาด คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ร่วมงานและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ และอาจารย์พิทยา ปานนิล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเป็นผู้ให้คำแนะนำในการจัดทำและให้คำปรึกษาตลอดมา พร้อมทั้งต้องขอขอบคุณอาจารย์และเพื่อนๆที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจ ทำให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้ร่วมงานในปริญญาบัตรนี้ทุกคนมีความสำนึกในความกรุณาอย่างยิ่ง จึงขอขอบคุณในความกรุณาของท่านไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการทำปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 หลักการควบคุมการไหล.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ธรรมชาติการไหล.....	3
2.3 รูปแบบการควบคุมอัตราการไหล.....	7
2.4 กระบวนการวัดอัตราการไหล.....	8
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎี.....	10
3.1 กล่าวนำ.....	10
3.2 การควบคุมแบบป้อนกลับ PID.....	10
3.2.1 ความยากง่ายในการควบคุมโปรเซส.....	12
3.2.2 สาเหตุของการขาดเสถียรภาพในระบบ.....	12
3.2.3 ผลของ PID ต่อความเสถียรภาพของระบบ.....	12
3.2.4 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID.....	13
3.3 เทคนิคของ Lookup Table.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบการควบคุมอัตราไหล.....	19
4.1 กล่าวนำ.....	19
4.2 ฮาร์ดแวร์.....	19
4.3 ซอฟต์แวร์.....	22
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	26
5.1 กล่าวนำ.....	26
5.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID.....	26
5.2.1 แบบ Process Reaction Curve (Open loop).....	27
5.2.2 แบบ Ultimate Method (Close loop).....	27
5.3 การใช้ตัวควบคุม PID.....	30
5.4 การใช้ตัวควบคุมร่วมระหว่างตัวควบคุม PID และ หลักการของ Lookup table.....	31
5.5 สรุปผลการทดลอง.....	33
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	34
6.1 บทสรุป.....	34
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 แสดงการเลือกใช้แบบตัวควบคุม5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและVIของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการไหลแบบ Laminar Flow และแบบ Critical Flow.....	5
2.2 แสดงการไหลแบบ Turbulent Flow.....	6
2.3 แสดงการควบคุมอัตราการไหลแบบขนาน (Parallel Type).....	8
2.4 แสดงการควบคุมอัตราการไหลแบบอนุกรม (Series Type).....	8
2.5 ไดอะแกรมของกระบวนการอัตราการไหล.....	9
3.1 ผลของ D-Action ในตัวควบคุม PD Controller ขณะ Open Loop.....	11
3.2 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID.....	14
3.3 แสดงค่าที่พุ่งเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols.....	15
3.4 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve.....	15
3.5 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate Method.....	16
3.6 แสดงให้เห็นตามตัวอย่างการสอบเทียบของ %Valve และ %Flow.....	18
4.1 รูปแสดงการวางตำแหน่งต่างๆ ของ I/O CARD	21
4.2 รูปแสดง I/O CARD	22
4.3 การควบคุมอัตราการไหลแบบอนุกรม (Series Type).....	22
4.4 เมื่อมีการผิดพลาดมากกว่าที่กำหนด ให้ Control valve โดยใช้ Lookup Table	23
4.5 Flowchart ของการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ PID ร่วมกับ Lookup Table	23
4.6 รูปแสดงหน้าจอควบคุมการทำงาน (ในรูปแบบกราฟ).....	24
4.7 รูปแสดงหน้าจอควบคุมการทำงาน (ในรูปแบบ Plant).....	25
4.8 รูปแสดงหน้าจอควบคุมการทำงาน (ในรูปแบบการทดสอบการ์ด).....	25
5.1 แสดง Plant ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
5.2 แสดงกราฟที่ได้จากการ Open loop ของ Plant.....	27
5.3 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=8$).....	28
5.4 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=7$).....	28
5.5 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=6$).....	28
5.6 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=5$).....	29
5.7 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=4$).....	29
5.8 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=1.5$, $T_i=7$ sec.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.9 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec.....	30
5.10 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2.5$, $T_i=7$ sec.....	31
5.11 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 5%.....	31
5.12 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 10%.....	32
5.13 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 15%.....	32
5.14 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 20%.....	32



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของปริญญานิพนธ์

ในอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะมีการควบคุมในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ โดยตัวแปรกระบวนการ(Process Variable) ในกระบวนการผลิตต่างๆ ที่ถูกควบคุมให้มีผลตอบสนองตามที่ต้องการ ที่พบได้บ่อยที่สุดคือ ความดัน อัตราการไหล ระดับ อุณหภูมิ ความเร็วรอบ ฯลฯ การควบคุมตัวแปรกระบวนการเหล่านี้จะใช้ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ในขณะเดียวกันก็ต้องอาศัยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุมจากผู้มีประสบการณ์หรือมีความชำนาญในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดตามต้องการ

สำหรับการควบคุมอัตราการไหล (Flow Ratio Control) ก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้การควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ในโหมด PI Control อย่างไรก็ตามการใช้ตัวควบคุมแบบ PID นั้นจะต้องมีการปรับค่า PID ที่เหมาะสมไม่เช่นนั้นระบบจะเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) หรือการแกว่ง (Oscillate) และใช้เวลานานในการเข้าสู่เป้าหมาย (Settling time) ข้อเสียของการเกิดค่าพุ่งเกินและเวลาเข้าสู่ค่าเป้าหมายนี้เองที่ทำให้เกิดอัตราไหลที่ผิดพลาด ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการทดลองเกี่ยวกับตัวควบคุมที่ใช้ PID ร่วมกับ Lookup Table เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์และนำผลการทดลองนั้นไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอัตราการไหล เพื่อให้ได้ผลการของการควบคุมที่มีผลตอบสนองที่เร็วขึ้นซึ่งจะช่วยให้ลดเวลาในการทำงานลงได้ และสามารถลดการเกิด Overshoot ที่เกิดจากการใช้ตัวควบคุม PID เพียงอย่างเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

โครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาการออกแบบสร้างการควบคุมอัตราการไหล (Flow Ratio Control) แบบ PI ร่วมกับ Lookup Table ซึ่งมีการควบคุมแบบอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาและความยุ่งยากในการควบคุมอัตราการไหลลงเหลือถึงความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ทำให้มีผลตอบสนองที่เร็วขึ้นลดเวลาในการทำงานได้เป็นจำนวนมาก และลด Overshoot ของการควบคุมได้มากกว่าการควบคุมแบบ PI เพียงอย่างเดียว ทำให้สมรรถนะของระบบดียิ่งขึ้น ทำให้สะดวกในการควบคุมไม่ยุ่งยากซับซ้อนมาก ผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ในการควบคุมระบบสามารถที่จะศึกษาและเรียนรู้วิธีการที่ใช้ในการควบคุมนี้ได้

1.3 ขอบเขตของปริญญาณิพนธ์

ปริญญาณิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาและการออกแบบการควบคุมอัตราการไหล (Flow Ratio Control) โดยใช้ตัวควบคุม PI ร่วมกับ Lookup Table ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมอัตราการไหลแบบนี้คือ เมื่อมีการเปิด - ปิดวาล์วให้สุดนั้น จะต้องมีเวลาในการเปิด - ปิดวาล์ว และระบบ Process ทั่วไปนั้นก็จะมีค่า Dead Time ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงช่วง Set Point แคบๆ นั้น จะทำให้การเปิด - ปิดวาล์วไม่ทัน จะทำให้ระบบเกิด Overshoot ดังนั้นจึงนำเอาระบบของ Lookup Table มาใช้ร่วมกันกับระบบ PI เพื่อที่ว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Set Point ที่กว้างๆ ก็ให้ระบบ Lookup Table ทำงาน แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Set Point ช่วงแคบๆ ก็ให้ระบบ PI ทำงาน

ดังนั้นเราจะบันทึกค่า %Flow และ %Open Valve ไว้ใน Lookup Table เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้น (Initial) ให้แก่ระบบในช่วงการทำงานก่อนเข้าสู่จุด Set Point เมื่อค่าเข้าใกล้จุด Set Point ก็ตัดเข้าสู่ระบบ PI สำหรับรูปแบบของการควบคุมจะใช้เป็น Software (โปรแกรม Delphi) ควบคุมผ่าน Computer ซึ่งใช้ I/O Card เป็นตัวรับ - ส่งสัญญาณที่ไปควบคุมการเปิด - ปิดวาล์ว เพื่อที่จะควบคุมอัตราการไหล

1.4 ขั้นตอนการทำปริญญาณิพนธ์

เริ่มจากการศึกษาหลักการควบคุมอัตราการไหลธรรมชาติของของไหลรูปแบบการควบคุมอัตราการไหลหลักการวัด Flow โดยทฤษฎีของ Bernoulli และ อุปกรณ์การวัดอัตราการไหล รวมถึงระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ PID และการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธี Open loop , Close loop รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของการควบคุม หลังจากที่ได้ศึกษาแล้วได้นำข้อมูลทั้งหมดมาออกแบบโดยมีการเปรียบเทียบการควบคุมแบบ PID และการใช้ร่วมของการควบคุมแบบ PID และ Lookup Table โดยการควบคุมทั้งหมดจะใช้ ภาษา Delphi ในการเขียนโปรแกรม ผ่าน I/O การ์ดเพื่อส่งสัญญาณมาตรฐานออกมาควบคุมและการวัดค่าต่างๆ

บทที่ 2

หลักการควบคุมอัตราการไหล

2.1 กล่าวนำ

การควบคุมอัตราการไหลมีด้วยกันหลายวิธีและมีหลายตัวแปรที่ทำให้การควบคุมอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงนั้นคือธรรมชาติของไหลรูปแบบการไหลก็จะมีผลต่อการควบคุมอัตราการไหล โดยกล่าวรายละเอียดต่อไป เมื่อเราสามารถควบคุมอัตราการไหลได้แล้ว เราก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหล เพื่อวัดและทำการควบคุมต่อไป หลักการเบื้องต้นของการวัด Flow

2.2 ธรรมชาติของการไหล (Nature of fluids)

คุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของของไหลแต่ละชนิดที่ควรทราบ เพื่อใช้เป็นตัวเลือกใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสม เช่น ความหนืด (viscosity) ค่าความหนาแน่น (density) การลดปริมาตรลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น (Compressibility) ความดัน อุณหภูมิ ค่า Reynolds number ฯลฯ ซึ่งค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กัน เช่น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปค่าต่างๆ เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามไปโดยเกือบทั้งสิ้น

1. อุณหภูมิ (Temperature) ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้ตัวแปรอื่นๆอีกหลายตัว เช่น ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น เปลี่ยนแปลงค่าตามไปด้วย ในการวัด Fluid ที่เป็นของเหลว เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงไหลผ่านตัววัดมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยดังนั้นจึงประมาณได้ว่ามีค่าคงที่ แต่ใน Fluid ที่เป็นก๊าซหรือเป็นไอ อุณหภูมิจะต้องวัดและนำมาเป็นตัวแก้ไขค่าของ Flow ด้วย ในการวัดค่าแบบปริมาตร (Volumetric Flow) ค่าอุณหภูมิพื้นฐาน (Temperature Base) มีค่า 60°F หรือ 520°R ในหน่วยของค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ ค่า Flow ในระบบที่มีอุณหภูมิต่างๆจะต้องมาเทียบมาที่อุณหภูมิพื้นฐานนี้ เพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบและค่าที่บอกเป็นที่เข้าใจกัน โดยทั่วไป

2. ความดัน (Pressure) การเปลี่ยนแปลงค่าความดันในของเหลวจะมีผลต่อตัวแปรอื่นๆน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ค่าความดันพื้นฐาน (Pressure Base) มีค่า 14.7 Psia สำหรับการวัดแบบกำหนดค่าปริมาตร เช่น ค่า Air Flow กำหนดไว้ 15 SCFM (Standard cubic feet per minute) ค่า Air Flow ขณะนั้นมีค่าเท่ากับ 15 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60°F และความดัน 14.7 Psia แม้ว่าอุณหภูมิและความดันจะไม่เท่ากับ 60°F และ 14.7 Psia ที่ต้องเทียบค่าปริมาตรที่บอกมาให้สะดวกต่อความเข้าใจ โดยยึดการบอกค่าที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน

3. ค่าความหนืด (Viscosity) คือคุณสมบัติต่อต้านการไหลของสารในสมัยก่อนการกำหนด

ค่าความหนืดได้จากเครื่องมือที่รักษาระดับความสูงและอุณหภูมิของของเหลวและให้ของเหลวไหลหยดออกมาช่องแคบๆ (Orifice) หรือ ท่อแค้ฟพิลลารีให้ได้ปริมาตรที่กำหนด เช่น SSU กำหนด 60 cm^3 แบบ redwood กำหนดไว้ 50 cm^3 และนับจำนวนวินาทีตั้งแต่เริ่มจนถึงปริมาตรที่กำหนดเป็นค่าความหนืด แต่ค่าความหนืดที่บอกนี้เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบกันมากกว่าและใช้วัดค่าได้ต่ำสุดที่ 32 คือ ค่าความหนืดของน้ำเท่านั้นต่ำกว่านั้นกำหนดไม่ได้จึงเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบความหนืดในวงการอุตสาหกรรมน้ำมันเท่านั้น ต่อมาเมื่อวิทยาศาสตร์เจริญก้าวหน้ามากขึ้นค่าความหนืดของสารอื่นที่เป็นก๊าซจำเป็นต้องกำหนดขึ้น จึงมีผู้คิดค้นหาหน่วยที่เป็นวิทยาศาสตร์สามารถคำนวณร่วมกับตัวแปรตัวอื่นๆ ได้ โดยกำหนดนิยามขึ้นดังนี้

$$\text{ความหนืด} = \frac{\text{Shear Stress}}{\text{Velocity gradient}}$$

การบอกค่าความหนืดที่นิยมอีกแบบหนึ่งคือแบบไคเนแมติก (Kinematics viscosity)

$$\text{ค่าความหนืดแบบไคเนแมติก} = \frac{\text{ค่าความหนืดสัมบูรณ์}}{\text{ค่าความหนาแน่นของ fluid}}$$

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

เมื่อ v คือ ค่าความหนืดแบบไคเนแมติก

ρ คือ ค่าความหนาแน่น

การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดใน Fluid ที่เป็นของเหลวและก๊าซต่ออุณหภูมิจะมีทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือในของเหลวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดจะต่ำลง แต่ถ้าในก๊าซถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นด้วย

4. ค่า Reynolds Number คือ ตัวเลขครชนนี้ชี้บอกสภาพการไหล ขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และค่าความหนาแน่นของ fluid ถ้ากำหนดให้

ρ คือ ความหนาแน่นของ Fluid

v คือ ความเร็วในการไหล

d คือ ขนาด ϕ ของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

η คือ ค่าความหนืดของ Fluid

R_D คือ ค่า Reynolds Number

จะได้

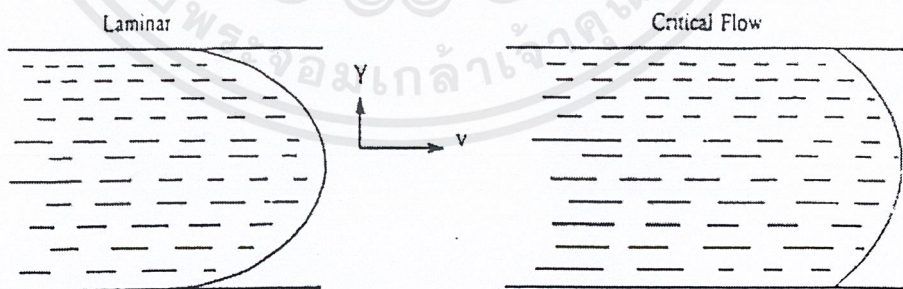
$$R_D = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

R_D เป็นค่าไม่มีหน่วย (dimensionless)

5. Laminar Flow ลักษณะการไหลจะเป็นไปอย่างราบเรียบ ชั้นของ Fluid จะขนานกันไปตลอด การไหลในลักษณะนี้เกิดจาก Fluid นั้นมีความหนืดสูงมาก เช่น กลิเซอริน น้ำมันเตา อนุของสารเหล่านี้จับตัวกันแน่น หรืออัตราการไหลมีค่าต่ำมากๆ

ในงานวัด Flow โดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะไม่พบการไหลแบบ Laminar นี้ ข้อดีของ Laminar Flow คือให้ Rangeability ดีกว่าแบบ Turbulent มากในเครื่องวัด Flow แบบ Turbulent ค่าอัตราการไหล Flow จะแปรผันกับความดันคิฟเฟอเรนเชียลกำลังสอง ซึ่งจะทำให้ Rangeability ประมาณ 5:1 เป็นอย่างสูง แต่ในการไหลแบบ Laminar ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flow กับ ค่าความดันคิฟเฟอเรนเชียลจะเป็นไปในแบบเชิงเส้น (Linear) ทำให้ได้ค่า Rangeability ได้ถึง 100 : 1 และให้ความถูกต้องดีตลอดย่าน ผิดกับแบบ Turbulent ที่ให้ความถูกต้องดีเฉพาะ Flow ย่านสูงๆแต่ย่านต่ำๆจะมีค่าผิดพลาดสูง

การแบ่งย่าน Laminar Flow กับ Turbulent Flow พิจารณาที่ค่า Reynolds Number จาก 0 ถึง 2100 เป็นย่าน Laminar

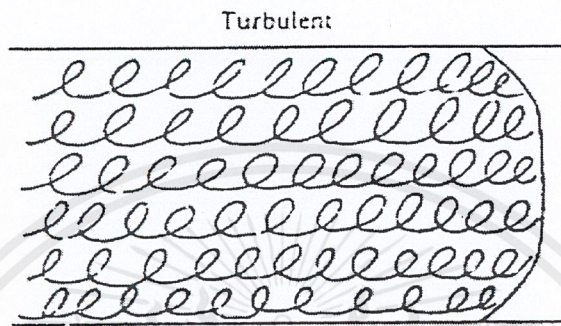


ภาพที่ 2.1 แสดงการไหลแบบ Laminar Flow และแบบ Critical Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในช่วง R_D 2100 ถึง 4000 จะเป็นย่านวิกฤติ (critical zone) ซึ่งมีการไหลทั้งสองแบบผสมกัน

6. Turbulent การไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ turbulent แทบทั้งสิ้นลักษณะการไหลเป็นไปอย่างไม่มีระเบียบไม่มีชั้นที่แน่นอนการไหลลักษณะนี้เป็นไปอยู่ในท่อซึ่งเราไม่สามารถเห็นได้ จะต้องพิจารณาที่ค่า Reynolds Number ถ้าค่า R_D มากกว่า 4000 ขึ้นไปการไหลจะเป็นแบบ Turbulent



ภาพที่ 2.2 แสดงการไหลแบบ Turbulent Flow

7. ค่าความหนาแน่น (Density) คือ ค่ามวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร น้ำที่ 0°C และความดัน 1 บรรยากาศ จะมีค่าความหนาแน่น 999.845 ก.ก/ลบ.ม

ความหนาแน่นของของเหลวจะเปลี่ยนแปลงค่าตามอุณหภูมิแต่เกือบจะไม่มีผลเลยเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไป (ยกเว้นในช่วงความดันสูงมากๆ) โดยปกติจะเรียกของเหลวเป็นสารประเภทอัดตัวไม่ลง (Incompressible) ในสารที่เป็นไอหรือเป็นก๊าซ ความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงตามทั้งค่าความดันและอุณหภูมิ ค่า flow ส่วนใหญ่แล้วจะวัดเป็นค่าปริมาตร (Volume Flow) ดังนั้นถ้าต้องการทราบมวล (Mass Flow) จะต้องหาค่าความหนาแน่นก่อนถึงจะสามารถทราบค่ามวลได้

8. Compressibility ของเหลวเมื่อเพิ่มความดันปริมาตรของมันเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการคำนวณจึงเป็นค่าคงที่ (ยกเว้นย่านความดันสูง) แต่ในกรณีที่ Fluid เป็นก๊าซหรือไอ ค่า Compressibility นี้เป็นตัวประกอบที่มีความสำคัญมาก ค่า Compressibility Factor จะถูกนำมาคำนวณด้วยเสมอ มิฉะนั้นค่าที่ได้จะผิดพลาดมาก

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรสำหรับก๊าซจะเป็นไปตามกฎของก๊าซ (Gas Law) สำหรับก๊าซที่สมบูรณ์แบบ (Perfect Gases)

$$pV = RT$$

เมื่อ

p = ค่าความดันสัมบูรณ์

V = ปริมาตรจำเพาะ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal)

จะได้

$$pV = \text{ค่าคงที่}$$

แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบไม่มีความร้อนสูญเสียหรือเพิ่มเติมเข้ามา (Idaebatic)

$$pV^r = \text{ค่าคงที่}$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนของ $\frac{\text{ค่าความร้อนจำเพาะเมื่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบความดันคงที่}}{\text{ค่าความร้อนจำเพาะเมื่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบปริมาตรคงที่}}$

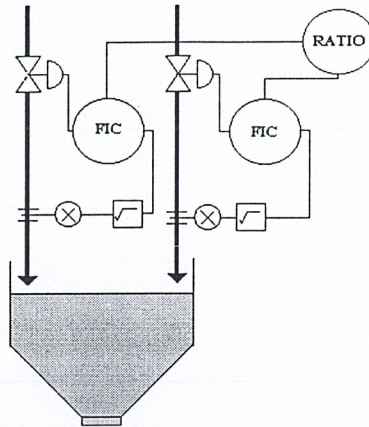
ในของเหลวความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรกำหนดโดยค่า

Bulk Modulus K

$$\begin{aligned} \text{โดยค่า Bulk Modulus} &= \frac{\text{ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{Volume Stain}} \\ &= \frac{\text{ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{ปริมาตรที่เปลี่ยนไป / ปริมาตรเดิม}} \end{aligned}$$

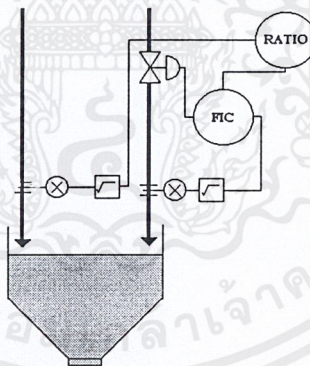
2.3 รูปแบบการควบคุมอัตราการไหล

การควบคุมอัตราการไหลมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบขนาน (Parallel Type) และ แบบอนุกรม (Series Type)



ภาพที่ 2.3 แสดงการควบคุมอัตราการไหลแบบขนาน (Parallel Type)

จากภาพที่ 2.3 การควบคุมการอัตราการไหลแบบขนาน (Parallel Type) การควบคุมแบบนี้จะประกอบด้วย Control Valve 2 ชุด ซึ่งจะทำให้ระบบมีการควบคุมอัตราการไหลสะดวกมากกว่า เพราะเราสามารถควบคุม Valve ได้ทั้ง 2 ชุด ดังนั้นจึงนำระบบการควบคุมการอัตราการไหลแบบขนานนี้มาใช้กับระบบที่ต้องการเสถียรภาพมาก ๆ และ ความถูกต้องของอัตราส่วนผสมในถังผสม



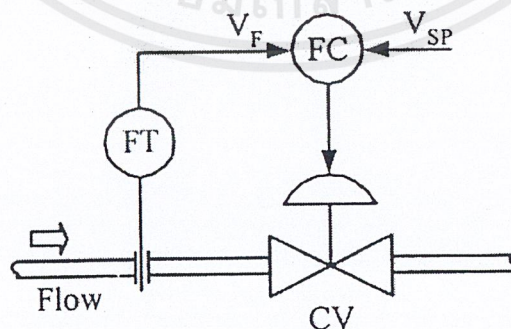
ภาพที่ 2.4 แสดงการควบคุมอัตราการไหลแบบอนุกรม (Series Type)

จากภาพที่ 2.4 การควบคุมการอัตราการไหลแบบอนุกรม (Series Type) การควบคุมแบบนี้จะประกอบด้วย Control Valve เพียง 1 ชุด ซึ่งจะทำให้ระบบมีการควบคุมอัตราการไหลในจุดที่มี Control Valve ต้องปรับตัวตามค่าที่ได้จากอีกชุดหนึ่งที่คูณกับค่าอัตราส่วนที่ตั้งไว้ ดังนั้นจึงนำระบบการควบคุมการอัตราการไหลแบบอนุกรมนี้มาใช้กับระบบที่ต้องการเสถียรภาพไม่มากนัก

2.4 กระบวนการวัดอัตราการไหล

แผนผังอธิบายกระบวนการอัตราการไหลของของไหลที่ไหลอยู่ภายในท่อแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นออริฟิส ตัววัดและส่งสัญญาณความดันแตกต่าง (FT) ตัวควบคุมอัตราการไหล (FC) และวาล์วควบคุม (CV) แผ่นออริฟิสทำหน้าที่กีดขวางการไหลของของเหลวที่ไหลอยู่ภายในท่อทำให้ความดันที่ด้านหน้าของแผ่นออริฟิสมีค่าความดันสูงขึ้นจากความดันปกติภายในท่อเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลง ส่วนความดันที่ด้านหลังของแผ่นออริฟิสจะมีค่าลดลง เพราะพื้นที่หน้าตัดของการไหลเพิ่มขึ้น เมื่อทำการวัดความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิสจะได้ความดันแตกต่าง ซึ่งความดันที่ด้านหน้าแผ่นออริฟิสเป็นด้านที่มีความดันสูง และความดันที่ด้านหลังแผ่นออริฟิสเป็นความดันต่ำ ระดับของความดันแตกต่างยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งจุดวัดความดันที่ด้านหน้าและด้านหลังแผ่นออริฟิสตัววัดและส่งสัญญาณความดันแตกต่าง (FT) ทำหน้าที่วัดความดันแตกต่างที่เกิดจากแผ่นออริฟิสและเปลี่ยนค่าความดันแตกต่างให้เป็นกระแสไฟฟ้ามาตรฐานที่ใช้ในการส่งสัญญาณคือ 4-20 มิลลิแอมป์

เพื่อส่งให้กับตัวควบคุมการไหล (ตัววัดและส่งสัญญาณความดันแตกต่างอาจจะมีฟังก์ชันถอดรอกที่สองอยู่ในตัวเพื่อถอดรอกที่สองของความดันแตกต่าง) ตัวควบคุมอัตราการไหลจะทำการควบคุมอัตราการไหลให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับอัตราการไหลเป้าหมายมากที่สุด โดยที่ตัวควบคุมอัตราการไหลจะส่งสัญญาณเอาท์พุทเป็นกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ ไปปรับวาล์วควบคุมเปิดหรือปิดในตำแหน่งอัตราการไหลที่ต้องการเนื่องจากสัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุมเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้างั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณกระแสไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณลมมาตรฐาน 3-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 0.2-1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ก่อนที่จะป้อนให้กับวาล์วควบคุม



ภาพที่ 2.5 โค้ดแกรมของกระบวนการอัตราการไหล

บทที่ 3

หลักการควบคุมแบบ PID และเทคนิค Lookup Table

3.1 กล่าวนำ

หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบควบคุมนี้ จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (PID) เพื่อให้การควบคุมอัตราการไหลได้อย่างเหมาะสมการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ก็มีความสำคัญด้วยเช่นกัน เนื่องจากถ้าเราไม่สามารถทราบ คุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละตัวได้ ดังนั้นเราจะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ด้วยการ Open loop หรือ Close loop ก็ได้

3.2 การควบคุมแบบป้อนกลับ PID

Proportional – plus –Integral –plus – Derivative Control (PID Control)

ในทางอุตสาหกรรมเรามักจะเรียกว่า “Proportional–plus –Integral – plus – Derivative Control (PID Control)” ดังที่กล่าวมาแล้วว่า Integral action ใน PI Control จะทำให้ตัวควบคุมตอบสนองต่อความผิดพลาดช้าลงกรณีที่โปรเซสช้าอยู่แล้วเราอาจจำเป็นต้องเพิ่ม Derivative action (หรือ Rate action) เพื่อลดความช้าของระบบควบคุม การควบคุมแบบนี้เราเรียกว่า PID – Control

เราจะพบการควบคุมแบบ PID ในงานควบคุมอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก (MV) กับสัญญาณขาเข้า (PV) ของ PID–Controller ที่ค่าเป้าหมาย (SP) ใดๆ แสดงได้ดังนี้

$$MV(t) = \frac{100}{PB} \left[e(t) + \left(\frac{1}{Ti} \right) \int e(t) dt + Td \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \right] + b \quad \dots\dots(3.1)$$

เมื่อ Td = Derivative time หรือ rate time หน่วยเป็นนาที (Minutes)

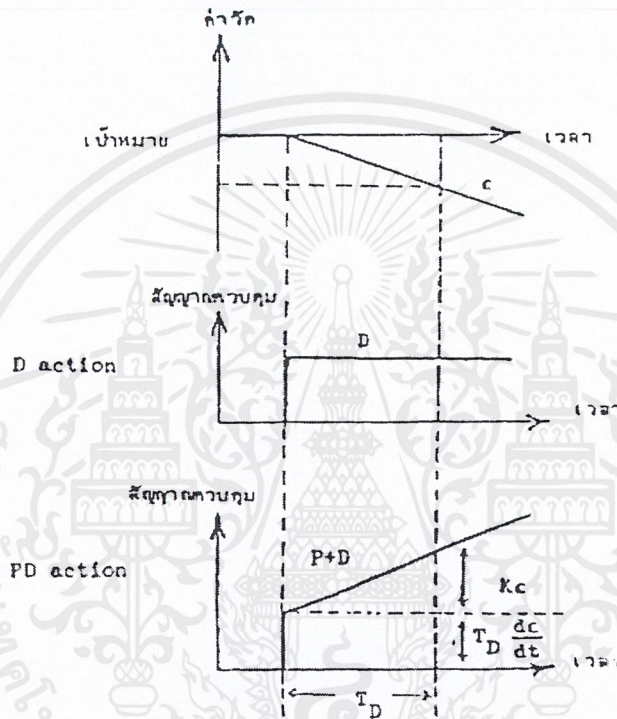
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ MV กับ PV ในสมการ (3.1) จะยุ่งยากซับซ้อนไม่เหมาะกับการอธิบาย Derivative action ภาพที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของ MV กับ PV ของ PD Controller กรณี Open loop ซึ่งง่ายต่อการทำความเข้าใจ Derivative action

ผลตอบสนองของ Derivative action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าของความผิดพลาด(SP-PV)

กรณีค่าเป้าหมายมีค่าคงที่ที่ทราบค่าที่สัญญาณขาเข้าไม่เปลี่ยนแปลง Derivative action จะไม่มีผลต่อสัญญาณขาเข้า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Derivative action จะเพิ่มหรือลดขนาดสัญญาณขาออกตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า

จากภาพที่ 3.1 ขณะเวลา ($t_3 < t < t_4$) สัญญาณขาเข้าเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราที่คงที่ D-action จะทำงานคล้ายกับการทำให้ผลตอบสนองของ P-Action เร็วกว่าเดิมเป็นเวลา T_d วินาที

การเพิ่ม Derivative action เข้าไปใน PI Control จะทำให้ตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น สัญญาณวัดเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้นจากรูป เราจะพบว่ายิ่ง T_d มีค่ามาก สัญญาณวัดยิ่งเปลี่ยนแปลงกับสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเราปรับตั้งค่า T_d มากเกินไป สัญญาณวัดอาจเกิดการแกว่งได้ (กรณี $T_d = T_{d_2}$) ปกติเรามักปรับค่า T_d ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่า T_{d_2}



ภาพที่ 3.1 ผลของ D-Action ในตัวควบคุม PD Controller ขณะ Open Loop

จุดมุ่งหมายของการควบคุมแต่ละชนิดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ต่างก็มีจุดมุ่งหมายเดียวกัน คือ พยายามรักษาให้ค่าตัวแปร โพรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่เสมอ ในกรณีที่เกิด Disturbance ในระบบ หรือมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายใหม่จะทำให้ตัวแปร โพรเซสมีค่าต่างจากค่าเป้าหมายในขณะหนึ่งตัวควบคุมก็จะพยายามควบคุมให้ตัวแปร โพรเซสพยายามเข้าใกล้ค่าเป้าหมายนี้ในที่สุด ซึ่งลักษณะการนำค่าตัวแปร โพรเซสเข้าใกล้ค่าเป้าหมายนี้จะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของระบบควบคุม

เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของการควบคุมชนิดต่างๆ เหล่านี้จึงพอสรุปได้ว่าระบบการควบคุมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. มีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแกว่ง (Oscillation) เมื่อถูกรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตอบรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายหรือ Disturbance ได้รวดเร็ว
3. ไม่เกิด Offset

3.2.1 ความยากง่ายในการควบคุมโปรเซส

ลักษณะทั่วไปของโปรเซสนั้นจะมี Time lag จากรูปคลื่นผลตอบสนองของโปรเซสต่อ Step input เราสามารถหาค่า Dead time (LE) และค่าคงตัวเวลา (TE) โดยประมาณได้จากอัตราส่วน LE/TE นี้จะเป็นค่าที่ใช้ประเมินความยากง่ายในการควบคุมและใช้เลือกแบบการควบคุม พิจารณาตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกใช้แบบตัวควบคุม

LE / TE	แบบการควบคุมที่เหมาะสมกับ โปรเซส
LE / TE < 0.2	ON / OFF , P , PI
0.2 < LE / TE < 1.0	PI / PD
1.0 < LE / TE	Feedforward , Computer control

3.2.2 สาเหตุของการขาดเสถียรภาพในระบบ

1. ผลของระบบควบคุมข้างเดียว หรืออื่นๆ
2. Disturbance เป็น Periodic
3. มี Non-linear Element ในระบบเอง เช่น ความผิด Dead Band เป็นต้น
4. Process gain หรือ Loop gain มีค่าสูงเกินไป
5. คุณสมบัติของตัวแปรในระบบไม่คงที่แปรเปลี่ยนตาม Disturbance, เวลา, ค่าเป้าหมาย เป็นต้น

3.2.3 ผลของ PID ต่อความเสถียรภาพของระบบ

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบ PID นั้น ถ้าเราลองเปลี่ยนแปลงค่า PB , Ti และ Td จะมีผลตอบสนองของระบบควบคุมดังนี้

ผลของ P Action

เมื่อลดค่า PB ลงทำให้อัตราขยายสูงขึ้นจะมีผลทำให้

1. Offset ลดลง
2. Period ของการแกว่งเล็กลง

3. อัตราส่วนของช่วงการแกว่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

ผลของ I Action

เมื่อ P และ D action คงที่ แล้งลดลง T_i (Reset time) จะมีผลทำให้

1. Offset หายไป
2. ผลตอบสนองเร็วขึ้น (Fast Response)
3. อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้นระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

ผลของ D Action

เมื่อให้ P และ I action คงที่แล้ว ลองเพิ่มค่าเวลา T_d (Derivative Time) ให้ยาวขึ้น จะมีผลทำให้

1. อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งลดลงระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น
2. Period ของการแกว่งสั้นลง

3.2.4 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

การปรับแต่งหาค่า ซึ่งสามารถหาได้ทางคณิตศาสตร์และทางปฏิบัติ แต่ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมก็จะนิยมใช้แบบทางด้านปฏิบัติมากกว่าเนื่องจากการหาค่าทางคณิตศาสตร์ จำเป็นจะต้องรู้ตัวแปรในกระบวนการทั้งหมด ซึ่งในเรื่องที่ยู่ยากมาก

การปรับแต่งหาค่าพารามิเตอร์ PID ในทางปฏิบัติ ทำได้อยู่ 3 วิธีด้วยกันดังนี้ คือ

1. แบบ Reaction curve (Open loop method)
2. แบบ Ultimate Oscillation Method
3. แบบ Trial & Error Method

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุดซึ่งทำได้หลายวิธีบางวิธีจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยประสบการณ์ บางวิธีจะอาศัยคณิตศาสตร์ และส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนของเวลามากกว่าในโดเมนของความถี่

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ PID ดังนี้

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

โดยที่ K_p Proportional Gain

T_i Integral Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_d Derivative Time

เมื่อ $e(t)$ และ $u(t)$ คืออินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุม จะได้ว่า

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{-\infty}^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

นอกจากนี้ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ PID อาจเขียนอยู่ในรูปของ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

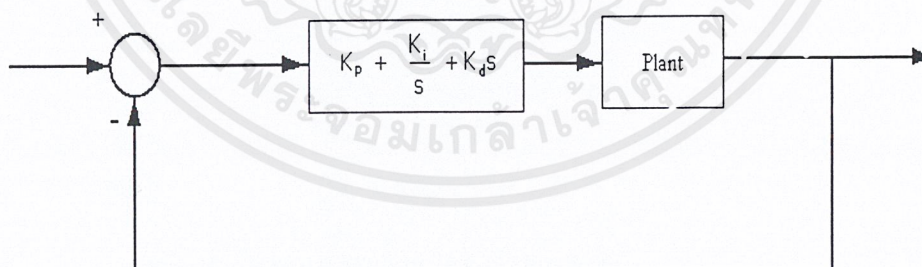
โดยที่ K_p Proportional Gain

K_i Integral Gain

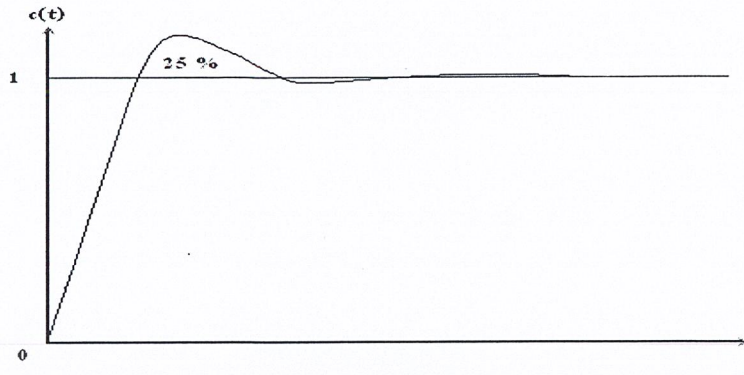
K_d Derivative Gain

การปรับค่าของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

วิธีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่ถูกควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี แต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุตแบบ Unit Step มีค่าของ Maximum Overshoot ไม่เกิน 25% ดังรูป



ภาพที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID



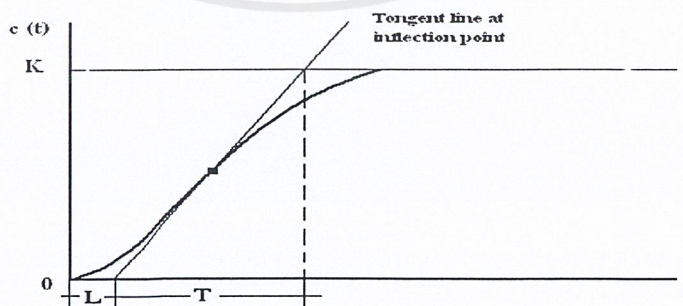
ภาพที่ 3.3 แสดงค่าที่พุ่งเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols

วิธีที่ 1 Process Reaction Curve (Open loop)

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมต่ออินพุทแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มี Pole ที่จุด Origin หรือไม่มี Dominant Complex-Conjugate Poles และไม่มีตัวควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้นผลตอบสนองเวลาจะเป็นรูปตัว S ดังในรูป (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) ซึ่งสามารถจะแยกพิจารณาเป็นค่าคงที่ 2 ตัว คือค่าของ Delay Time (L) และเวลาคงที่ T (Time Constant) จากนั้นให้ลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการการเบี่ยงเบนสูงสุดเส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาท์พุท $c(t)$ ที่ $c(t)=K$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มี Transport lag คือ

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}$$



ภาพที่ 3.4 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ P

$$K_p = \frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right)$$

2. ตัวควบคุมแบบ PI

$$K_p = \frac{1}{K} \left(0.9 \frac{T}{L} \right)$$

$$T_i = \frac{L}{0.3}$$

3. ตัวควบคุมแบบ PID

$$K_p = \frac{1}{K} \left(1.2 \frac{T}{L} \right)$$

$$T_i = 2L$$

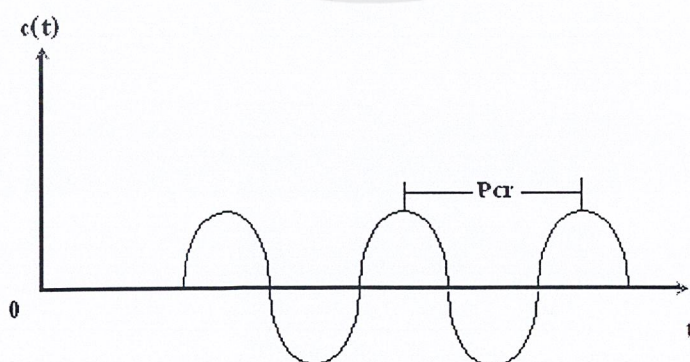
$$T_d = 0.5L$$

วิธีที่ 2 Ultimate Method (Close loop)

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P ต่ออินพุตแบบ Unit Step โดยการปรับค่าของ K_p ไปเรื่อยๆจนผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillators) ดังในรูป (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) เป็นอัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (Oscillation Period) เป็นคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 3.5 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ P

$$K_p = 0.5 K_{cr}$$

2. ตัวควบคุมแบบ PI

$$K_p = 0.45 K_{cr}$$

$$T_i = P_{cr}/1.2$$

3. ตัวควบคุมแบบ PD

$$K_p = 0.6 K_{cr}$$

$$T_d = 0.125 P_{cr}$$

4. ตัวควบคุมแบบ PID

$$K_p = 0.6 K_{cr}$$

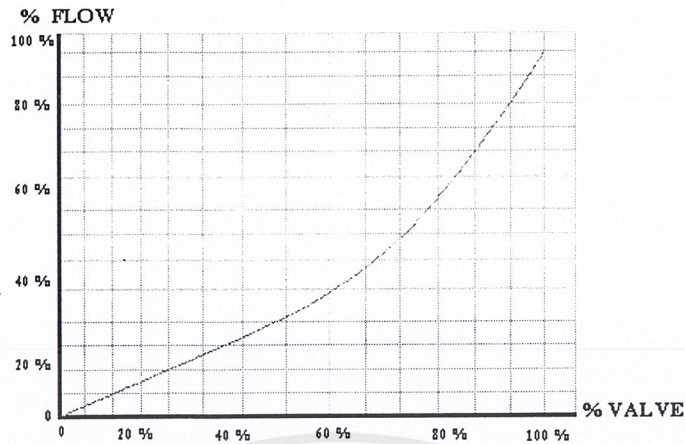
$$T_i = 0.5 P_{cr}$$

$$T_d = 0.125 P_{cr}$$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้น ไม่ใช่ค่าที่เที่ยงตรงที่จะนำไปใช้งานได้ทันที และมี Maximum Overshoot เท่ากับ 25% ตามที่กล่าวไว้จะเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้น ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

3.3 เทคนิคของ Lookup Table

Lookup Table คือ การที่เรานำค่าในตารางมาใช้งาน โดยมีการสอบเทียบหรือวัดมาก่อนล่วงหน้า ในโครงการนี้เราได้นำหลักการของ Lookup table มาใช้ในการควบคุม Valve โดยมีการสอบเทียบระหว่าง %Valve และ %Flow โดยใช้ %Valve เป็นหลักมีการสอบเทียบที่ละ 5% โดยใช้ Voltage to Pressure Converter (V/P) เปิดและปิด Valve ใช้แรงดันมาตรฐาน 1-5 V ในส่วน %Flow โดยการวัดจากออร์ฟิซและผ่าน Pressure to Current converter (P/I) ออกมาเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA สามารถแสดงให้เห็นตามตัวอย่างการสอบเทียบตามภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นตามตัวอย่างการสอบเทียบของ %Valve และ %Flow

การนำไปใช้งานจะนำค่าที่วัดได้มาใช้งานร่วมกับ การควบคุมแบบ PI โดยมีการเปลี่ยน โหมดตาม Gap Error ที่เรากำหนดไว้ โดยถ้าค่า Error มากกว่า Gap Error ก็จะเปลี่ยนโหมดเป็น Lookup Table แต่ถ้าค่า Error น้อยกว่า Gap Error ก็จะเปลี่ยนโหมดควบคุมเป็นแบบ PI โดยกล่าว ในรายละเอียดที่ใช้ซอฟต์แวร์เขียนในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

การออกแบบการควบคุมอัตราการไหล

4.1 กล่าวนำ

การออกแบบควบคุมอัตราการไหล ในการทำโครงการนี้ได้ทำการใช้การควบคุมแบบ PID ร่วมกับหลักการของ Lookup Table ในการทำปฏิกิริยาอินพุตได้ทดสอบการใช้การควบคุมแบบ PID และใช้การควบคุมแบบ PID ร่วมกับหลักการของ Lookup Table โดยในการทำปฏิกิริยาอินพุตได้ใช้ Software ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆและแสดงผลให้เห็นได้ชัดเจน หลักการทำงานได้อธิบายไว้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2 ฮาร์ดแวร์

ลักษณะทั่วไปของ I/O CARD

I/O CARD เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อกับ PC เพื่อขยายระบบ Input และ Output ให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นซึ่ง I/O CARD สามารถที่จะรับสัญญาณ Input และให้สัญญาณ Output ออกมาได้ทั้งในรูปแบบของ Analog และ Digital ทำให้มีความอ่อนตัว ในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่ง I/O CARD มีอุปกรณ์ร่วมและมีจุดเด่นๆ ของตัวมันเองดังนี้คือ

มี IC 8255 (Programmable Peripheral Interface) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะใช้ Program ให้เป็นได้ทั้ง Input และ Output ตามความต้องการของผู้ใช้เองได้ทั้งหมด 3 พอร์ต หรือ 24 Bit I/o ในรูปของสัญญาณ Digital นั้นเอง

มี IC 8253 (Programmable Interval timer) จำนวน 1 ตัว ทำให้ I/O CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น

- 1.) Program ให้ทำงานเป็นวงจรสร้างฐานเวลาแบบต่าง ๆ
- 2.) Program ให้เป็นวงจรรนับแบบต่าง ๆ
- 3.) Program ให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณ Interrupt ให้เครื่อง PC
- 4.) Program ให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณ Square wave
- 5.) Program ให้เป็นวงจรสร้างความถี่

ซึ่ง IC 8250 นี้มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานถึง 3 Channel และแต่ละ Channel ทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ

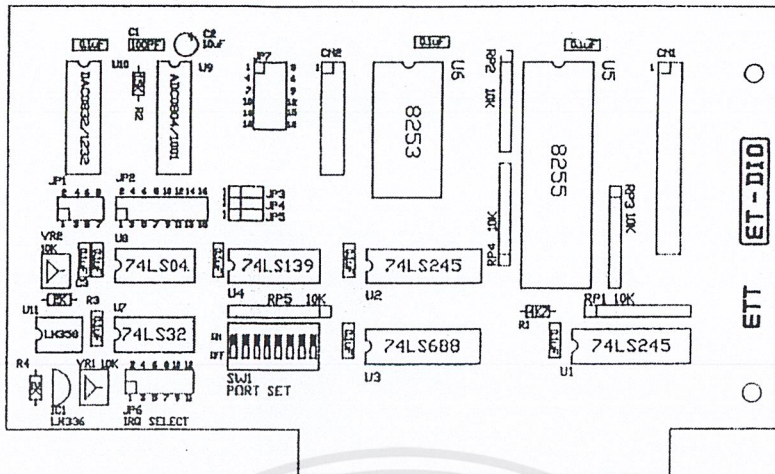
มี IC ADC Analog to Digital Converter จำนวน 1 ตัวซึ่งสามารถที่จะใช้ได้ถึง 3 เบอร์ คือ ADC 0804 (8บิต) หรือ ADC 1001 (10บิต) ซึ่งทำให้ I/O CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับหรือการวัดสัญญาณหรือรับสัญญาณ Input ในรูปของสัญญาณ Analog ได้ 1 Channel ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามาสามารถที่จะรับได้โดยตรงสูงถึง 5 VDC หรือมากกว่าโดยเพิ่มวงจรมาย่านวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย ทำให้ I/O CARD สามารถประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับหรือการวัดสัญญาณหรือรับสัญญาณ Input ในรูปของสัญญาณ Analog ได้ 1 Channel ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog ที่รับเข้ามาสามารถที่จะรับได้โดยตรงสูงถึง 5 VDC หรือมากกว่าโดยเพิ่มวงจรมาย่านวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย ทำให้ I/O CARD สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดสัญญาณต่าง ๆ ได้มากมายเช่น

- 1.) เครื่องวัดแรงดัน
- 2.) เครื่องวัดกระแส
- 3.) เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 4.) เครื่องวัดความต้านทาน
- 5.) เครื่องวัดความจุ

ซึ่งผลของการวัดแบบต่าง ๆ สามารถที่จะแนะนำมาเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลหรือแสดงผลในรูปแบบอื่น ๆ ได้ตามต้องการผู้ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมเอง

มี IC DAC (Digital to Analog Converter) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ DAC 0832 (8บิต) หรือ DAC 1232 (12บิต) ซึ่งเลือกใช้ได้โดยการ Set Jumper JP1 ทำให้ I/O CARD สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ โดยส่งสัญญาณในรูปของ Analog ออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งขนาดของสัญญาณ Analog มีวงจร Op Amp เพื่อขยายขนาดสัญญาณอยู่แล้วซึ่งผู้ใช้สามารถปรับขนาดของสัญญาณได้ ตั้งแต่ 0V – 10.66 VDC

มีวงจรถอดรหัสตำแหน่งของพอร์ตที่จะใช้งานทำให้สะดวกในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพอร์ตที่จะใช้งานได้โดยการ SET DIP SWITCH ทำให้มีความอ่อนตัวในการใช้งานและสามารถที่จะนำ I/O CARD ต่อร่วมกับเครื่อง PC ได้มากกว่า 1 Card โดยกำหนดพอร์ตใช้งาน ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.1 รูปแสดงการวางตำแหน่งต่างๆ ของ I/O CARD

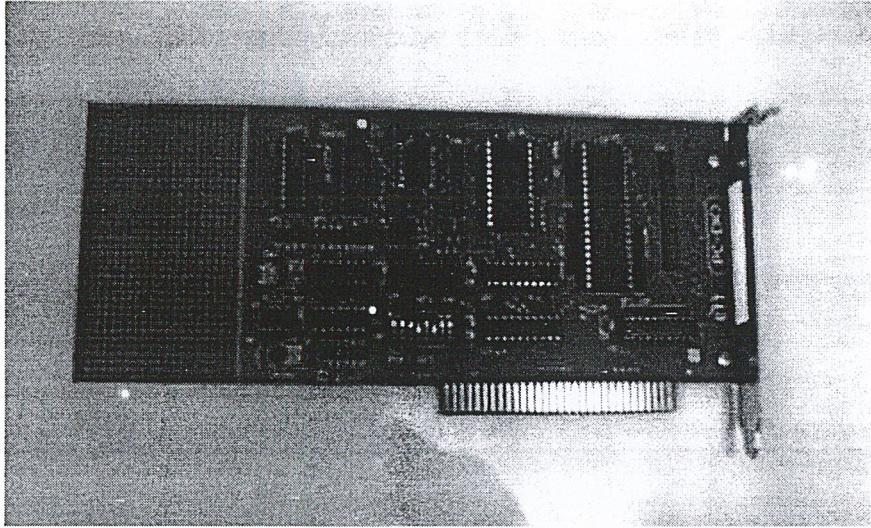
การปรับแรงดันอ้างอิง

I/O CARD มีวงจรควบคุมแรงดันอ้างอิงซึ่งประกอบอยู่ในตัวเรียบร้อยแล้วซึ่งใช้ IC LM336 เป็นอุปกรณ์หลักโดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VRI) เป็นตัวปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งขนาดของแรงดันอ้างอิงนี้กำหนดให้มีขนาด 2.50 V โดยใช้เป็นค่าแรงดันอ้างอิงของ IC DAC และ IC ADC ซึ่งการปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิงนี้ทำได้โดยการใช้ Volt Meter วัดเทียบระหว่าง GND และ จุดกำเนิดแรงดันอ้างอิง 2.50 V แล้วทำการปรับ VR1 จนได้แรงดัน 2.50 VDC พอดี

การปรับแต่งขนาดสัญญาณของ Analog

สัญญาณ Analog ที่ได้จาก IC D to A มีวงจร Op Amp เพื่อทำการขยายให้มีขนาดสัญญาณสูงขึ้นเพื่อความสะดวกในการใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ดีขึ้น ซึ่งขนาดของสัญญาณนี้สามารถกำหนดและปรับแต่งได้ตั้งแต่ 0V - 10.6 V โดยประมาณ การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ Analog ของ D to A ทำได้โดย

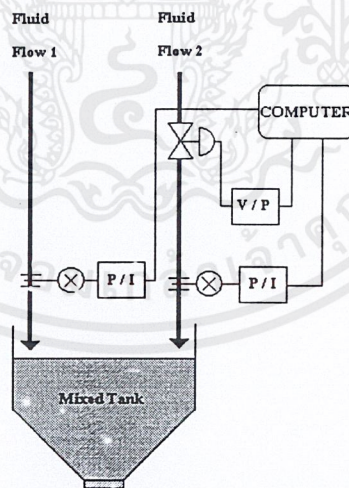
- 1.) กำหนดค่าของสัญญาณสูงสุดที่ต้องการใช้
- 2.) ส่งค่า DATA = FFH ให้ Port Central ของ DAC
- 3.) ปรับ VR 2 ให้ได้ขนาดของสัญญาณตามต้องการ



ภาพที่ 4.2 รูปแสดง I/O CARD

4.3 ซอฟต์แวร์

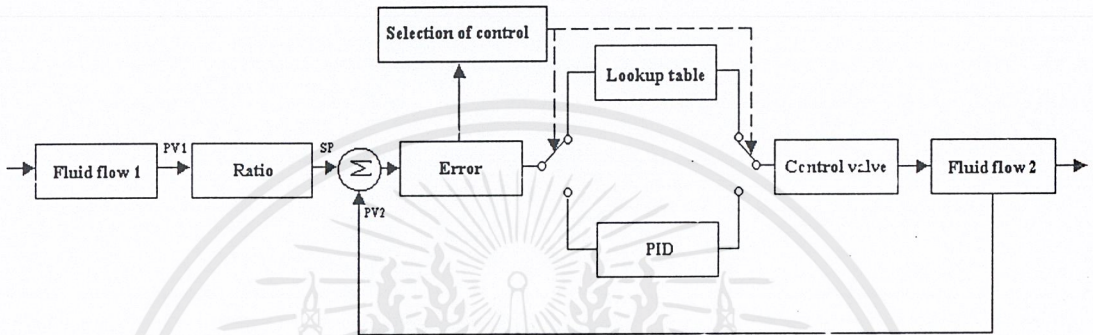
โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ตามภาพที่ 4.1 โดยรับและส่งสัญญาณมาตรฐานผ่าน I/O การ์ด ลักษณะและรูปแบบการเขียนโปรแกรมโดยใช้หลักการตามภาพที่ 4.2 และ Flow Chart แสดงดังภาพที่ 4.3 และได้แสดงรายละเอียดด้านล่างต่อไป



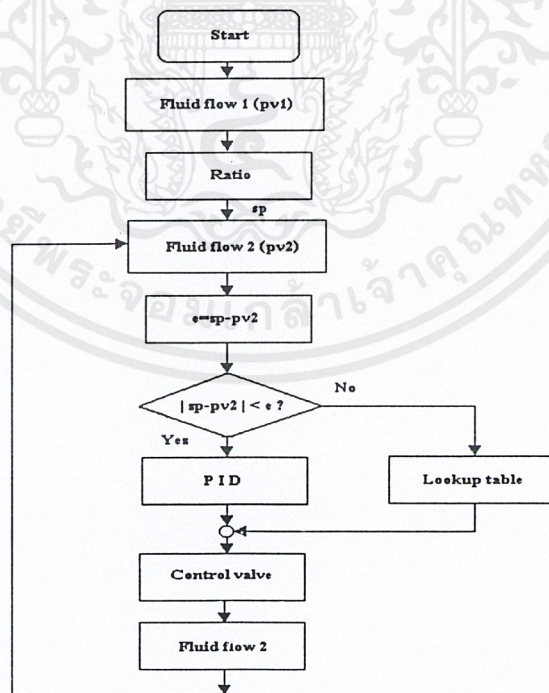
ภาพที่ 4.3 การควบคุมอัตราการไหลแบบอนุกรม (Series Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานโครงการนี้ จึงจะแก้ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการควบคุมแบบ PID เช่น Overshoot การระบบเข้าสู่เป้าหมายช้าโดยเมื่อค่าที่ผิดพลาดมีค่าเกินค่าตามที่กำหนด ให้ Control Valve โดยใช้ Lookup table แต่ถ้าค่าผิดพลาดมีค่าน้อยกว่าค่าตามที่กำหนดก็ให้ Control Valve โดยใช้ PID ในการใช้ Lookup Table จะมีการสอบเทียบก่อน และนำมาใส่ในตารางเพื่อจะใช้ชดเชยในส่วนที่ขาดไปโดยค่าในตารางนี้จะมีการสอบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ Flow และ เปอร์เซนต์ Valve ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 เมื่อมีการผิดพลาดมากกว่าที่กำหนด ให้ Control valve โดยใช้ Lookup Table

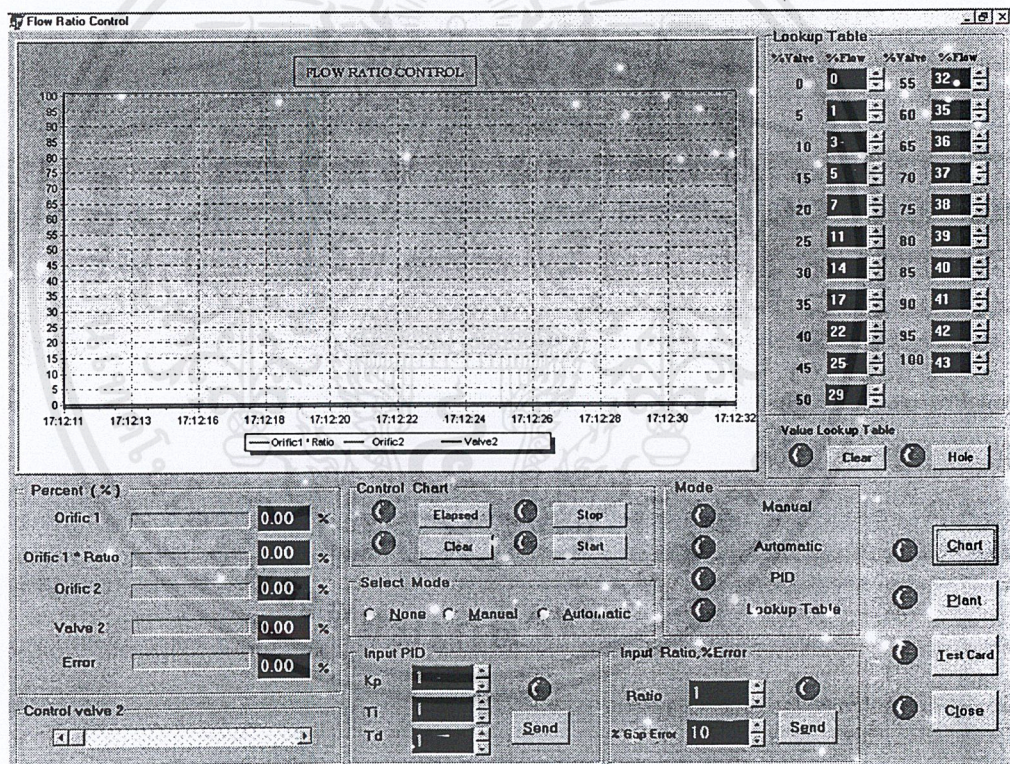


ภาพที่ 4.5 Flowchart ของการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ PID ร่วมกับ Lookup Table

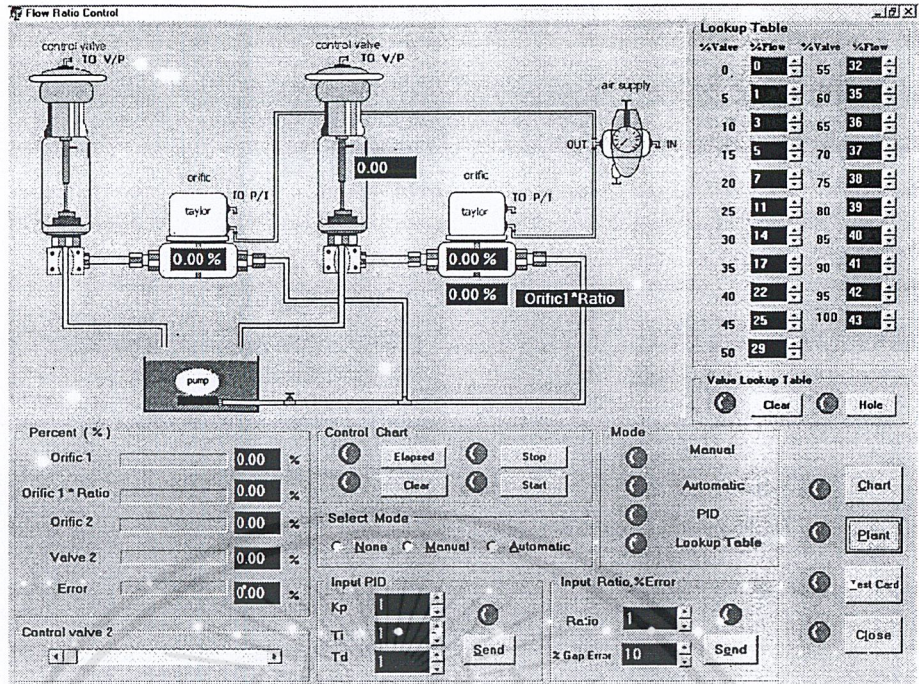
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบการทำงานร่วมระหว่างการควบคุมแบบ PI และ Lookup Table สามารถแสดงดังภาพที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.4 Flow Chart ที่ภาพที่ 4.5 จะแสดงหลักการเขียนโปรแกรม ในการเขียนโปรแกรมได้ใช้ โปรแกรมภาษา Delphi ควบคุมผ่าน I/O การ์ด ส่งและรับแรงดันมาตรฐาน 1-5 V เพื่อนำมาควบคุมระบบการทำงานของเครื่องทดลองโครงการนี้

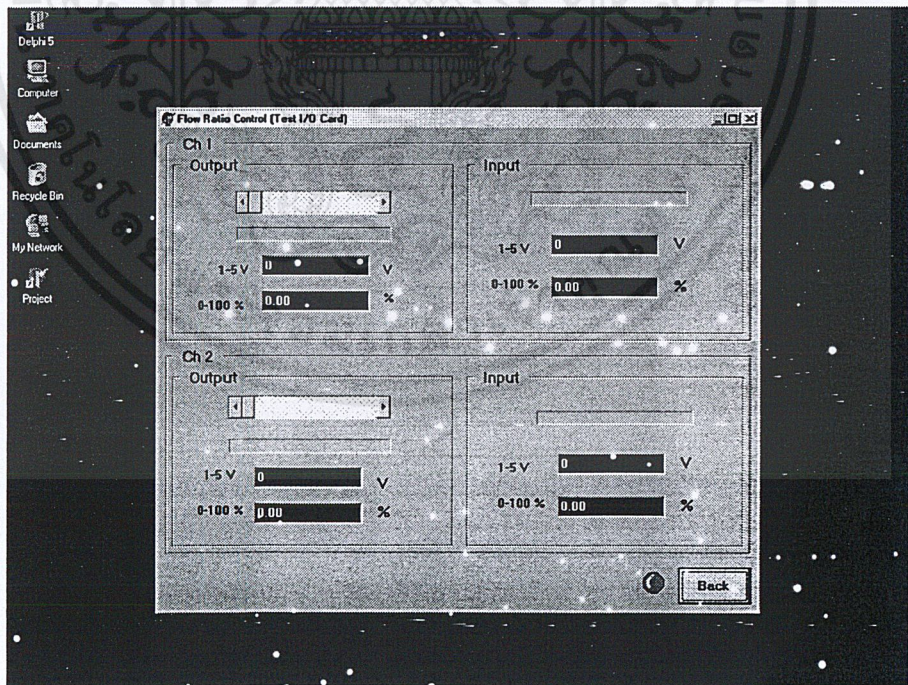
หลักการเบื้องต้นคือ เมื่อรับค่าจาก ออร์ฟิซของชุดที่ 1 แล้วจะนำค่าที่ได้มาคูณกับค่า Ratio แล้วเปรียบเทียบกับออร์ฟิซของชุดที่ 2 ถ้าค่ามากกว่าก็จะสั่งเปิดวาล์ว ถ้าค่าน้อยกว่าก็จะสั่งปิดวาล์ว และในการสั่งเปิดและปิดวาล์ว จะใช้ควบคุมแบบ PI และ Lookup Table ร่วมกันโดยใช้ Gap Error ที่เรที่ตั้งค่าไว้เป็นเงื่อนไขในการเปลี่ยนโหมด โดยถ้าค่า Error ในระบบมากกว่าค่า Gap Error ที่เรที่ตั้งค่าไว้ก็จะใช้ Lookup Table แต่ถ้าค่า Error ในระบบน้อยกว่าค่า Gap Error ที่เรที่ตั้งค่าไว้ก็จะใช้ระบบควบคุมแบบ PI



ภาพที่ 4.6 รูปแสดงหน้าจอควบคุมการทำงาน (ในรูปแบบกราฟ)



ภาพที่ 4.7 รูปแสดงหน้าจอควบคุมการทำงาน (ในรูปแบบ Plant)



ภาพที่ 4.8 รูปแสดงหน้าจอควบคุมการทำงาน (ในรูปแบบการทดสอบการ์ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนโปรแกรมนี้ยังแบ่งเป็น 2 โหมดหลัก คือ แบบ อัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ ในแบบอัตโนมัติได้กล่าวข้างต้นแล้วและแบบกึ่งอัตโนมัติไว้เพื่อการปรับค่าต่างๆที่ให้นำมาวิเคราะห์และยังนำมาใช้ในการหาค่าลงในตาราง Lookup Table เพื่อไว้ใช้ในระบบต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

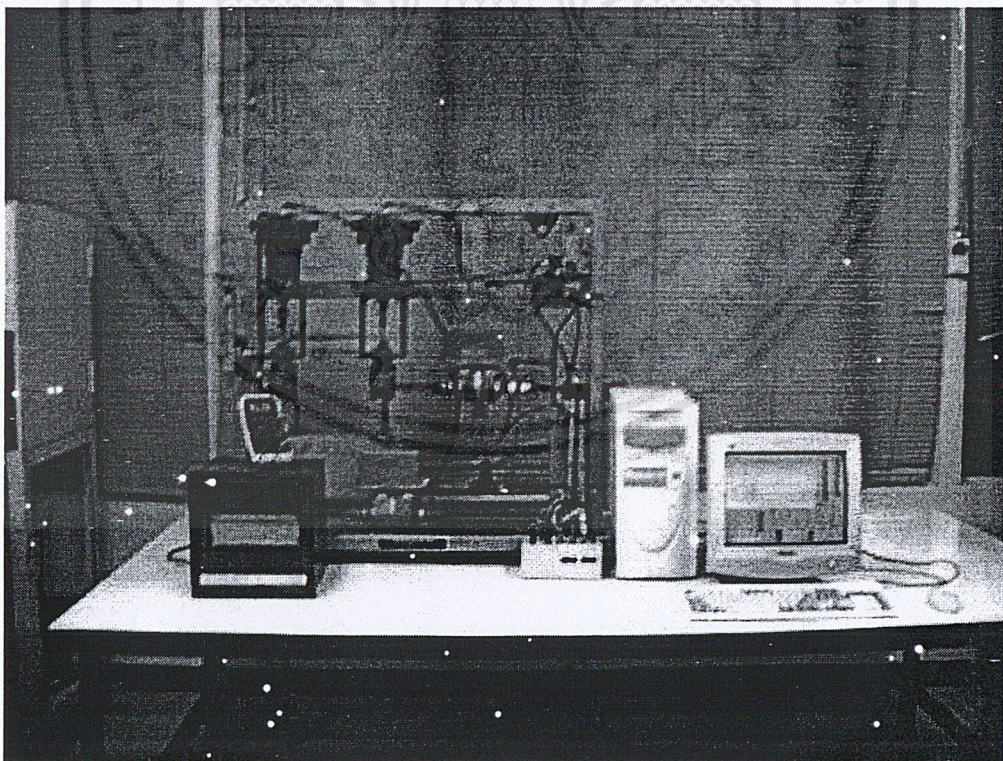
การทดลองและผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

จากการทดลองโครงการนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID การใช้ตัวควบคุม PID ในการทดลองโครงการนี้ และ การใช้งานร่วมระหว่างตัวควบคุม PID และ หลักการของ Lookup Table ในส่วนของตัวควบคุม PID นี้ เราจะใช้ตัวควบคุมแบบ P และ ตัวควบคุมแบบ I เท่านั้น เนื่องจากระบบการทำงานของโครงการนี้เป็นการวัด Flow สัญญาณที่ออกมาจึงมีค่าออกมาที่แกว่งตัว เพราะฉะนั้นถ้าใช้ตัวควบคุมแบบ D ก็จะทำให้ระบบแกว่งตัวมากขึ้น คั้งเนื้อหาและสมการที่กล่าวไว้ใน บทที่ 3 ข้างต้น

5.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ แบบ Process Reaction Curve (Open loop) และ แบบ Ultimate Method (Close loop)

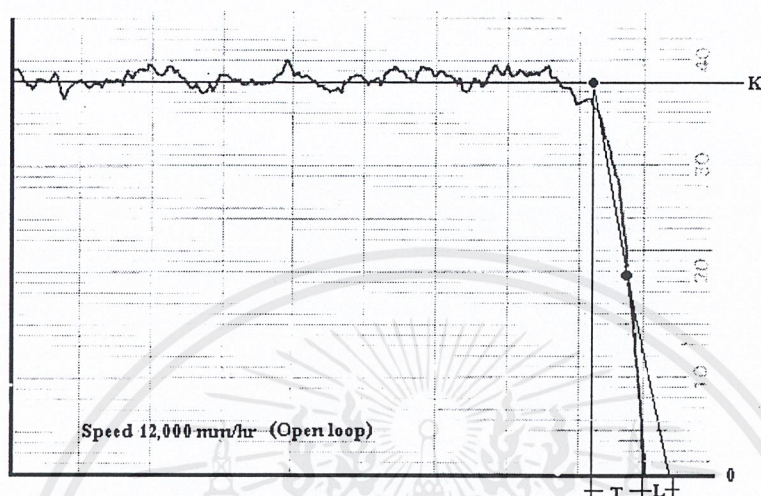


ภาพที่ 5.1 แสดง Plant ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 แบบ Process Reaction Curve (Open loop)

การทดลองปฏิกิริยาขั้นแบบ Process Reaction Curve โดยให้ Plant อยู่ในลักษณะ Open loop และได้กราฟแสดงค่าต่างๆ ตามภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แสดงกราฟที่ได้จากการ Open loop ของ Plant

จากกราฟภาพที่ 5.2 สามารถหาค่าตัวควบคุมแบบ PI จากสูตรและแทนค่าดังนี้ โดยที่ $T=2.4$ sec , $L=1.8$ sec , $\text{Input}=75\%$, $\text{Output}=38\%$

$$K = \text{Output}/\text{Input} = 38/75 = 0.506$$

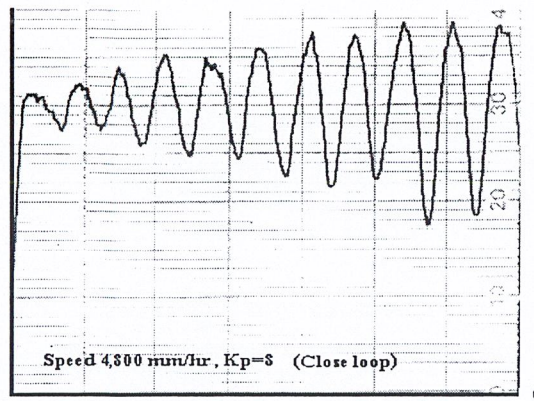
$$K_p = 0.9T / LK = (0.9 \times 2.4) / (1.8 \times 0.506) = 2.372$$

$$T_i = 1.8 / 0.3 = 6 \text{ sec}$$

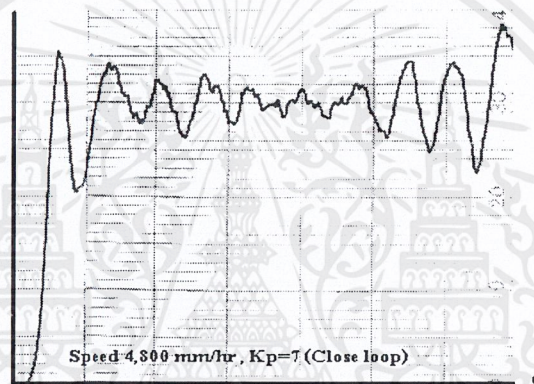
5.2.2 แบบ Ultimate Method (Close loop)

การทดลองโรงงานแบบ Ultimate Method โดยให้ Plant อยู่ในลักษณะ Open loop และได้กราฟแสดงค่าต่างๆ ตามภาพที่ 5.3-5.7

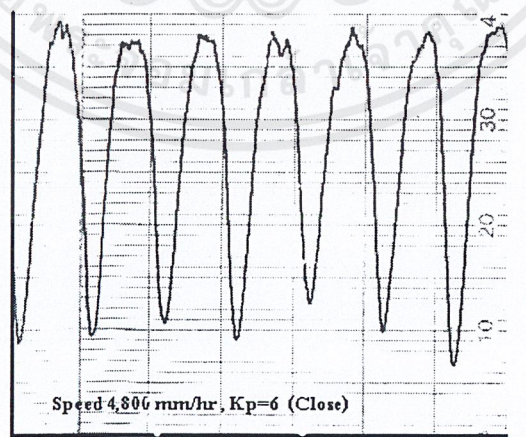
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.3 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=8$)

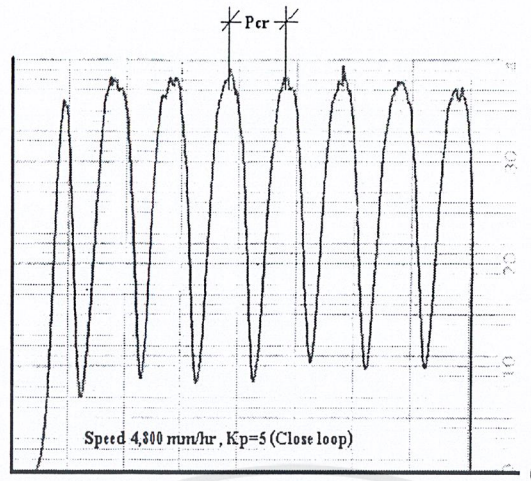


ภาพที่ 5.4 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=7$)

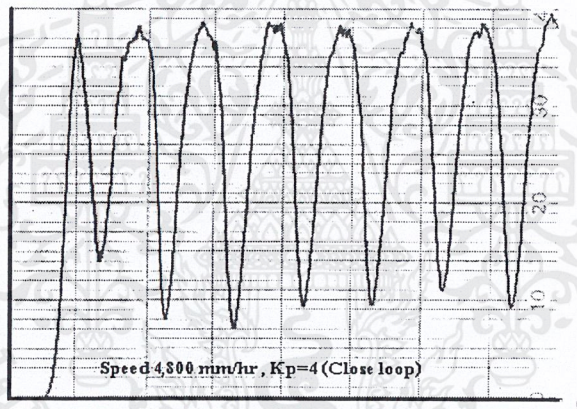


ภาพที่ 5.5 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=6$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.6 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=5$)



ภาพที่ 5.7 แสดงกราฟที่ได้จากการ Close loop ของ Plant ($K_{cr}=4$)

จากกราฟภาพที่ 5.3-5.7 เมื่อลดค่า $K_p(K_{cr})$ ลงมาเรื่อยๆ จนเกิดการแกว่งตัวต่อเนื่องตามภาพที่ 5.6 ที่มีการแกว่งตัวต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงใช้ค่า $K_{cr}=5$ และสามารถหาค่าตัวควบคุมแบบ PI จากสูตรและแทนค่าดังนี้

โดยที่ $K_{cr}=5$

$$P_{cr} = 9 \text{ sec}$$

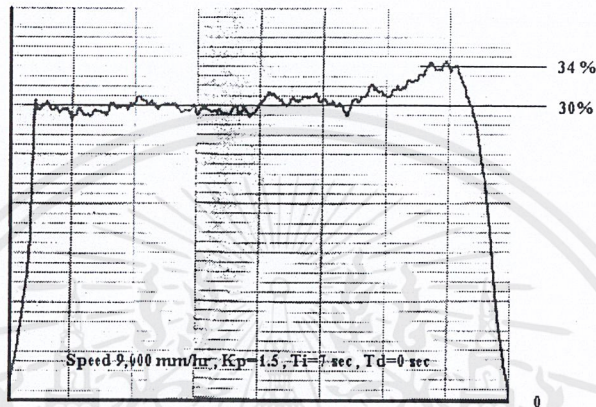
$$K_p = 0.45K_{cr} = 0.45 \times 5 = 2.25$$

$$T_i = P_{cr} / 1.2 = 9 / 1.2 = 6 \text{ sec}$$

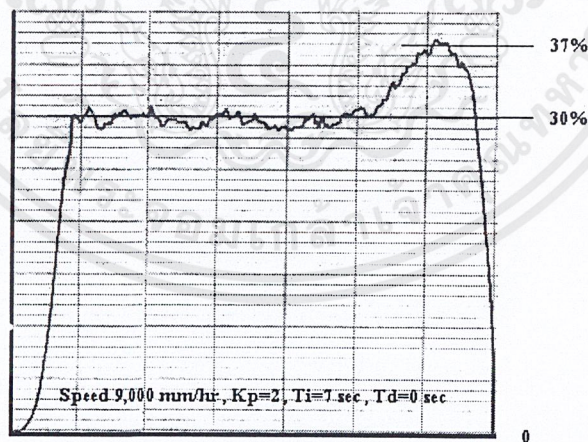
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การใช้ตัวควบคุม PID

ในการทดลองนี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบ PI ตามเหตุผลข้างต้นและได้มีการปรับค่า K_p ที่ 1.52 และ 2.5 และใช้ค่า T_i ที่ 7 sec ตามที่ได้คำนวณไว้ในหัวข้อที่ 5.2 ในการวัดสัญญาณ Output ได้ใช้ Recorder ในการวัดสัญญาณและแสดงผลตามภาพที่ 5.8-5.10 โดยใช้ความเร็ว 9,000 mm/hr และค่าเป้าหมายที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 30%

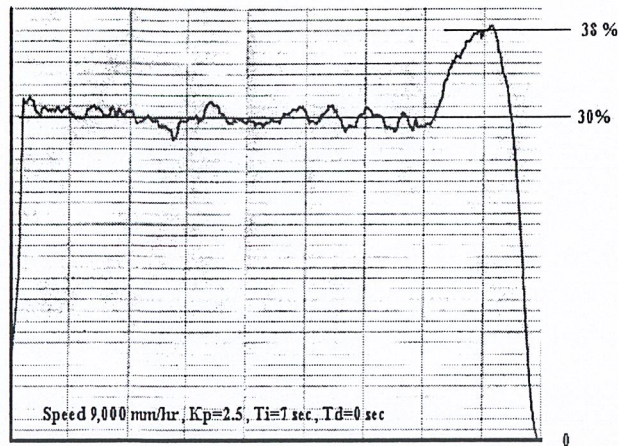


ภาพที่ 5.8 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=1.5$, $T_i=7$ sec



ภาพที่ 5.9 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec

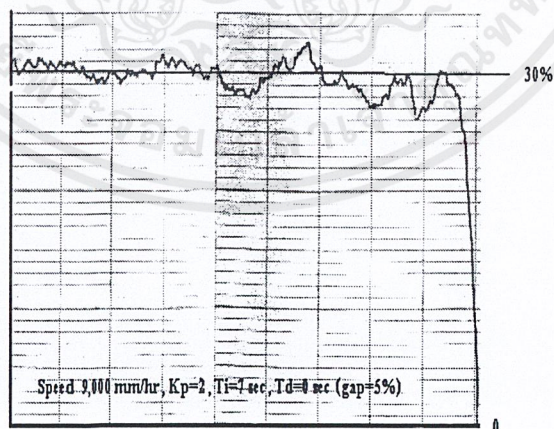
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.10 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2.5$, $T_i=7$ sec

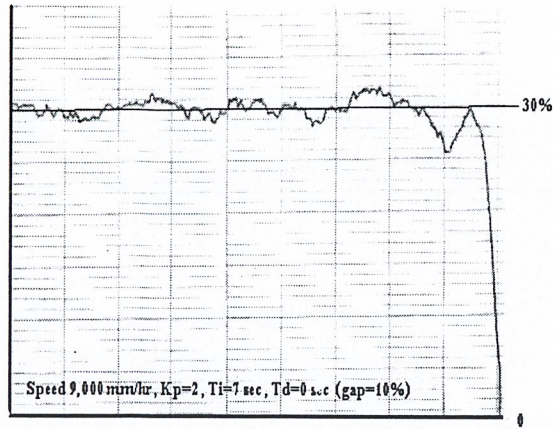
5.4 การใช้ตัวควบคุมร่วมระหว่างตัวควบคุม PID และ หลักการของ Lookup table

ในการทดลองนี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบ PI และหลักการของ Lookup table ร่วมกันตามเหตุผลข้างต้นและได้มีการปรับค่า K_p ที่ 2 ค่า T_i ที่ 7 sec ตามที่ได้คำนวณไว้ในหัวข้อที่ 5.2 และค่า Gap error ที่ 5% , 10% , 15% และ 20% ในการวัดสัญญาณ Output ได้ใช้ Recorder ในการวัดสัญญาณและแสดงผลตามภาพที่ 5.11-5.14 โดยใช้ความเร็ว 9,000 mm/hr และค่าเป้าหมายที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 30%

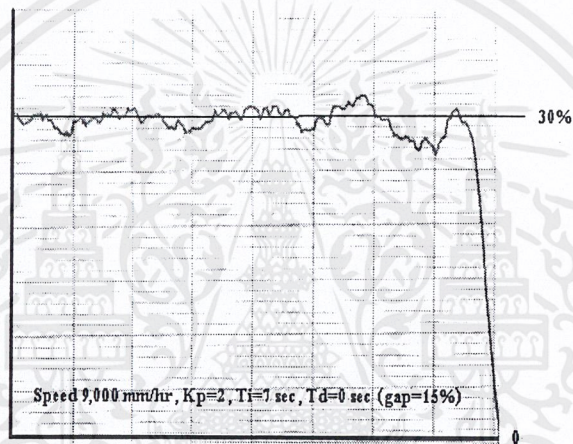


ภาพที่ 5.11 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 5%

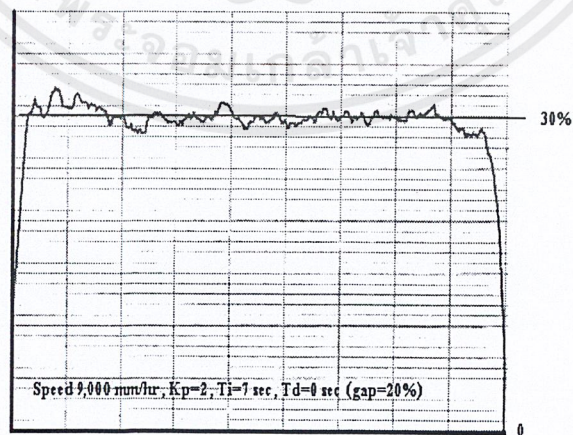
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.12 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 10%



ภาพที่ 5.13 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 15%



ภาพที่ 5.14 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณ Output ที่ $K_p=2$, $T_i=7$ sec , Gap error ที่ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.2 ทำให้เราได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ซึ่งค่านี้ยังไม่ใช้ค่าที่ดีที่สุด แต่เป็นค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมในการควบคุมที่ดีเนื่องจากเราไม่ทราบคุณลักษณะใดๆ ในกระบวนการเลย และผลที่ได้จากการทดลองของ Ziegler-Nichols ทั้งแบบ Process Reaction Curve (Open loop) และ แบบ Ultimate Method (Close loop) ได้ค่าที่ใกล้เคียงกันจึงนำค่าที่ได้ไปทดลองต่อไป ในการทดลองหัวข้อที่ 5.3 เป็นการนำการควบคุมแบบ PI มาใช้แต่ยังมีปัญหาในเรื่อง Overshoot ทำให้ในการนำค่าไปใช้จึงเกิดปัญหาเนื่องจากบางระบบอาจเกิดการเสียหายได้ และเมื่อเราลดค่า K_p เพื่อลด Overshoot ก็ทำให้ระบบเข้าสู่เป้าหมายช้าลง ในหัวข้อที่ 5.4 จึงได้นำหลักการของ Lookup Table มาใช้เพื่อลด Overshoot และทำให้ระบบเร็วกว่าเดิม ในการปรับแต่งหลักการร่วมระหว่าง ตัวควบคุมแบบ PI ร่วม หลักการของ Lookup Table โดยปรับค่าที่ Gap Error เพื่อเปลี่ยนโหมดการควบคุม



บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและออกแบบการควบคุมอัตราการไหล (Flow Ratio Control) ในกระบวนการต่างๆ โดยใช้หลักการของ PI + Lookup Table จากการทดลองได้นำการควบคุมทั้งสองแบบมาทำงานร่วมกัน เนื่องจากการไหลของ flow ไม่ราบเรียบจึงใช้การควบคุมแบบ PI ซึ่งเหมาะสมที่สุดและนำการ Lookup Table เข้ามาช่วยในการควบคุมอัตราการไหล จากการทดลองโครงการได้จำลองกระบวนการควบคุมอัตราการไหล โดยจะบันทึกค่า % Flow และ % Open valve ไว้ในตารางเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้น (Initial) ให้แก่ระบบในการทำงานของระบบก่อนเข้าสู่จุด Set point เมื่อเข้าใกล้จุด Set point ก็ตัดเข้าสู่การควบคุมแบบ PI เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นจากการทดลองได้ทำการทดลองทั้งแบบ Open loop และ Close loop ซึ่งผลการทดลองโครงการให้ผลตอบสนองที่ดีขึ้นซึ่งหมายถึงช่วงเวลา Rise time และ Full time เร็วขึ้น ซึ่งจะช่วยลดเวลาได้เป็นอย่างมากซึ่งเมื่อเทียบกับการปรับแต่งค่า PID ที่ดีนั้นต้องใช้เวลาานพอสมควรผลที่ได้จากการทดลองนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอัตราการไหลในกระบวนการอุตสาหกรรมได้อย่างมากมายและยังมีการใช้งานที่ง่ายและสะดวกรวดเร็วมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากการใช้งานร่วมระหว่าง PI + Lookup Table ก็ยังมีข้อผิดพลาดจากการทำงานหรือคู่ได้ จากผลการทดลองในบทที่ 5 คือ สัญญาณที่วัดออกมายังไม่สามารถเข้าสู่ Set point ได้เลย ยังต้องใช้งานร่วมกับการควบคุมแบบ PI จึงยังมี Error อยู่บ้าง

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวาล์วแต่ละตัวที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการ Lookup Table นั้นจะเป็นค่าที่ใช้ได้เฉพาะวาล์วแต่ละตัวที่ทำการเก็บข้อมูลไม่สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้กับวาล์วตัวอื่น เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของแต่ละกระบวนการนั้นไม่เหมือนกันนั้นไม่เหมือนกันทำให้เสียเวลาในการสอบเทียบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering. 2nd Ed. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1990

กนก กุสุมาลย์, ไกรวุฒิ มั่นเสถียรสิน. คู่มือการใช้งาน โปรแกรม Borland Delphi 5.

อ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา Instrumentation Engineering.

ตัจจะ จรัสรุ่งรวีวร, จักรพงษ์ สุขประเสริฐ. Delphi 5. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส, 2543

กมลมาศ กำจรกิจการ. คู่มือ Borland Delphi 5. กรุงเทพฯ, บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้