



ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุล

Energy Balancing Control System

โดย

นาย วีระพงษ์ สง่าอำไพกุล

นาย ปริชญ์รัฐ คล้ายนิต

นาย สรรเพชญ เชื้อแก้ว

เลขเรียกหนังสือ..... ปห ค๒๖๖ ๑๕๗

เลขทะเบียน..... ๐๔๐๕๐๘

วัน เดือน ปี..... 18 ตค ๖๘

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการน

๐๔๐๕๐๘

ปริญญาโทปีการศึกษา 2541

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

โดย

นายธีระพงษ์ สง่าอำไพกุล

นายปริญญารัฐ คล้ายนิล

นายสรรเพชญ เชื้อแก้ว

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ. กิตติ คีรเศรษฐ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุล

### Energy Balancing control system

โดย นายธีระพงษ์ สง่าอำไพกุล  
นายปริญญาธิรัฐ คล้ายนิล  
นายสรรเพชญ เชื้อแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.กิตติ ติรเศรษฐ์  
อ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

#### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเราต้องการระบบการควบคุมที่มีผลตอบสนองต่ออินพุทที่รวดเร็ว, ไม่ต้องการ Overshoot สูงมากนักหรือแทบจะไม่มีเลย และใช้งานง่าย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองระบบการควบคุมแบบพลังงานสมดุลโดยใช้การควบคุมระดับเป็นกรณีศึกษา

ระบบการควบคุมแบบพลังงานสมดุลจะใช้กฎการสมดุลมวลและพลังงานที่ว่าพลังงานที่เข้าสู่โปรเซสจะเท่ากับพลังงานที่ออกจากกระบวนการ (Process) ดังนั้นถ้าระบบการวัดอยู่ต่ำกว่าจุดที่ได้ตั้งไว้จะต้องเพิ่มพลังงานทางเข้า แต่ถ้าระบบอยู่สูงกว่าจุดที่ได้ตั้งไว้ก็ต้องลดพลังงานทางเข้าลง ซึ่งการเพิ่มและลดของพลังงานสมดุลนั้นเราจะให้มีการเปิด-ปิดสวิตช์ซึ่งจะทำให้ระบบนั้นรวดเร็วยิ่งขึ้น และเมื่อระบบเข้าใกล้จุดที่ได้ตั้งไว้ก็จะทำการตั้งค่านำเริ่มต้นเพื่อให้พลังงานทางเข้าเท่ากับพลังงานทางออกซึ่งค่าเริ่มต้นของตัวแปรการจัดการจะได้จากการคำนวณจากอัตราการผลิตทางออกจากกระบวนการก่อนที่จะโหมดการควบคุมจากพลังงานสมดุลไปสู่โหมดการควบคุมแบบ PID

เนื่องจากการเปิด-ปิดวาล์วสวิตช์นั้นก็จะต้องสูญเสียเวลาในการเปิด-ปิดวาล์ว และในระบบโปรเซสนั้นก็จะมีค่า Dead time ดังนั้นถ้าเรามีการเปลี่ยนแปลงช่วง Set point แคบ ๆ จะทำให้การเปิด-ปิดวาล์วนั้นไม่ทันทำให้เกิด overshoot ดังนั้นเราจะใช้โหมด PID กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ต้องการแคบ ๆ เพื่อลด overshoot และโหมดพลังงานสมดุลกับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ต้องการกว้าง ๆ เพื่อให้ระบบเร็วขึ้น

## **Abstract**

At the present, the process control system is requires fast response with input signal, no overshoot and easy to use , also this research experiment with energy balancing control system with a case study of level process.

Energy balancing control system uses the mass and energy conservation law that the inlet energy equals the outlet energy. So that process variable is under set point , it should add the inlet energy, but if the process variable is above the set point , it should reduce the inlet energy. Adding or reducing in this research uses the maximum or minimum opening and closing the control valve, so that the process is very fast for rise time. Control system will change mode from energy balancing to PID mode,when process variable is nearly the set point . The initial value of manipulated variable is formed the calculation of outlet flow, it uses for changing from energy balancing to PID mode

Control valve opening or closing is lost the time and in the process has dead time, also control valve opening or closing can not work immediated in the narrow changing that the system will occur overshoot . We will use PID mode in narrow changing to reduce overshoot . But in the wide changing, we will use Energy balancing mode in order to get the process faster

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย	I
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ	II
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>	<b>3</b>
2.1 สมการความต่อเนื่อง	
2.2 สมการBernoulli	4
2.3 PID Controller	5
2.4 ทรานสมิตเตอร์สำหรับความดันแตกต่าง	10
2.5 ระบบ Air purge	12
2.6 การวัดการไหลแบบวัดความดันแตกต่าง	14
2.7 วาล์วควบคุม	20
<b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>	<b>43</b>
3.1 หลักการควบคุมแบบพลังงานสมดุล	
3.2 การคำนวณพลังงานของกระบวนการ	44
3.3 องค์ประกอบในการควบคุม	45
3.4 การประยุกต์หลักการและทฤษฎีในโครงการ	47
3.5 หลักการที่ผู้ใช้ในการคำนวณ	49
3.6 การคำนวณหาอัตราการไหล	50
3.7 การคำนวณค่า Dead Time	51
3.8 ค่าเริ่มต้นของวาล์วควบคุม	52
3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม	53
3.10 Hardware ของโครงการ	54
3.11 ซอฟต์แวร์ของโครงการ	64

<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>73</b>
4.1 วิธีการติดตั้ง Hardware	
4.2 ระบบโปรเซสที่ใช้ในโครงการ	74
4.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม	75
4.4 ผลการทดลองโดยใช้ Recorder	79
4.5 ผลการทดลองโดยใช้ Program	80
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>85</b>

## บรรณานุกรม

### ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก การอินเทอร์เฟส
- ภาคผนวก ข Control valve
- ภาคผนวก ค รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้



## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะมีอยู่หลายประเภทเช่น PID Controller, Fuzzy logic controller กำลังจะเริ่มนำเข้ามาใช้ ซึ่งแต่ละระบบนั้นจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน อย่างเช่นในระบบ PID นั้นจะต้องมีการปรับค่า PID ที่เหมาะสมไม่อย่างนั้นระบบจะเกิด Overshoot หรือเกิดการแกว่ง (Oscillated) และจะต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์สูงในการทำงาน หรือระบบ Fuzzy logic control นั้นจะเกิดความซับซ้อนในการทำงานและการใช้งานที่ค่อนข้างยุ่งยากมากและต้องใช้ผู้ที่มีความสามารถเฉพาะด้านสูงมาเป็นผู้ให้ข้อมูลระบบการควบคุมจึงจะสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

ซึ่งถ้าเราพิจารณาความต้องการในโรงงานอุตสาหกรรมแล้วนั้นสิ่งที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องการสำหรับคอนโทรลเลอร์นั้นคือ

1. ผลการตอบสนองค่อนข้างเร็ว ซึ่งหมายถึงช่วงเวลา Rise time หรือ Fall time เร็วซึ่งจะทำให้ลดเวลาในการทำงานได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งการปรับค่า PID ที่ค่านั้นจะต้องใช้เวลานานพอสมควรขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ที่ทำการปรับค่า

2. ไม่มี Overshoot เนื่องจากว่าถ้าระบบเกิด Overshoot จะทำให้ระบบนั้นเสียหายได้ค่อนข้างมาก เช่น การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

ซึ่งในโครงการนี้ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ระบบพลังงานสมดุลเพื่อที่จะได้ดูผลและนำผลการทดลองนั้นไปประยุกต์ใช้งาน

โดยระบบพลังงานสมดุลนี้จะใช้หลักการที่ว่าพลังงานก่อนที่จะเข้าระบบจะเท่ากับระบบพลังงานที่ออกจากระบบ ซึ่งจะเป็นไปตามกฎการสมดุลมวลและพลังงาน ซึ่งพลังงานนั้นอาจจะอยู่ในรูปพลังงานอะไรก็ได้เช่นอาจจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานใดก็ได้ เช่น พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปอยู่ในรูปพลังงานความร้อน ได้เช่น Induction Heating หรือ พลังงานศักย์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ เช่น สิ่งของที่ตก ซึ่งเราสามารถที่จะนำพลังงานนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ตามที่เราต้องการ

ในโครงการนี้จะทดลองกับ Level plant โดยจะเป็นการควบคุมระดับของของเหลวโดยมีท่อน้ำเข้าซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหลได้จากวาล์วควบคุมและท่อน้ำออกซึ่งไม่สามารถควบคุมอัตราการไหล ได้ซึ่งอัตราการไหลทางออกนั้นจะขึ้นอยู่กับของเหลวที่อยู่ในท่อ ซึ่งในระบบนี้จะมีการแปลงพลังงานจากพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานศักย์และแปลงจากพลังงานศักย์มาอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ โดยพลังงานศักย์จะอยู่ในรูปของระดับของของเหลวที่อยู่ในระบบ ส่วนพลังงานจลน์นั้นจะอยู่ในรูป

ของอัตราการไหล ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับของของเหลวนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าระบบ ดังนั้นถ้าเราตั้ง Setpoint ที่จุดใดจุดหนึ่ง ถ้าระบบอยู่ในสภาวะสมดุลพลังงานขาเข้าก็จะเท่ากับพลังงานขาออก นั่นหมายความว่าพลังงานศักย์ของระดับของเหลวจะเท่ากับอัตราการไหลออกของระบบ หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า อัตราการไหลเข้ากับอัตราการไหลออกจะเท่ากัน แต่ถ้าระบบอยู่ต่ำกว่า Set point ที่ได้ตั้งไว้แสดงว่าพลังงานทางออกมากกว่าพลังงานขาเข้า ดังนั้นถ้าเราต้องการให้อยู่ในสภาวะสมดุลเราก็จะต้องเพิ่มพลังงานขาเข้า นั่นก็คือจะต้องเพิ่มอัตราการไหลเข้าให้มีค่ามากขึ้น ซึ่งเราจะสั่งให้วาล์วเปิดสุด (100%) ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อระบบถึงจุด Set point แล้วเราก็จะตัดระบบโดยให้ค่าเริ่มต้นแก่ระบบเพื่อให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออก

หรือถ้าระบบอยู่สูงกว่า Set point นั้นแสดงว่าพลังงานขาเข้ามากกว่าพลังงานขาออก ดังนั้นเราจะต้องควบคุมให้พลังงานขาเข้าให้เท่ากับพลังงานขาออก โดยการลดอัตราการไหลเข้าลง โดยเราจะสั่งให้วาล์วปิดลง ซึ่งจะทำให้พลังงานลดลงอย่างรวดเร็วจนเมื่อใดที่พลังงานขาเข้าเท่ากับพลังงานขาออก เราก็จะให้ค่าเริ่มต้นแก่ระบบเพื่อให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกเพื่อที่จะทำให้ระบบอยู่สภาวะสมดุล

แต่การเปิด-ปิดวาล์วสุดนั้นก็จะต้องมีเวลาในการเปิด-ปิดวาล์วและในระบบโปรเซสทั่วไปนั้นก็จะมีค่า Dead time ดังนั้นถ้าเรามีการเปลี่ยนแปลงช่วง Set point แคบ ๆ จะทำให้การเปิด-ปิดวาล์วนั้นไม่ทันทำให้ระบบจะเกิด Overshoot ดังนั้นเราจึงจะนำระบบพลังงานสมดุลนั้นมาใช้ร่วมกันกับกับระบบ PID เพื่อที่ว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Set point ที่กว้าง ๆ ระบบพลังงานสมดุลจะทำงาน แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Set point ช่วงแคบ ๆ ก็จะทำให้ระบบ PID ทำงาน

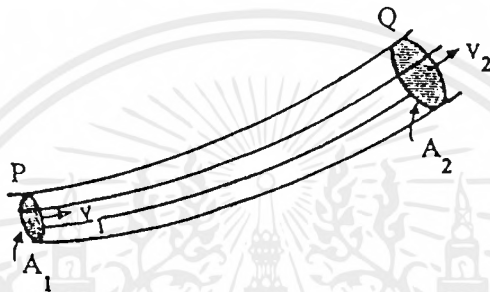
ดังนั้นเราจะต้องบันทึกค่า %Flow และ %Valve เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นให้แก่ระบบ และนำ %Flow ไปคำนวณหา Dead time ของระบบและนำ Dead time ที่ได้นั้นไปทำการคำนวณหาเวลาที่จะใช้ในการตัดระบบจากระบบพลังงานสมดุลไปสู่ระบบ PID

## บทที่ 2

## หลักการและทฤษฎี

## 2.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuous Equation)

พิจารณาการไหลในรูปที่ 2.1 ให้อนุภาคที่ตำแหน่ง P และ Q มีความเร็ว  $v_1$  และ  $v_2$  ตามลำดับ ให้  $A_1$  และ  $A_2$  เป็นพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับสายกระแสที่ตำแหน่ง P และ Q



รูปที่ 2.1 แสดงการไหล

ในช่วงเวลา  $\Delta t$  ส่วนของของไหลเคลื่อนที่ได้ระยะทาง  $v\Delta t$  ดังนั้นมวลของไหลที่ผ่านพื้นที่  $A_1$  คือ  $\Delta m_1 = \rho_1 g_1 A_1 \Delta t$  เมื่อ  $\Delta t$  จะต้องมีค่าน้อยมากจะทำให้  $A_1$  และ  $v_1$  เปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือว่าคงที่ ดังนั้นเมื่อ  $\Delta t \rightarrow 0$  จะได้ฟลักซ์มวล (Mass flux) ที่ P เป็น  $\frac{dm_1}{dt} = \rho_1 A_1 v_1$  และที่ Q มีค่าเท่ากับ  $\frac{dm_2}{dt} = \rho_2 A_2 v_2$

$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{dm_2}{dt}$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

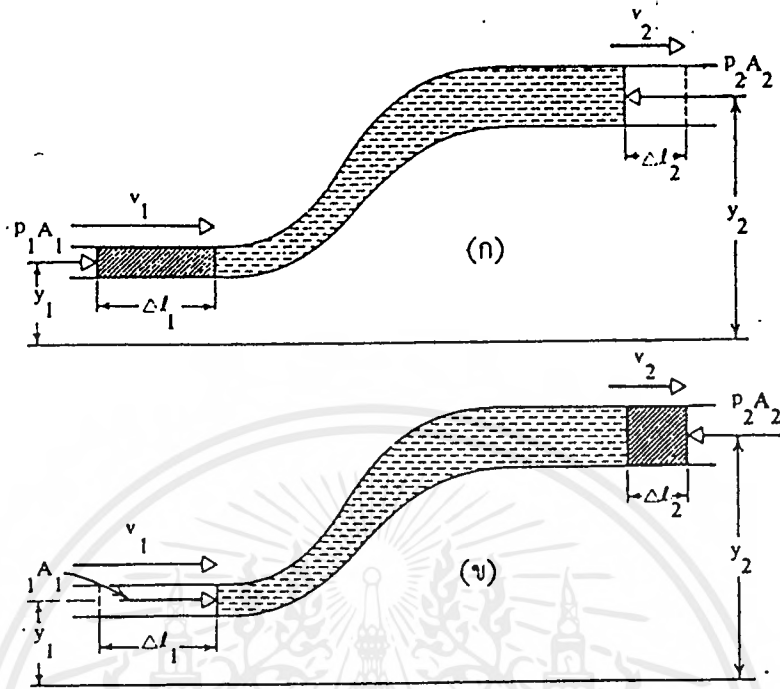
แต่ของไหลเป็นชนิดอัดไม่ได้ ดังนั้น  $\rho_1 = \rho_2$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\text{อัตราการไหล (Rate of flow : } Q) = A \cdot v$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมการ Bernoulli



รูปที่ 2.2 แสดงท่อการไหล

เมื่อพิจารณาของไหลที่ไม่มี ความหนืด อัดไม่ได้และไหลแบบคงตัวผ่านท่อหรือหลอดของการไหลคงรูป ท่อส่วนทางซ้ายมีพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  และ ทางขวา  $A_2$  โดยอยู่ที่ระยะ  $y_1$  และ  $y_2$  จากระดับอ้างอิง

ของไหลทั้งหมดเป็นระบบที่เราจะพิจารณาของไหลเคลื่อนที่ของไหลทางด้านพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  มีความเร็ว  $v_1$  ความดัน  $P_1$  ส่วนของไหลทางด้านพื้นที่หน้าตัด  $A_2$  มีความเร็ว  $v_2$  ความดัน  $P_2$

จากทฤษฎีบทของงานและพลังงานซึ่งกล่าวว่างานเนื่องจากแรงลัพธ์กระทำต่อระบบหรืองานทั้งหมดที่กระทำต่อระบบเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของระบบ

แรงกระทำต่อระบบทางด้านซ้ายและขวา คือ  $P_1A_1$  และ  $P_2A_2$  ตามลำดับ นอกจากนี้ก็มีแรงโน้มถ่วงกระทำด้วย ผลของการไหลแบบคงตัวในรูป (ก) เป็นรูป (ข) ก็คือการเอาปริมาณของไหลในส่วนที่แรงจากระดับ  $y_1$  ไปยังระดับ  $y_2$  จากทฤษฎีบทของงานและพลังงานจะได้

$$P_1A_1\Delta l_1 + (-P_2A_2\Delta l_2) + \{mg(y_2 - y_1)\} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

แต่  $A_1\Delta l_1 = A_2\Delta l_2$  เป็นปริมาตรของของไหลที่แรงเราซึ่งเท่ากับ  $\frac{m}{\rho}$  โดยความหนาแน่นของ

ของไหลคงที่ ( $\rho$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} - mg(y_2 - y_1) = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2\rho g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2\rho g} + y_2$$

### 2.3 Proportional - plus - Integral - plus - Derivative Control (PID Control)

ในทางอุตสาหกรรมเรามักจะเรียกว่า “Proportional - plus - Reset - plus - Rate Control” ดังที่กล่าวมาแล้วว่า Integral action ใน PI-control จะทำให้ตัวควบคุมตอบสนองต่อความผิดพลาดช้าลง กรณีที่โปรเซสช้าอยู่แล้วเราอาจจำเป็นต้องเพิ่ม Derivative action (หรือ Rate action) เพื่อลดความช้าของระบบควบคุม การควบคุมแบบนี้เราเรียกว่า PID-Control

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

$$M(t) = \frac{100}{PB} \left[ e(t) + \left( \frac{1}{Ti} \right) \int e(t) dt + Td \left( \frac{de(t)}{dt} \right) \right] + b \quad \dots\dots (2-1)$$

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

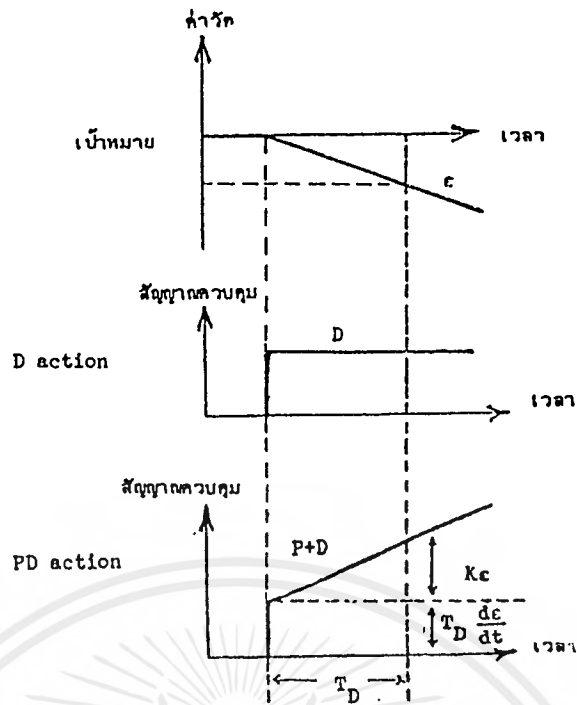
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ MV กับ PV ในสมการ (2-1) จะยุ่งยากซับซ้อนไม่เหมาะกับการอธิบาย Derivative action รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของ MV กับ PV ของ PD-Controller กรณี Open-loop ซึ่งง่ายต่อการทำความเข้าใจ Derivative action

ผลตอบสนองของ Derivative action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด (SP-PV)

กรณีที่ค่าเป้าหมายมีค่าคงที่ทราบใดที่สัญญาณขาเข้าไม่เปลี่ยนแปลง Derivative action จะไม่มีผลต่อสัญญาณขาเข้า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Derivative action จะเพิ่มหรือลดขนาดสัญญาณขาออกตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า

จากรูปที่ 2.3 ขณะเวลา ( $t_3 < t < t_4$ ) สัญญาณขาเข้าเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราที่คงที่ D-action จะทำงานคล้ายกับเป็นการทำให้ผลตอบสนองของ P-Action เร็วกว่าเดิมเป็นเวลา  $Td$  วินาที

การเพิ่ม Derivative action เข้าไปใน PI-Control จะทำให้ผลตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น สัญญาณวัดเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้นจากรูป เราจะพบว่ายิ่ง  $Td$  มีค่ามากสัญญาณวัดยิ่งเปลี่ยนแปลงกับสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเราปรับตั้งค่า  $Td$  มากเกินไปสัญญาณวัดอาจเกิดการแกว่งได้ (กรณี  $Td = Td_c$ ) ปกติเรามักปรับค่า  $Td$  ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่า  $Td_c$



รูปที่ 2.3 ผลของ D-action ในตัวควบคุม PD-Controller ขณะ Open-loop

### 2.3.1 การปรับค่า PID

จากการควบคุมทั้ง 6 ชนิดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ต่างมีจุดมุ่งหมายเดียวกัน คือ พยายามรักษาให้ค่าตัวแปรโปรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่เสมอ ในกรณีที่เกิด Disturbance ในระบบ หรือมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายใหม่จะทำให้ตัวแปรโปรเซสมีค่าต่างจากค่าเป้าหมายในขณะที่หนึ่งตัวควบคุมก็จะพยายามควบคุมให้ตัวแปรโปรเซสพยายามเข้าใกล้ค่าเป้าหมายนี้ในที่สุด ซึ่งลักษณะการนำค่าตัวแปรโปรเซสเข้าใกล้ค่าเป้าหมายนี้จะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของระบบควบคุม

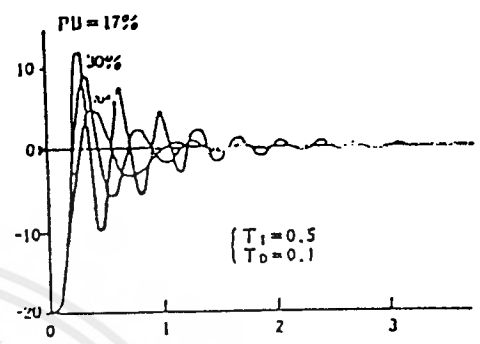
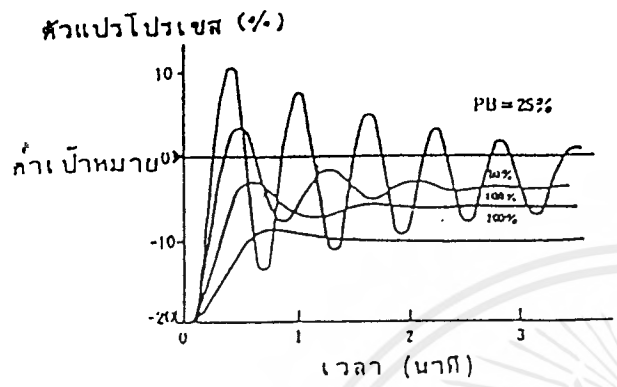
ระบบควบคุมในรูปที่ 2.4 ถ้าลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายตัวควบคุมจะพยายามควบคุมให้ตัวแปรโปรเซสวิ่งเข้าหาค่าเป้าหมายนั้น ผลตอบสนองของตัวแปรโปรเซสจะมีหลายแบบดังแสดงในรูปที่ 2.2 ข ดังนี้

- A มี Overshoot และ การแกว่ง
- B ตอบรับเร็ว
- C ตัวแปรโปรเซสมีค่าไม่เท่ากับค่าเป้าหมายแม้เวลาจะผ่านไปนาน เรียกว่าเกิด offset
- D ตอบรับช้ามาก

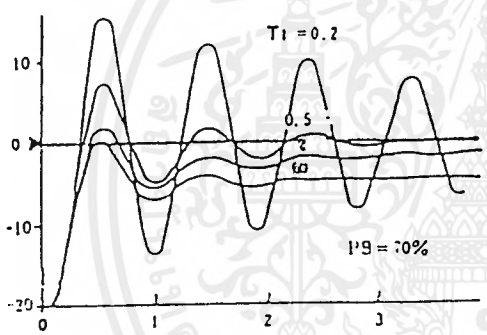
เมื่อตัวควบคุมโปรเซสหยุดหนึ่งที่ค่าเป้าหมาย ในขณะที่นั้นเกิดมี Disturbance เข้ามารบกวนโปรเซส (Disturbance ได้แก่ การเปลี่ยนโหลดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เป็นต้น) ผลตอบสนองของโปรเซสจะมีหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ค

- E เกิด offset ได้ค่าผิดพลาดไปจากค่าเป้าหมายเดิม
- F เกิดการแกว่งเล็กน้อยก่อนการกลับสู่ค่าเป้าหมายเดิม
- G เกิดการแกว่งและขาดเสถียรภาพ

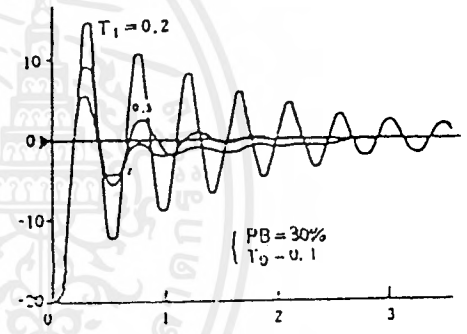
### ค่าเป้าหมาย



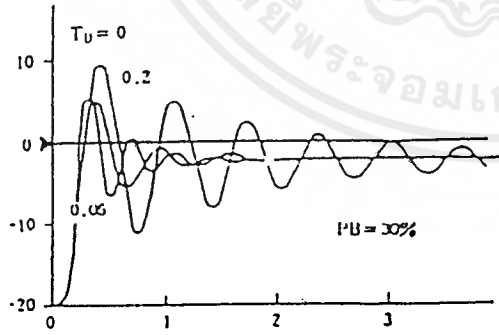
P Control เมื่อเปลี่ยน PB



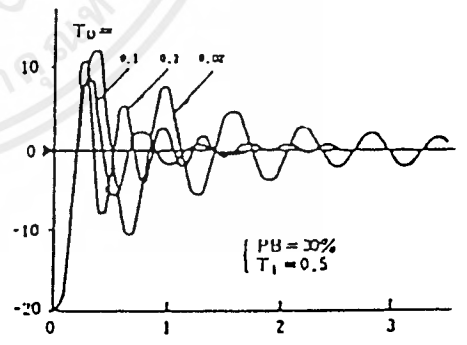
PID Control เมื่อเปลี่ยน PB



PI Control เมื่อเปลี่ยน TI



PID Control เมื่อเปลี่ยน TI



PD Control เมื่อเปลี่ยน TD

PID Control เมื่อเปลี่ยน TD

### รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองของระบบควบคุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของการควบคุมชนิดต่างๆ เหล่านี้จึงพอสรุปได้ว่า ระบบการควบคุมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ

- ก) มีเสถียรภาพ ไม่เกิดการแกว่ง (Oscillation) เมื่อถูกกระตุ้น
- ข) ตอบรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายหรือ Disturbance ได้รวดเร็ว
- ค) ไม่เกิด offset

### 2.3.2 ความยากง่ายในการควบคุมโปรเซส

ลักษณะทั่วไปของโปรเซสนั้นจะมี Time lag จากรูปคลื่นผลตอบสนองของโปรเซสต่อ Step input เราสามารถหาค่า dead time (LE) และค่าคงตัวเวลา (TE) โดยประมาณได้

อัตราส่วน LE/TE นี้จะเป็นค่าที่ใช้ประเมินความยากง่ายในการควบคุมและใช้เลือกแบบการควบคุม พิจารณาตารางที่ 2-1

LE/TE	แบบการควบคุมที่เหมาะสมกับโปรเซส
LE/TE < 0.2	ON/OFF, P, PI
0.2 < LE/TE < 1.0	PI, PID
1.0 < LE/TE	Feedforward, Computer control

ตารางที่ 2-1 แสดงการเลือกใช้แบบควบคุม

### สาเหตุของการขาดเสถียรภาพในระบบ

- ก) ผลของระบบควบคุมข้างเดียว หรืออื่นๆ
- ข) Disturbance เป็น periodic
- ค) มี Non-linear element ในระบบเอง เช่น ความผิด dead band เป็นต้น
- ง) Process gain หรือ Loop gain มีค่าสูงเกินไป
- จ) คุณสมบัติของตัวแปรในระบบไม่คงที่แปรเปลี่ยนตาม Disturbance, ค่าเป้าหมาย, เวลา เป็นต้น

### 2.3.3 ผลของ PID ต่อเสถียรภาพของระบบ

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบ PID นั้น ถ้าเราลองแปรค่า PB, Ti และ Td จะมีผลตอบสนองของระบบควบคุมดังนี้

#### 1. ผลของ P action

เมื่อลดค่า PB ลงทำให้อัตราขยายสูงขึ้นจะมีผลทำให้

- ก) offset ลดลง

ข) period ของการแกว่งเตี้ยลง

ค) อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

## 2.ผลของ I action

เมื่อ P และ D action คงที่แล้วลองลด  $T_i$  (Reset time) จะมีผลทำให้

ก) offset หายไป

ข) ผลตอบสนองเร็วขึ้น (Fast response)

ค) อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้นระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

## 3.ผลของ D action

เมื่อให้ P และ I action คงที่แล้ว ลองเพิ่มค่าเวลา  $T_d$  (Derivative time) ให้ยาวขึ้น จะมี

ผลทำให้

ก) อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งลดลงระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

ข) period ของการแกว่งสั้นลง



## 2.4 ทรานสมิตเตอร์สำหรับความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure Transmitter)

ความดันดิฟเฟอเรนเชียลมีที่ประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น วัดอัตราการไหล วัดระดับของเหลว วัดค่าความหนืดหรือวัดค่าความหนาแน่นของของเหลว ในปัจจุบันอุปกรณ์สำหรับวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลพร้อมทรานสมิตเตอร์ได้รับการออกแบบให้อยู่ในแคปซูลเดียวกัน มีชื่อเรียกย่อ ๆ ว่า ดิฟฟิทรานสมิตเตอร์ (D/P Transmitter) ในส่วนที่เป็นตัวค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลอาศัยหลักการหลายอย่าง เช่น Force balanced, Resonant wire, ใช้ไดอะแฟรม, เปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์, เปลี่ยนค่าอินดักแตนซ์ ฯลฯ ในส่วนของทรานสมิตเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นกระแสหรือในรูปของแรงดัน ซึ่งมีข้อดีคือสามารถส่งสัญญาณนี้ไปยังเครื่องบันทึก เครื่องควบคุมหรือรีเลย์บอกค่าได้หลายอย่างพร้อมกันในระยะที่ห่างออกไปจากจุดที่วัดได้มาก ดิฟฟิทรานสมิตเตอร์ในปัจจุบันได้รับการออกแบบให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น เช่น ทนต่อสภาพแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นได้ดี ให้ผลการทำงานที่ดี มีความเที่ยงตรงสูง Dead Band ต่ำ, ไลน์ริวิตี, การเปลี่ยนค่าความดันสถิตย (Static pressure) มีผลน้อยต่อการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลค่าเดียวกัน เอาต์พุตของทรานสมิตเตอร์จะถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันโดยสมาคมผู้ผลิต

เอาต์พุตแบบนิวเมติก 3-27 PSI

เอาต์พุตแบบกระแส 4-20 mA

เอาต์พุตแบบแรงดัน 1-5 Volt

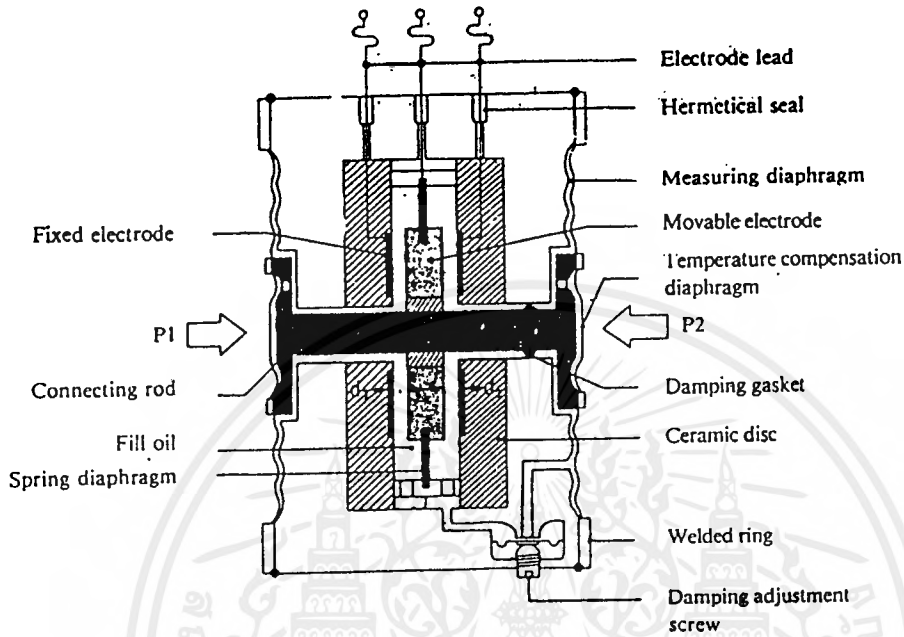
ค่าเอาต์พุตที่อินพุตเป็น 0% ที่ 3 PSI, 4 mA หรือ 1 โวลท์ เรียกว่าค่า Live zero ผลดีคือ Live zero ก็คือ เป็นการตรวจสอบการทำงานของทรานสมิตเตอร์ ณ จุดที่อินพุต 0% ค่าเอาต์พุตจะต้องมีค่าเท่ากับ Live zero นี้ ถ้าไม่ตรงก็แสดงว่าการทำงานของทรานสมิตเตอร์ผิดพลาด และผลดีอีกประการหนึ่งก็คือสามารถใช้ดิฟฟิทรานสมิตเตอร์ของบริษัทใดก็ได้ที่มี  $\Delta P$  ย่านเดียวกัน โดยไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องบันทึกค่า, เครื่องควบคุมหรือตัวรีเลย์บอกค่าในระบบ

### ดิฟฟิทรานสมิตเตอร์แบบเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์

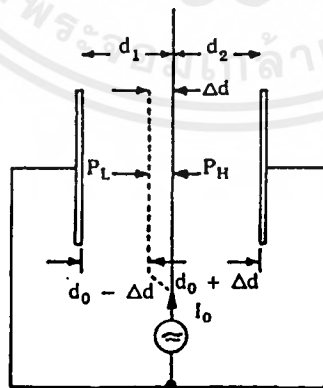
หลักการของดิฟฟิทรานสมิตเตอร์แบบเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์ คือจะเปลี่ยนค่า  $\Delta P$  ไปเป็น  $\Delta C$  และวัดค่า  $\Delta C$  ขยายเป็นสัญญาณไฟฟ้า

ตามรูปที่ 2.5 ความดันทั้ง 2 ค่า  $P_1$  และ  $P_2$  จะกระทำลงบน Measuring diaphragm ทั้งสองด้าน ผลต่างของความดันทั้งสองจะทำให้ Connecting rod เคลื่อนที่ไปตามแนวแรงดันด้านที่มีค่ามากกว่าตรงกลาง Connecting rod จะมี Movable electrode ติดตั้งอยู่ การเคลื่อนตัวของ Movable electrode ไปตามแนวแรงตาม Connecting rod จะทำให้ระยะ  $d_1$  และ  $d_2$  เปลี่ยนแปลงไปทำให้ค่า Capacitor ของ Movable electrode กับ Fixed electrode ทั้งสองด้านเปลี่ยนค่าตามไปด้วย

หลักการของวงจรวัดตามรูปที่ 2.5(ก) ขณะที่  $P_1 = P_2$  ให้ระยะห่าง (Gap) ทั้งสองข้างเท่ากัน คือ  $d_1 = d_2 = d_0$  ขณะที่ป้อนความดัน  $P_1$  ให้มากกว่า  $P_2$  แรง  $P_1 - P_2$  ทำให้ Connecting rod เคลื่อนที่ไป  $= \Delta d$



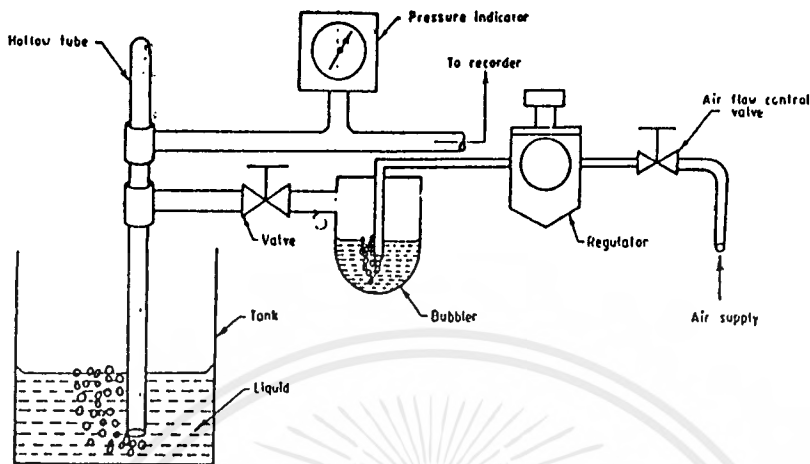
รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดของตัววัดความดันดัดไฟเพอเรนเซียลแบบคาปาซิแตนซ์



รูปที่ 2.5(ก) แสดงหลักการของวงจรวัด

## 2.5 ระบบ Air purge

ระบบ Air purge (หรือรู้จักกันในนาม Bubbler tube) เป็นหนึ่งในหลายๆ ชนิดที่มีการใช้กันมาก ซึ่งเป็นระบบการวัดระดับของของเหลวชนิด Hydrostatic pressure ซึ่งแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 แสดงระบบ Air purge

### โครงสร้าง

ระบบ Air purge ประกอบด้วย Hollow tube (หรือ Bubbler tube) ซึ่งจะถูกใส่ลงไปในภาชนะ Bubbler tube ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกจะถูกต่ออยู่กับ Air supply และอีกส่วนหนึ่งจะถูกต่ออยู่กับ Pressure gauge ซึ่งจะใช้ในการปรับแต่งให้อยู่ในรูปของระดับของเหลว Bubbler จะถูกต่ออยู่กับ Air supply ที่ซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบอัตราการไหลของลม Level recorder จะถูกต่ออยู่กับ Pressure gauge เพื่อดูระดับของเหลวได้อย่างต่อเนื่อง

### หลักการทำงาน

เมื่อไม่มีของเหลวในภาชนะหรือระดับของเหลวต่ำกว่าจุดต่ำสุดของ Bubbler tube ลมจะไหลออกจากด้านล่างของ Bubbler tube และ Pressure gauge จะชี้ที่ "0" เนื่องจากไม่มีความดันย้อนกลับ (Back pressure) เนื่องจากลมถูกระบายออกสู่บรรยากาศหมด เมื่อระดับของเหลวในภาชนะเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของลมจะถูกดันจากระดับของของเหลวและความดันของลมจะกระทำทางด้านระดับของเหลวจึงปรากฏเป็นความดันย้อนกลับไปให้ Pressure gauge ความดันย้อนกลับจะทำให้เข็มชี้เคลื่อนที่ไปบนสเกลซึ่งถูกปรับแต่งให้อยู่ในรูปของระดับของเหลว ความดันเต็มย่านของสเกลสามารถที่จะดูได้โดยการป้อนความดันลมไปยังหลอด (tube) ให้ระดับของของเหลวสูงกว่า Head pressure ในภาชนะเพียงเล็กน้อยซึ่งย่านของอุปกรณ์นั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของหลอด เนื่องจากลมจะทำให้เกิดฟองอย่างต่อเนื่องทำให้ของเหลวในภาชนะไม่สามารถเข้าไปใน Bubbler tube ได้และอย่างไรก็ตาม หลอดจะถูกทำให้สะอาด โดยของไหลที่จะทำความสะอาดก็คือ ลม แต่ถ้าลมทำปฏิกิริยากับของเหลว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาชนะหรือจะถูกดูดซึมจะมีการใช้ก๊าซมาแทน เช่น คาร์บอนหรือไนโตรเจน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลว

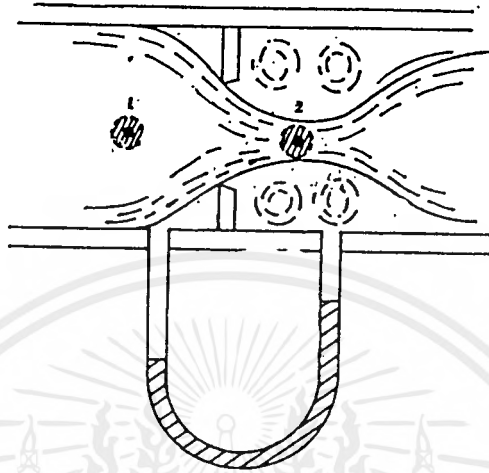
#### ข้อดีของระบบ Air Purge

1. ในระบบนี้ Pressure guage สามารถที่จะย้ายไปไว้ในที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับของภาชนะได้ และสามารถที่จะติดตั้งได้ไกลประมาณ 500 ฟุต (12.7m) จากภาชนะ
2. อุปกรณ์ของระบบนี้เหมาะสำหรับวัดระดับของเหลวที่เกิดการกักคร่อนหรือสีหรือได้



### 2.6 การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันแตกต่าง

หลักการ อาศัยทฤษฎีของ Bernoulli ที่กล่าวว่า “ของไหลแบบ steady (อัตราการไหลสม่ำเสมอ หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้วผลบวก Velocity head, Pressure head และ Elevation head ในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่” ดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7

เมื่อ Fluid เป็นของเหลว

- ถ้ากำหนดให้  $V_1$  คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 1
- $V_2$  คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 2
- $P_1$  คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 1
- $P_2$  คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 2
- $Z_1$  คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 1
- $Z_2$  คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 2
- $g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- $r$  คือ ค่าน้ำหนักจำเพาะของ Fluid

ตามสมการของ Bernoulli เปรียบเทียบที่จุด 1 และจุด 2 จะได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{r_1} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{r_2} + Z_2 \quad \dots\dots (2-2)$$

จากสมการ (2-2) เนื่องจากระดับ  $Z_1 = Z_2$  และ  $r_1 = r_2$   $\therefore$  จะได้

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{r} \quad \dots\dots (2-3)$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuity flow) ดังนั้น P ปริมาณการไหลของ Fluid ที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด ณ จุดใด ๆ ของท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือ ปริมาณการไหล ณ จุด 1 และ จุด 2 จะต้องมามีค่าเท่ากัน ถ้าให้  $A_1$  และ  $A_2$  คือ พื้นที่หน้าตัดที่จุด 1 และจุด 2 ตามลำดับ จะได้

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \dots\dots (2-4)$$

จากสมการ (2-4) 
$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot V_2 \quad \dots\dots (2-5)$$

แทนสมการ (2-5) ในสมการ (2-3) จะได้ 
$$V_2^2 \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = 2g \frac{(P_1 - P_2)}{r} \quad \dots\dots (2-6)$$

∴ จะได้ 
$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{r \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad \dots\dots (2-7)$$

$V_2$  เป็นความเร็วของ Fluid ผ่านออริฟิส ดังนั้นปริมาณการไหล  $Q = A_2 V_2$

ดังนั้นจากสมการที่ (2-7) 
$$A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{r \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad \dots\dots (2-8)$$

ถ้าให้  $P_1 - P_2 = \Delta P$

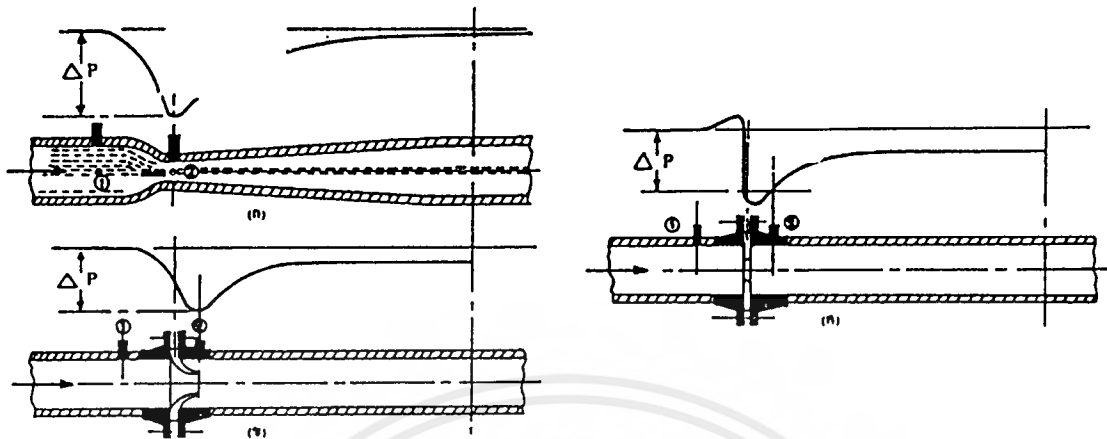
และอัตราส่วน  $\frac{A_2}{A_1} = \beta$  จะได้ 
$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{r(1 - \beta^2)}} \quad \dots\dots (2-9)$$

ผลที่ได้จากสมการ (2-9) เป็นค่า  $q$  ที่ได้จากทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงแล้ว ค่า  $Q$  ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า  $Q$  ทางทฤษฎี ดังนั้นจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์อีกตัวหนึ่งมาคูณเพื่อให้ได้ค่า  $Q$  ที่แท้จริง สัมประสิทธิ์ตัวนี้ได้จากการทดลองเรียกว่า Coefficient of Discharge

$C_d$  = ค่า Discharge จริงจากการทดลอง / ค่า Discharge จากทฤษฎี

ดังนั้นสมการ (2-9) เขียนใหม่ได้เป็น 
$$Q = A_2 C_d \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{r(1 - \beta^2)}} \quad \dots\dots (2-10)$$

รูปแสดงการเกิด Pressure head เปลี่ยนแปลงของตัววัดทั้ง 3 แบบ คือ เว้นจูรี, นีอชเจิล และออริฟิส จะเห็นว่าแบบเว้นจูรี จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับออริฟิส ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความผันผวนน้อยที่สุด



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดความดันตกคร่อมตัววัดทั้ง 3 แบบ

(ก) เว้นจูรี (ข) น็อซเซิต (ค) ออริฟิต

ค่า Coefficient of discharge

ของไหลเมื่อถูกรีดผ่านหน้าออริฟิตเกิดเป็นลำ (Jet) ลักษณะจะเป็นดังรูปที่ 2.8 จุดที่คอดที่สุดของลำเรียกว่า Vena Contracta ค่าของ  $C_d$  จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะและความยาวของท่อออริฟิตตามรูปที่ 2.9

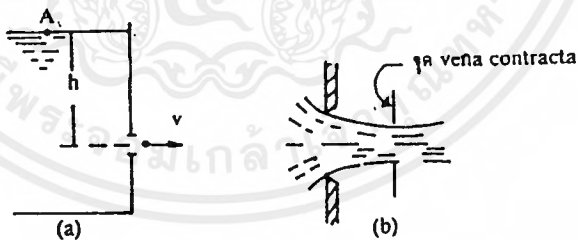
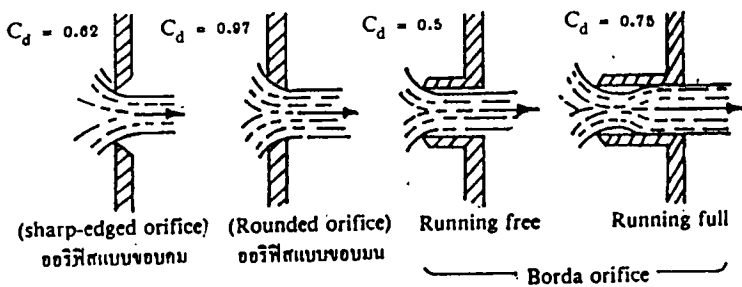


fig. 7.1

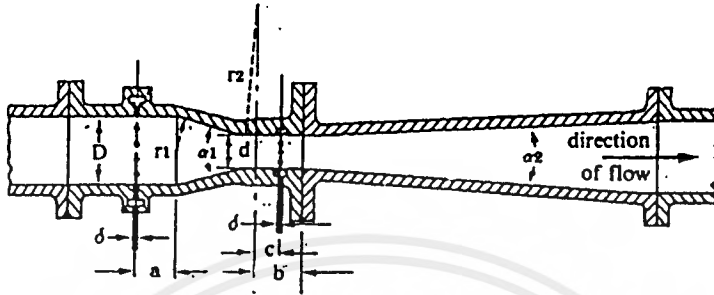


รูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่า Reynold Number เปลี่ยนไปค่าของ  $C_d$  ก็จะเปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะในย่าน Flow ต่ำๆ จะเปลี่ยนแปลงมาก

- แบบเวนจูรี ตัวอย่างที่จะกล่าวถึงเป็นแบบเซอร์เชล



รูปที่ 2.10

D คือ ขนาด  $\phi$  ของท่อด้านหน้าและหลังเวนจูรี

d คือ ขนาด  $\phi$  ของช่องกลางส่วนคอด (Throat) ตามต้องการ

$a = 0.25 D$  ถึง  $0.75 D$  สำหรับขนาด D ของท่อ 4 ถึง 6 นิ้ว

$0.25 D$  ถึง  $0.50 D$  สำหรับขนาด D ของท่อ 6 ถึง 32 นิ้ว

$b = d$

$c = d/2$

$d = \frac{3}{16}$  นิ้ว ถึง  $\frac{1}{2}$  นิ้วตามขนาดของ D

(Annular pressure chamber with at least 4 piezometer vents)

$r_2 = 3.5 d$  ถึง  $3.75 d$

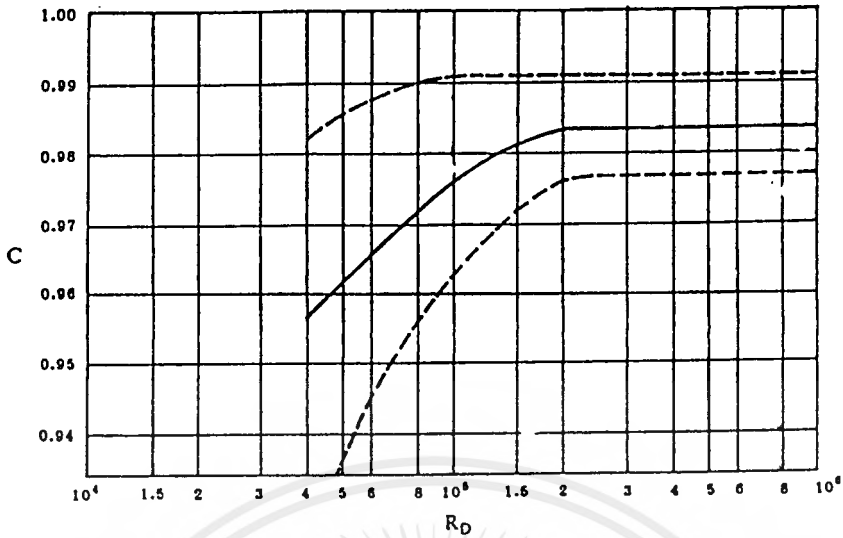
$r_1 = 0$  ถึง  $1.37 d$

$\alpha_1 = 21^\circ \pm 2^\circ$

$\alpha_2 = 5^\circ \pm 15^\circ$

รูปที่ 2.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_d$  กับ Reynold number ของเวนจูรีตามรูปที่ 2.10 อัตราส่วนของ  $\phi$ , d และ D มีค่าระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 สำหรับท่อที่มีขนาด 2 นิ้วขึ้นไป เส้นประทั้งสองเส้นแสดงย่านของค่า  $C_d$  ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้บ้าง (Tolerance limit) จะเห็นว่าค่า  $R_D$  ควรจะมีค่าสูงกว่า  $10^6$  ขึ้นไป ( $R_D$  มีค่าสูงหมายถึงอัตราการไหลสูงเพราะ  $R_D = \frac{VD}{\nu}$  เนื่องจาก D และ  $\nu$  เป็นค่าคงที่ ดังนั้น  $R_D$  จึงแปรผันตามความเร็วในการไหล V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11

- แบบน็อซเซิล (Flow Nozzle) ตามรูปที่ 2.12 เป็นน็อซเซิล

$$\beta = \frac{d}{D}$$

ค่า  $\beta$  ต่ำ ( $\beta < 0.5$ )

$$r_1 = d$$

$$r_2 = 2/3d$$

$$L_1 = 0.6 d$$

ค่า  $\beta$  ต่ำ ( $\beta > 0.25$ )

$$r_1 = 1/2D$$

$$r_2 = 2/3(D-d)$$

$$L_1 = \text{มากกว่า } 0.6 d \text{ หรือน้อยกว่า } 1/3D$$

ค่า  $\beta$  ต่ำ ( $\beta < 0.5$ )

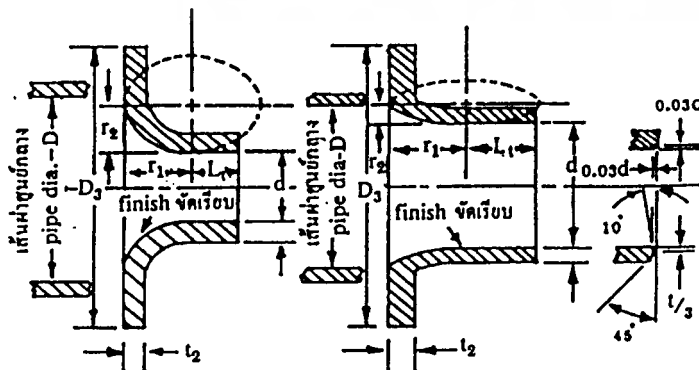
$t$  มากกว่า 1/8 นิ้ว แต่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว

$t_2$  มากกว่า 1/8 นิ้ว แต่น้อยกว่า 0.15 D

ค่า  $\beta$  ต่ำ ( $\beta > 0.25$ )

$2t$  มีค่าน้อยกว่า  $D - (d + 1/8 \text{ นิ้ว})$

$t_2$  มากกว่า 1/8 นิ้ว แต่น้อยกว่า 0.15 D



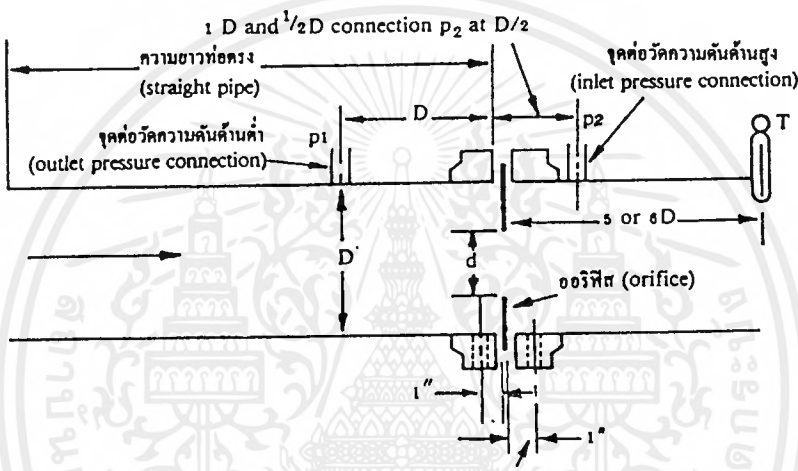
รูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

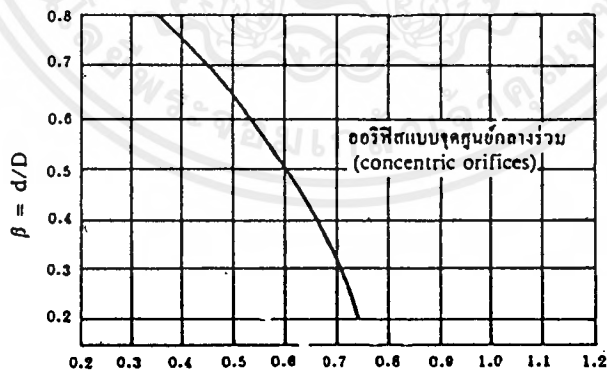


- แบบออริฟิส ตามรูปที่ 2.13(ก) เป็นแบบออริฟิสเจาะเรียบตรง แต่ในแบบที่ใช้ งานโดยทั่วไปอาจเป็นแบบผายช่องออริฟิส (Bevel) ซึ่งมีจุดประสงค์การออกแบบต่างออกไป เช่น ต้องการใช้  $C_d$  มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยในช่อง  $R_D$  ต่าง ๆ จุดต่อด้านหน้าออริฟิสจะต้องมีระยะจากแผ่นออริฟิสสัมพันธ์กับค่า  $\beta$  ดังรูปที่ 2.13(ข)

ความสัมพันธ์ของ  $C_d$  กับ  $R_D$  ของแบบออริฟิสจะเป็นไปตามรูป และต่างกับสองแบบแรกที กล่าวมาแล้ว คือในย่าน  $R_D$  ต่าง ๆ ค่า  $C_d$  จะสูงขึ้นและจะลดลงจนมีค่าเกือบคงที่ที่  $R_D$  มากกว่า  $10^6$  ค่า  $\beta$  ของออริฟิสที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีค่า  $C_d$  ค่อนข้างคงที่ในย่านกว้างแบบที่มี  $\beta$  ใหญ่กว่านี้เป็นเหตุผล อันหนึ่งในการกำจัดการขนาดของ  $\beta$  ไม่ให้เกิน 0.75 แต่อย่างไรก็ดีค่า  $\beta$  สูง ๆ จะให้ค่า  $C_d$  มากกว่า  $\beta$  ขนาดเล็ก



รูปที่ 2.13 (ก)



(ข) pipe diameters from inlet face of orifice plate

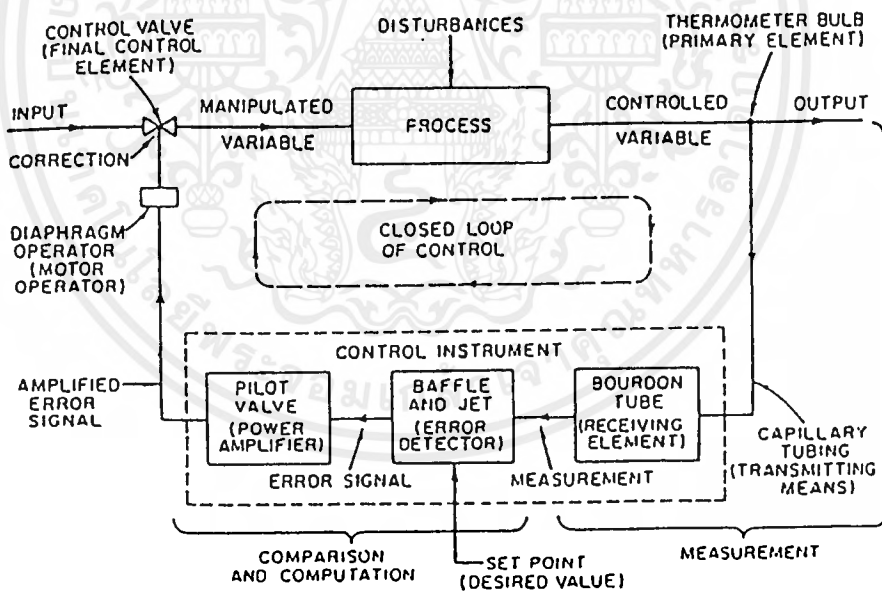
รูปที่ 2.13 (ข)

## 2.7 วาล์วควบคุม (Control valve)

โดยทั่ว ๆ ไปในระบบควบคุมของ Process ใด ๆ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมทำหน้าที่ต่าง ๆ กันตั้งแต่ Primary element จนกระทั่งถึง Final control element ซึ่งตัวอย่างหนึ่งของ Final control ที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือ “Control valve”

Control valve ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของของไหลในระบบซึ่งได้แก่ Steam, Water, Gas chemical solution ฯลฯ โดยได้รับสัญญาณการควบคุมเป็นไปโดยอัตโนมัติ (Automatic control)

จากรูปด้านบนแสดง Heat exchanger process ที่ใช้กับระบบควบคุมแบบ pneumatic จะเห็นว่า Control valve จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของ Steam ที่เข้าไปใน Process เพื่อทำให้น้ำที่เข้ามาใน Process มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมี Thermometer bulb เป็น Primary element ทำหน้าที่วัดค่า Controlled variable แล้วส่งค่าที่วัดได้โดยใช้ Capillary tubing ไปยัง Controller ซึ่งมี Bourdon tube เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบกับค่าควบคุมที่ต้องการ (Setpoint) ที่ Baffle and jet ในขณะที่เดียวกัน Controller จะมีส่วนที่ทำหน้าที่สร้าง Error signal และขยายสัญญาณ เพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Final control element หรือ Control valve ให้ทำหน้าที่ควบคุมค่า Manipulated variable ในที่นี้ก็คือปริมาณของ Steam จากรูปที่แสดงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมใน Process เราสามารถนำมาเขียนเป็น Block diagram ตามรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 Block diagram resolving parts of the control system

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า Control valve นี้มีบทบาทไม่น้อยไปกว่า Controller หรืออุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ในระบบเพื่อควบคุม Process ให้เกิดเสถียรภาพเป็นไปโดยอัตโนมัติตามค่าสัญญาณควบคุมนั้น ๆ ดังนั้นในแต่ละ Process เราจะต้องออกแบบและตัดสินใจเพื่อเลือกชนิดของ Control valve (Type of Valve), หาขนาด (Valve sizing), ชนิดของวัสดุ (Materials selection), ลักษณะการไหล (Flow) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

characteristic), ขนาดและประเภท ของ Actuators (Actuator selection) , ราคา (Cost), การติดตั้งและการบำรุงรักษา (Installation & Maintenance) และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีความสำคัญ

### 2.7.1 Control Valve Bodies

Valve bodies คือ ส่วนที่ของไหลที่ต้องการควบคุมไหลผ่าน เป็นส่วนหลักของ valve ที่จะต้องเผชิญต่อความดัน อุณหภูมิ การสึกกร่อน (Erosion) การผุกร่อน (Corrosion) และอื่น ๆ

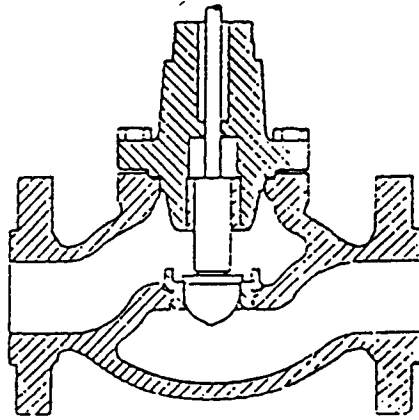
Valve bodies ที่ใช้ในระบบควบคุมมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะตามความเหมาะสมของการทำงาน โดยทั่วไปชนิดของ Valve bodies จะใช้กับการทำงานตามลักษณะการปิด-เปิดช่องทางเดินของของไหล ดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นที่เป็นแบบการเคลื่อนที่ปิด-เปิดตามแนวเส้นตรงกับการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวง

ส่วนใหญ่ในงานระบบควบคุมที่เป็นส่วนของ Control valve จะกล่าวถึง Valve bodies ที่เป็นแบบ Globe valve แต่ในปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตที่ออกแบบ Valve bodies แบบอื่น ๆ เพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลของของไหล มีหลายแบบดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

#### Globe Valve Body

เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งมีชนิดและขนาดต่าง ๆ กัน สำหรับทิศทางการไหลนั้นมีทั้งชนิด Flow-to-close กล่าวคือ แรงดันการไหลจะไปดันก้านวาล์ว เข้าหาบ่าวาล์ว (Seat ring) และ Flow-to-open ซึ่งหมายถึงแรงดันของการไหลนั้น จะดันก้านวาล์วให้ลอยห่างออกจากบ่าวาล์ว ซึ่งชนิดนี้จะนิยมใช้มากกว่า เพราะเป็นชนิดที่ควบคุมให้มีเสถียรภาพในแบบ Globe ยังแบ่งตามลักษณะของ Port ได้เป็น 2 แบบ คือ

1. Single-port globe valve หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Single-seated valve เป็นลักษณะของ Body ที่มีก้านวาล์วและบ่าวาล์วเพียงชุดเดียวคือของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่าง Plug และ Seat หรือระหว่าง Plug, Cage และ Seat ซึ่งมีช่องทางเดิน (Port) อยู่เพียงช่องเดียว การเคลื่อนที่ขึ้นลงของ Valve plug stem จะถูกประคองด้วยตัวประคองส่วนบน (Top guide) หรือ/และ ตัวประคองส่วนล่าง (Bottom guide) หรือ/และ ตัวประคองส่วนล่าง (Bottom guide) ลักษณะของ Single-port จะมีรูป (Form) ของ Body แตกต่างกันหลายแบบ เช่น แบบ Angle, Split body และแบบ Y-pattern เป็นต้น



รูปที่ 2.15 Top-entry top-guided single seat globe valve

โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้ว - 16 นิ้ว สามารถใช้แบบ Cage-style ประกอบกับ Seat ring และ Plug guiding มีลักษณะการไหล (Flow characteristic) หลายแบบให้เลือกใช้ ง่ายต่อการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาพอสมควร ง่ายต่อการ Modify โดยการเปลี่ยน Trim เพื่อลด-เพิ่ม Capacity flow, Noise, กำจัด Flashing และ Cavitation แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ Body อื่น ๆ แล้วมีราคาแพงกว่า การติดตั้งสามารถใช้ Screw, Flange หรือการเชื่อมต่อกับ Pipeline

การใช้งานคือใช้ควบคุมอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง (Throttling) และใช้งานที่ต้องการปิดได้สนิท (Tight shut off) โดยมีแรงดันตกคร่อม Valve ไม่มากนัก อัตราการรั่วสูงสุดน้อยกว่า 0.01% ของ Rated Cv

2 Double-port globe valve หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Double-seat valve เป็น Globe valve ที่มี ลิ้นวาล์วและบ่าวาล์ว 2 ชุด แบบ Single-port ของไหลที่ไหลผ่านสามารถไหลได้ช่องทางเดียวและเมื่อของไหลผ่านทางเดินดังกล่าวจะเกิดแรงดันจากของไหลด้านแรงกดของ Actuator ทำให้ต้องเพิ่มขนาดของ Actuator หรือเพิ่ม Pressure ขึ้น ทำให้ลิ้นเปลี่ยนมาก แต่ใน Globe valve แบบนี้ของไหลจะไหลขึ้นด้านบนและไหลลงด้านล่าง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แรงที่เกิดจากของไหลไหลกดหรือดัน Valve plug เกิดการหักล้างกันไป มีผลทำให้แรงที่ออกจาก Actuator เพื่อดัน Valve plug นั้นน้อยลง จากการที่มีช่องทางเดิน 2 ช่องนี้ ทำให้อัตราการรั่วมากกว่าแบบ Single-port valve คือประมาณ 0.5 % ของ Rated Cv เนื่องจากการที่จะให้ลิ้นวาล์วทั้งสองปิดได้สัมพันธ์กันเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยาก

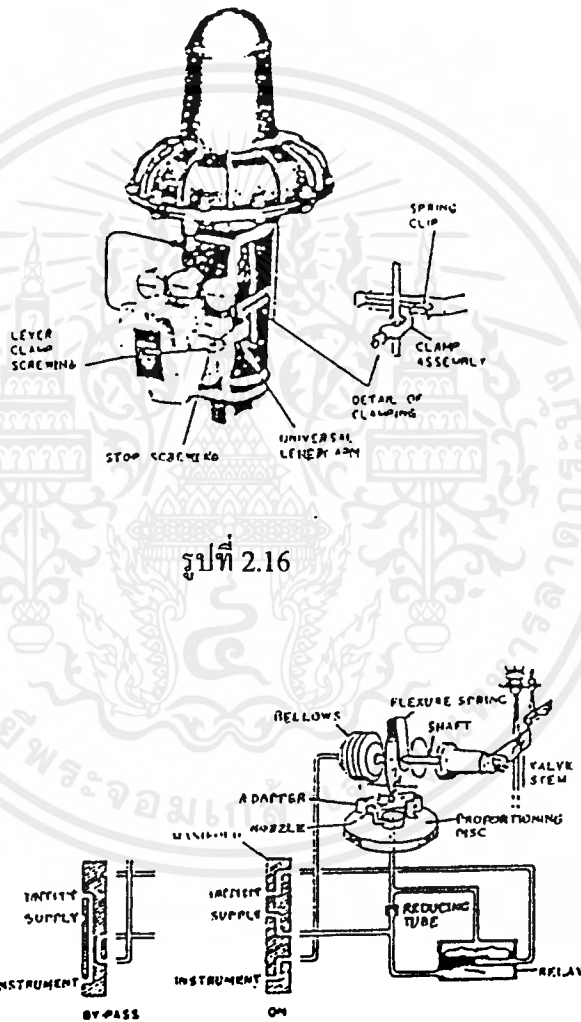
Plug ของ Valve แบบนี้สามารถใช้ได้ 2 ทาง ในตัวเดียวคือ Push-down-to-open และ Push-down-to-close เพียงแต่กลับปลายด้านหนึ่งและกลับหน้า Seat ด้วย แต่ก่อนอื่นต้องแน่ใจแล้วว่า จะเลือกการทำงานเป็นแบบไหน Seat ที่ใช้เป็นแบบ Metal-to-metal ปริมาณการไหล (Capacity flow) มีมากกว่าแบบ Single port เมื่อมีขนาดเท่ากัน แบบ Double-port ยังแยกเป็นแบบ Port-guide valve plug โดยใช้ Port เป็นตัวประคองแต่ใช้งานกับ On-off และ Low-pressure เป็นส่วนใหญ่ ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Top-bottom guided ใช้กับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ซึ่งการประกอบบริเวณ Top-bottom guided จะต้องทำให้ได้ศูนย์ร่วมระหว่างด้านบนและด้านล่าง มิฉะนั้นแล้วขณะที่ของไหลวิ่งผ่านมันสามารถกระแทกบริเวณ Plug ทำให้ Guide bushing เกิดอาการหลวมจนในที่สุด Plug อาจจะขาดได้

## 2.7.2 Valve Positioner

### 1. Pneumatic Valve Positioner

รับสัญญาณเข้าไปเป็นสัญญาณมาตรฐาน  $0.2-0.1 \text{ kg/cm}^2$  (bar) หรือ 3-15 psi และส่งสัญญาณไปที่ Actuator



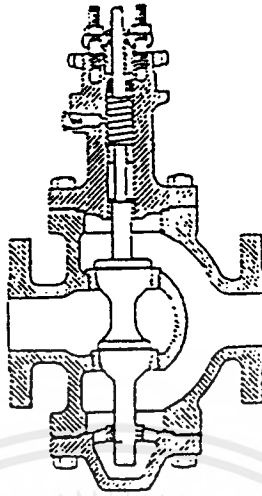
รูปที่ 2.16

รูปที่ 2.17

### หลักการทำงาน

เมื่อ Instrument signal เพิ่มขึ้น ไปทำให้ Bellow ขยายตัวออกดันให้ Flexure spring หุบตัวเข้ามีผลทำให้ Flapper เข้าหา Nozzle back pressure เพิ่มขึ้น ไปทำให้ Output ของ Relay เพิ่มขึ้นและส่งเป็น Output ของ Positioner ไปยัง Actuator ทำให้ Valve stem เคลื่อนที่

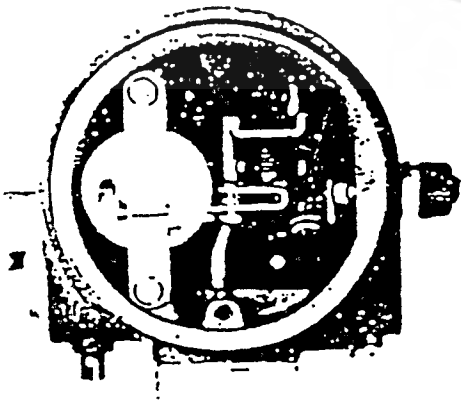
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



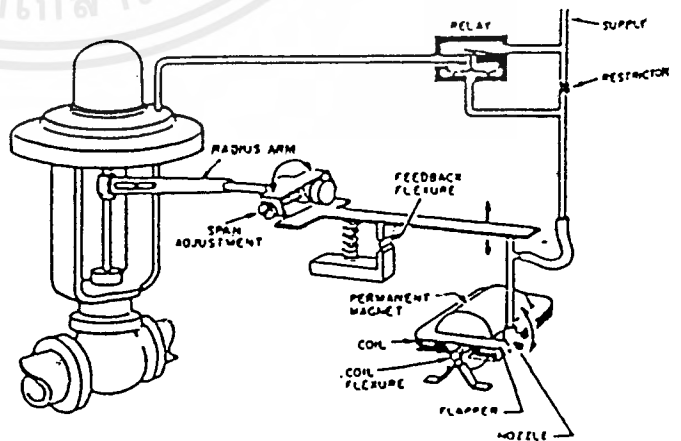
รูปที่ 2.18

ตามรูปที่ 2.18 แสดงตำแหน่งของ Flapper-Nozzle เพื่อให้ถูกต้องตามประเภทของ Actuator และให้เหมาะสมกับ Action ของ Control valve ตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำเอา Valve positioner ไปใช้กับ Actuator แบบ Air-to-lower motors เราจะต้องตั้งตำแหน่งของ Flapper-nozzle ให้อยู่ตาม White sector จะให้ Direct action และ Blue sector จะให้ Reverse action ในทางตรงกันข้ามถ้าเราใช้ Valve positioner กับ Actuator แบบ Air-to-lift motors เราจะต้องตั้งตำแหน่งของ Flapper-nozzle ให้อยู่ที่ Black sector เพื่อให้เป็น Direct action และตั้งที่ Orange sector เพื่อให้เป็น Reverse action

## 2. Current-to-air Positioner



รูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมี Valve positioner ที่รับสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า 4-20 mA และให้สัญญาณออกเป็นสัญญาณลบ ส่งไปที่ Actuator (สัญญาณเข้าจะแปลงเป็นสัดส่วนกับตำแหน่งของ Valve stem) ตามรูป 2.19 เมื่อสัญญาณเข้าเพิ่มขึ้นที่ Coil จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กครอบตัวนำ เป็นสัดส่วนกับกระแสเข้า Flapper ที่ติดอยู่บน Coil จะเกิดการเคลื่อนที่รอบ Coil flexure เข้าหา Nozzle ทำให้เกิด Back pressure ใน Relay มี Output ออกจาก Positioner ไปที่ Actuator ทำให้ Valve stem เคลื่อนที่ลงจะมี Radius arm ส่ง Feedback กลับมาที่ Valve positioner โดยผ่าน Feedback flexure เมื่อสัญญาณเข้าคงที่ Valve stem จะหยุดการเคลื่อนที่ ถ้าเราต้องการเปลี่ยนระยะการเคลื่อนที่ของ Valve stem ให้กว้างขึ้นหรือแคบลงสามารถปรับที่ Span adjustment

### 2.7.3 Flow Characteristic of Control Valve

คุณลักษณะการไหลของ Control valve ตัวใด ๆ คือความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ไหลผ่าน Control valve กับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของ Valve plug stem จากช่วง 0-100%

โดยทั่วไป Valve characteristic จะกล่าวถึงคุณลักษณะประจำหรือเฉพาะแบบได้ 2 แนวคือ

#### 1. Inherent flow characteristic

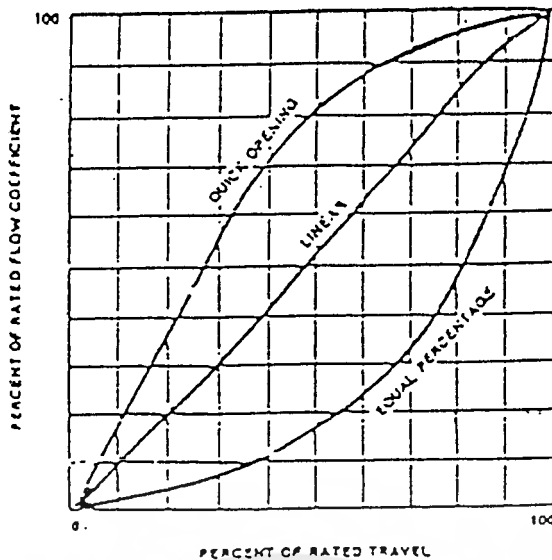
หมายถึง คุณลักษณะการไหลที่ได้จากการที่ของไหลไหลผ่านวาล์วเมื่อ Pressure drop มีค่าคงที่ (Constant pressure drop) ถ้าจะกล่าวอีกแนวหนึ่งคือเป็นคุณลักษณะการไหลที่ได้จากการออกแบบและการทดลองของ Control valve ก่อนนำออกไปใช้งานจริง

#### 2. Installed flow characteristic

หมายถึงคุณลักษณะการไหลเมื่อ Pressure drop ของวาล์วจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบนั้นเมื่อวาล์วติดตั้งอยู่ใน Process line

วัตถุประสงค์ของการกำหนดคุณลักษณะการไหล เพื่อเป็นแบบอย่างสำหรับเลือกใช้ตามสภาพและเงื่อนไขของการควบคุม (Control loop and process condition) อันจะทำให้ได้เสถียรภาพในการควบคุมที่ดีขึ้น

ตามปกติคุณลักษณะการไหลที่ใช้กันมากและพบกันบ่อย ๆ จนกล่าวได้ว่าเป็น Commercial type มีด้วยกัน 3 แบบ Linear, Equal percentage และ Quick opening



รูปที่ 2.21 Inherent Valve flow Characteristics

### Linear Characteristic

อัตราการไหลจะแปรผันโดยตรงกับการเปิด-ปิดของ Valve plug การให้ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นเส้นตรงนี้ ถ้า Pressure drop คงที่ Valve gain จะคงที่ที่อัตราการไหลทุกจุด ค่า Gain นี้จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของ Valve, การใช้งานและคุณลักษณะของ Valve plug คุณลักษณะเส้นตรงนี้ นิยมใช้กับการควบคุมระดับ, ควบคุมการไหลที่มี Gain คงที่ใน Process ที่มีการตอบสนองช้า (Slow process)

### Equal Percentage (=%) Characteristic

อัตราส่วนที่ไหลเพิ่มจะแปรผันโดยตรงกับการเปิดเพิ่มของ Valve plug ลักษณะเส้นกราฟ แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของการเปิด-ปิดของ Valve plug เท่ากับเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล ตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราการไหลเพิ่ม 10% ในขณะที่ Valve plug เปลี่ยนแปลง n% อัตราการไหลจะเปลี่ยนไปดังนี้ ที่ 10 l/min อัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ  $10 \times 0.1 = 1$  l/min ; ที่ 50 l/min  $50 \times 0.1 = 5$  l/min และที่ 90 l/min  $90 \times 0.1 = 9$  l/min เป็นต้น

ในขณะที่ Valve plug อยู่ใกล้ Seat ring จะทำให้ได้อัตราการไหลน้อย การเปลี่ยนแปลงของการไหลจะน้อยตาม ในกรณีเดียวกัน ถ้า Valve plug เปิดมากให้อัตราการไหลมาก การเปลี่ยนแปลงของการไหลก็จะมากตาม คุณลักษณะเช่นนี้นิยมใช้การควบคุมความดันและใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลง Pressure drop ผ่าน Control valve อยู่เสมอ

### Quick Opening Characteristic

การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลมาในขณะที่ Valve plug เคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย ให้การไหลในลักษณะเส้นตรง (Linear) ถึงประมาณ 70% ของอัตราการไหลสูงสุด การเพิ่มการเปิดของ Valve plug มากกว่านี้ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลจะลดลงจนเกือบไม่เปลี่ยนแปลงเลย คุณลักษณะการไหลแบบนี้นิยมใช้งาน On-Off service และบางครั้งสามารถนำไปใช้เป็น Relief valve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 การหาขนาดวาล์วควบคุม (Control Valve Sizing)

ตามมาตรฐาน ISA ใช้วิธีการคำนวณแบบ Systematic เพื่อเลือก ชนิดของเสื่อวาล์ว (Body types) ขนาด วัสดุ อัตราความดัน และ ขนาดของ trim ที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการของคุณสมบัติของการไหล

ค่าความจุการไหลของวาล์วควบคุม ( $C_v$ ) นั้นอยู่บนมาตรฐานอุตสาหกรรม ANSI/ISA75.01 ซึ่งมาตรฐานนี้และมาตรฐานการวัดที่เทียบเท่านี้จะถูกทำเป็นสมการเพื่อใช้ในการทำนายการอัดตัวและการคายตัวของของไหลในวาล์วควบคุม รูปแบบสมการพื้นฐานจะใช้สำหรับของเหลวและก๊าซซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 2.8.1 คำนิยามของค่าศัพท์

#### ค่าความจุการไหล (Flow Capacity)

สัมประสิทธิ์ของขนาดของวาล์ว  $C_v$  มีไว้เพื่อใช้วัดหาค่าความจุของเสื่อวาล์วและ trim ที่เหมาะสมของวาล์วควบคุม 1  $C_v$  ถูกนิยามไว้เท่ากับน้ำอุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ มีอัตราการไหล 1 แกลลอนต่อ 1 นาที ซึ่งสามารถไหลผ่านวาล์วด้วยความดันตกคร่อม 1 psi ซึ่งสมการโดยทั่วไปของ  $C_v$  คือ

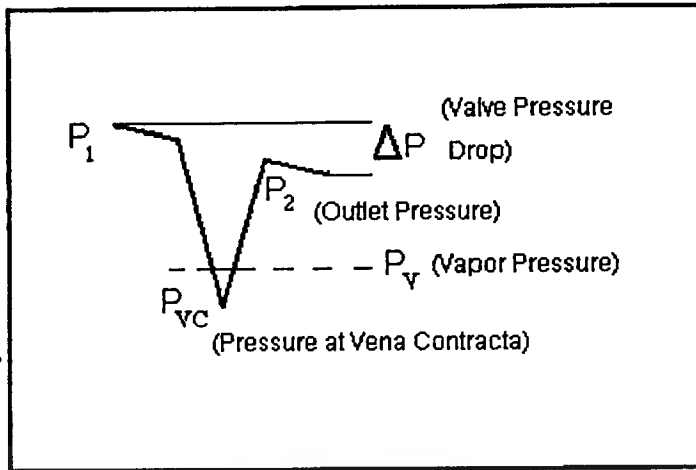
$$C_v = \text{flow} \left( \frac{\text{specific gravity at flowing temperature}}{\text{pressure drop}} \right)$$

#### Pressure Profile

การไหลของของเหลวที่ไหลผ่านวาล์วควบคุมจะเป็นไปตามกฎพื้นฐานของการอนุรักษ์มวลและพลังงาน (Basic laws of conservation of mass and energy) และสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) วาล์วควบคุมจะทำหน้าที่ในการจำกัดการไหล (เป็นสิ่งที่คิดขวาง) ของของเหลว ดังนั้นเมื่อของเหลวเข้าไปใกล้สิ่งกีดขวางจะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ (Linear) สำหรับการไหลที่เต็มพื้นที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวาง พลังงานที่ใช้สำหรับการเพิ่มขึ้นของความเร็วนี้มาจากการลดลงของความดัน

ความเร็วสูงสุดและความดันที่ต่ำสุดจะเกิดขึ้นทันทีทันใดถ้าทาง Downstream จาก Throttling point เข้าใกล้จุดที่แคบที่สุดของสิ่งกีดขวางของของเหลว ซึ่งจุดที่แคบที่สุดเราเรียก Vena Contracta ทางด้าน Downstream ของ Vena Contracta ของเหลวจะไหลช้าและบางส่วนของพลังงาน (ในรูปของความเร็ว) จะถูกแปลงไปอยู่ในรูปของความดัน ตัวอย่างง่าย ๆ ของ Profile ของความดันของของไหลถูกแสดงไว้ในรูป 2.22 การสูญเสียความดันระหว่างทางเข้าและทางออกของทางเดินที่เกิดจากความฝืดนั้นมีเพียงส่วนน้อย ส่วนการสูญเสียความดันส่วนใหญ่ขึ้นเนื่องจากเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของความเร็วที่

#### Vena Contracta

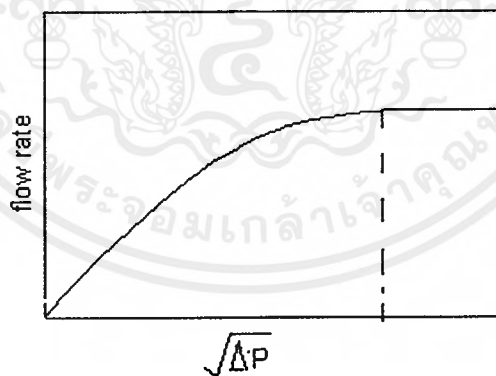


Pressure profile of fluid passing through a valve

รูปที่ 2.22 แสดงความดันต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่ Vena Contracta

ความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ (Allowable Pressure Drop)

จากค่านิยมของ  $C_v$  เมื่อความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความดันตกคร่อมไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่เราเพิ่มความดันตกคร่อมแล้วไม่ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น เราจะเรียกจุดนั้นว่า “จุด Choking” ดังรูป 2.23



choked pressure drop point

รูปที่ 2.23 แสดงจุด Choking

ในของเหลว เมื่อความดันที่จุดใด ๆ ในวาล์วตกคร่อมต่ำกว่าความดันไอของของเหลว (ดังรูป 2.3) จะถูกเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในสถานะของฟองของไอ ซึ่งฟองเหล่านี้จะมีปริมาณที่มากกว่าเมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ทำให้ความดันตกคร่อมจะตกคร่อมวาล์วควบคุมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการที่ฟองกับของ

เหลวเพิ่มขึ้นจนกระทั่งปริมาตรของการไหลใหญ่กว่าแล้วจะทำให้อัตราการไหลไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ เมื่อนั้นจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่จุดนี้ซึ่งเราจะเรียกจุดนี้ว่าจุด Choked pressure drop

ในแก๊ส ความดันทางด้าน Downstream ตกลง (ความดันจะตกคร่อมเพิ่มขึ้น) ความเร็วของแก๊สที่ไหลผ่าน Vena Contracta จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาตรของแก๊ส เมื่อความเร็วเข้าใกล้ความเร็วเสียง ( $Mach = 1$ ) ความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นอย่างมากก็จะมีผลกระทบต่ออัตราการเพิ่มการไหล เราจะเรียกจุดที่ความดันตกคร่อมซึ่งมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียงที่ตกคร่อม Vena Contracta ว่า จุด Choked pressure drop

การหาขนาดของวาล์วควบคุม (Sizing control valve) ความดันตกคร่อมที่แท้จริงหรือความดันตกคร่อม Choked ความดันใดที่น้อยกว่าจะถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาค่า  $C_v$  ที่ถูกต้อง ความดันตกคร่อมนี้จะต้องอยู่ภายใต้ความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ด้วย

#### การเกิดโพรงในของเหลว (Cavitation)

ในของเหลว เมื่อความดันที่ตกคร่อม Vena Contracta ต่ำกว่าความดันของของไหล ฟองไอก็จะเกิดขึ้นในรูปของไอของของไหล ทางด้าน Downstream จาก Vena Contracta จะทำให้ความเร็วลดลง แต่จะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น ถ้าความดันสูงกว่าความดันไอจะทำให้ฟองนั้นถูกทำลาย (แตก) ทำให้ไอกลับมาอยู่ในสถานะของเหลว ขั้นตอนในการเกิดและทำลายเหล่านี้จะทำให้เกิดเป็นโพรง เราจะเรียกว่า Cavitation ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) และการสั่น ซึ่งจะมีผลทำให้วาล์วและท่อทางด้าน Downstream เสียหายได้

การที่จะทำลายโพรงนั้นจะต้องเริ่มต้นจากจุดที่ทำให้เกิดฟองคือเมื่อฟองถูกแรกเริ่มเกิดขึ้นและแตก มันสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2-15) จุดที่ซึ่งเกิดโพรง Choked (ทำให้เกิดความเสียหาย, การสั่นและสัญญาณรบกวน) สามารถอธิบายได้จากสมการที่ (2-13) ภายใต้สภาวะ Choked ความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ (Allowable pressure drop) ก็คือความดันตกคร่อม Choked (Choked pressure drop)

#### ค่าคงที่ของความดันย้อนกลับของของเหลว (Liquid pressure recovery factor , $F_L$ )

ค่าคงที่ของความดันย้อนกลับของของเหลว ( $F_L$ ) จะเป็นตัวทำนายความดันย้อนกลับที่จะเกิดขึ้นระหว่าง Vena Contracta และ ทางด้านออกของวาล์ว (Valve outlet) ค่า  $F_L$  เป็นสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการ ซึ่งสัมประสิทธิ์นี้จะมีอิทธิพลต่อเรขาคณิตภายในของวาล์วในขณะที่วาล์วมีค่าความจุสูงสุด

$F_L$  จะมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของวาล์วและวาล์วชนิด High recovery เช่น Butterfly และ Ball valve เช่น เมื่อมีความดันต่ำกว่าที่ Vena Contracta จะทำให้ Butterfly และ Ball valve เกิดความดันย้อนกลับที่มากกว่า Globe valve ที่ความดันตกคร่อมเดียวกัน ดังนั้น Butterfly และ Ball valve จะดูแลในสภาวะ Choked (หรือโพรง) ได้ง่ายกว่า Globe valve

ค่าคงที่ของอัตราส่วนความดันวิกฤติของของเหลว (Liquid critical pressure ratio factor ,

$F_p$ )

ค่าคงที่ของอัตราส่วนความดันวิกฤติของของเหลว,  $F_p$  จะถูกคูณด้วยความดันไอ ซึ่งจะเป็เป็นตัวที่ใช้ในการทำนายความดันตกคร่อมวาล์วที่ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบ (Choked) สูงสุดต่อความดันตกคร่อม Vena Contracta ทางทฤษฎี

### Flashing

ถ้าความดันด้าน Downstream มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอ ฟองของไอที่ถูกสร้างขึ้นที่ Vena Contracta จะไม่แตก ซึ่งจะทำให้เกิดของผสมระหว่างของเหลวและก๊าซที่ทางด้าน Downstream ของวาล์ว ซึ่งเราเรียกว่า “Flashing” เมื่อ Flashing ของของเหลวเกิดขึ้น ของไหลทางด้านขาเข้ามีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ของของเหลวซึ่งทำให้ความดันทาง Downstream ของวาล์วควบคุมมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอ ซึ่งทำให้เกิดของผสมสองสถานะ (ของเหลวและก๊าซ) ที่ทางออกของวาล์วและในท่อทาง Downstream ความเร็วของของผสมสองสถานะจะค่อนข้างสูงซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของวาล์วและท่อ

### Choked flow

Choked flow จะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วของของไหลเข้าใกล้ความเร็วเสียงที่จุดใด ๆ ในตัววาล์ว , trim หรือ ท่อ

ในของเหลวจะเกิดขึ้นเมื่อของเหลวกลายเป็น ไอซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความดันตกคร่อม ทำให้ปริมาณจำเพาะของของไหลเพิ่มขึ้นที่จุดที่เข้าใกล้ความเร็วเสียง

ในก๊าซ ความดันในวาล์วหรือท่อถูกทำให้ต่ำกว่าทำให้ปริมาณจำเพาะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ความเร็วเข้าใกล้ความเร็วเสียง การต่ำลงของความดันทางด้าน Downstream ที่จุดนี้จะไม่ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น ความเร็วที่จุดใด ๆ ในวาล์วหรือท่อทางด้าน Downstream จะถูกจำกัดที่ความเร็วเสียง ( $Mach=1$ ) ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการไหลจะถูกจำกัดที่ค่าความเร็วเสียงภายใต้สภาวะความดันจำเพาะ

### ค่าคงที่เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number factor , $F_R$ )

Reynolds number factor ,  $F_R$  ถูกใช้เพื่อแก้ไขการคำนวณค่า  $C_v$  ในสภาวะที่ของเหลวไม่เต็มท่อเนื่องจากของไหลมีค่าความหนืดสูง, ความเร็วในการไหลของของไหลต่ำ หรือ ค่า  $C_v$  ของวาล์วต่ำ

### ค่าคงที่ทางเรขาคณิตของการวางท่อ (Piping geometry factor , $F_p$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การหาขนาดวาล์วจะถูกพิจารณาจากการทดสอบการทำงานกับวาล์วที่มีค่าคงที่ที่ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของตัววาล์วเท่ากัน ถ้ารูปร่างของการวางท่อของกระบวนการ (Process) แตกต่างจากเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างจากการทดสอบมาตรฐานซึ่งมีความซับซ้อนจะทำให้ค่าความจุของวาล์วเปลี่ยน ซึ่งผลกระทบของการลดลงหรือเพิ่มขึ้นนี้เราสามารถที่จะประมาณ โดยการใช้ค่าคงที่ทางเรขาคณิตของการวางท่อ (Piping geometry factor , $F_p$ )

Velocity (ความเร็ว)

ตามกฎทั่ว ๆ ไป ความเร็วที่ทางออกของวาล์วควรจะถูกจำกัดที่ค่าสูงสุดตามนี้

ของเหลว	50 ฟุตต่อวินาที
ก๊าซ	ประมาณ 1 Mach
ของผสมระหว่าง แก๊สและของเหลว	500 ฟุตต่อวินาที

ตารางที่ 2-2 แสดงความเร็วสูงสุดทางออก

ตารางที่ 2-2 แสดงแนวทางการใช้งานของวาล์ว โดยทั่วไปวาล์วขนาดเล็กจะใช้กับความเร็วสูง และวาล์วขนาดใหญ่จะใช้กับความเร็วต่ำ แต่การใช้งานเฉพาะอย่างจะมีค่าความเร็วที่ต้องการเฉพาะ ซึ่งบางชนิดจะแสดงในที่นี้

การใช้งานกับของเหลว เมื่ออุณหภูมิของของไหลเข้าใกล้จุดอิ่มตัวควรที่จะจำกัดความเร็วที่ 30 ฟุตต่อวินาทีเพื่อหลีกเลี่ยงการลดลงของความดันของของไหลต่ำกว่าความดันไอ ดังนั้นการจำกัดความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจะต้องออกแบบเกินอัตราการไหลและความดันตกคร่อมต่ำสุดของวาล์วควบคุมด้วย

ในงานที่เกิดโพรง (Cavitating) ควรที่จะจำกัดความเร็วที่ 30 ฟุตต่อวินาทีเพื่อป้องกันการสูญเสียของท่อทางด้าน Downstream ซึ่งทำให้เกิดความดันไหลย้อนกลับซึ่งเป็นเหตุให้เกิดโพรงที่ทันใดทางด้าน Downstream จาก Vena Contracta

ในงานที่มี Flashing ความเร็วจะเริ่มต้นสูงมากเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาตรซึ่งเป็นผลจากการก่อตัวของไอ สำหรับการใช้งานส่วนมากเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากที่จะต้องรักษาความเร็วให้ต่ำกว่า 500 ฟุตต่อวินาที ชนิดของวาล์วที่ใหญ่ขึ้นทางด้านออกเช่น Mark One-X จะช่วยในการควบคุมความเร็วทางออกให้อยู่ในระดับการใช้งาน การกัดกร่อนสามารถถูกจำกัดได้โดยใช้วัสดุที่ทำตัววาล์วเป็น Chrome-moly และใช้ Stellite วางบนรอยต่อ ในการใช้งานวาล์วที่เล็ก เช่น วาล์วในการระบายความร้อน ความเร็ว 800-1500 ฟุตต่อวินาทีสามารถที่จะยอมรับได้

การใช้งานกับก๊าซ วาล์วที่มีรอยต่อแคบเพื่อลดสัญญาณรบกวนควรมีการจำกัดความเร็วที่ 0.33 Mach อย่างไรก็ตาม ความเร็วในท่อของ Downstream จากวาล์วจะ Critical เหนือระดับของสัญญาณรบกวนการปรับจะใช้ประมาณ 0.33 mach จากการทดลองแสดงว่าความเร็วประมาณ 0.5 Mach สามารถสร้างสัญญาณรบกวนที่ถาวรได้แม้ในท่อที่ตรง การเพิ่มวาล์วควบคุมจะทำให้เกิดความวุ่นวายทางด้าน Downstream ซึ่งเป็นผลทำให้ระดับของสัญญาณรบกวนสูงขึ้น

ค่าคงที่การขยายตัว (Expansion factor, Y)

ค่าคงที่การขยายตัว (Expansion factor, Y) เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจำเพาะของก๊าซที่ผ่านจากทางเข้าของวาล์วกับ Vena Contracta ดังนั้นมันจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่เป็นส่วนตัดของ Vena Contracta ซึ่งทำให้ความดันตกคร่อมเปลี่ยนไปด้วย

อัตราส่วนของค่าคงที่ความร้อนจำเพาะ (Ratio of specific heats factor,  $F_K$ )

อัตราส่วนของค่าคงที่ความร้อนจำเพาะ (Ratio of specific heats factor,  $F_K$ ) ใช้เพื่อปรับสมการที่เป็นต้นเหตุให้พฤติกรรมของก๊าซแตกต่างจากอากาศ

สัดส่วนของความดันตกคร่อมของหัวต่อ (Terminal pressure drop ratio,  $X_T$ )

Terminal pressure drop ratio,  $X_T$  จะถูกใช้เป็นตัวในการทำนายหาจุด Choking ที่ซึ่งความดันตกคร่อม เพิ่มขึ้น (โดยการลดลงของความดันทางด้าน Downstream) จะไม่ทำให้การไหลเพิ่มขึ้นเนื่องจากการจำกัดที่ความเร็วเสียงตกคร่อม Vena Contracta ค่าคงที่นี้จะเป็นฟังก์ชันของเรขาคณิตของวาล์วและการเปลี่ยนแปลงค่า  $F_L$  นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวาล์ว

ค่าคงที่ของการอัดตัว (Compressibility factor, Z)

ค่าคงที่ของการอัดตัว (Compressibility factor, Z) เป็นฟังก์ชันที่ใช้กับอุณหภูมิและความดันของก๊าซที่ลดลง โดยการพิจารณาค่าความหนาแน่นของก๊าซซึ่งมีความสัมพันธ์กับสภาพอุณหภูมิและความดันที่แท้จริง

## 2.8.2 การหา $C_v$ สำหรับของเหลว (Sizing $C_v$ for Liquids)

สมการสำหรับสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_v$ ) ในของเหลว

$$C_v = \frac{q}{(F_p F_r)} \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P a}} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$C_v$  คือ สัมประสิทธิ์ของการหาวาล์ว

$F_p$  คือ ค่าคงที่ทางเรขาคณิตของท่อ

$F_r$  คือ ค่าคงที่ Reynolds Number

$q$  คือ อัตราการไหลในหน่วย แกลลอนต่อนาที

$P_2$  คือ ความดันตกคร่อมวาล์ว (psi)

$G_f$  คือ ค่าความโน้มถ่วง ณ อุณหภูมิของการไหล

ตารางที่ 2-3 สัมประสิทธิ์การย้อนกลับและ Incipient cavitation factors ของวาล์วแต่ละชนิด

Valve Type	Flow Direction	Trim Size	$F_L$	$F_i$	$X_T$
Globe	Flow -To -	Full Area	0.85	0.76	.70
	Close Flow -	Reduced	0.80	0.72	.70
	To -Close	area	0.90	0.81	.75
	Flow -To -	Full Area	0.90	0.81	.75
	Close Flow -	Reduced			
	To -Close	Area			
Valdisk	60° Open	Full	0.76	0.65	.36
Rotary Disc	90° Open	Full	0.56	0.49	.26
Share	60° Open	Full	0.78	0.65	.51
	90° Open	Full	0.66	0.44	.30
Stream					
Rotary Ball					
Cav Control	Over Seat	All	0.92	0.90	N/A
Multi-Stage	Under Seat	All	~1.0	0.87 - 0.999	~1.0

ขั้นตอนที่ใช้หา  $C_v$ , ขนาดของวาล์วและ Trim number

Step 1 คำนวณความดันตกคร่อมจริง

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad \text{..... (2-12)}$$

อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการไหลเกิด Choked ความดันที่ตกคร่อมจะมีค่าน้อยกว่าความดันตกคร่อมจริง

Step 2 พิจารณาอัตราการไหลขณะเกิด Choked ,การเกิดโพรงและ Flashing

ใช้สมการ (2-13) สำหรับพิจารณาการไหลขณะเกิด Choked

$$\Delta P (\text{Choked}) = (F_1^2 (P_1 - F_F P_v)) \quad \text{..... (2-13)}$$

- โดยที่  $F_L$  คือ ค่าคงที่การไหลย้อนกลับของของเหลว
- $F_F$  คือ ค่าคงที่ของความดันวิกฤติของของเหลว
- $P_V$  คือ ความดันไอของของเหลว ณ อุณหภูมิทางเข้า ,psi
- $P_1$  คือ ความดันทางด้าน Upstream , psi

จากตารางที่ 2-3 สำหรับค่าคงที่  $F_L$  สำหรับการเปิดเต็มและส่วนของ Stroke valve

$F_F$  สามารถหาได้จากรูป 3-3 หรือประมาณค่าโดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_V}{P_C}} \dots\dots (2-14)$$

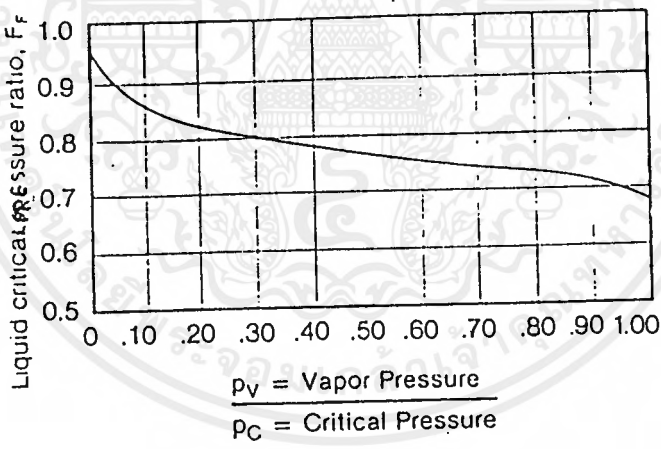
โดยที่  $F_F$  คือ ค่าคงที่ของความดัน Critical ของของเหลว

$P_V$  คือ ความดันไอของของเหลว ณ อุณหภูมิทางเข้า ,psi

$P_C$  คือ ความดัน Critical ของของเหลว ,psi (ดูตารางที่ 2-4 สำหรับความดัน Critical

แต่ละชนิด)

$\Delta P(\text{Choked})$  (สมการที่ 2.13) จะมีค่าน้อยกว่า ความดันตกคร่อมแบบที่ใช้  $\Delta P(\text{Choked})$  (สมการที่ 2.12)



รูปที่ 2.24 กราฟแสดงค่าคงที่ของสัดส่วนของความดันวิกฤติของของเหลว

จากตารางที่ 2-4 สามารถใช้ในการพิจารณาจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดโพรง (ถ้าการเกิดโพรงเกิดขึ้นตรงขอบ สามารถที่จะตัดออกได้โดยการ turning วาล์ว) ซึ่งสมการข้างล่างนี้จะใช้อธิบายความดันตกคร่อมที่เริ่มต้นเกิดโพรง

$$\Delta P (\text{Incipient}) = F_L^2 (P_1 - P_V) \dots\dots (2-15)$$

โดยที่  $F_L$  คือ ค่าคงที่การไหลย้อนกลับของของเหลว (ค่า  $F$  ของวาล์วแต่ละชนิดอยู่ในตารางที่ 2-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_v$  คือ ความดันไอของของเหลว ณ อุณหภูมิทางเข้า ,psi

$P_1$  คือ ความดันทางด้าน Upstream ,psi

$C_v$  ที่ต้องการสำหรับการใช้งานวาล์วแบบ Flashing จะสามารถพิจารณาได้โดยใช้การประมาณค่า  $\Delta P$  [ $\Delta P$ (Choked) ถูกคำนวณได้จากสมการ (2-13) หรือ จะมีค่าน้อยกว่า  $\Delta P$ (Actual) ในสมการที่ (2-11)]

ตารางที่ 2-4 แสดงความดัน Critical

Liquid	Critical Press. (psia)	Liquid	Critical Press. (psia)
Ammonia	1636.1	Hydrogen	1205.4
Argon	707.0	Chloride	
Benzene	710.0	Isobutane	529.4
Butane	551.2	Isobutylene	529.2
Carbon	1070.2	Kerosene	350.0
Dioxide		Methane	667.3
Carbon		Nitrogen	429.4
Monoxide	507.1	Nitrous Oxide	1051.1
Chlorine	1117.2	Oxygen	732.0
Dowtherm A	547.0	Phosgene	823.2
Ethane	708.5	Propane	615.9
Ethylene	730.5	Propylene	670.3
Fuel Oil	330.3	Refrigerant 11	639.4
Fluorine	757.0	Refrigerant 12	598.2
Gasoline	410.0	Refrigerant 22	749.7
Helium	32.9	Sea Water	3200.0
Hydrogen	188.1	Water	3208.2

### Step 3 การพิจารณาค่าความโน้มถ่วงจำเพาะ

ค่าความโน้มถ่วงจำเพาะสามารถหาได้โดยทั่วไปสำหรับของไหลที่อุณหภูมิทำงาน ดังนั้นจะแนะนำคุณสมบัติของของไหลสำหรับสารประกอบ 268 ชนิดรวมทั้งค่าความโน้มถ่วงจำเพาะ  $G_f$

### Step 4 การประมาณ $C_v$ , $F_p$ และ $F_R$

ตามปกติแล้วค่า  $F_R$  สามารถที่จะตัดทิ้งได้เนื่องจากวาล์วนั้นจะไม่ทำงานในช่วงที่มีการไหลแบบ Luminar เนื่องจากมีค่าความหนืดที่สูงทำให้ความเร็วต่ำหรือค่า  $C_v$  ที่น้อย ในเหตุการณ์แบบนี้จะมีวิธีการคำนวณ  $C_v$ ,  $F_p$  โดยการสมมติค่า Reynolds number ( $F_R$ ) ให้เท่ากับ 1.0 และทำการตามขั้นตอนที่ 5 ถ้าค่า Reynolds number มีค่ามากกว่า 2000  $F_R$  สามารถที่จะตัดทิ้งได้

### Step 5 คำนวณหา ค่าคงที่ Reynolds number

การหา  $F_R$  อย่างแรกในการคำนวณหาค่า Reynolds number คือใช้สมการที่ (2-16) แล้วพิจารณาด้วยรูปที่ 2.25

$$Re_v = \frac{17300 q F_d}{S_v F_p F_1 C_v F_p} \dots\dots\dots (2-16)$$

เมื่อ  $Re_v$  คือ ค่า Reynolds number

$q$  คือ อัตราการไหลของของไหล ,gpm

$F_d$  คือ ค่าคงที่ของชนิดของวาล์ว (1.0 for Globe valves ,0.71 for rotary)

$F_p$  คือ ค่าคงที่ทางเรขาคณิตของท่อ

$F_1$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การย้อนกลับของวาล์ว

$C_v$  คือ ค่าสมมติในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล

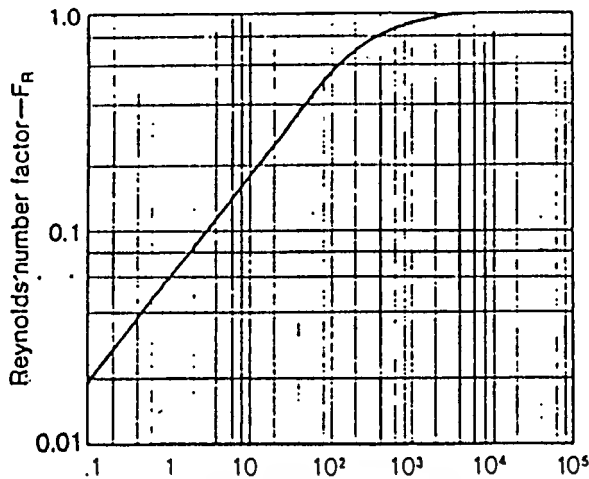
$S_v$  คือ ค่าความหนืดทางจลน์ ,Centistokes

### Step 6 กลับไปคำนวณค่า $C_v$ และ $F_p$ โดยใช้ค่า Reynolds number

เมื่อ ได้ค่า Reynolds number แล้วให้นำกลับไปคำนวณ  $C_v$  และ  $F_p$  ใหม่โดยใช้สมการที่ (2-11) เปรียบเทียบค่าธรรมดากับค่าที่ได้ใหม่ ถ้าสองค่านั้นแตกต่างกันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้ค่าที่คำนวณได้ใหม่ ถ้าสองค่านั้นแตกต่างกันเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้ค่า  $C_v$  และ  $F_p$  ที่คำนวณใหม่ไปหา  $Re_v$  ใหม่อีกครั้ง

### Step 7 เลือกขนาดของวาล์วให้ตรงกับค่า $C_v$

จากตาราง  $C_v$  สามารถเลือกขนาดที่เล็กที่สุดของวาล์ว ด้วยค่า  $C_v$  ที่คำนวณได้



รูปที่ 2.25 ค่า Reynolds number ของวาล์ว

**Step 8** คำนวณหาค่าคงที่ทางเรขาคณิตของท่อ

ถ้าขนาดของท่อไม่ได้ให้มา ให้ใช้การประมาณขนาดของวาล์วจากขั้นตอนที่ 7 เพื่อเลือกขนาดของท่อที่เหมาะสม ขนาดของท่อจะถูกใช้เพื่อคำนวณค่าคงที่ทางเรขาคณิต  $F_p$  ของท่อที่ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2-5 และ 2-6 ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อมีค่าเท่ากับขนาดของวาล์ว  $F_p$  จะเท่ากับ 1 และไม่เป็นค่าคงที่

**Step 9** การคำนวณค่า  $C_v$  ขั้นสุดท้าย

จากการคำนวณ  $F_p$  แสดงถึงการประมาณค่า  $C_{v_v}$  โดยคิดค่า  $F_p$  ด้วย

**Step 10** การคำนวณหาความเร็วที่ทางออกของ วาล์ว

สมการข้างล่างนี้ใช้เพื่อการคำนวณความเร็วทางเข้าและทางออกของของเหลว

$$V = \frac{0.321q}{A} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

เมื่อ  $V$  คือ ความเร็ว (ฟุต/วินาที)

$q$  คือ อัตราการไหลของของเหลว (แกลลอนต่อนาที)

$A$  คือ พื้นที่การไหล (ตารางนิ้ว)

ตารางที่ 2-5 Typical Piping Geometry Factors- Both Reducer And Expander Same Size As

Full Area Trim

Valve Size (Inches)	d/D				
	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
Mark One and Two, Class 150-1500					
1/2 , 3/4	0.91	0.93	0.96		
1-6	0.94	0.95	0.97	0.98	
8-24	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
30-48	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99
Class 2500	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00
1/2 -16					
Valdisk and Shear Stream					
3	0.84	0.87	0.91	0.95	
4,6	0.80	0.84	0.88	0.94	0.98
8-12	0.77	0.82	0.87	0.93	0.98
14-24	0.70	0.75	0.82	0.90	0.97

ตารางที่ 2-6 Typical Piping Geometry Factors-Expander Only Same Size As Full Area Trim

Valve Size (Inches)	d/D				
	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
Mark One and Two, Class 150-1500					
1/2 , 3/4	1.05	1.06	1.07		
1-6	1.03	1.04	1.04	1.04	
8-24	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02
30-48	1.04	1.05	1.06	1.05	1.03
Class 2500	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
1/2 -16					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Valdisk and Shear Stream					
3	1.11	1.14	1.15	1.14	1.09
4,6	1.16	1.21	1.24	1.21	1.12
8-12	1.20	1.27	1.24	1.27	1.16
14-24	1.36	1.52	1.62	1.52	1.28

ภายหลังจากการคำนวณความเร็วที่ทางออกแล้ว เปรียบเทียบตัวเลขที่ได้กับความเร็วที่ยอมรับได้ในการใช้งาน ถ้าค่าที่ได้สูงกว่าเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาของวาล์วที่ใหญ่กว่า

**Step 11** การคำนวณค่า  $C_v$  ใหม่ ถ้าเสื่อวาล์วมีการเปลี่ยนแปลง

การคำนวณค่า  $C_v$  ใหม่ ถ้า  $F_p$  มีการเปลี่ยนแปลงให้เลือกขนาดของเสื่อวาล์วที่ใหญ่กว่า

**Step 12** เลือก Trim number

ถ้าวาล์วใช้สำหรับการปิด-เปิดหรือแบบ Throttling ให้ใช้ค่าตาราง  $C_v$  เลือกค่า Trim number สำหรับ  $C_v$  ที่คำนวณแล้วและเสื่อวาล์วที่ได้เลือกไว้แล้ว ค่า Trim number และคุณสมบัติทางการไหลจะมีผลกระทบกับวาล์วโดยจะเกิดการ Throttled

### 2.8.3 ตัวอย่าง การหาขนาดของวาล์วที่ใช้กับของเหลว

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้

ของเหลว	.....	น้ำ
ความดันวิกฤต ( $P_c$ )	.....	3206.2 psia
อุณหภูมิ	.....	250 องศาฟาเรนไฮต์
ความดันต้นทาง ( $P_1$ )	.....	314.7 psia
ความดันปลายทาง ( $P_2$ )	.....	104.7 psia
น้ำหนักจำเพาะ	.....	0.94
Valve action	.....	Flow-to-open
Line size	.....	4-inch (Class 600)
อัตราการไหล	.....	500 gpm
ความดันไอ ( $P_v$ )	.....	30 psia
ค่าความหนืดทางจลน์	.....	0.014 Centistokes
คุณสมบัติทางการไหล	.....	Equal percentage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Step 1** คำนวณความดันตกคร่อมที่แท้จริง

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = 314.7 \text{ psia} - 104.7 \text{ psia} = 210 \text{ psi ตกคร่อม}$$

**Step 2** ตรวจสอบการไหลแบบ Choked ,หา  $F_1$  จากตารางที่ 2-3 คู ที่ Globe ,Flow -to -open  
หา  $F_1$  ได้ 0.90 แล้วประมาณค่า  $F_F$  โดยใช้ สมการ (2-14) ได้

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$

$$= 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{30}{3206.2}} = 0.93$$

แทนค่า  $F_1$  และ  $F_F$  ในสมการ (2-13)

$$\Delta P (\text{Choked}) = (F_1^2 (P_1 - F_F P_v))$$

$$= (90)^2 [314.7 - (0.93)(30)] = 232.3 \text{ psi}$$

แต่  $\Delta P$  ที่แท้จริงมีค่าน้อยกว่า  $\Delta P (\text{Choked})$  แสดงว่าการไหลไม่เป็นแบบ Choked ดังนั้นใช้  
วาล์วที่เล็กกว่า

ที่จุดนี้สามารถตรวจสอบการเริ่มต้นเกิดโพรงโดยใช้สมการ (2-15) และตารางที่ 2-3 ได้

$$\Delta P (\text{Incipient}) = F_1^2 (P_1 - P_v)$$

$$= (0.81)^2 (314.7 - 30) = 187 \text{ psi}$$

**Step 3** ค่าความโน้มถ่วงจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.94

**Step 4** คำนวณหา  $C_v$ ,  $F_p$ ,  $F_r$  โดยใช้สมการ (2-11) และสมมติให้  $F_p$  และ  $F_r$  มีค่าเท่ากับ 1.0

$$C_v = 500 \sqrt{\frac{0.94}{210}} = 33.4$$

**Step 5** คำนวณหา ค่า Reynolds number factor,  $F_r$  โดยใช้สมการ (2-16)

$$Re_v = \frac{17300 q F d}{S_v F I C_v F_p}$$

$$Re_v = \frac{17300(500)(1)}{.014 \sqrt{(0.90)(33.4)(1)}} = 106,909,140$$

จากรูปที่ 2.29 เราพบว่า  $F_r$  เท่ากับ 1 (ดังนั้นการไหลจะไม่เวียน)

**Step 6** ให้  $F_r = 1$ , แล้วคำนวณค่า  $C_v$  และ  $F_p$  ใหม่จะได้ค่าเท่ากับ 33.4

**Step 7** จากตาราง  $C_v$  (Mark One , Flow-under , Equal percentage ,Class 600 ) เลือกขนาดตัว

วาล์วที่เล็กที่สุดสำหรับค่า  $C_v$  ที่ 33.4 จะได้เสียตัวขนาด 2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Step 8 ใช้ขนาดเลื้อยวาล์ว 2 นิ้วจากขั้นตอนที่ 7 หา  $F_p$  โดยใช้ตารางที่ 2-5

$$\frac{d}{D} = \frac{2}{4} = 0.50$$

$$\text{และ } F_p = 0.94$$

Step 9 คำนวณ  $C_v$  ใหม่ขั้นสุดท้ายจะได้

$$C_v (\text{Final}) = \frac{C_v}{F_p} = \frac{33.4}{0.94} = 35.5$$

Step 10 ใช้สมการ (2-17) หาความเร็วสำหรับเลื้อยวาล์วขนาด 2 นิ้ว จะได้ความเร็วประมาณ 51 ฟุต/วินาที ดังนั้นในการใช้งานจะเกิดโพรง ซึ่งความเร็วนี้จะทำลาย วาล์วขนาด 2 นิ้ว ดังนั้นคำนวณความเร็วที่ขนาดเลื้อยวาล์วเท่ากับ 3 นิ้ว ซึ่งจะได้ค่าต่ำกว่าคือประมาณ 22 ฟุตต่อวินาทีซึ่งสามารถที่จะยอมรับได้มากกว่า

Step 11 ถ้าขนาดของเลื้อยวาล์วมีการเปลี่ยนแปลง ให้กลับไปคำนวณ  $C_v$  ใหม่โดยทำตามขั้นตอนที่ 8 และขั้นตอนที่ 9 จะได้  $F_p$  ใหม่ มีค่าเท่ากับ 0.97 และ  $C_v$  ขั้นสุดท้ายจะเท่ากับ 34.4

Step 12 จากตาราง  $C_v$  ที่  $C_v$  เท่ากับ 34.3 นิ้ว วาล์วต้องการค่า Trim number อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 1.25 ที่ค่า Trim number เท่ากับ 2.0 จะดีกว่าและไม่ทำให้ราคาของ Trim เพิ่มขึ้น

## บทที่ 3

### การออกแบบ

#### 3.1 หลักการระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุล

โดยระบบพลังงานสมดุลนี้จะใช้หลักการที่ว่าพลังงานก่อนที่จะเข้าระบบจะเท่ากับระบบพลังงานที่ออกจากระบบ ซึ่งจะเป็นไปตามกฎการสมดุลมวลและพลังงาน ซึ่งพลังงานนั้นอาจจะอยู่ในรูปพลังงานอะไรก็ได้เช่นอาจจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานใดก็ได้ เช่น พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปอยู่ในรูปพลังงานความร้อน ได้เช่น Induction heating หรือ พลังงานศักย์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ เช่น สิ่งของที่ตก ซึ่งเราสามารถที่จะนำพลังงานนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ตามที่เราต้องการ

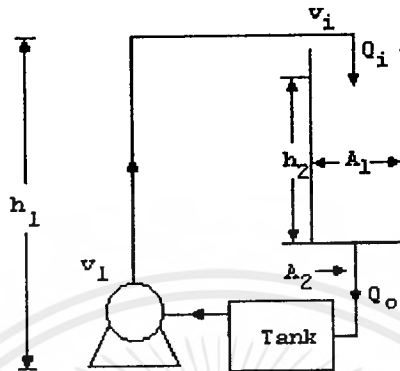
ในโครงการนี้จะทดลองกับ Level plant โดยจะเป็นการควบคุมระดับของของเหลวโดยมีท่อน้ำเข้าซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหลได้จากวาล์วควบคุมและท่อน้ำออกซึ่งไม่สามารถควบคุมอัตราการไหล ได้ซึ่งอัตราการไหลทางออกนั้นจะขึ้นอยู่กับของเหลวที่อยู่ในท่อ ซึ่งในระบบนี้จะมีการแปลงพลังงานจากพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานศักย์และแปลงจากพลังงานศักย์มาอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ โดยพลังงานศักย์จะอยู่ในรูปของระดับของของเหลวที่อยู่ในระบบ ส่วนพลังงานจลน์นั้นจะอยู่ในรูปของอัตราการไหล ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับของของเหลวนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าระบบ ดังนั้นถ้าเราตั้ง Setpoint ที่จุดใดจุดหนึ่ง ถ้าระบบอยู่ในสถานะสมดุลพลังงานขาเข้าก็จะเท่ากับพลังงานขาออกนั้นหมายความว่าพลังงานศักย์ของระดับของเหลวจะเท่ากับอัตราการไหลออกของระบบ หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า อัตราการไหลเข้ากับอัตราการไหลออกจะเท่ากัน แต่ถ้าระบบอยู่ต่ำกว่า Set point ที่ได้ตั้งไว้แสดงว่าพลังงานทางออกมากกว่าพลังงานขาเข้าดังนั้นถ้าเราต้องการให้อยู่ในสถานะสมดุลเราก็จะต้องเพิ่มพลังงานขาเข้านั้นก็จะต้องเพิ่มอัตราการไหลเข้าให้มีค่ามากขึ้น ซึ่งเราจะตั้งให้วาล์วเปิดสุด (100%) ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อระบบถึงจุด Set point แล้วเราก็จะตัดระบบโดยให้ค่าเริ่มต้นแก่ระบบเพื่อให้อัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์ที่จะทำให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออก

หรือถ้าระบบอยู่สูงกว่า Set point นั้นแสดงว่าพลังงานขาเข้ามากกว่าพลังงานขาออก ดังนั้นเราจะต้องควบคุมให้พลังงานขาเข้าให้เท่ากับพลังงานขาออกโดยการลดอัตราการไหลเข้าลงโดยเราจะตั้งให้วาล์วปิดลง ซึ่งจะทำให้พลังงานลดลงอย่างรวดเร็วจนเมื่อใดที่พลังงานขาเข้าเท่ากับพลังงานขาออกเราก็จะให้ค่าเริ่มต้นแก่ระบบเพื่อให้อัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์ที่ทำให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกเพื่อที่จะทำให้ระบบอยู่สถานะสมดุล

ซึ่งจะเห็นว่าระบบนั้นจะเกิด Overshoot น้อยมากและให้ผลตอบสนองที่ค่อนข้างเร็วแต่ในทางปฏิบัติมันจะมีปัญหาตรงที่ว่าเราจะไม่สามารถตัดระบบได้ในขณะที่พลังงานขาเข้าเท่ากับพลังงานขาออกเนื่องจากว่าระบบนั้นมี Dead time อยู่ ดังนั้นถ้าเราต้องการให้ระบบนั้นอยู่ในสถานะสมดุลโดยที่ไม่เฝ้าระวังใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิด Overshoot เราก็จะต้องคำนวณหา Dead time ของระบบและนำ Dead time ที่ได้นั้นไปทำการคำนวณหาเวลาที่จะใช้ในการตัดระบบและให้ค่าเริ่มต้นแก่ระบบ

### 3.2 การคำนวณพลังงานของกระบวนการ



รูปที่ 1 แสดงระบบจำลองกระบวนการ

การคำนวณพลังงานของระบบในโครงการนี้ เราจะแบ่งช่วงการคำนวณออกเป็น 2 ช่วง โดยแบ่งเป็นช่วงขาเข้ากระบวนการ คือโดยเริ่มตั้งแต่ Pump จนถึงทางออกของท่อที่จะเข้าแท็งก์กระบวนการ และช่วงขาออกกระบวนการ โดยเริ่มตั้งแต่ระดับความสูงของกระบวนการจนถึงทางออกของแท็งก์กระบวนการ

ช่วงขาเข้ากระบวนการ

จากสมการ Bernoulli

$$\frac{P_1}{r_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{r_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

เนื่องจากเราไม่คิดการสูญเสียของระบบเพราะฉะนั้นเราจะได้  $v_1 = v_2$  และ  $r_1 = r_2$

$$P_1 + Z_1 r = P_2 + Z_2 r$$

$$P_1 - P_2 = r(Z_2 - Z_1)$$

แต่  $r = \rho g$

$$P_1 - P_2 = \rho g(Z_2 - Z_1)$$

แต่  $Z_2 - Z_1 = h_1$

เพราะฉะนั้น

$$P_1 - P_2 = \rho g h_1$$

ช่วงขาออกจากระบวนการ

$$\text{จากสมการ Bernoulli} \quad \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

เนื่องจาก  $\rho_1 = \rho_2$  และ  $P_1 = P_2$

$$\frac{v_o^2}{2g} - \frac{v_i^2}{2g} = h_2$$

เมื่อ  $h_2$  คือ ระดับความสูงของของเหลว

$$v_o^2 - v_i^2 = 2gh_2$$

จากสมการความต่อเนื่อง (Continuous Equation)  $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$v_o^2 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 v_o^2 = 2gh_2$$

$$v_o^2 = \frac{2gh_2}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{2gh_2}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

เพราะฉะนั้นระบบจะสมดุลก็ต่อเมื่อเรารู้อัตราการไหลออกจากแท่งค้ำของกระบวนการว่าเท่ากับเท่าไรที่ระดับความสูงของของเหลวในแท่งค้ำนั้น

### 3.3 องค์ประกอบในการควบคุม ประกอบด้วย

1. ตัวควบคุม PID controller
2. เครื่องมือวัด
3. คอนโทรลวาล์ว (Control valve)

3.3.1 ตัวควบคุม PID ได้ทำการสร้างขึ้นที่ใช้งานจริง โดยได้ทำการเขียน Software ให้ทำงานเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก (MV) กับสัญญาณขาเข้า (PV) ของ PID-Controller ที่ค่าเป้าหมาย (SP) ใดๆ แสดงได้ดังสมการที่ 3-1

$$M(t) = \frac{100}{PB} \left[ e(t) + \left( \frac{1}{Ti} \right) \int e(t) dt + Td \left( \frac{de(t)}{dt} \right) \right] + b \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

โดย  $M(t)$  คือ สัญญาณขาออก (Control signal)

$e(t)$  คือ ค่าความผิดพลาด (error)

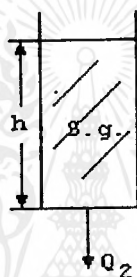
PB คือ Proportional band (%)

Ti คือ Integral time มีหน่วยเป็นเวลา

Td คือ Derivative time มีหน่วยเป็นเวลา

### 3.3.2 เครื่องมือวัดระดับแบบความดันแตกต่าง

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความดันแบบแตกต่าง (Differential pressure level transducer) คือ ระดับของเหลวในภาชนะจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของลมซึ่งจะถูกดันจากระดับของของเหลว และความดันของลมจะกระทำการดันระดับของเหลวจึงปรากฏเป็นความดันย้อนกลับไปยัง Differential pressure level transducer โดย



รูปที่ 2 แสดงหลักของกระบวนการ

$$\Delta P = S \cdot g \cdot h \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

โดย  $\Delta P$  คือ ความดันแตกต่าง (Differential pressure)

S คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลว

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

h คือ ความสูงของระดับของของเหลว

### 3.3.3 คอนโทรลวาล์ว (Control valve)

การหา  $C_v$  สำหรับของเหลว (Sizing  $C_v$  for liquids)

สมการสำหรับสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_v$ ) ในของเหลว

$$C_v = \frac{q}{(F_p F_r)} \sqrt{\frac{G f}{\Delta P a}} \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

$C_v$  คือ สัมประสิทธิ์ของการหาวาล์ว

$F_p$  คือ ค่าคงที่ทางเรขาคณิตของท่อ

$F_r$  คือ ค่าคงที่ Reynolds number

$q$  คือ อัตราการไหลในหน่วย แกลลอนต่อนาที

$P_u$  คือ ความดันตกคร่อมวาล์ว (psi)

$G_r$  คือ ค่าความโน้มถ่วง ณ อุณหภูมิของการไหล

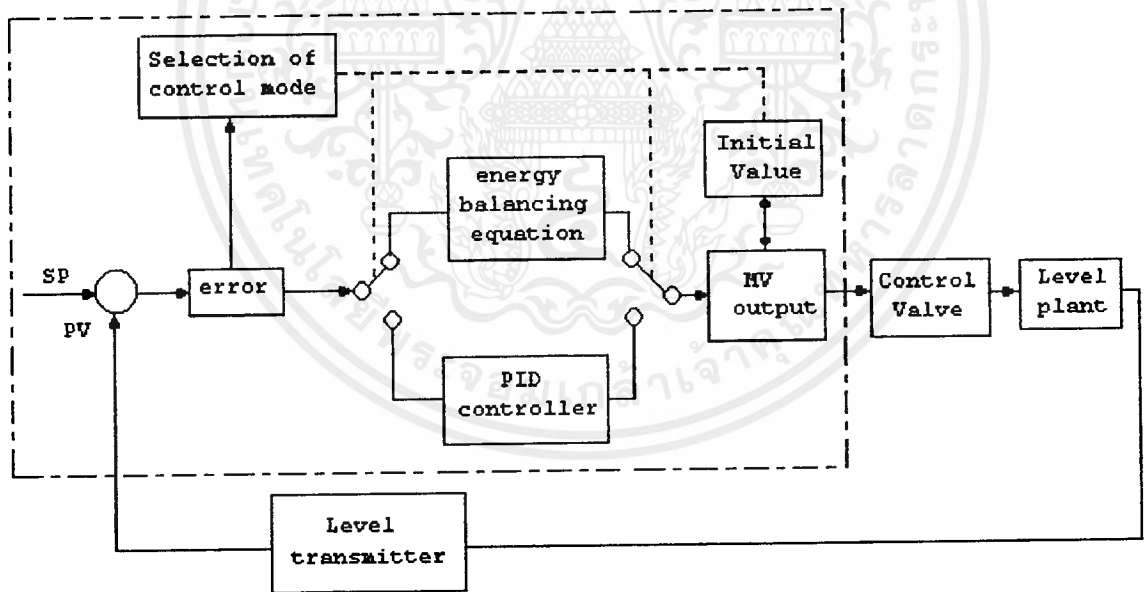
โดยเราจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การปิด-เปิดของวาล์วกับอัตราการไหลดังตา

รางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงอัตราการเปิด-ปิดของวาล์วที่อัตราการไหลต่าง ๆ

Flow(l/min)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
% Valve open	10	20	32	44	58	72	84	100	100	100

### 3.4 การประยุกต์หลักการและทฤษฎีในโครงการ ระบบที่ใช้ในโครงการมีดังนี้



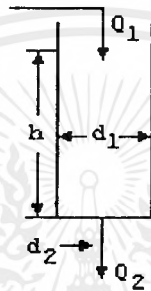
รูปที่ 3 แสดงระบบการทำงาน

โครงการวิจัยนี้จะเป็นการควบคุมระดับของเหลวให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย (Set point) ซึ่งในระบบเดิมนั้นใช้ระบบการควบคุมแบบ PID แต่ระบบ PID ไม่สามารถที่จะกำหนด Rise Time ให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ เราจึงประยุกต์หลักการและทฤษฎีของพลังงาน สมดุลมาใช้รวมกันกับการควบคุมแบบเอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PID เพื่อที่จะสามารถควบคุม Rise time ได้ และยังสามารถเปลี่ยนแปลงตัวแปรกระบวนการให้เข้าสู่ Set point ได้อย่างอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3 ปกติระบบจะเป็นแบบ PID แต่ถ้าระบบมีการเปลี่ยนแปลง Set point จะทำให้ Selection of controlling mode จะทำงาน โดยจะพิจารณาว่าระดับของ Set point ที่เปลี่ยนไปนั้นมากกว่าที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ถ้ามากกว่าจะทำการสวิตช์ไปยังระบบพลังงานสมดุลเพื่อให้ระบบพลังงานสมดุลทำงาน แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงของ Set point น้อยกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้ระบบก็ยังคงทำงานในระบบ PID

โดยเมื่อระบบพลังงานสมดุลเข้าใกล้ Set point selection of controlling mode ก็จะมีการเลือกโหมดการทำงานมาสู่ PID โดยจะมีการกำหนดค่า Initial ให้กับวาล์วด้วย



รูปที่ 4 แสดงแท่งค์เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลออก

โดยในโครงการนี้สามารถที่จะคำนวณ Output flow ( $Q_2$ ) ของระบบได้จากสูตร

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad m/s$$

$$g = 9.81 \quad m/s^2$$

$$Q_2 = v_2 \times A_2 \quad m^3/sec$$

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4} \quad m^2$$

$$1 m^3 \cong 1,000 \quad litres$$

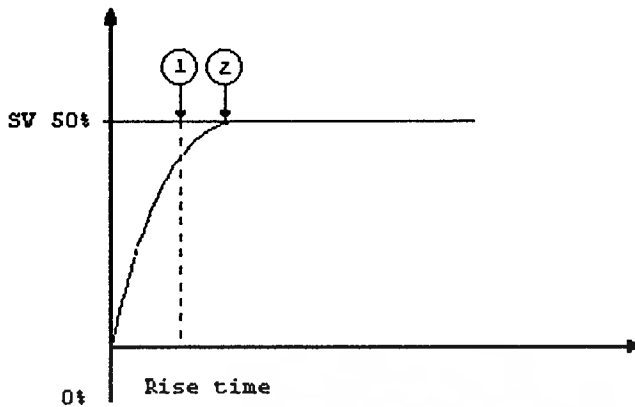
ซึ่ง  $h$  จะถูกวัดโดย Level transducer และสามารถที่จะวัด Input flow ที่เข้าสู่ระบบได้โดยใช้ Flow transducer และผลต่างของอัตราการไหลที่วัดได้นั้นจะถูกเปรียบ เทียบกันเพื่อให้ได้อัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการเปิดของวาล์วควบคุม โดยใช้  $C_v$  เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของวาล์วควบคุมเพื่อใช้ในการ คำนวณหาอัตราการไหลที่ต้องปรับเปลี่ยนไป

$$C_v = flow \sqrt{\frac{\text{specific gravity at flowing temperature}}{\text{Pressure drop}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 หลักการที่ใช้ในการควบคุม ซึ่งเราจะเห็นได้มีกรณี คือ

#### 1. ช่วงขาขึ้น



รูปที่ 5 แสดง Rise time

โดยตั้งแต่ 0% ถึงจุดที่ 1 โหมดการทำงานจะเป็นระบบพลังงานสมดุลเพื่อให้ระบบเร็วขึ้นและสามารถควบคุม Rise time ได้ด้วยแต่ เมื่อถึงจุดที่ 1 โหมดการทำงานจะเปลี่ยนไปโดยจะทำการยกเลิกระบบพลังงานสมดุลแล้วใช้ระบบการควบคุมแบบ PID แทนเพื่อเข้าสู่ Set point (จุดที่ 2)

เราสามารถคำนวณหา Rise Time ได้จาก ผลต่างระหว่าง Flow in กับ Flow out ( $\Delta Q$ ) โดย  $\Delta Q = Q_1 - Q_2$  เช่น  $\Delta Q = 16$  litres/min

ถ้าปริมาตร = 16 litres จะใช้เวลาในการไหลเข้าถึงเท่ากับ 1 วินาที

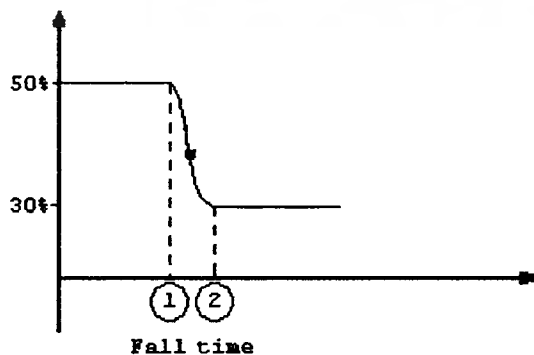
ถ้าปริมาตรของถังที่ต้องการ = 58 litres จะใช้เวลาในการไหลเข้าถึงเท่ากับ 58/16 วินาที

โดยปริมาตรของระดับของเหลว =  $A \times h$

โดย  $A$  = พื้นที่หน้าตัดของถัง

$h$  = ความสูงของระดับของเหลวในถัง

#### 2. ช่วงขาลง

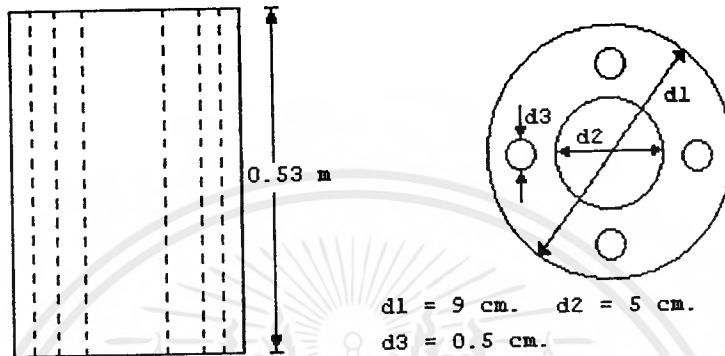


รูปที่ 6 แสดงช่วง Fall time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของช่วง Fall time จะเหมือนกับแบบ Rise time โดยการเปลี่ยนโหมดจากระบบพลังงานสมมูลไปเป็นระบบ PID จะมีการไปเปิด Table ของวาล์วเพื่อหาอัตราการเปิดของวาล์วที่เหมาะสม และแก้ค่า Initial โดยจะคำนวณช่วงเวลาที่น้ำลงมาจากระดับ 50% ลดลงมาถึง 30% ใช้เวลาเท่าไร แล้วจะใส่ค่า Initial ของวาล์วเมื่อเข้าสู่ระบบการควบคุมแบบ PID

### 3.6 การคำนวณหาอัตราการไหลออก



รูปที่ 7 แสดงแท่งของกระบวนการ

โดย  $d_1$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมภายนอก  
 $d_2$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมภายในเพื่อป้องกันน้ำล้น  
 $d_3$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูน้ำออก

เราสามารถคำนวณหาอัตราการไหลออกได้จากสูตร  $V_o = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$

โดยจากการวัดแท่งของโปรเซสเราจะได้

$$d_1 = 9 \text{ cm.} = 0.09 \text{ m} = 9 \times 10^{-2}$$

$$d_2 = 5 \text{ cm.} = 0.05 \text{ m} = 5 \times 10^{-2}$$

$$d_3 = 0.5 \text{ cm.} = 0.005 \text{ m} = 5 \times 10^{-3}$$

กำหนดให้  $A_1$  คือ พื้นที่ของท่อทางเข้า

$A_2$  คือ พื้นที่ทางออกของท่อ

เพราะฉะนั้นจะได้เราสามารถคำนวณหาพื้นที่ของท่อได้เท่ากับ

$$A_2 = 4 \times \frac{\pi d^2}{4} = \pi \times (5 \times 10^{-3})^2$$

$$= 7.8539815634 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4} [(9 \times 10^{-2})^2 - (5 \times 10^{-2})^2]$$

$$= 4.398229715 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{7.853981634 \times 10^{-5}}{4.398229715 \times 10^{-3}} = 0.017857142$$

$$\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = (0.017857142)^2 = 3.18877551 \times 10^{-4}$$

$$1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = 1 - 3.18877551 \times 10^{-4} = 0.999681122$$

จาก

$$V_o = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

ให้  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

จะได้

$$V_o = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times h}{0.999681122}} = \sqrt{19.62625837 h}$$

$$= 4.430153313 \sqrt{h} \quad \text{m/s}$$

$$Q_o = V_o \times A_2$$

$$= 4.43015331 \times 7.853981634 \times 10^{-5} \sqrt{h}$$

$$= 3.479434275 \times 10^{-4} \sqrt{h} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

### 3.7 การคำนวณหาค่า Dead time

การคำนวณหา Dead time ของโปรเซสนั้นเราสามารถหาได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{dead time} &= \frac{\text{distance}}{\text{velocity}} \\ &= \frac{L}{q/A_p} = \frac{A_p L}{q} \end{aligned}$$

เมื่อ L คือ ความยาว (m)

$A_p$  คือ พื้นที่หน้าตัด ( $\text{m}^2$ )

q คือ อัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

จากรูปเราสามารถหาค่า L ได้เท่ากับ 2.76 m

สำหรับค่า d นั้นเราจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยซึ่งจะทำได้เท่ากับ  $2.4 \text{ cm} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ m}$

เพราะฉะนั้นสามารถหา  $A_p$  ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (2.4 \times 10^{-2})^2}{4} \\ &= 4.524 \times 10^{-4} \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นสามารถหา Dead time ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Dead time} &= \frac{A_p L}{q} = \frac{4.524 \times 10^{-4} \times 2.76}{q} \\ &= \frac{1.248 \times 10^{-3}}{q} \quad \text{sec} \end{aligned}$$

หมายเหตุ ตัดค่าความเสียดทานและอื่น ๆ

### 3.8 ค่าเริ่มต้นของวาล์ว

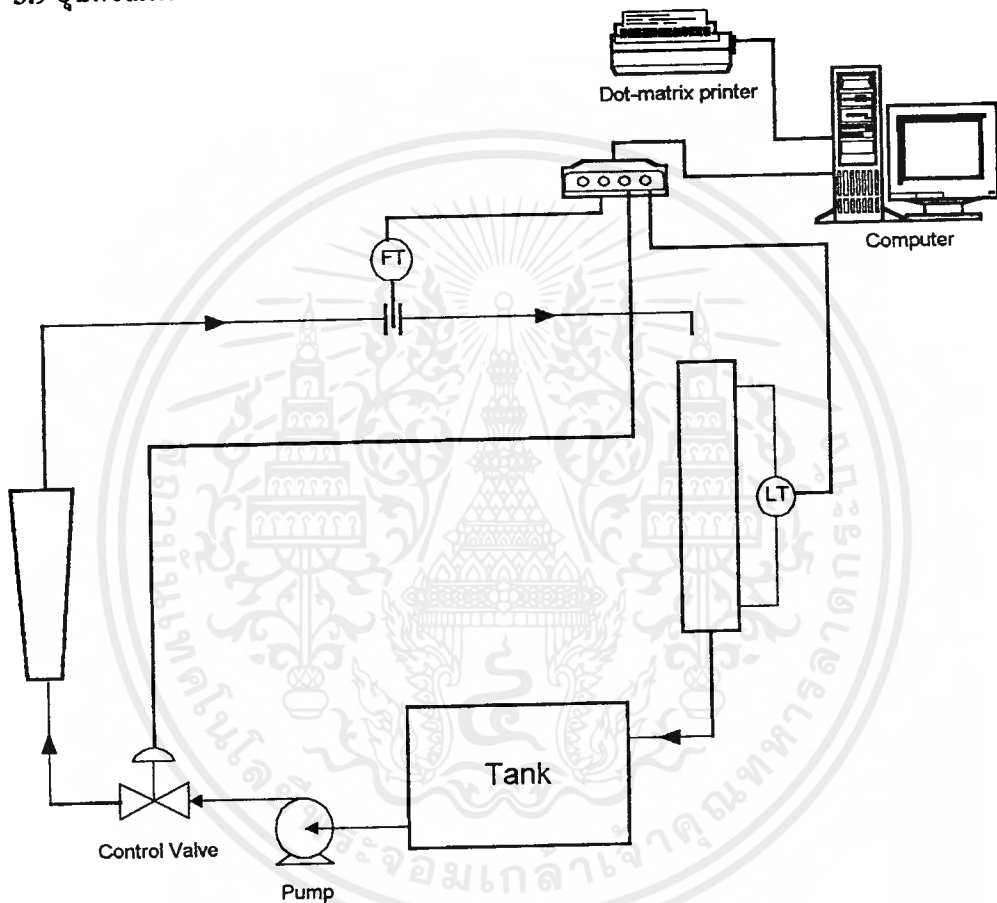
ค่าเริ่มต้นของวาล์วคือค่าที่จะให้แก่วาล์วเมื่อตัดจากระบบการควบคุมแบบพลังงานสมดุลไปสู่ระบบการควบคุมแบบ PID เพื่อที่จะไม่ให้เกิด Overshoot โดยค่าเริ่มต้นนี้จะได้มาจากการทดลองของระบบ PID ที่ระดับ Set point ต่าง ๆ กัน โดยในโครงการนี้จะใช้ set point ทุก ๆ 5% เพราะฉะนั้นจากการทดลองจะได้ค่าดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แสดงอัตราการเปิด-ปิดของวาล์ว, อัตราการไหล และ Dead time ที่ Set point ต่าง ๆ

SV	Volume		%Valve	%Flow	Qout (Qmax = 30 l/min)		Dead time (sec)
	litres	10 <sup>-4</sup> (m <sup>3</sup> )			l/min	10 <sup>-4</sup> (m <sup>3</sup> /sec)	
5%	0.11655	1.16553	30	20	6	1	12.48
10%	0.23311	2.33106	36	22	6.6	1.1	11.34545
15%	0.34966	3.49659	39	26	7.8	1.3	9.6
20%	0.46621	4.66212	42	28	8.4	1.4	8.914286
25%	0.58277	5.82765	46	30	9	1.5	8.32
30%	0.69932	6.99319	50	33	9.9	1.65	7.563636
35%	0.81587	8.15872	52	35	10.5	1.75	7.13
40%	0.93242	9.32425	56	37	11.1	1.85	6.745945
45%	1.04898	10.48978	58	39	11.7	1.95	6.40
50%	1.16553	11.65531	59	41	12.3	2.05	6.087804
55%	1.28208	12.82084	63	42	12.6	2.1	5.942857
60%	1.39864	13.98637	65	44	13.2	2.2	5.672727
65%	1.51519	15.15190	66	45	13.5	2.25	5.546666
70%	1.63174	16.31743	68	47	14.1	2.35	5.3106383
75%	1.74830	17.48296	69	48	14.4	2.4	5.2
80%	1.86485	18.64849	70	49	14.7	2.45	5.093877

85%	1.98140	19.81402	72	50	15	2.5	4.992
90%	2.09796	20.97956	75	51	15.3	2.55	4.894117
95%	2.21451	22.14509	77	52	15.6	2.6	4.8
100%	2.33106	23.31062	85	59	17.7	2.95	4.230508

### 3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการทดลอง



รูปที่ 8 แสดงการ Interface ของคอมพิวเตอร์กับระบบ

จากรูปที่ 8 การติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์วัดของระบบนั้น เรา จะใช้การติดต่อผ่านทางการ์ด Interface และ I/O Box เพื่อนำสัญญาณของ Level transducer และ Flow transducer เข้ามาเพื่อคำนวณทางคณิตศาสตร์ภายในเครื่อง คอมพิวเตอร์แล้วนำผลที่ได้แล้วส่งออกไปยังവാල්ควบคุม

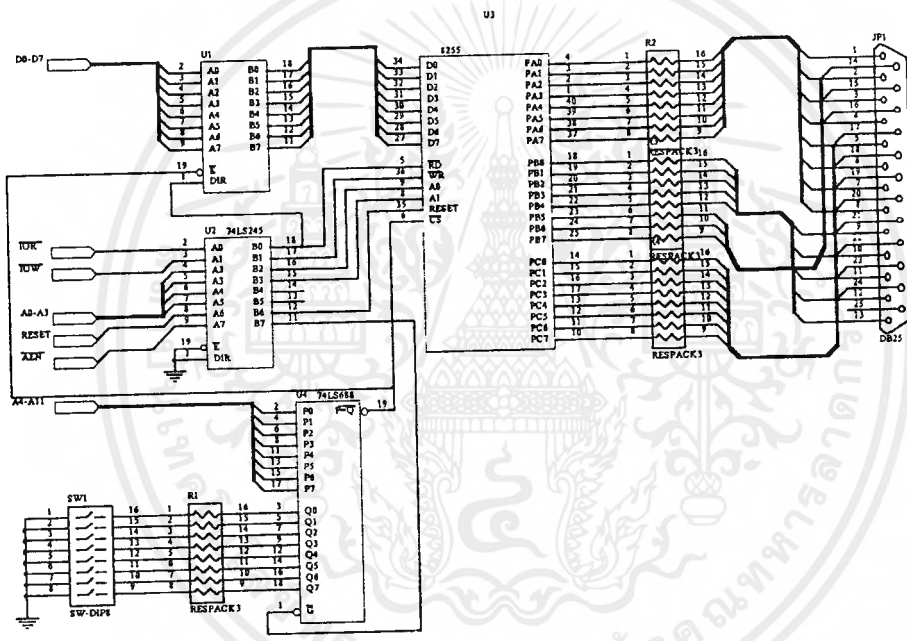
### 3.10 Hardware ของโครงการ

ทางด้าน Hardware นั้นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนอินเทอร์เฟส (Interfacing Unit)
2. ส่วนอินพุท/เอาต์พุท (Input/Output unit) ส่วนนี้จะประกอบด้วย
  - วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converter)
  - วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (D/A converter)
  - วงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส (V/I converter)

#### 3.10.1 ส่วนอินเทอร์เฟส (Interfacing unit)

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุท โดยข้อมูลที่ใช่ ในการรับ-ส่งนั้นเป็นข้อมูลขนาน 8 บิต



รูปที่ 9 แสดงวงจรอินเทอร์เฟส

โดยวงจรอินเทอร์เฟสนั้นจะประกอบด้วยไอซีต่าง ๆ ดังนี้

- ไอซี 1 เบอร์ 8255 ทำหน้าที่เป็นอินพุท/เอาต์พุทพอร์ท
- ไอซี 2 เบอร์ 74245 ทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูล
- ไอซี 3 เบอร์ 74245 ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณควบคุมเพื่อ ไปควบคุม 8255
- ไอซี 4 เบอร์ 74688 ทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบหมายเลขพอร์ท

สัญญาณจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรอินเทอร์เฟสเพื่อรับ-ส่งข้อมูลนั้น ประกอบด้วยสัญญาณบัสข้อมูล (D0-D7), บัสแอดเดรส (A0-A11),  $\overline{IOR}$ ,  $\overline{IOW}$ ,  $\overline{AEN}$  และสัญญาณ RESET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณต่าง ๆ มีหน้าที่ดังนี้

สัญญาณแอดเดรส A0-A1 ทำหน้าที่ในการเป็นสัญญาณควบคุม (A0-A1) ในการเลือกพอร์ทของ 8255 ว่าจะจะเป็นพอร์ท A, พอร์ท B, พอร์ท C หรือเป็นพอร์ทควบคุม

สัญญาณแอดเดรส A4-A11 ทำหน้าที่ในการเลือกหมายเลขพอร์ทว่าจะใช้หมายเลขพอร์ทใด โดยมีหมายเลขพอร์ทตั้งแต่ \$300-\$31F

สัญญาณ  $\overline{IOR}$  ทำหน้าที่ในการสั่งให้วงจรทำงานในการรับข้อมูลโดยจะส่งสัญญาณไป 2 แห่ง โดยแห่งแรกนั้นจะส่งสัญญาณไปที่ขา DIR ของไอซี 2 เบอร์ 74245 เพื่อเป็นการกำหนดให้ 74245 นั้นทำหน้าที่ในการรับข้อมูล และอีกแห่งหนึ่งก็คือขา  $\overline{RD}$  ของไอซีเบอร์ 8255 เพื่อเป็นการกำหนดให้ 8255 ทำการรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตเข้ามา

สัญญาณ  $\overline{IOW}$  ทำหน้าที่ในการสั่งให้วงจรอินเทอร์เฟสทำงานในลักษณะส่งข้อมูลออกไปที่อุปกรณ์เอาต์พุต โดยจะส่งสัญญาณไปที่ขา  $\overline{WR}$  ของไอซีเบอร์ 8255 เพื่อเป็นการกำหนดให้ 8255 ทำหน้าที่ในการเป็นพอร์ทเอาต์พุตเพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต โดยสัญญาณ  $\overline{IOW}$  นั้นไม่จำเป็นที่จะต้องส่งไปที่ขา DIR ของไอซี 2 เบอร์ 74245 เนื่องจากในสถานะปกติของขา DIR นั้นของ 74245 นั้นจะเป็น “1” ซึ่งหมายถึงให้ทำการส่งข้อมูลออก (A1-A8 ไปยัง B1-B8) แต่ถ้าสถานะเป็น “0” นั้นหมายถึงให้รับข้อมูลเข้า (B1-B8 ไปยัง A1-A8)

สัญญาณ AEN การที่ต้องใช้สัญญาณ AEN เนื่องจากป้องกัน 74688 ทำการดีโค้ดในระหว่างขบวนการ DMA ดังนั้นสัญญาณ AEN จะทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิด-ปิดบัสข้อมูล โดยใช้หลักการที่ให้นสัญญาณ AEN ไปควบคุมการทำงานของไอซีเบอร์ 74688 โดยเมื่อเกิดขบวนการ DMA สัญญาณ AEN จะแอกทีฟ (เป็น “1”) ซึ่งจะทำให้ 74688 ไม่ทำงาน แต่ถ้าเป็นขบวนการในการอ่าน-เขียนข้อมูลลงบนพอร์ท สัญญาณ AEN จะไม่แอกทีฟ (เป็น “0”) จะทำให้ 74688 ทำงาน แล้วนำสัญญาณเอาต์พุตของไอซี 74688 ที่ได้จากขา  $\overline{P=Q}$  ไปควบคุมการเปิด-ปิดบัสข้อมูล (ขา  $\overline{E}$  ของไอซี 2 เบอร์ 74245 ) โดยถ้าเอาต์พุตของ 74688 นั้นเป็น “0” จะเป็นการสั่งให้เปิดพอร์ทของ 74245 แต่ถ้าเอาต์พุตของ 74688 เป็น “1” จะเป็นการสั่งไม่ให้ 74245 ทำงาน โดยที่เอาต์พุตของ 74688 จะเป็น “0” ได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณแอดเดรส (A4-A11) นั้นตรงกันกับสัญญาณที่ได้ตั้งไว้จาก DIP-SW และสัญญาณ AEN เป็น “0”

ในโครงการงานนี้จะใช้พอร์ท \$300-\$303 โดยกำหนดให้

หมายเลขพอร์ท \$300 เป็นพอร์ท A

หมายเลขพอร์ท \$301 เป็นพอร์ท B

หมายเลขพอร์ท \$302 เป็นพอร์ท C

หมายเลขพอร์ท \$303 เป็นพอร์ทควบคุม

และมีการกำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ท A เป็น พอร์ทอินพุท

พอร์ท B เป็น พอร์ทเอาต์พุท

พอร์ท C บน เป็น พอร์ทเอาต์พุทที่ใช้ในการควบคุมวงจร A/D converter

พอร์ท C ล่าง เป็น พอร์ทเอาต์พุทที่ใช้ในการควบคุมวงจร D/A converter

ดังนั้น Control Word ที่จะใช้การ Initial ให้กับไอซี 8255 ในตอนเปิดเครื่องคือ \$90

เนื่องจากหมายเลขพอร์ทเป็น \$300-\$303 ดังนั้นเราสามารถที่จะหาการตั้ง DIP-SW ได้โดย

	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
หมายเลขพอร์ท \$300	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
หมายเลขพอร์ท \$301	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
หมายเลขพอร์ท \$302	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
หมายเลขพอร์ท \$303	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1

ดังนั้นถ้าเราต้องการให้วงจรทำงานที่หมายเลขพอร์ท \$300-\$303 เราจำเป็นต้องให้สัญญาณที่ขาของไอซี 74688 เป็นดังนี้ Q1-Q4 และ Q7-Q8 ให้เป็น “0” และให้ Q5-Q6 เป็น “1” ดังนั้นเราจะต้องตั้ง DIP-SW ที่ 1-4 และ 7-8 ให้อยู่ในสถานะ ON (เพื่อให้ลงกราวด์เป็น “0”) และที่ขา 5-6 ให้อยู่ในสถานะ OFF (เพื่อให้เป็น “1”)

### 3.10.1.1 การส่ง Control Word ให้กับไอซี 8255

โดยก่อนที่ไอซี 8255 จะทำงานได้นั้นจะต้องมีการส่งสัญญาณไปให้กับ 8255 เพื่อที่ 8255 จะได้ว่าพอร์ทใดทำงานอะไร เป็นอินพุทหรือเอาต์พุท โดยในการส่ง Control word นั้นจะต้องให้ขา A0 และ A1 อยู่ในสถานะ “1” เพื่อเป็นการกำหนดให้ไอซี 8255 ทำหน้าที่รับ Control word แต่ในโครงงานนี้ได้มีการกำหนดให้พอร์ท A ทำหน้าที่เป็นพอร์ทอินพุท พอร์ท B เป็นพอร์ทเอาต์พุท พอร์ท C บนและล่างเป็นพอร์ทเอาต์พุท ดังนั้นจึงมี Control word เป็น \$90 ดังนั้นในการที่เราจะส่ง Control word ออกไปยังพอร์ท \$303 นั้นเราจะใช้คำสั่ง Port[\$303] := \$90 โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จำทำการส่งสัญญาณไปดังนี้

สัญญาณแอดเดรส A0-A11 นั้นเป็นหมายเลขพอร์ทซึ่งก็คือ \$303 ฉะนั้นเราจะได้สัญญาณแอดเดรส A0 กับ A1 เป็น “1” กับ “1” เพื่อเป็นการบอกให้ไอซี 8255 นั้นรู้ว่าจะเป็นการส่ง Control word สัญญาณแอดเดรส A4 ถึง A11 นั้นจะเป็นตัวไปเปรียบเทียบกับหมายเลขพอร์ทกับ DIP-SW ว่าตรงกับที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ โดยจะมีสัญญาณ AEN เป็นสัญญาณส่งให้ไอซี 74688 นั้นทำงาน โดยถ้าหมายเลขพอร์ทตรงกันกับที่ได้ตั้งไว้และสัญญาณ AEN เป็น “0” เข้ามาก็จะให้เอาต์พุทออกไปเป็น “0” เพื่อไปเปิดพอร์ทข้อมูล (ไอซี 2 เบอร์ 74245) ในการส่งข้อมูล \$90 ออกไปยังไอซี 8255 โดยสัญญาณ  $\overline{IOW}$  จะเป็นสัญญาณที่ส่งไปให้ขา  $\overline{WR}$  ของไอซี 8255 เพื่อเป็นสัญญาณบอกว่าจะมีการส่งข้อมูลมาให้แก่ไอ

ชี 8255 ดังนั้นเมื่อทุกอย่างพร้อมแล้วข้อมูล \$90 ก็จะถูกนำมาเก็บในไอซี 8255 เพื่อเป็นค่า Control word ให้กับ 8255 และ ไอซี 8255 จะทำการเจ็ทพอร์ท A ให้เป็นพอร์ทอินพุท, พอร์ท B เป็นพอร์ทเอาต์พุท, พอร์ท C บน เป็นพอร์ทเอาต์พุท และ พอร์ท C ล่างเป็นพอร์ทเอาต์พุท ตามค่า Control word \$90

### 3.10.1.2 การรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

ในการที่จะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อเข้ามาประมวลผลภายในคอมพิวเตอร์เข้ามานั้น ถ้าใช้ภาษา Pascal หรือ Delphi ในการเขียนโปรแกรมนั้นจะใช้คำสั่ง  $x := \text{Port}[\$300]$  (พอร์ท A เป็นพอร์ทอินพุท) โดยคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณแอดเดรส \$300 ออกไปยังแอดเดรสบัส ซึ่งจะทำให้ A0 กับ A1 มีค่าเป็น “0” และ “0” ไปเข้าที่ขา A0 กับ A1 ของไอซี 8255 เพื่อเป็นการบอกให้ไอซี 8255 ทำงานกับพอร์ท A สัญญาณแอดเดรส A4 ถึง A11 นั้นจะเป็นตัวไปเปรียบเทียบกับหมายเลขพอร์ทกับ DIP-SW ว่าตรงกับที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ โดยจะมีสัญญาณ AEN เป็นสัญญาณสั่งให้ไอซี 74688 นั้นทำงาน โดยถ้าหมายเลขพอร์ทตรงกันกับที่ได้ตั้งไว้และสัญญาณ AEN เป็น “0” เข้ามาก็จะให้เอาต์พุทออกไปเป็น “0” เพื่อไปเปิดพอร์ทข้อมูล (ไอซี 2 เบอร์ 74245) โดยที่สัญญาณ  $\overline{IOR}$  นั้นจะเข้าไปที่ขา  $\overline{RD}$  ของไอซีเบอร์ 8255 เพื่อเป็นการบอกไอซี 8255 ว่าให้ทำการอินพุทเข้ามา ดังนั้นก็จะมีการอินพุทเข้ามาทางพอร์ท A ของไอซี 8255 และส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางบัสข้อมูล เช่นถ้าข้อมูลทางพอร์ท A มีค่าเท่ากับ \$66 จะทำให้ตัวแปร x มีค่าเท่ากับ \$66 ด้วย

### 3.10.1.3 การส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอก

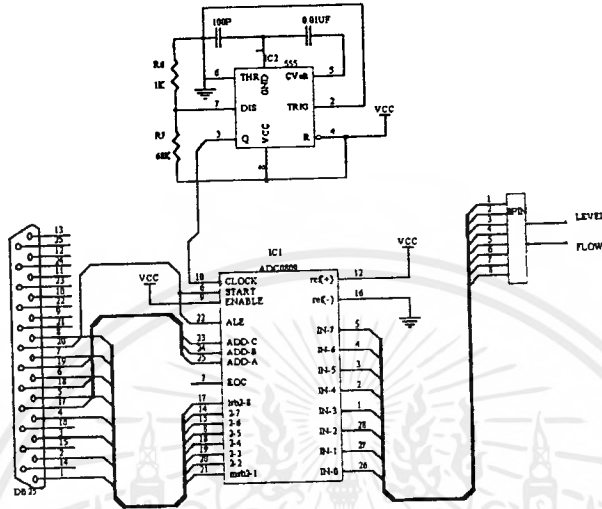
ในการที่จะส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกถ้าใช้ภาษา Pascal หรือ Delphi ในการเขียนโปรแกรมนั้นจะใช้คำสั่ง  $\text{Port}[\$301] := \$88$  (พอร์ท B เป็นพอร์ทเอาต์พุท) โดยคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณแอดเดรส \$301 ออกไปยังแอดเดรสบัส ซึ่งจะทำให้ A0 กับ A1 มีค่าเป็น “1” และ “0” ตามลำดับ ไปเข้าที่ขา A0 กับ A1 ของไอซี 8255 เพื่อเป็นการบอกให้ไอซี 8255 ทำงานกับพอร์ท B สัญญาณแอดเดรส A4 ถึง A11 นั้นจะเป็นตัวไปเปรียบเทียบกับหมายเลขพอร์ทกับ DIP-SW ว่าตรงกับที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ โดยจะมีสัญญาณ AEN เป็นสัญญาณสั่งให้ไอซี 74688 นั้นทำงาน โดยถ้าหมายเลขพอร์ทตรงกันกับที่ได้ตั้งไว้และสัญญาณ AEN เป็น “0” เข้ามาก็จะให้เอาต์พุทออกไปเป็น “0” เพื่อไปเปิดพอร์ทข้อมูล (ไอซี 2 เบอร์ 74245) โดยที่สัญญาณ  $\overline{IOW}$  นั้นจะเข้าไปที่ขา  $\overline{WR}$  ของไอซีเบอร์ 8255 เพื่อเป็นการบอกไอซี 8255 ว่าจะมีการส่งข้อมูลไปให้กับไอซี 8255 ดังนั้นก็จะมีข้อมูล \$88 ออกไปยังพอร์ท B ของไอซี 8255

หรือในกรณีเดียวกันถ้าต้องการส่งข้อมูลออกทางพอร์ท C นั้นก็ทำได้เช่นกันแต่เพียงเปลี่ยนหมายเลขพอร์ทเป็น \$302 แทน

### 3.10.2 ส่วนอุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุท (Input/Output unit)

วงจรในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยวงจร A/D converter, D/A converter และ V/I converter

#### 3.10.2.1 A/D converter



รูปที่ 10 แสดงวงจรในส่วนของ A/D converter

ในวงจร A/D converter นี้จะใช้ไอซีเบอร์ ADC0809 ซึ่งเป็นไอซี A/D มี 8 แชนแนล โดยมีความละเอียด 255 ระดับ และสามารถตั้งแรงดันอ้างอิงได้จากขา Ref+ และ Ref- โดยเราสามารถเลือกแชนแนลได้จากการควบคุมขา ADD-A ถึง ADD-C โดยการควบคุมเป็นดังนี้

ADD-C	ADD-B	ADD-A	Channel
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6
1	1	1	7

ส่วนสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมในการเลือกแชนแนลนั้นเป็นสัญญาณจากพอร์ท C ดังคือ PC0-PC2 โดย PC0 จะถูกต่อเข้ากับขา ADD-A, PC1 จะถูกต่อเข้ากับขา ADD-B และ PC2 จะถูกต่อเข้ากับขา ADD-C

ส่วนสัญญาณที่ใช้ในการสั่งให้เริ่มทำงานนั้นก็คือสัญญาณจากพอร์ท C ดังคือ PC3 จะทำงานที่ขอบขาขึ้น (สถานะแอกทีฟจะอยู่ที่การเปลี่ยนระดับลอจิกจาก “0” เป็น “1”) โดยจะถูกต่อเข้ากับขา Start และ ALE ของไอซี ADC0809

โดยในการทำงานของไอซี ADC0809 นั้นจะต้องมีวงจรถ่ายค่าแอดเดรสจากภายนอก ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ไอซี 555 ในการผลิตพัลส์ซึ่งความถี่ที่ใช้นั้นจะมีผลต่อการทำงานคือถ้าความถี่ที่ผลิตได้น้อยจะทำให้ใช้เวลานานในการคำนวณ แต่ถ้าความถี่สูงจะใช้เวลาในการทำงานน้อย

อุปกรณ์ทางด้านอินพุทเช่น อัตรการไหล, แรงดัน หรือระดับของของเหลว จะถูกต่อเข้ากับแชนแนลต่าง ๆ ของไอซี ADC0809 เช่นในโครงงานนี้จะมีการต่อการวัดอัตรการไหลเข้ากับแชนแนลที่ 3 และต่อการวัดระดับของเหลวเข้ากับแชนแนลที่ 4 ดังนั้นถ้าเราต้องการอินพุทอัตรการไหลเข้ามาเราก็จะกำหนดให้พอร์ท C เป็น “\$0B” และเช่นกันถ้าต้องการอินพุทระดับของเหลวก็จะกำหนดพอร์ท C เป็น “\$0C”

โดยที่พอร์ท A ของไอซี 8255 นั้นก็จะถูกต่ออยู่กับบัสข้อมูลของไอซี ADC0809

ดังนั้นโปรแกรมพื้นฐานที่ใช้ในการสั่งให้ ADC0809 ทำงานในแชนแนลที่ 3 จะเป็นดังนี้

```
Port[$303] := $90;           {ส่งค่า Control word ออกไปทางพอร์ทควบคุม}
Port[$302] := $03;         {เลือกแชนแนลที่ 3 }
Delay(50);                 {หน่วงเวลาไว้สักพักเพื่อที่จะทำเป็นขอบขาขึ้น}
Port[$302] := $0B;         {ทำเป็นขอบขาขึ้นเพื่อเป็นการสั่งให้ Start การ
ทำงาน}
Delay(100);                {หน่วงเวลาเพื่อที่จะให้ ADC0809 นั้นทำงานให้
เสร็จ}

x := Port[$300];           {อินพุทเข้ามาทางพอร์ท A ของ 8255 แล้วมาเก็บไว้
ในตัวแปร x}
```

เช่นถ้า Input ของแชนแนลที่ 3 เท่ากับ 2 Volts ตัวแปร x จะมีค่าเท่ากับ \$66

จากวงจร I/O unit จะมีวงจร A/D converter ซึ่งใช้ไอซี ADC0809 และ ไอซี ไทม์เมอร์ 555 โดย ไอซี 555 นั้นต่อเป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ โดยมีค่า  $R_1 = 68K$ ,  $R_2 = 1K$  และ  $C_2 = 100 \text{ pF}$  ดังนั้นความถี่ที่ผลิตได้จะมีค่าเท่ากับ

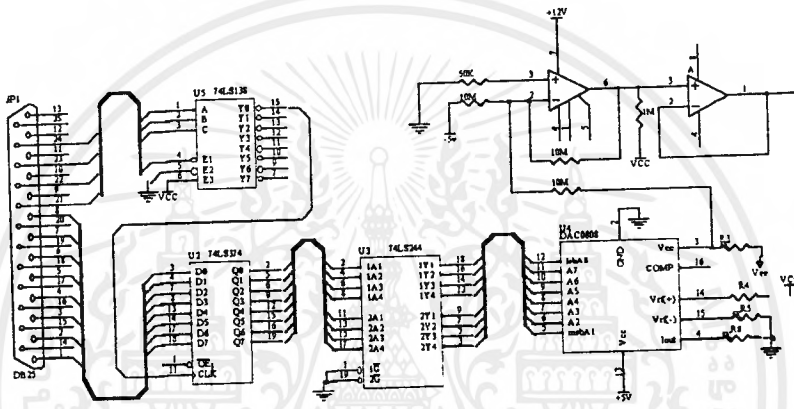
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.443}{(R_1 + 2R_2) \cdot C_2} = 206.142 \text{ kHz}$$

ดังนั้นเวลาในการทำงานแต่ละรอบสูงสุดของไอซี ADC0809 คือ  $\frac{1}{206.142 \text{ kHz}} \cdot 255$  เท่ากับ

1.237ms

ที่ต้องคูณด้วย 255 เนื่องจากจำนวนพัลส์สูงสุดที่ใช้ในการทำให้เกิดเอาต์พุต \$FF\$ (อินพุตเข้ามาสูงสุด = +5V) เท่ากับ 255 พัลส์

### 3.10.2.2 วงจร D/A converter



รูปที่ 11 แสดงวงจรในส่วนของ D/A converter

วงจรนี้จะประกอบด้วยไอซีหลักคือ DAC0808 , 74374, 74244 และ 74138 โดยไอซีแต่ละตัวมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

ไอซี DAC0808 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ Digital ให้เป็นสัญญาณ Analog ขนาด 8 บิต

ไอซี 74374 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการแลทช์วงจรเนื่องจากอุปกรณ์ภายนอกนั้นทำงานไม่ทันเครื่องคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นที่จะต้องมียังวงจรแลทช์เพื่อให้ข้อมูลค้าง

ไอซี 74244 เป็น ไอซีที่ทำหน้าที่บัฟเฟอร์ข้อมูล

ไอซี 74138 เป็น ไอซีที่ทำหน้าที่ในการเลือกว่าจะใช้แขนแนลไหน ซึ่งในวงจรนี้ได้ออกแบบไว้

8 แขนแนลสำหรับการเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานคือจะใช้สัญญาณจากพอร์ท C บนของไอซี 8255 เป็นสัญญาณควบคุมและพอร์ท B เป็นพอร์ทในการรับส่งข้อมูล โดยสัญญาณจากพอร์ท C บนจะประกอบด้วย

สัญญาณ C7 เป็นสัญญาณที่ใช้บอกว่าจะเป็นการทำงานในส่วนของ D/A converter โดยถ้าเป็น “0” จะเป็นการทำงาน D/A converter แต่ถ้าเป็น “1” จะไม่มีการทำงาน โดยจะต่อเข้ากับขา E1 ของไอซี 74138

สัญญาณ C6 เป็นสัญญาณที่ใช้ในการเลือกแชนแนลของไอซี 74138 โดยจะต่อเข้ากับขา C สัญญาณ C5 เป็นสัญญาณที่ใช้ในการเลือกแชนแนลของไอซี 74138 โดยจะต่อเข้ากับขา B สัญญาณ C4 เป็นสัญญาณที่ใช้ในการเลือกแชนแนลของไอซี 74138 โดยจะต่อเข้ากับขา A โดยในการเลือกแชนแนลจะเป็นดังนี้

C7	C6	C5	C4	Channel
0	0	0	0	Y0
0	0	0	1	Y1
0	0	1	0	Y2
0	0	1	1	Y3
0	1	0	0	Y4
0	1	0	1	Y5
0	1	1	0	Y6
0	1	1	1	Y7

โดยเอาท์พุทของไอซี 74138 นั้นจะไปเข้ากับขา CLK ของไอซี 74374 ของแต่ละชุดแต่ในวงจรนั้นจะมีไอซี เพียงชุดเดียวเนื่องจากมีเอาท์พุทที่ต้องไปควบคุมเพียงตัวเดียวคือ Control valve แต่ถ้ามีอุปกรณ์เอาท์พุทหลายตัวก็สามารถต่อเพิ่มได้ถึง 8 ชุด โดยใช้ขา Y0-Y7 ของไอซี 74138 ทำหน้าที่ในการเลือกการทำงานว่าจะให้ชุดไหนเป็นตัวทำงาน

ซึ่งวงจรนี้จะใช้ Vcc +5V และ Vee -5V โดยต่อผ่านตัวต้านทานค่า 5K และ Vref(+) = +5V และ Vref(-) = 0 V และเราจะใช้ Software ในการแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณมาตรฐาน 1-5 V ซึ่งในความเป็นจริงทางด้าน Hardware ก็สามารถทำให้อยู่ในรูปสัญญาณมาตรฐานได้แค่เนื่องจากว่าสัญญาณที่ได้ อาจมีการสูญเสียไปทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้เช่น เมื่อเป็น 1 V คือว่าตัวควบคุมจะต้องปิดสนิทแต่ในความเป็นจริงอาจจะปิดไม่สนิทก็ได้ ซึ่งการแก้ไขทาง Hardware ทำได้ลำบากเมื่อมีความคลาดเคลื่อนแต่ทางด้าน Software นั้นจะทำได้ง่ายและสะดวกมากกว่า

โดยเอาท์พุทของ DAC0808 นั้นจะมีเอาท์พุทเป็นแรงดัน 0-5 V ดังนั้นถ้าต้องการให้เอาท์พุทอยู่ในรูปของกระแสก็จะต้องมีการแปลงจากแรงดันเป็นกระแส 4-20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโปรแกรมพื้นฐานสามารถเขียนได้ดังนี้

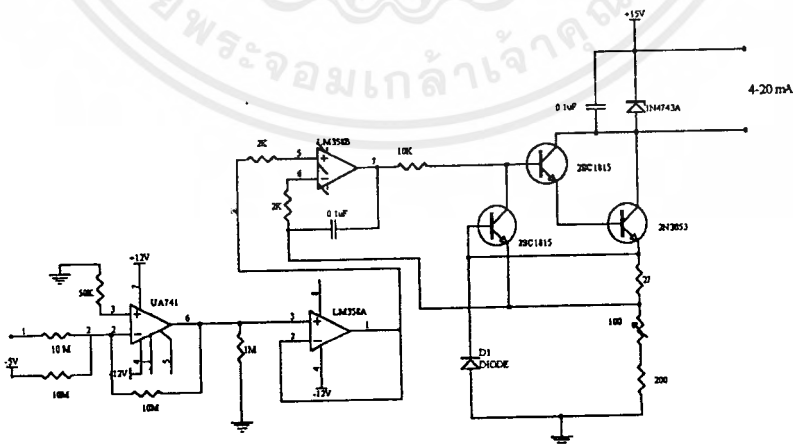
```
Port[$303] := $90;    {ส่งค่า Control word ให้กับ ไอซี 8255}
Port[$302] := $80;    {ตั้งให้ Channel 0 ทำงาน }
Port[$301] := $80;    {ส่งข้อมูล $80 ออกมาคอยที่ 74374เพื่อคอยสัญญาณ CLK }
delay(100);           {หน่วงเวลาไว้เพื่อที่จะทำให้เกิดพัลส์}
Port[$302] := $00;    {ทำให้เกิดพัลส์ของขาขึ้นที่ขา CLK ของ 74374 ทำให้
                       74374 ทำงาน ทำให้มีข้อมูลไปที่ DAC0809 }
```

ลักษณะของเอาต์พุตของ DAC0808 นั้นจะเป็นลักษณะกลับกันคือถ้าอินพุตเป็น \$00 เอาต์พุตจะออก 5 V แต่ถ้าอินพุตเป็น \$FF เอาต์พุตจะเป็น 0 V ดังนั้นจึงต้องมีวงจรอีกชุดหนึ่งเพื่อแปลงให้เอาต์พุตนั้นเป็นไปตามปกติคือให้อินพุตเข้ามาเป็น \$00 แล้วเอาต์พุตออก 0 V หรืออินพุตเข้ามาเป็น \$FF เอาต์พุตออกเป็น 5 V

เราสามารถทำได้โดยการต่อออปแอมป์ให้อยู่ในวงจรซั่มมิงอินเวอร์ตติ้ง (Summing Inverting) แล้วนำมาผ่านวงจรอินเวอร์ตติ้งอีกครั้ง ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ออปแอมป์ 741 ในการทำ Summing Inverting และใช้ออปแอมป์ LM358A ในการทำอินเวอร์ตติ้ง ซึ่งจะทำได้เอาต์พุตออกมาตามต้องการคืออินพุตเป็น \$00 เอาต์พุตออก 0 V และอินพุตเป็น \$FF เอาต์พุตออก 5 V

ถ้าคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลดิจิทัลออกไปเป็น \$66 จะทำให้มีเอาต์พุตออกที่วงจร D/A converter เท่ากับ 2 V

### 3.10.2.3 วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (V/I converter)



รูปที่ 12 แสดงวงจร V/I converter

มีหลักการที่ว่าขาอินเวอร์ตติ้งและขาอนอินเวอร์ตติ้งนั้นจะต้องมีแรงดันเท่ากัน ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม  $VR_1$  และ  $R_5$  จะเท่ากันด้วยดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านจะเท่ากับ  $V_{in} / 250\Omega$  (ค่าความต้านทานของ  $VR_1$  เท่ากับ  $50\Omega$ ) ซึ่งจะเห็นว่าความต้านทานโหลดที่จะนำมาต่อคร่อมซีเนอร์ไดโอด ( $ZD_1$ ) นั้นจะไม่มีผลต่อค่ากระแสเลย และในวงจรนี้สามารถที่จะต่อความต้านทานโหลดได้ถึง  $650\Omega$  ซึ่งมาจาก  $13\text{ V} / 20\text{ mA}$  (เนื่องจาก  $ZD_1$  1N4743A มีแรงดันซีเนอร์เท่ากับ  $13\text{ V}$ ) และเราสามารถปรับแต่งค่ากระแสได้โดยใช้  $VR_1$

และใช้วงจรสวิทช์ทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน (Tr.1 เบอร์ 2SC1815 และ Tr.2 เบอร์ 2N3053) ในการที่จะทำให้ควบคุมกระแสที่สูงกว่าได้โดยใช้กระแสควบคุมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

โดยค่า  $I_{C2}$  เท่ากับ  $20\text{ mA}$ ,  $\beta_1$  ของ Tr.1 = 120 และ  $\beta_2$  ของ Tr.2 = 90

$$\text{ดังนั้น } I_{B2} = I_{C1} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} = \frac{20\text{ mA}}{90}$$

$$\text{และ } I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_1} = \frac{20\text{ mA}}{120} = 1.852\ \mu\text{A}$$

หมายถึงว่ากระแสที่ออกจากออปแอมป์เพียง  $1.852\ \mu\text{A}$  สามารถที่จะควบคุมกระแสเอาท์พุทได้ถึง  $20\text{ mA}$

โดยที่ Tr.3 เบอร์ 2SC1815 ทำหน้าที่ในการป้องกันกระแสเกินโดยเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันตกคร่อม  $R_4$  ( $27\ \Omega$ ) เพิ่มขึ้นทำให้มีแรงดันขาเบสและอิมิตเตอร์ ( $V_{BE}$ ) ของ Tr.3 มากขึ้นทำให้ Tr.3 ทำงานได้มากขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านเข้ามาทางขาคอลเลคเตอร์ของ Tr.3 มากขึ้นทำให้กระแสที่จะไหลเข้าขาเบสของ Tr.1 น้อยลงทำให้กระแสเอาท์พุทลดลง

ดังนั้นเมื่อมีแรงดัน  $5\text{ V}$  เข้ามาที่ขาอนอินเวอร์ตติ้ง (ขา 5) ของ LM358B ทำให้มีแรงดันตกคร่อมขาอินเวอร์ตติ้ง (ขา 6) เท่ากับ  $5\text{ V}$  เท่ากันด้วย ดังนั้นจึงมีแรงดันตกคร่อมที่  $VR_1$   $100\Omega$  และ ตัวต้านทาน  $R_5$   $200\Omega$  เท่ากับ  $5\text{ V}$  ดังนั้นจึงมีกระแสไหลผ่านเท่ากับ  $5\text{ V} / 250\Omega$  (ค่า  $VR_1 = 50$ ) เท่ากับ  $20\text{ mA}$  ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมจึงมีค่าเท่ากับ  $20\text{ mA}$  ด้วย

แต่ถ้ามีแรงดัน  $1\text{ V}$  เข้ามาที่ขาอนอินเวอร์ตติ้งทำให้มีแรงดันตกคร่อม  $VR_1$  และ  $R_5$  เท่ากับ  $1\text{ V}$  ดังนั้นจึงมีกระแสไหลผ่านเท่ากับ  $1\text{ V} / 250\ \Omega$  เท่ากับ  $4\text{ mA}$

โดย  $C_1$  และ  $C_2$  นั้นจะทำหน้าที่ในการหน่วงเวลาไว้สักพักเพื่อที่ไม่ให้มีกระแสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่จะให้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

### 3.11 ซอฟต์แวร์

#### 3.11.1 เหตุผลในการใช้โปรแกรม Delphi

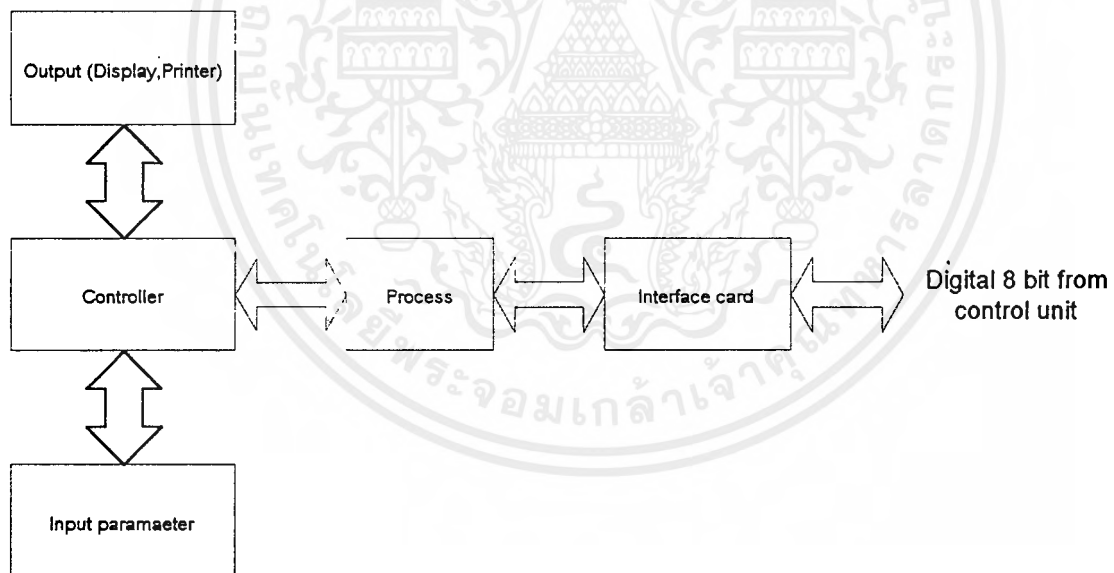
ในการพัฒนาโปรแกรม เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการจะมีการทำงานใน 2 ลักษณะ คือ

1. เป็นโปรแกรมควบคุมกระบวนการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ (PID controller)
2. ทำงานโปรแกรมช่วย (Application)

เนื่องจากโปรแกรมต้องมีคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้น จึงได้พิจารณาโปรแกรม Delphi ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาหนึ่งที่ทำงาบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 มาเขียนเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการในโครงการนี้ เนื่องจากว่าโปรแกรม Delphi มีคุณลักษณะที่ดีหลายประการ เช่น สามารถพัฒนาได้รวดเร็ว, มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน, ใช้งานง่าย และสะดวกรวดเร็ว ฯลฯ

โดยการใช้โปรแกรมจะต้องมีส่วนของการอินเทอร์เฟซ (Interface) โดยจะมีการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ วัด (Sensor or transmitter) ต่างๆ เข้ามาประมวลผลและนำผลลัพธ์ที่ได้ทำการส่งข้อมูลออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก (Final element)

โดยการ์ดอินเทอร์เฟสนั้นจะมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมคือ การรับข้อมูลที่เป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต ผ่านทางบัสข้อมูล (Data Bus) ของคอมพิวเตอร์ มาประมวลผล และส่งข้อมูลที่ประมวลผลในโปรแกรมแล้วออกไปยังบัสข้อมูลขนาด 8 บิต ออกไปยังการ์ดอินเทอร์เฟซ ดังรูป



รูปที่ 13 แสดง Block diagram ในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางการ์ดอินเทอร์เฟซ

### โปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการจะแบ่งเป็น 2 โหมดการควบคุม คือ

1. Automatic control
2. Manual control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และยังแบ่งชนิดการควบคุมได้อีก 2 ชนิด คือ

1. Energy balance control
2. PID control

### 3.11.2 หลักการในการเขียนโปรแกรม

สมการที่ใช้ในการควบคุม PID คือ

$$M(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

ทำการ Diff สมการที่ 3-4 จะได้

$$\begin{aligned} \frac{dM(t)}{dt} &= K_p \frac{de(t)}{dt} + K_i \frac{d}{dt} \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} \left[ \frac{d}{dt} e(t) \right] \\ &= K_p \frac{de(t)}{dt} + K_i e(t) + K_d \frac{d^2}{dt^2} e(t) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

กำหนด

$$E(t) = e_n \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

$$\frac{dM(t)}{dt} - \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{M_n - M_{n-1}}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} - \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{E_n - E_{n-1}}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots(3-7)$$

$$\frac{m_n - m_{n-1}}{\Delta t} = \frac{K_p (e_n - e_{n-1})}{\Delta t} + K_i e_n + K_d \frac{d}{dt} (e_n - e_{n-1}) \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

$$\frac{m_n - m_{n-1}}{\Delta t} = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + \frac{K_d}{\Delta t} (e_n - e_{n-1} - (e_{n-1} - e_{n-2})) \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

$$m_n - m_{n-1} = K_p \Delta t (e_n - e_{n-1}) + K_i \Delta t e_n + \frac{K_d}{\Delta t} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

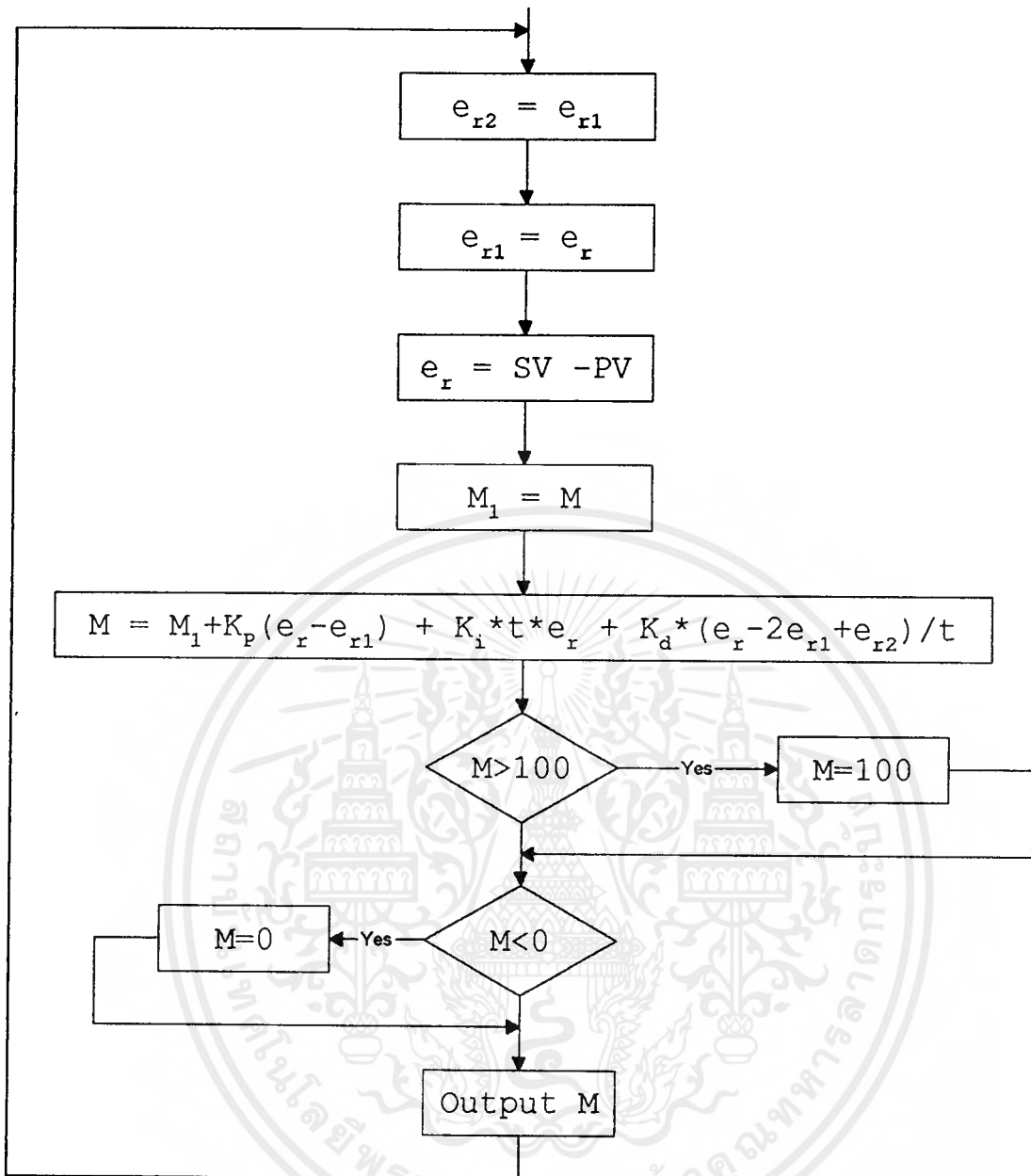
$$m_n = m_{n-1} + K_p \Delta t (e_n - e_{n-1}) + K_i \Delta t e_n + \frac{K_d}{\Delta t} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

เมื่อ  $m_n$  = Manipulate ที่จะส่งสัญญาณออกไปควบคุม Control valve

### 3.11.3 การเขียนโปรแกรม PID

ในการควบคุมแบบ PID จะต้องมีการรับค่า SV (Setpoint) จากผู้ควบคุมและ PV (Process variable) จากระบบปฏิบัติการ โดยจะนำค่าทั้งสองนั้นมาทำการแปลงเพื่อหาค่าความผิดพลาด (error : e) เพื่อนำไปใช้ในสมการที่ 3-11 เพื่อคำนวณหาค่า PID ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณนั้นจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ดังนั้นถ้าผลที่เกิดจากการคำนวณ (ค่า M) นั้นมีค่ามากกว่า 100 (100%) หรือน้อยกว่า 0 (0%) จะต้องให้ค่านั้นเท่ากับ 100 และ 0 ตามลำดับดัง Block diagram ข้างล่าง

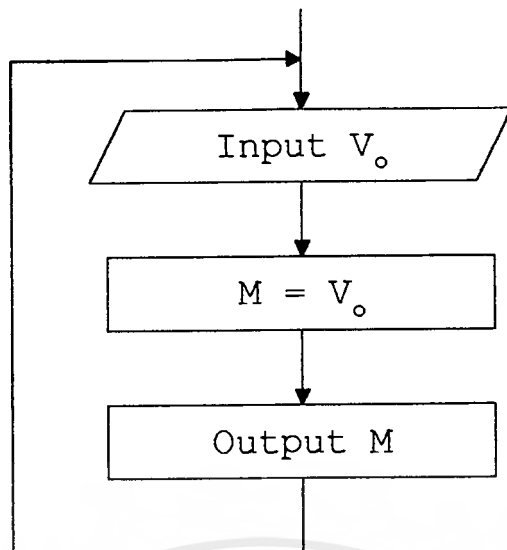
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดง Flow chart ของโปรแกรม PID

### 3.11.4 การเขียนโปรแกรมในส่วนของ Manual

ลักษณะของการควบคุมแบบ Manual นั้นจะเป็นการปรับค่าการเปิด-ปิดของวาล์วควบคุม ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 โดยจะ ไม่มีการคำนวณค่า PID ซึ่งจะเป็นไปตาม Flowchart ดังนี้



รูปที่ 15 แสดง Flow chart ของโปรแกรมในส่วนของ Manual

### 3.11.5 การเขียนโปรแกรมในส่วนของ Energy balance

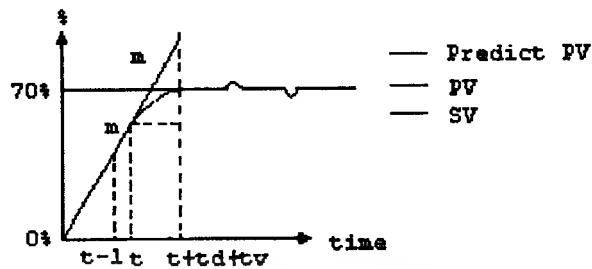
การเขียนโปรแกรม Energy balance จะต้องอาศัยข้อมูลจากตาราง 2 ตารางคือตารางการเปิดของวาล์วที่ระดับ set point ต่างๆ โดยเก็บไว้ในไฟล์ Valve.txt และตารางของอัตราการไหลที่ระดับ set point ต่างๆ โดยจะเก็บไว้ใน Flow.txt ตารางการเปิดวาล์วจะใช้ในการเปิดวาล์วให้เหมาะสมเพื่อให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกที่ระดับ set point ต่างๆ ส่วนตารางอัตราการไหลจะใช้ในการคำนวณหา Dead time ของกระบวนการที่ระดับ set point ต่าง ๆ

ลักษณะของการควบคุมวาล์วในการปิด-เปิดแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

1. การเปลี่ยนแปลง Set point เพิ่มขึ้นจากค่าเดิม
2. การเปลี่ยนแปลง Set point ลดลงจากค่าเดิม

ซึ่งผลของลักษณะทั้งสองจะทำให้วาล์วมีการทำงานต่างกันไป กล่าวคือจากพื้นฐานของการสมดุลพลังงานเพื่อให้เกิดความรวดเร็วจะต้องสั่งให้วาล์วเปิดสุดที่ 100% ให้วาล์วปิดสุดที่ 0% ซึ่งจะส่งผลให้ช่วงของ Rise time และ Fall time มีค่าต่ำที่สุด และเมื่อ PV เข้าใกล้ SV โดยเราจะพิจารณาจากการดิฟเฟอเรนเชียลความชันของ PV และนำมาประมาณค่า PV ในช่วงเวลาถัดไปอีก  $t_u + t_v$  วินาทีว่ามีค่าใกล้เคียง SV หรือยัง ถ้าเข้าใกล้แล้วก็จะทำการเปิดตารางเพื่อตั้งค่าตำแหน่งของการเปิดวาล์วที่ระดับ Set point (ในไฟล์ Valve.txt) นั้นออกมา ซึ่งจะเป็นค่าที่ทำให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกที่ระดับ Set point ที่ต้องการ แล้วกำหนดค่านั้นให้เป็นค่าสถานะเริ่มต้นของวาล์ว โดยเราจะให้ค่านั้นคงที่ตลอดช่วงเวลา Dead time ซึ่งค่าของ Dead time นั้นเราจะได้จากการเปิดตารางอัตราการไหลและนำมาคำนวณ ซึ่งจะทำการเปิดวาล์วเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกพอดีและจะทำให้ PV มีค่าเท่ากับ SV โดยเมื่อพ้นจาก Dead time แล้วเราจะเปลี่ยนโหมดการควบคุมไปเป็นแบบ PID ซึ่งระบบ PID จะตาม

ปรับแก้ค่าความผิดพลาดต่อไป โดยเราสามารถพิจารณาการทำนายการเปลี่ยนแปลงของ PV ไปสู่ SV ได้ดังรูป



รูปที่ 16 แสดงการทำนายของกระบวนการ

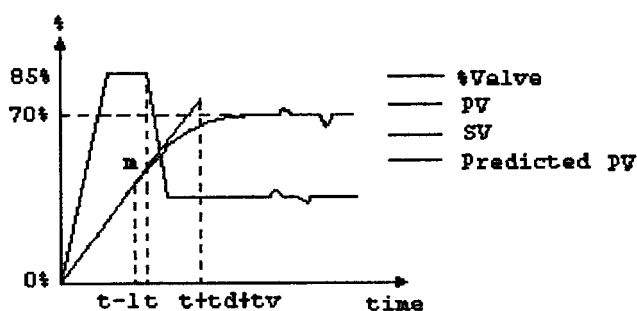
โดย  $t$  = เวลาปัจจุบัน

$t_d$  = dead time

$t_v$  = เวลาของการเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งเปิดสุดหรือปิดสุด ไปยังตำแหน่งค่าเริ่มต้นของวาล์ว

การเปลี่ยนแปลง Set point เพิ่มขึ้นจากค่าเดิม

ในระบบ Energy balance เพื่อที่จะให้ PV มีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ SV อย่างรวดเร็ว โดยที่ rise time มีค่าน้อย เราจะต้องสั่งให้วาล์วควบคุมเปิดสุด (100%) และในขณะเดียวกันก็จะต้องทำนายตำแหน่งของ PV เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการที่จะเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วควบคุมที่จะทำให้ PV เท่ากับ SV (ค่าของวาล์วจะเปิดจากตารางวาล์วในไฟล์ Valve.txt) ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่วาล์วทำให้ PV เท่ากับ SV ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลเข้าและออกจากกระบวนการเท่ากัน ต่อจากนั้นจะคงตำแหน่งของวาล์วเป็นเวลาเท่ากับ Dead time ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกหรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า PV มีค่าเท่ากับ SV และหลังจากช่วง Dead time นั้นก็จะมีการเปลี่ยนโหมดการควบคุมไปสู่โหมด PID เพื่อทำการแก้ไขต่อไปดังรูป

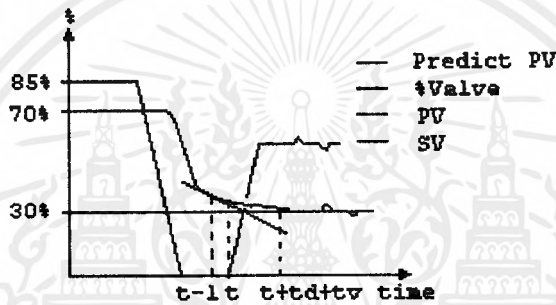


รูปที่ 17 แสดงการทำนายกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง set point เพิ่มขึ้นจากเดิม

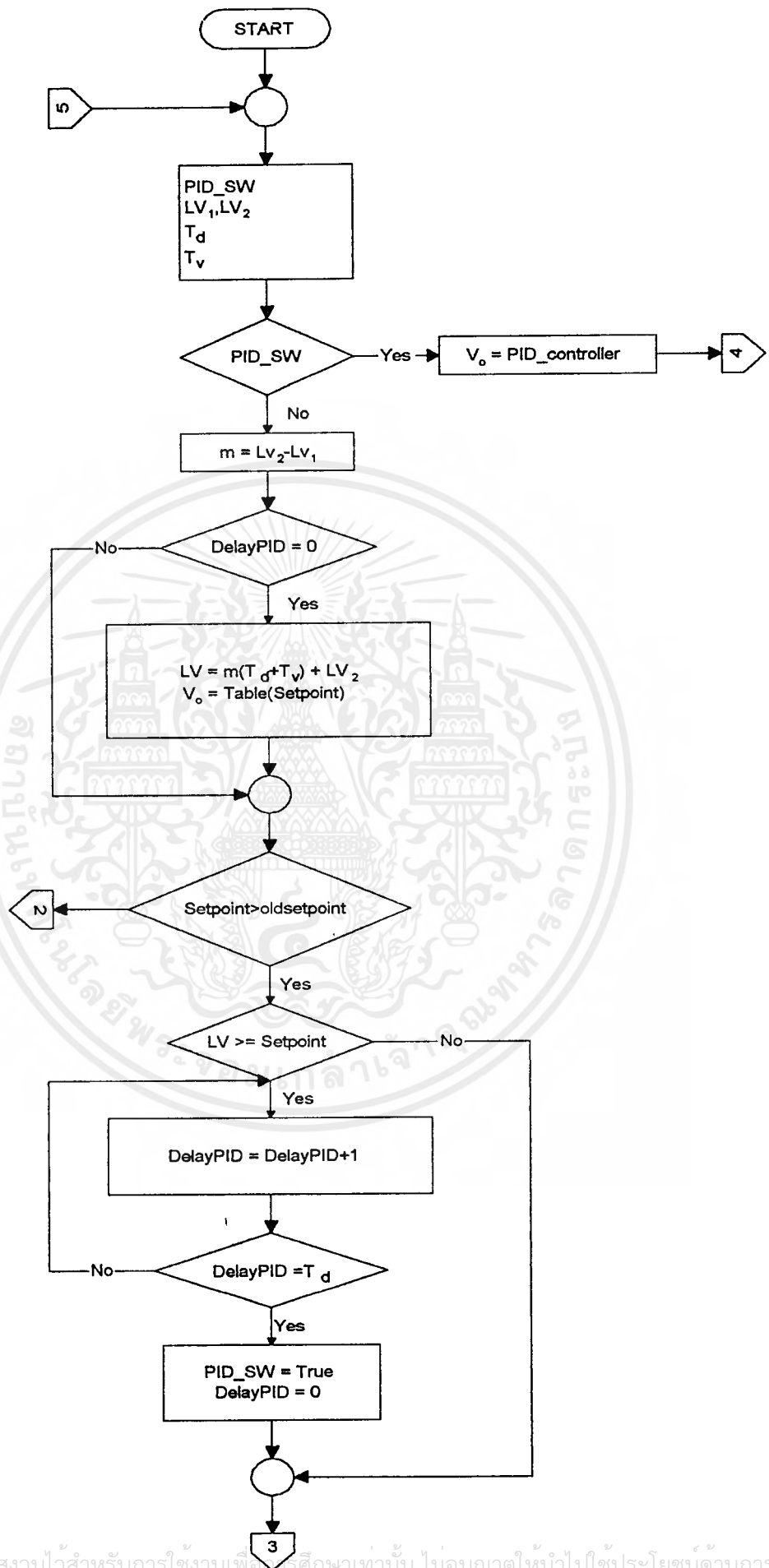
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเปลี่ยนแปลง Set point ลดลงจากค่าเดิม

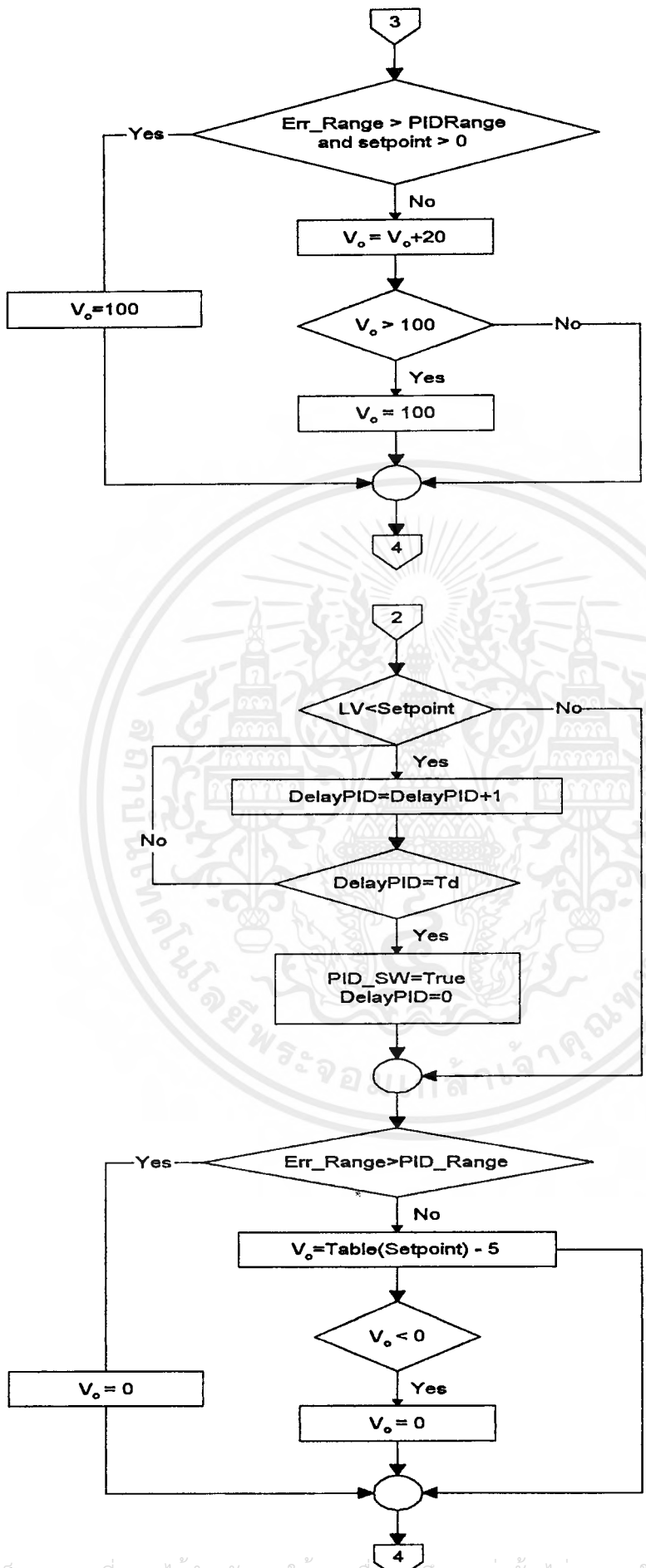
การเปลี่ยนแปลงนั้นก็จะเหมือนกับในการเปลี่ยนแปลง Set point เพิ่มขึ้นจากค่าเดิม โดยเราจะให้วาล์วปิดที่ 0% ซึ่งจะทำให้ Fall time มีค่าน้อยที่สุด และในขณะที่เดียวกันก็จะทำการทำนายตำแหน่งของ PV ล่วงหน้า เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วจากค่าสุดท้ายอยู่ที่ตำแหน่งซึ่งทำให้ PV มีค่าเท่ากับ SV และจะคงตำแหน่งของวาล์วนี้ให้อยู่เป็นเวลาที่เท่ากับ Dead time เมื่อพ้นจากช่วง Dead time แล้วระบบก็จะถูกตัดเข้าสู่การทำงานในโหมดของ PID ซึ่งในขณะที่ PV จะมีค่าเท่ากับ SV และอัตราการไหลเข้าจะเท่ากับอัตราการไหลออกนั้นหมายถึงสภาวะสมดุลของระบบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเราสามารถพิจารณาได้จากรูปข้างล่างนี้



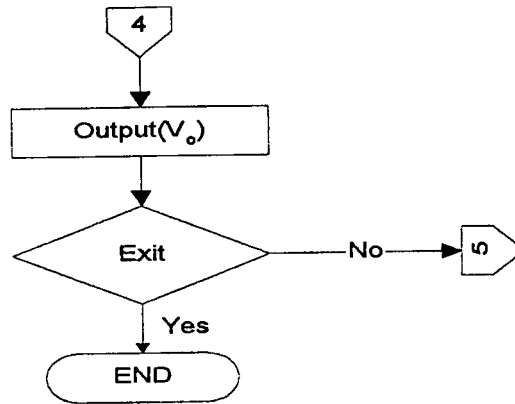
รูปที่ 18 แสดงการทำนายกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง Set point ลดลงจากเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 แสดง Flowchart ในส่วน Energy balancing control system

โดย PID\_SW คือ ตัวแปรที่เลือกโหมดการควบคุมระหว่างพลังงานสมดุลกับระบบ PID

Td คือ Dead time

Tv คือ เวลาของวาล์วที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับการเปิด-ปิดของวาล์วจากตำแหน่งเปิดสุดหรือปิดสุด ไปยังตำแหน่งที่ทำการสมดุล

Lv<sub>1</sub> คือ ระดับของของเหลวตัวเก่าที่รับเข้ามาจากอุปกรณ์ตรวจจับ

Lv<sub>2</sub> คือ ระดับของของเหลวตัวปัจจุบันที่รับเข้ามาจากอุปกรณ์ตรวจจับ

m คือ ความชันของกราฟของระดับของของเหลว

LV คือ ระดับของของเหลวที่ทำการทำนายไปล่วงหน้า

DelayPID คือ ตัวแปรที่จับเวลาช่วงเวลาในการสมดุลพลังงานให้เท่ากับ Td

PIDRange คือ ข่านที่ทำการกำหนดขอบเขตการทำงานของระบบพลังงานสมดุล

หมายเหตุ PID controller จะเป็นไปตามสมการ 3-11 และ Flow chart ในรูปที่ 14

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### วิธีการติดตั้ง Hardware

##### การติดตั้งการ์ดอินเทอร์เฟซ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องเป็นเครื่องที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows 95 หรือสูงกว่า
2. เปิดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์ขึ้นพร้อมกับดูว่ามีสล็อตว่างหรือไม่ ถ้ามีให้ทำการเสียบการ์ดอินเทอร์เฟซลงไป ในสล็อตพร้อมทั้งไขน็อตให้แน่น ถ้าไม่มีสล็อตว่างให้ถอดการ์ดที่ไม่ได้ใช้งานออก เช่น การ์ด Sound
3. ปิดฝาเครื่องให้เรียบร้อย
4. ต่อสายถึงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับ I/O units
5. ต่อสายวัดจากอุปกรณ์ตรวจจับได้ทั้ง 7 แชนแนลและ สายควบคุมวาล์ว เข้าที่ Output

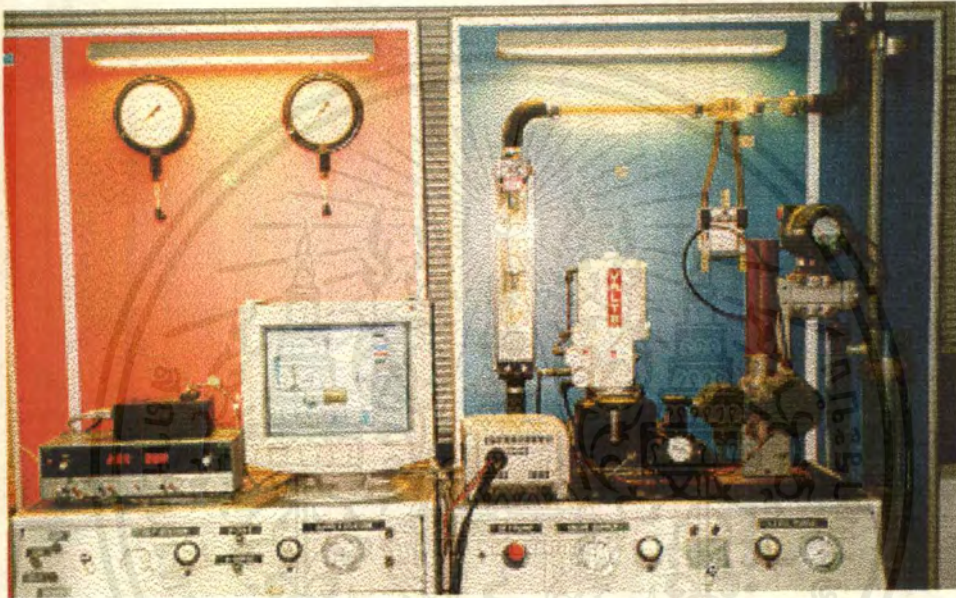
**หมายเหตุ** Input ที่จะเข้านั้นจะต้องเป็นแรงดันขนาด 1-5 โวลท์เท่านั้น ถ้าอุปกรณ์เซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์ส่งสัญญาณมาเป็นกระแสไฟฟ้า 1-5 โวลท์ให้เอาตัวต้านทาน 250 โอห์ม ต่ออนุกรมเข้าไปเพื่อให้ได้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 250 โอห์มมีค่าเป็น 1-5 โวลท์ แล้วต่อแรงดันคร่อมตัวต้านทานไปยัง อินพุท

ส่วน Output ก็จะให้เอาที่พุทเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ ถ้าต้องการเอาที่พุท 1-5 โวลท์ ให้ใช้ตัวต้านทาน 250 โอห์ม ต่ออนุกรมเข้าไปแล้วต่อแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานไปใช้ ซึ่งจะได้แรงดันมีค่าเท่ากับ 1-5 โวลท์

#### 4.2 ระบบโปรเซสที่ใช้ในโรงงาน

จะเป็นระบบควบคุมระดับของเหลว โดยภายในโปรเซสจะประกอบด้วย Pump, Current to Pneumatic converter, Control valve, Rotameter, Orifice plate, Differential transmitter , Air purge และ Tank ที่ใช้ในการทดลอง

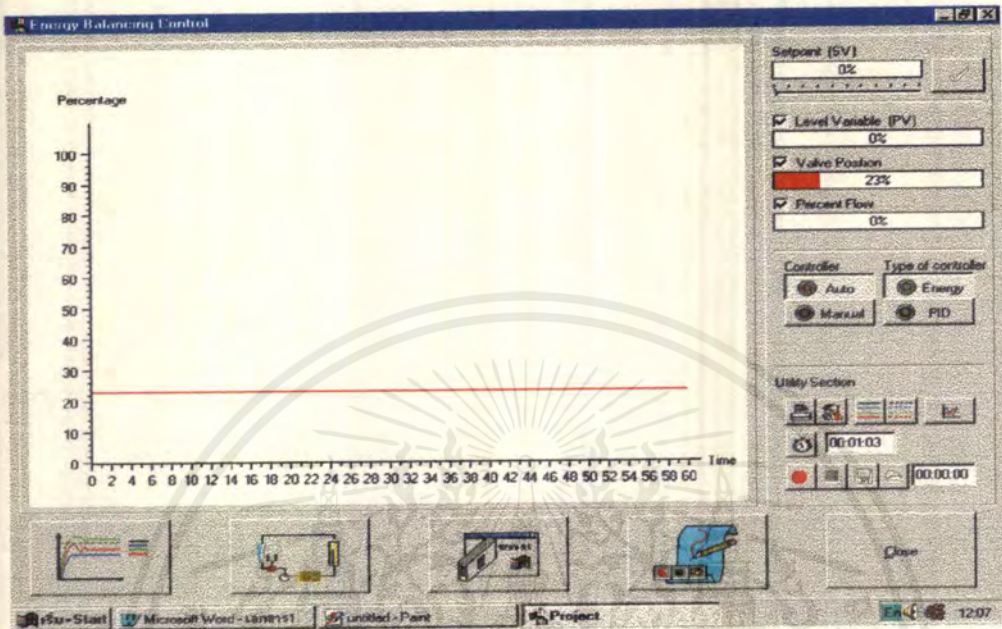
จากรูปที่ 1 จะแสดงให้เห็น Plant ที่ใช้ในการทดลอง (อยู่ทางขวามือ) และจะแสดงการควบคุมแบบพลังงานสมดุล จากรูปจะแสดงให้เห็นถึงฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในโรงงานนี้ด้วย (ทางฝั่งซ้ายมือ)



รูปที่ 1 แสดง Plant ที่ใช้ในการทดลอง

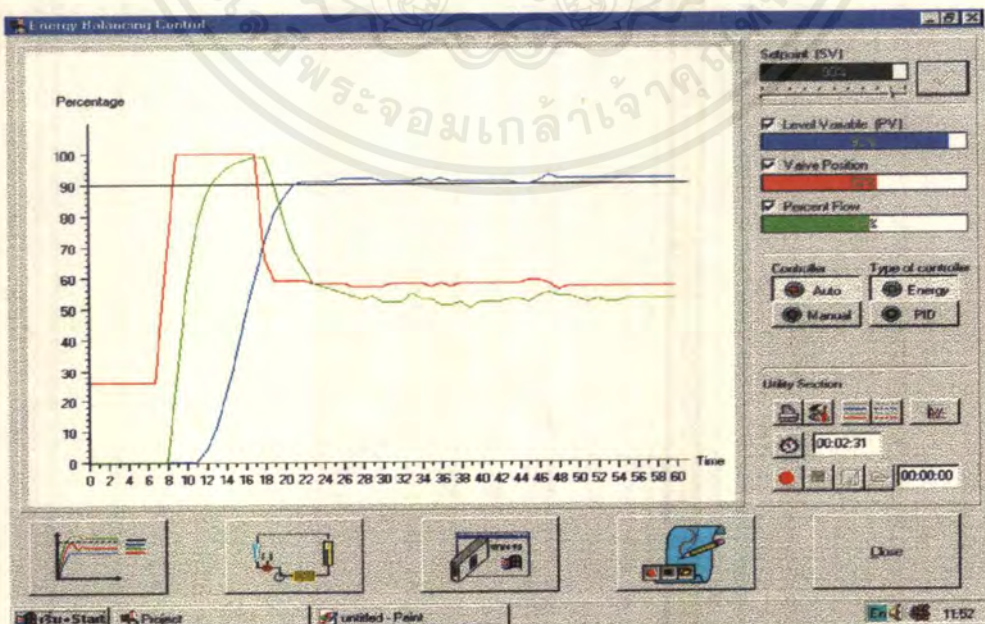
### 4.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม

1. Double-click ที่โปรแกรม Expert
2. จะพบหน้าต่างดังรูป ซึ่งจะเป็นหน้าต่างที่ใช้ดูกราฟของตัวแปรต่าง ๆ ที่เรารวัดเข้ามา



รูปที่ 2 แสดงหน้าต่างภายหลังจากเข้าโปรแกรม

3. เมื่อต้องการที่จะระบบว่าให้เป็นระบบพลังงานสมดุลให้นำมาดีไป Click ที่ Energy หรือถ้าต้องการใช้ระบบ PID นำมาดีไป Click ที่ PID ซึ่งจะเป็นดังรูป



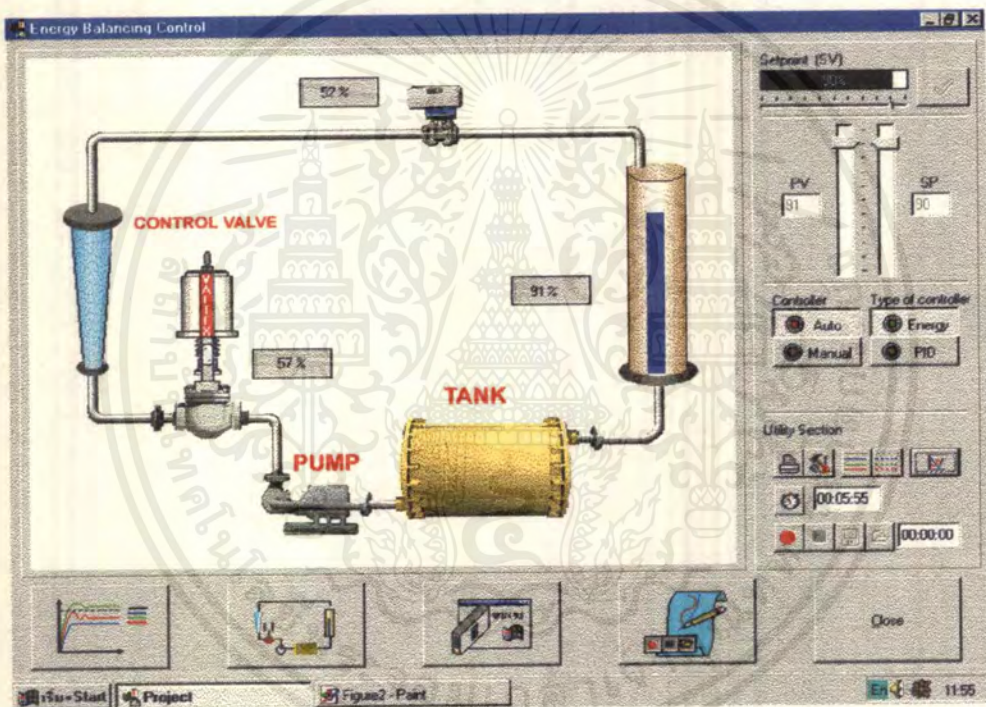
รูปที่ 3 แสดงกราฟที่เกิดจากระบบพลังงานสมดุลโดยตั้ง SV ที่ 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน Manual เป็นการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วด้วยตนเอง ส่วน Auto นั้นหมายถึงว่าจะเป็นการทำงานโดยอัตโนมัติ โดยขึ้นอยู่กับว่าเลือกระบบพลังงานสมมูลหรือระบบ PID

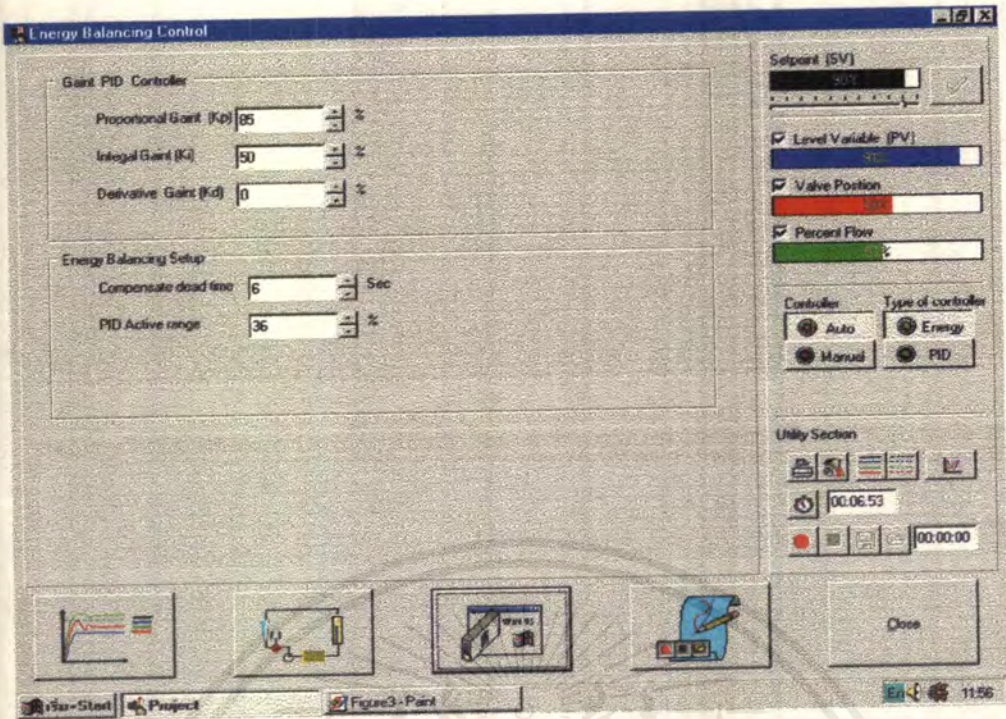
จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าเส้นสีเขียวที่แสดงถึงอัตราการไหล, สีแดงแสดงถึงอัตราการเปิดของวาล์ว, สีน้ำเงินแสดงถึงระดับความสูงของของเหลว และสีดำนั้นแสดงถึง Setpoint

4. ถ้าเราต้องการที่จะเปลี่ยนไปจากรูปแบบที่เป็นการจำลองโปรเซส ก็สามารถดูได้ให้เลื่อนเมาส์ไป Click ที่หน้าต่างที่ 2 ที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ Control valve , Rotameter, Orifice plate , etc. โดยถ้าอุปกรณ์ตัวใดที่เป็น Input และ Output ก็จะมีค่าแสดงด้วย เช่น ที่ Tank , ที่ Control valve หรือที่ Orifice plate



รูปที่ 4 แสดงหน้าต่างที่จำลองระบบ โปรเซส

5. ถ้าเราต้องการปรับค่า Gain  $K_p$ ,  $K_i$  , Compensate dead time หรือ PID Active range ให้หน้าเมาส์ไป Click ที่ หน้าต่างที่ 3 ที่เป็นรูป Controller ซึ่งจะ ได้ผลดังรูปที่ 5



### รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างที่ใช้ในการตั้งค่าต่าง ๆ

จากรูปการตั้งค่านั้นเราสามารถนำมาใช้ได้ Click ที่ถูกศรชี้ลงได้เลย หรือเราจะพิมพ์ค่าลงไป แล้วกด Enter ก็ได้

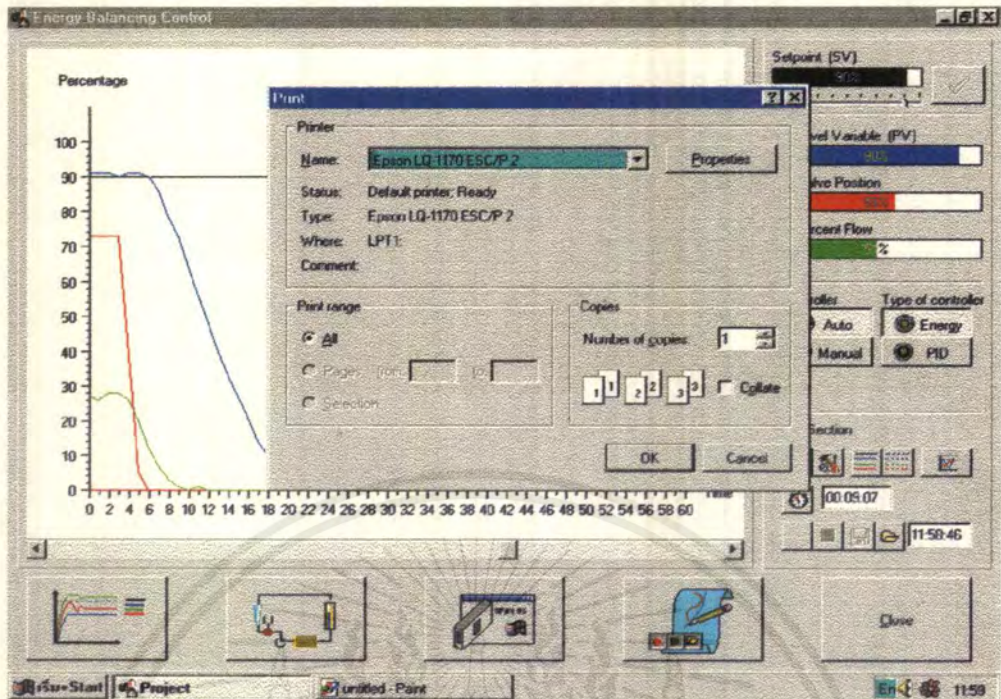
6. ถ้าเราต้องการที่จะกลับไปหน้าต่างที่แสดงกราฟให้นำเมาส์ไป Click ที่ หน้าต่างแรกด้านล่าง ซ้าย

7. ถ้าต้องการที่จะ Record ค่ากราฟเพื่อที่จะนำกราฟที่ได้ไปวิเคราะห์นั้นก็สมารถทำได้โดย กดปุ่ม Record (ปุ่มสี่แฉงที่อยู่ด้านขวา) เมื่อกดแล้วโปรแกรมก็จะทำการบันทึกกราฟให้โดยอัตโนมัติ และเมื่อต้องการที่จะหยุด Record ก็ให้กดปุ่มสี่แฉงที่อยู่ข้าง ๆ โปรแกรมก็จะหยุดการบันทึก และถ้า ต้องการบันทึกกราฟนั้นเก็บไว้เป็น Files ก็ให้กดปุ่มที่เป็นรูป Disk ก็จะขึ้นเพื่อให้ใส่ชื่อ Files แล้วกด Enter

8. ถ้าต้องการที่จะเรียกกราฟที่บันทึกไว้ออกมาดูให้กดหน้าต่างที่อยู่ด้านล่างขวามือสุดแล้วทำการเลือก Files ที่ต้องการดูออกมา

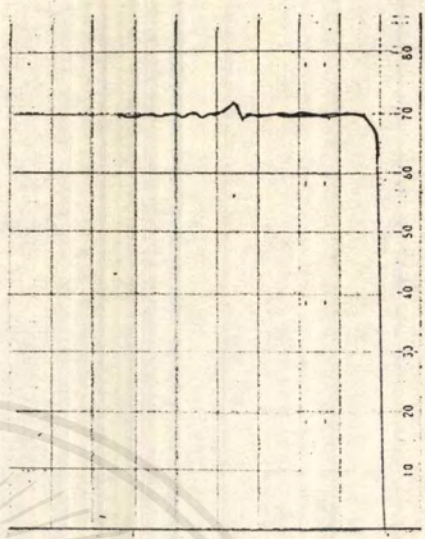
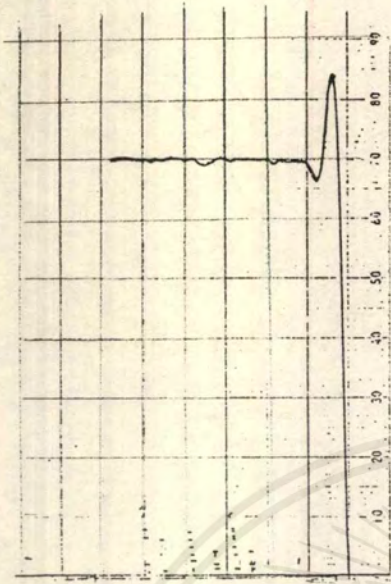
9. ถ้าต้องการที่จะ Print กราฟออกที่เครื่อง Printer ก็สมารถทำได้โดยนำมาเมาส์ไป Click ที่ปุ่ม Printer ซึ่งจะเป็นดังรูปที่ 6 โดยเราสามารถที่จะตั้งค่า Properties ต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



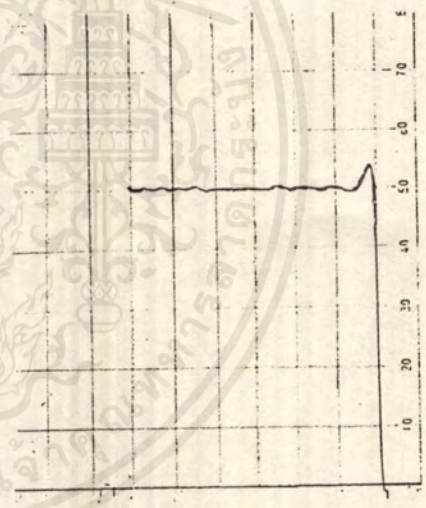
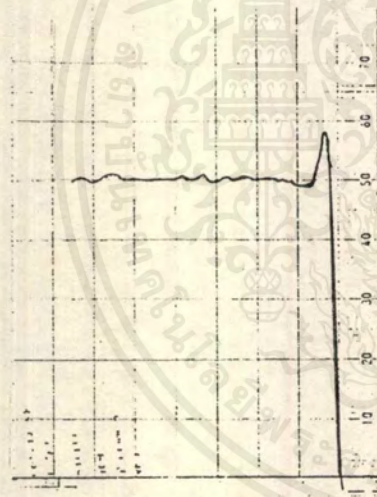
รูปที่ 6 แสดงการ Print กราฟที่ต้องการออกไปยังเครื่องพริ้นเตอร์

### ผลการทดลอง First Order (ใช้ Recoder)



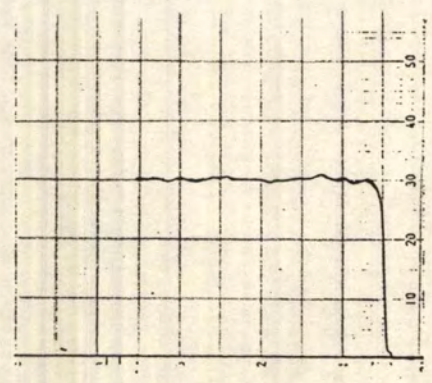
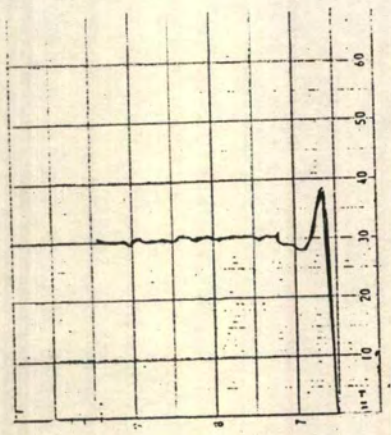
แบบ PID ที่ set point 70%

แบบ Energy Balance ที่ SV 70%



แบบ PID ที่ set point 50%

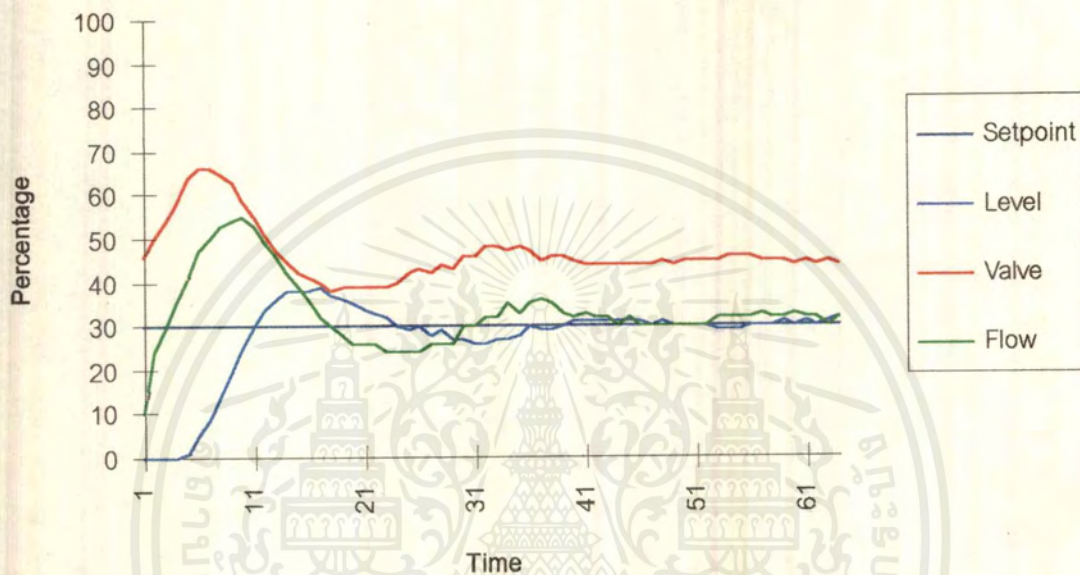
แบบ Energy Balance ที่ SV 50%



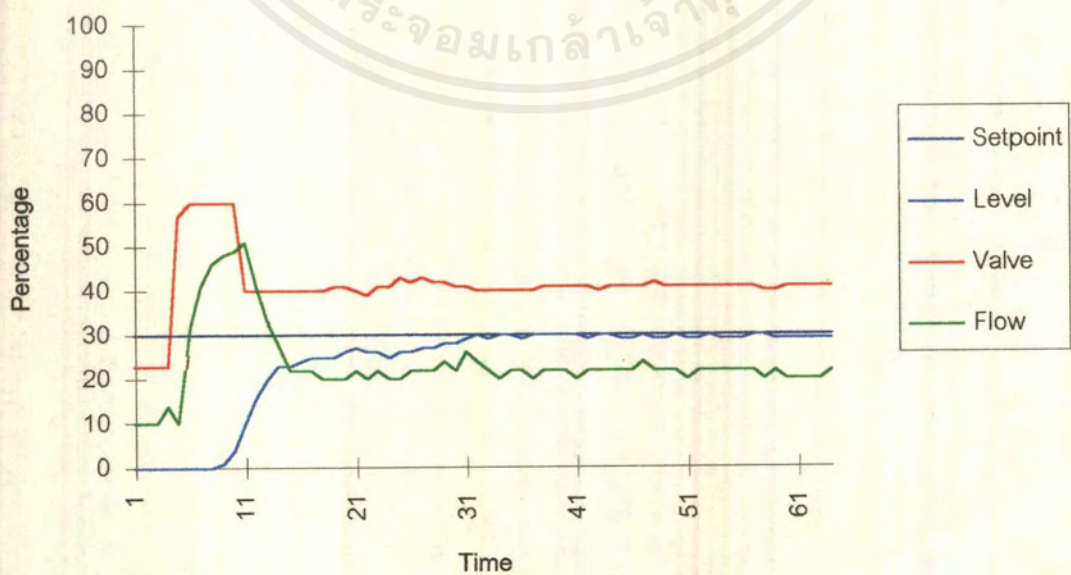
เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง (โดยใช้ Software)

## ระบบควบคุมแบบ PID ที่ Setpoint 30%

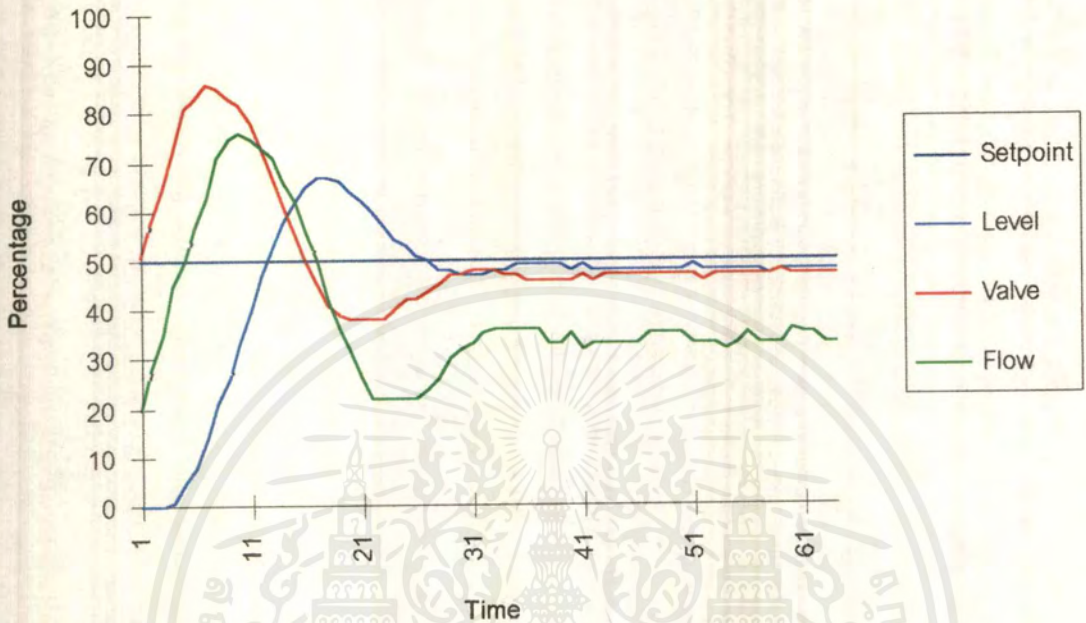


## ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุลที่ Setpoint 30%

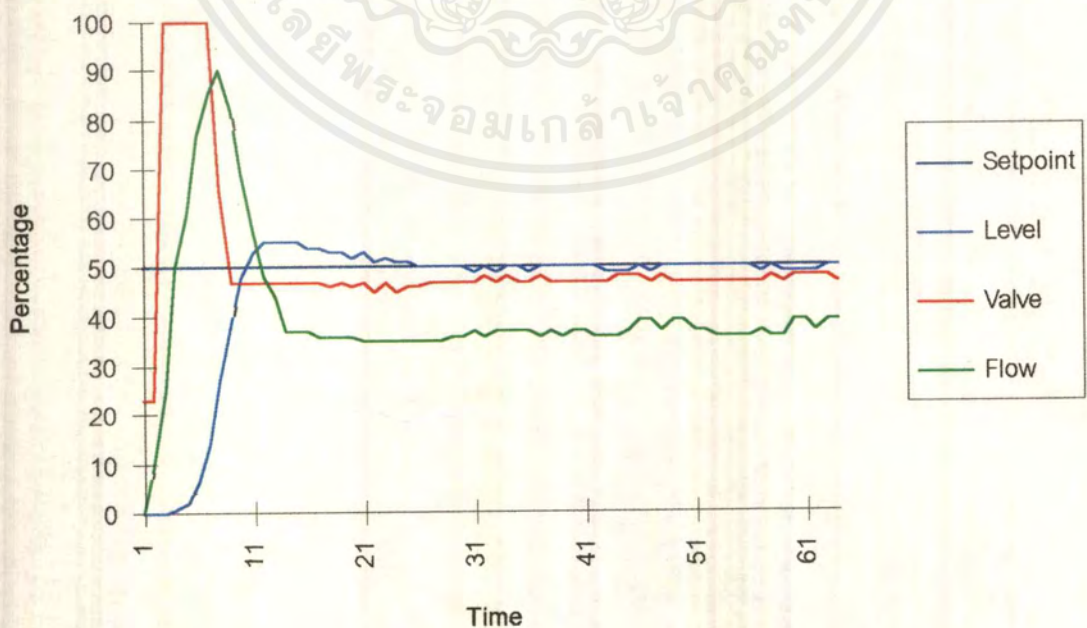


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ระบบควบคุมแบบ PID ที่ Setpoint 50%

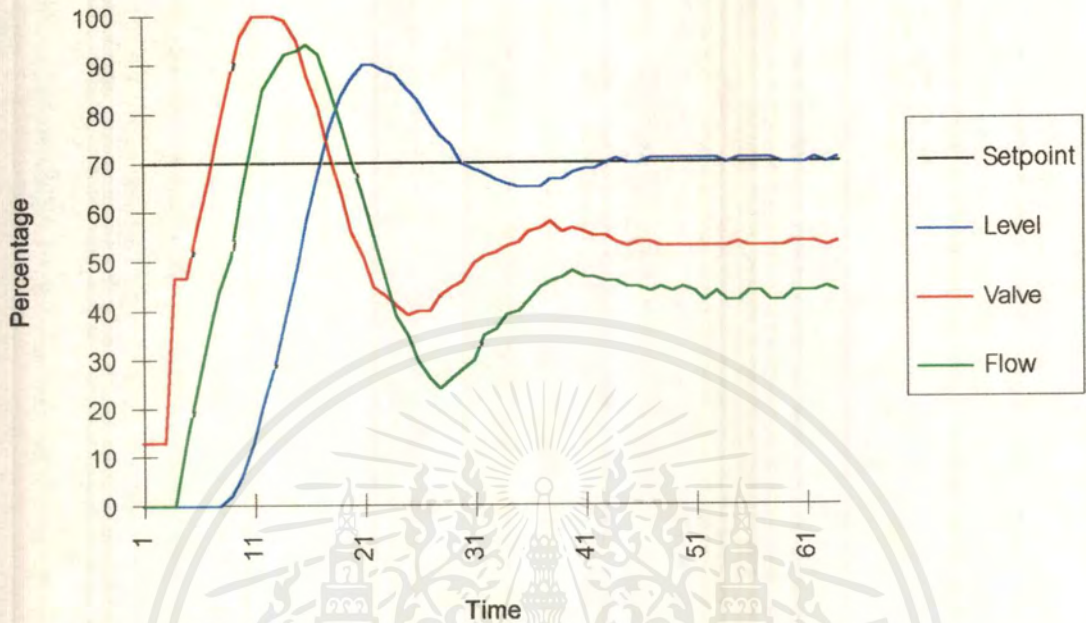


### ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุลที่ Setpoint 50%

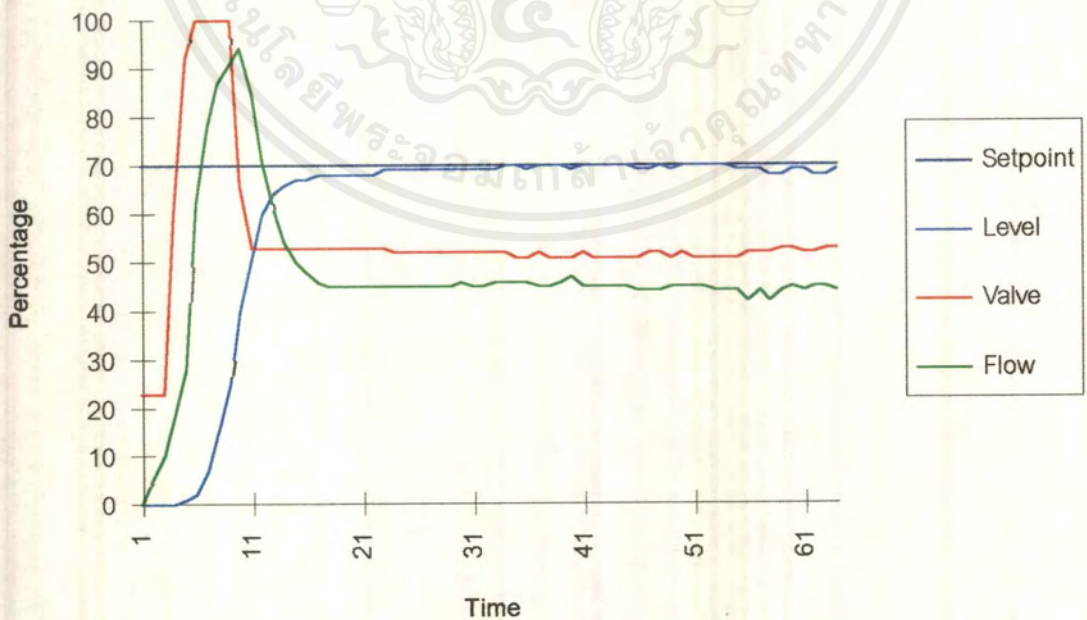


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ระบบควบคุมแบบ PID ที่ Setpoint 70%



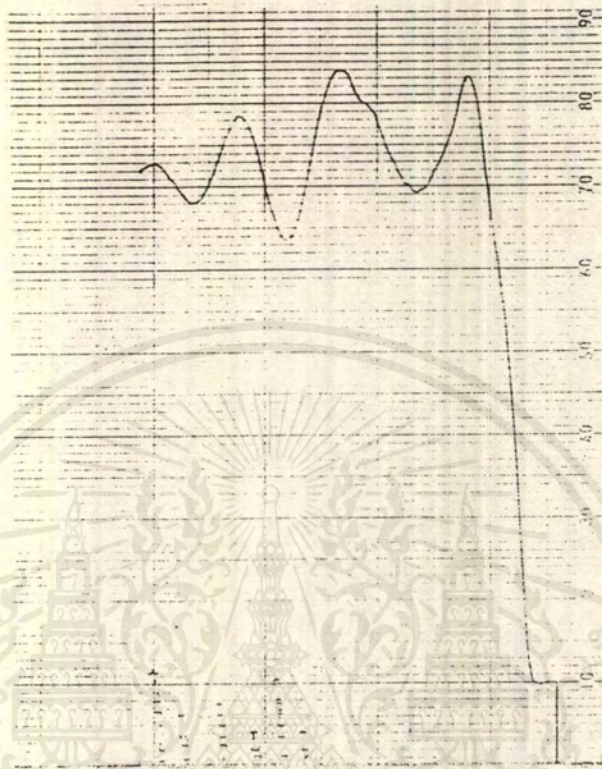
### ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุลที่ Setpoint 70%



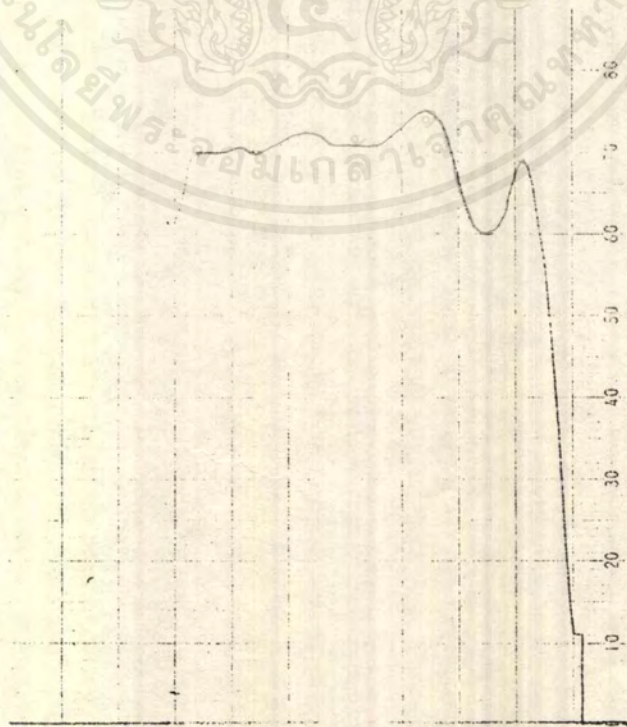
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง Second Order (ใช้ Recorder)

ระบบควบคุมแบบ PID ที่ Setpoint 70%



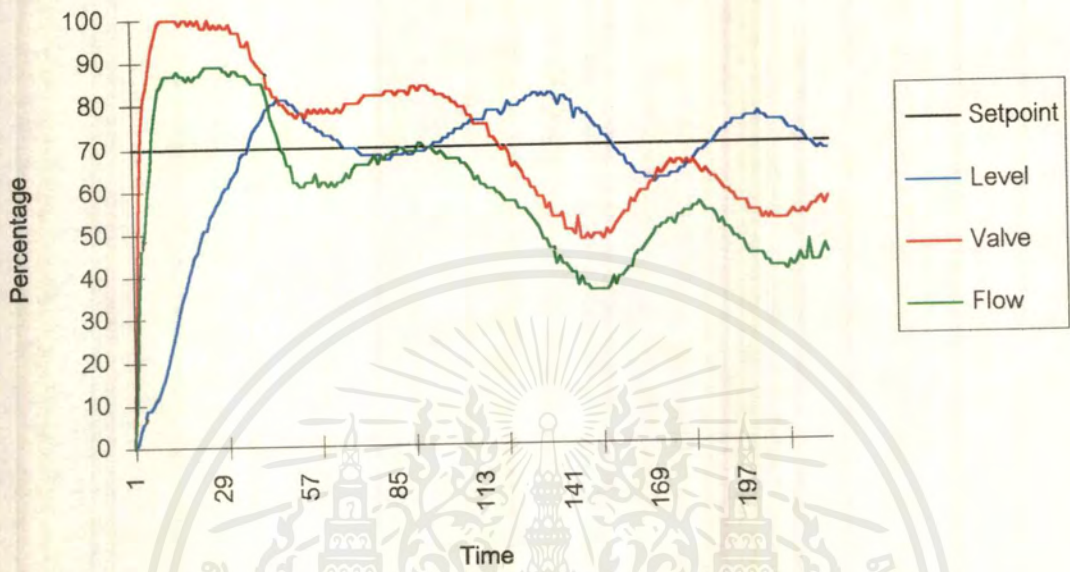
ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุลที่ Setpoint 70%



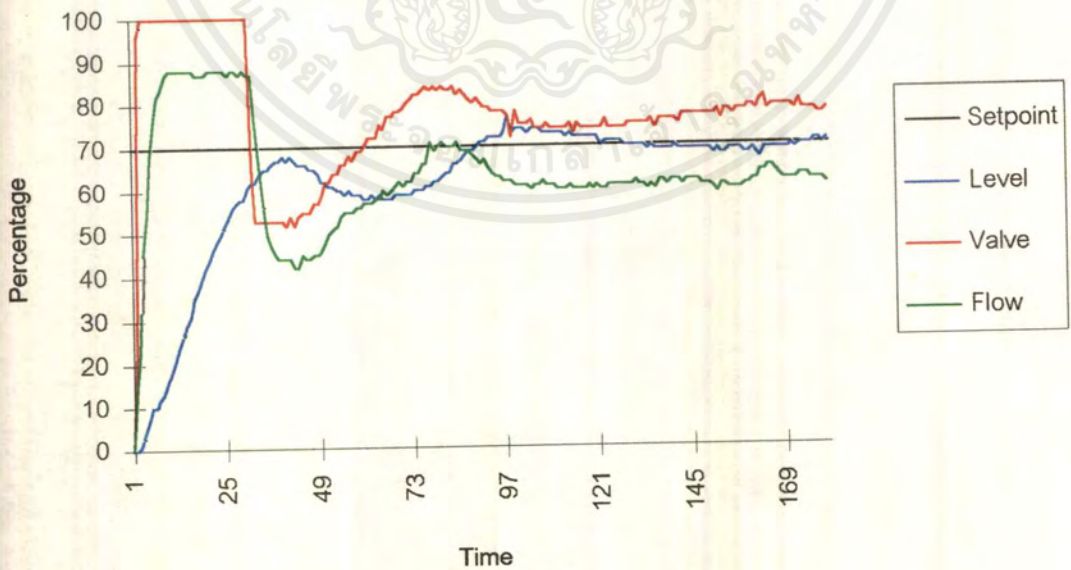
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง Second Order (ใช้ Software)

### ระบบควบคุมแบบ PID ที่ Setpoint 70%



### ระบบควบคุมแบบพลังงานสมดุลที่ Setpoint 70%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราสามารถเปรียบเทียบระหว่างระบบพลังงานสมดุและระบบ PID ได้ดังนี้

1. ระบบพลังงานสมดุจะมีช่วง Rise time และ Fall time ที่เร็วกว่าระบบ PID เนื่องจากเป็นการเปิด-ปิดวาล์ว 100% และ 0%

2. การเกิด Overshoot ของระบบพลังงานสมดุนั้นก็เกิดน้อยกว่าระบบ PID หรืออาจจะไม่เกิด Overshoot เลยก็ได้ แต่ไม่ใช่ว่าระบบ PID จะต้องเกิด Overshoot เสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า PID ซึ่งถ้าไม่ต้องการให้เกิด Overshoot จะทำให้ช่วง Rise time และ Fall time นั้นนาน

3. ในการควบคุมการเข้าสู่ Setpoint ของระบบพลังงานสมดุจะทำให้รวดเร็วกว่าระบบ PID ที่ค่าเกณฑ์เดียวกัน เนื่องจากอัตราการไหลเข้าและไหลออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อให้ระบบ PID ทำการปรับแก้ต่อก็จะเป็นการปรับแก้ที่ระดับแคบ ๆ เท่านั้น

4. สามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้เพื่อที่จะช่วยในการตั้งระดับ Setpoint ที่ระดับต่าง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์เพื่อทำการ Manual และที่สำคัญระบบพลังงานสมดุจะทำได้ดีกว่าเพราะมีความเที่ยงตรงกว่าและมีความเชื่อถือได้สูงกว่าเนื่องจากควบคุมที่ตัวโปรเซสจึง ไม่ได้ใช้จากประสบการณ์

#### ปัญหาและข้อแก้ไข

1. ระบบพลังงานสมดุนั้นเป็นการเปิด-ปิดวาล์วสุดคั้งนั้นถ้ามีการเปลี่ยน Set point ระยะใกล้ ๆ ระบบพลังงานสมดุจะไม่สามารถทำงานได้ เช่น เปลี่ยน Set point จาก 50% เป็น 60%

- การแก้ไข ได้ทำการเขียนโปรแกรมให้รับระยะห่างในการเปลี่ยน Set point ที่ต้องการ เช่นตั้งระยะห่างเท่ากับ 20 ถ้ามีการเปลี่ยน Set point มากกว่า 20% ขึ้นไปก็จะใช้ระบบพลังงานสมดุ แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Set point น้อยกว่า 20% จะให้ระบบ PID ทำงาน ซึ่งถ้าเราตั้งระยะห่างไว้น้อยกว่าวาล์วเปิด-ปิด ไม่นานจะทำให้เกิด Overshoot ขึ้นในระบบ

2. ในการออกแบบ Hardware นั้นได้ตั้ง Range ในการรับอินพุทให้อยู่ในช่วง 0-5 V ซึ่งถ้าระบบเกิดการ Swing เกิน 100 % จะไม่ทำให้รับรู้ค่าที่เกิน 100 % ได้เลยเพราะอินพุทที่จะเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ก็คือ FFh เท่านั้นหมด

- การแก้ไข ได้ทำการเขียนโปรแกรมถ้าอินพุตที่เข้ามาเป็น FFh เกิน 3 วินาทีจะให้เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ไปที่ละ 1% เช่น ถ้าอินพุตเข้ามา 100% เป็นเวลา 3 วินาที อินพุตจะกลายเป็น 103% และจะไปปรับลดอัตราการเปิดของวาล์วลง ซึ่งจะทำให้ระดับของของเหลวลดลง

3. การบันทึกค่า %Flow และ %Valve นั้นจะต้องใช้คณคยจดบันทึกแล้วนำไปเขียนใน Notepad

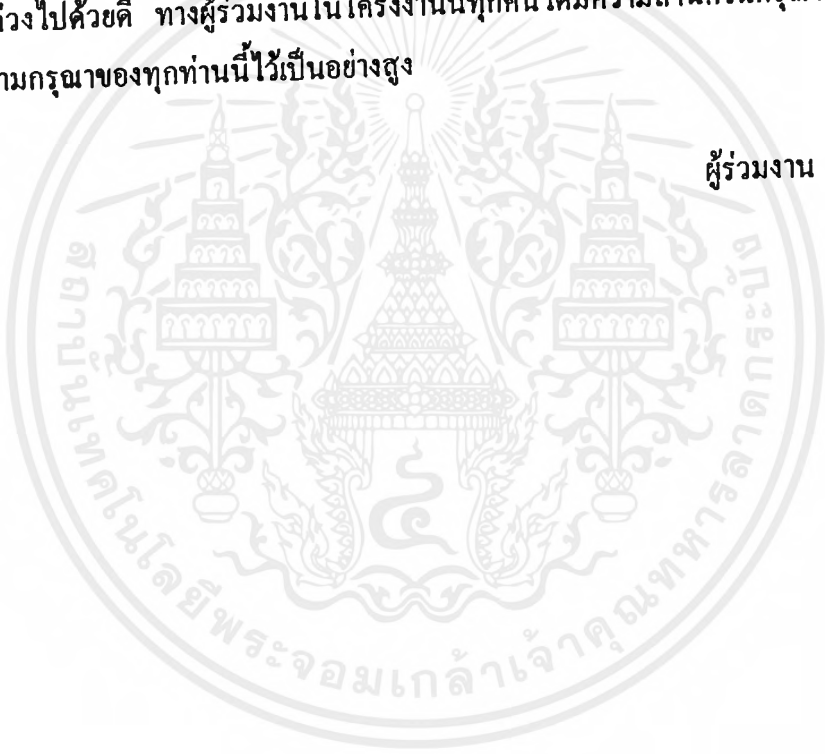
- การแก้ไข ได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ทำหน้าที่เก็บ %Flow และ %Valve อัตโนมัติ

4. เมื่อทดลองกับระบบที่เป็น Second order นั้นจะทำให้เกิด Overshoot เนื่องจากว่าเราไม่มีตัววัดระดับของของเหลวในแท็งค์บน ซึ่งจะทำให้การคำนวณนั้นค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากเราไม่สามารถรู้ระดับของของเหลวในแท็งค์บนเพื่อที่จะคำนวณหาอัตราการไหลที่ออกจากระบบในแท็งค์บนและ Dead time ของระบบ

## กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จทั้งหมดของการดำเนินงานโครงการนี้ จะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าขาดคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ร่วมงาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ. กิตติ ศิริเศรษฐ์ และ อ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นผู้ให้คำแนะนำในการจัดทำ และให้คำปรึกษาตลอดมา พร้อมทั้งต้องขอขอบคุณอาจารย์ และเพื่อน ๆ ที่ภาคเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้คำแนะนำและกำลังใจทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้ร่วมงานในโครงการนี้ทุกคนได้มีความสำนึกในกรุณาอย่างยิ่ง จึงขอขอบคุณในความกรุณาของทุกท่านนี้ไว้เป็นอย่างสูง

ผู้ร่วมงาน



## บรรณานุกรม

- ชานินทร์ ถาวรศาสตร์และทินกร ดี๊ก, การอินเทอร์เฟซ IBM PC, ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์ การพิมพ์, หน้า 93-103
- สมศักดิ์ กิริติวุฒิเศรษฐ์, หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม, บริษัทดวงกมล สมัย จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 6 หน้า 126-134 และ 221-263
- ก้องเกียรติ ณ สีมา, ทฤษฎีและการใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ 555, อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์, พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2528, หน้า 19-32
- Singh S.K., Industrial Instrumentation and control, New Delhi : Tata McGraw-Hill, 1987, PP 156-158
- Sizing and selecting control valve, Valtex, PP3-1 to 3-15





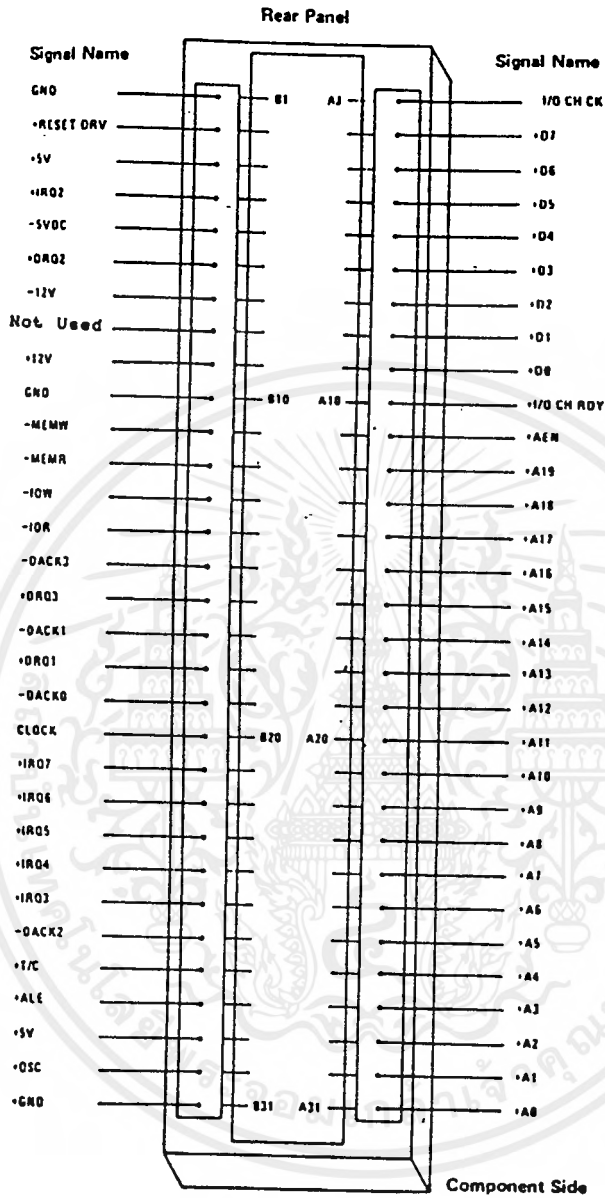
## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

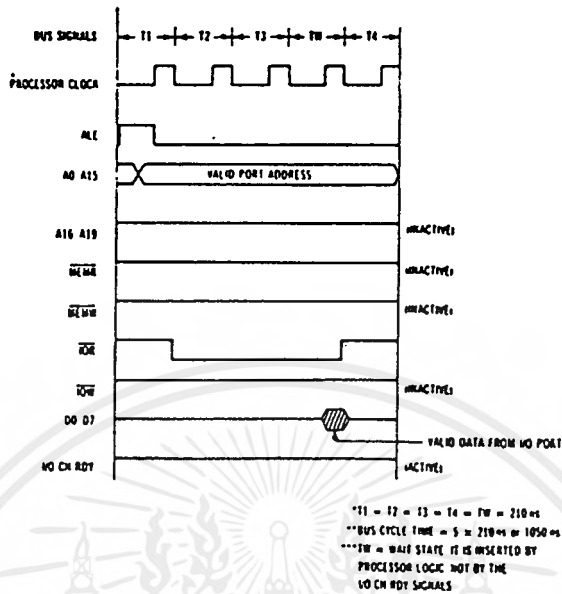


ภาคผนวก ก  
การอินเทอร์เน็ต

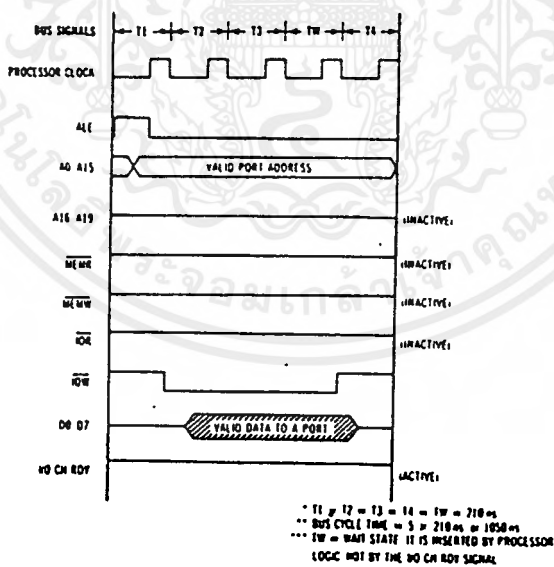
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บัลไคเคิลของการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O

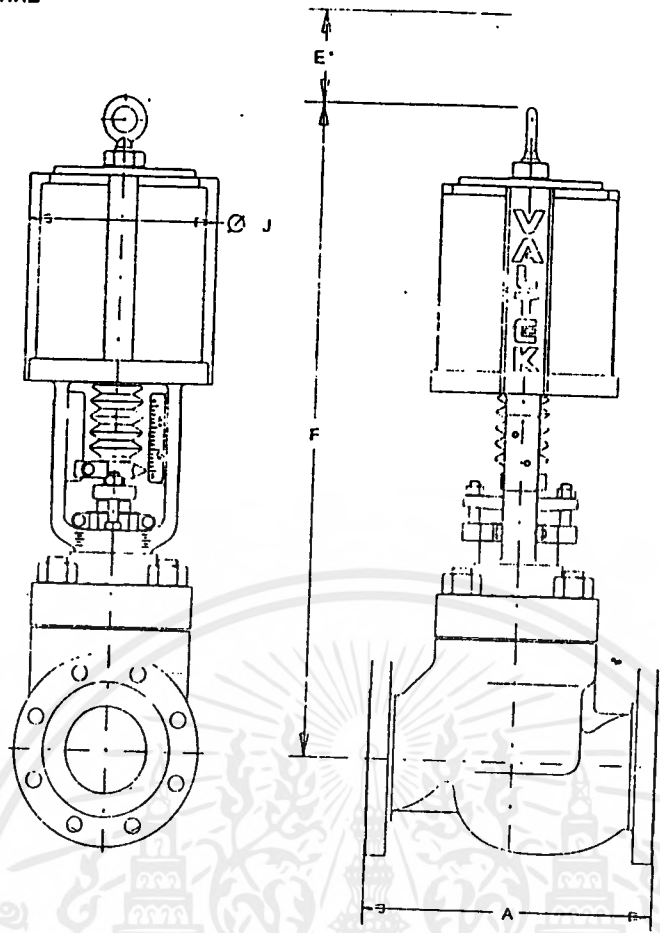


บัลไคเคิลของการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ต I/O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	WT
inch	8.50				2.50	18.51			6.50							44.00
MM	215.9				63.5	470.2			165.1							20.0

Note: Envelope dimensions of drawing are certified correct per associated Specification sheet. Accessories, end connections, and scaling may not be actual

MODEL		ACTUATOR		CERTIFIED DIMENSIONAL DRAWING		CUSTOMER	
Mark One		25 SQ IN				kmitl	
SIZE		AIR TO		BY		VALVE TAG	
1 INCH		CLOSE		WATHE		10RD	
RATING		FAIL		DATE		P.O. NUMBER	
150		CLOSE		1998-01-30			
END CONNECTION		SPRING					
SEP FLG		STANDARD					
		TRIM / CV				PROJECT	
		.38 Cv:4.4				energy balance	
						SERIAL NUMBER	
						000000.001	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





Customer : kmill  
 PO # :  
 Quote # :  
 Rev/By : 0/WATHE  
 Application : pid controller

Project : energy balance  
 Proj Num : toro  
 Contract # :  
 Alternate :

Tag # : toro  
 Page # : 1  
 P&ID :  
 Line :  
 Date / Ver : 1998-01-30 /3 B113

Control Valve Specification  
 Prepared By :  
 Springville Utah  
 Valtek International

1	2	3					1	2	3
			Process Data For Control Valve Selection						
1	Pipe size, up/down (in)		1.000 / 1.000				51	Actuator Type	Cylinder
2	Pipe sch, up/down		40 / 40				52	Actuator Size	25
3	Allow noise/Add attn/Type		85 / 0 /				53	Stroke	.75
4	Process Fluid		Water				54	Spring	Standard
5	Critical Pressure		3207.400				55	Air To	Close
6			Cond 1	Cond 2	Cond 3	Cond 4	56	Volume Tank	
7	Temperature (°C)		35.000	35.000	35.000	35.000	57	Tubing & Fit	1/4" Stainless
8	Inlet Press (kg/cm2 (g))		2.000	2.000	2.000	2.000	58	Handwheel	
9	Outlet Press (kg/cm2 (g))		1.870	1.870	1.870	1.870	59		
10	Liq Flow Rate (m3/hr)		1.800	1.620	1.440	1.260	60	Cylinder O-Rings	Buna-N
11	Gas Flow Rate (kg/h)		0	0	0	0	61		
12	Viscosity (cP)		1.000	1.000	1.000	1.000	62	Model	
13	Vapor Press (kg/cm2 (g))		-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	63	Signal	
14	SG-MW		0.980	0.980	0.980	0.980	64	Transducer	
15	Max Shutoff / Shutoff Class		5.000 kg/cm2 / Class IV				65	Mounting	
16	Available Air Supply		4.200 kg/cm2 (g)				66	Tag #	
17	Fail Position / Valve Function		Close / On - Off				67	Model	
18			Cond 1	Cond 2	Cond 3	Cond 4	68	Indicate	
19	Flow Coeff. (Cv)		5.773	5.195	4.618	4.040	69		
20	Est Stroke (% Open)		100.000	100.000	100.000	84.000	70		
21	Pressure Drop (kg/cm2)		0.130	0.130	0.130	0.130	71	Tag #	
22	Choke Drop (kg/cm2)		2.114	2.114	2.114	2.189	72	Model	
23	Noise (dBA)		<70	<70	<70	<70	73	Fos. On De-en	
24	Valve Vel (m/s)		0.987	0.889	0.790	0.691	74	Electrical	
25	Pipe Vel (m/s)		2.944				75	Mounting	
26	Valve Model		Mark One				76	Haz. Loc.	
27	Size(in)/Pressure rating/body type		1.00 / CL 150 / Globe				77		
28	Trim # - Cv / Characteristic		.3B Cv:4.4 / Linear				78	Tag #	
29	Number of Stages						79	Air Filter	/
30	Flow Direction		Flow Over				80	Filter-Reg	/
31	Body / Bonnet Matl		Carbon Steel / Carbon Steel				81	Flow Booster	/
32	End Conn/Sch/Face to Face		CS Sep. Flange / ANSI S75.20				82	Booster Config	
33	Flange Finish		125 - 250 Ra				83	Quick Exhaust	
34	Bonnet Type		Standard				84		
35	Trim Type		Unbalanced				85	Lockup	
36	Plug matl / Facing		316 SS /				86	Plate ID	
37	Plug stem facing						87	Plate Type	
38	Seat ring matl / Facing		316 SS /				88	StarPac	
39	Soft Seat Material						89		
40	Retainer matl/Sleeve matl		316 SS /				90		
41	Guides Upper/Lower		316 SS, GL TFE / 316 SS, GL TFE				91	Haz. Loc.	
42	Packing Matl / Style / Vac / Fire		TFE V-Ring / Single / /				92	Drawings	
43	Body Drain						93	Assem Hydro	
44	Bonnet Port Type						94	Seat Leak Test	
45	Bellows Type/Cycles		/				95	Documentation	
46	Bellows Material						96	Cent of Conf.	
47	Body Bolting/Bonnet Flange Matl		B7-2H / Carbon Steel				97	Cleaning	
48	Gaskets		TFE				98	CMTR	
49	Gland Flange Material		Stainless Steel				99	Special Paint	
50	Gland Flange Bolting		Carbon Steel, Plated				00	ValStat Test	

Line #	Remarks
51	Electrical Actuator, 230 Vac, 1 phase, explosion proof
68	Limitswitch SPDP, 5 A@230 VAC

Price: US\$ Stale Pricing  
 Quantity: 1  
 Total: US\$ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วาระใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Detailed Conditions Information

Valve Model : Mark One  
 Customer : kmitl  
 Project : energy balance  
 Page Number : 1

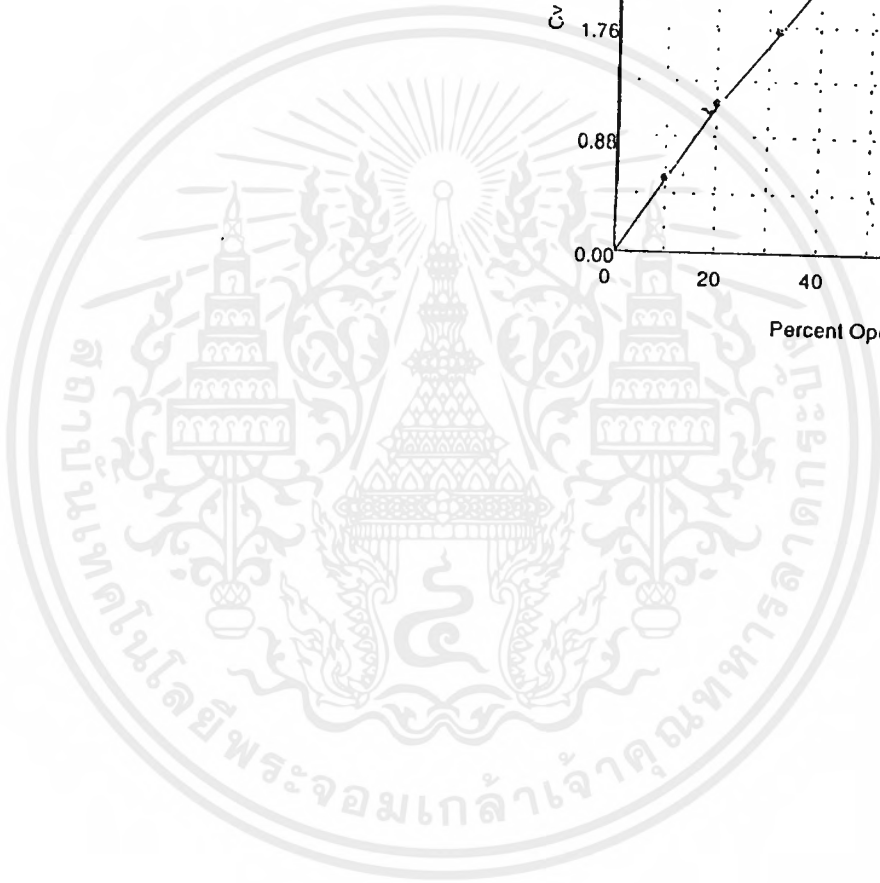
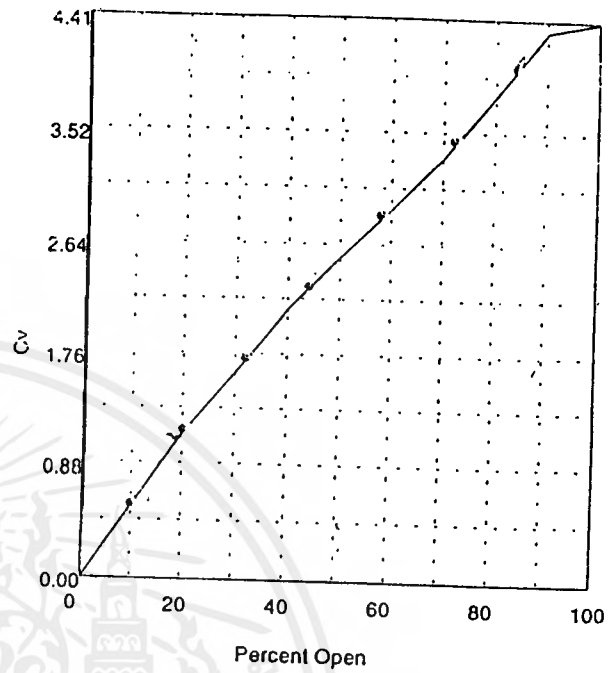
	Cond 1	Cond 2	Cond 3	Cond 4	Cond 5	Cond 6	Cond 7	Cond 8	Cond 9	Cond 10
Temp(°C)	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
P1(kg/cm2 (g))	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
P2(kg/cm2 (g))	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870
Liq Flow(m3/hr)	1.800	1.620	1.440	1.260	1.080	0.900	0.720	0.540	0.360	0.180
Gas Flow(kg/hr)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Visc(cP)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
VI'(kg/cm2 (g))	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972	-0.972
DP(kg/cm2 (g))	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130
DpC(kg/cm2 (g))	2.138	2.138	2.138	2.189	2.150	2.266	2.349	1.983	1.219	0.798
Vel(m/s)	0.987	0.889	0.790	0.691	0.592	0.494	0.395	0.296	0.197	0.099
Noise(dBA)	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0	< 70.0
Flow Cap(Cv)	5.773	5.195	4.618	4.040	3.463	2.886	2.309	1.731	1.154	0.577
Stroke(% Open)	100.000	100.000	100.000	84.000	72.000	58.000	44.000	32.000	20.000	10.000
Info(Warning)										



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Valve Flow Curve

Valve Model : Mark One  
Trim .38 Cv:4.4  
Customer : kmittl  
Project : energy balance  
Page Number : 1





**ภาคผนวก ก**  
**รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ADC0808, ADC0809 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

### General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8-single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE<sup>®</sup> outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

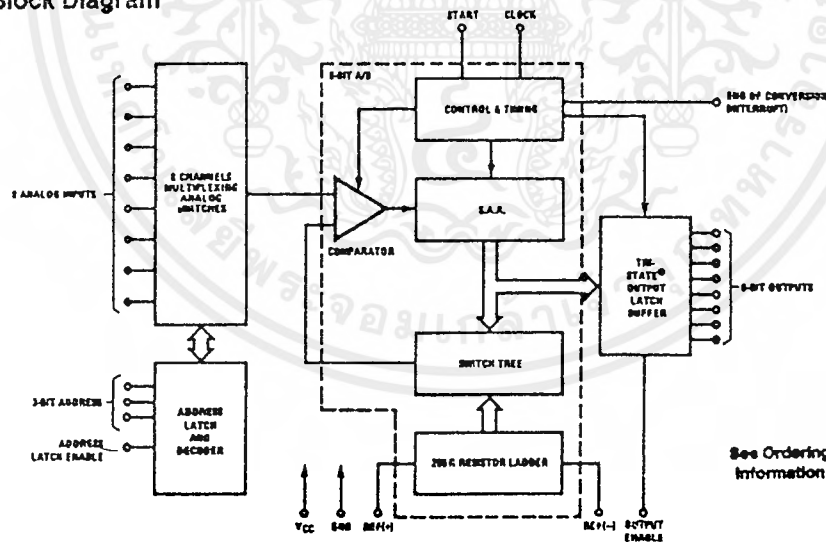
### Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub> or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package

### Key Specifications

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| ■ Resolution             | 8 Bits                        |
| ■ Total Unadjusted Error | $\pm 1/2$ LSB and $\pm 1$ LSB |
| ■ Single Supply          | 5 V <sub>DC</sub>             |
| ■ Low Power              | 15 mW                         |
| ■ Conversion Time        | 100 $\mu$ s                   |

### Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## DAC0808, DAC0807, DAC0806 8-Bit D/A Converters

### General Description

The DAC0808 series is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with  $\pm 5V$  supplies. No reference current ( $I_{REF}$ ) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically  $\pm 1$  LSB of  $255 I_{REF} / 256$ . Relative accuracies of better than  $\pm 0.19\%$  assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than  $4 \mu A$  provides 8-bit zero accuracy for  $I_{REF} \geq 2$  mA. The power supply currents of the DAC0808 series are independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

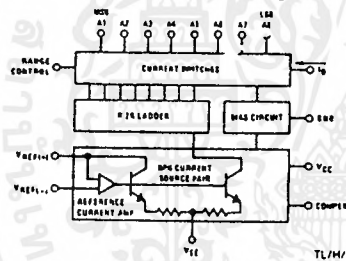
The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or MOS logic levels, and is a direct replacement for the

MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

### Features

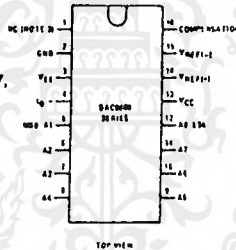
- Relative accuracy:  $\pm 0.19\%$  error maximum (DAC0808)
- Full scale current match:  $\pm 1$  LSB typ
- 7 and 6-bit accuracy available (DAC0807, DAC0806)
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ $\mu s$
- Power supply voltage range:  $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$
- Low power consumption, 33 mW  $\pm 5V$

### Block and Connection Diagrams

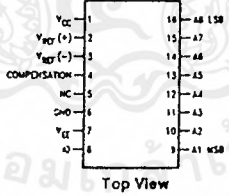


Order Number  
DAC0808, DAC0807,  
or DAC0806  
See NS Package  
Number J16A,  
M16A or N16A

#### Dual-In-Line Package



#### Small-Outline Package



### Ordering Information

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	ORDER NUMBERS		
		J PACKAGE (J16A)*	N PACKAGE (N16A)*	SO PACKAGE (M16A)
8-bit	$-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$	DAC0808LJ	MC1508L8	DAC0808LCM
8-bit	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +75^{\circ}C$	DAC0808LCJ	MC1408L8	DAC0808LCM
7-bit	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +75^{\circ}C$	DAC0807LCJ	MC1408L7	DAC0807LCM
6-bit	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +75^{\circ}C$	DAC0806LCJ	MC1408L6	DAC0806LCM

\*Note: Devices may be ordered by using either order number.

DAC0808/DAC0807/DAC0806



## 8255A/8255A-5 PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE

- MCS-85™ Compatible 8255A-5
- 24 Programmable I/O Pins
- Completely TTL Compatible
- Fully Compatible with Intel Microprocessor Families
- Improved Timing Characteristics
- Direct Bit Set/Reset Capability Easing Control Application Interface
- Reduces System Package Count
- Improved DC Driving Capability
- Available in EXPRESS
  - Standard Temperature Range
  - Extended Temperature Range
- 40 Pin DIP Package or 44 Lead PLCC  
(See Intel Packaging: Order Number: 231369)

The Intel 8255A is a general purpose programmable I/O device designed for use with Intel microprocessors. It has 24 I/O pins which may be individually programmed in 2 groups of 12 and used in 3 major modes of operation. In the first mode (MODE 0), each group of 12 I/O pins may be programmed in sets of 4 to be input or output. In MODE 1, the second mode, each group may be programmed to have 8 lines of input or output. Of the remaining 4 pins, 3 are used for handshaking and interrupt control signals. The third mode of operation (MODE 2) is a bidirectional bus mode which uses 8 lines for a bidirectional bus, and 5 lines, borrowing one from the other group, for handshaking.

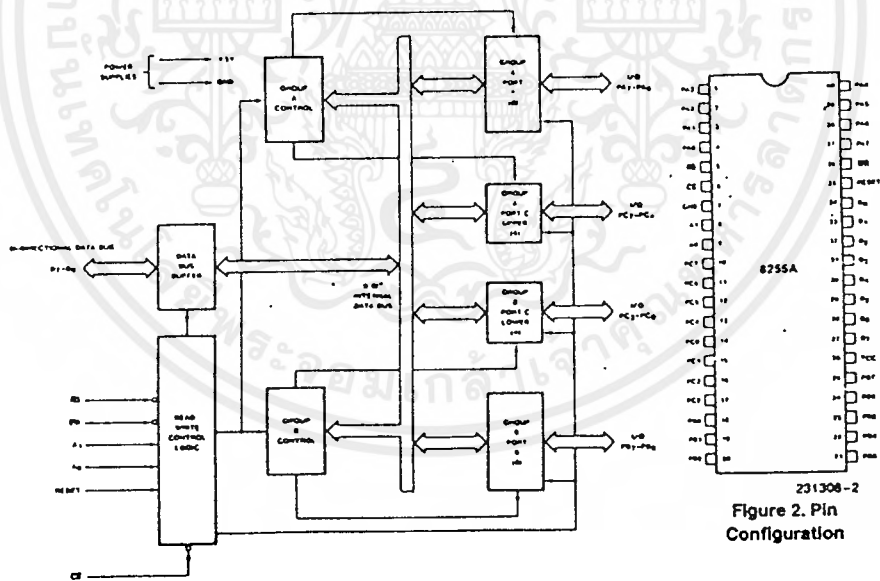


Figure 1. 8255A Block Diagram

Figure 2. Pin Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8255A BASIC OPERATION

A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$\overline{CS}$	Input Operation (READ)
0	0	0	1	0	Port A → Data Bus
0	1	0	1	0	Port B → Data Bus
1	0	0	1	0	Port C → Data Bus
					Output Operation (WRITE)
0	0	1	0	0	Data Bus → Port A
0	1	1	0	0	Data Bus → Port B
1	0	1	0	0	Data Bus → Port C
1	1	1	0	0	Data Bus → Control
					Disable Function
X	X	X	X	1	Data Bus → 3-State
1	1	0	1	0	Illegal Condition
X	X	1	1	0	Data Bus → 3-State

**(RESET)**

Reset. A "high" on this input clears the control register and all ports (A, B, C) are set to the input mode.

**Group A and Group B Controls**

The functional configuration of each port is programmed by the systems software. In essence, the CPU "outputs" a control word to the 8255A. The control word contains information such as "mode", "bit set", "bit reset", etc., that initializes the functional configuration of the 8255A.

Each of the Control blocks (Group A and Group B) accepts "commands" from the Read/Write Control Logic, receives "control words" from the internal data bus and issues the proper commands to its associated ports.

Control Group A—Port A and Port C upper (C7–C4)  
Control Group B—Port B and Port C lower (C3–C0)

The Control Word Register can Only be written into. No Read operation of the Control Word Register is allowed.

**Ports A, B, and C**

The 8255A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All can be configured in a wide variety of functional characteristics by the system software but each has its own special features or "personality" to further enhance the power and flexibility of the 8255A.

Port A. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input latch.

Port B. One 8-bit data input/output latch/buffer and one 8-bit data input buffer.

Port C. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input buffer (no latch for input). This port can be divided into two 4-bit ports under the mode control. Each 4-bit port contains a 4-bit latch and it can be used for the control signal outputs and status signal inputs in conjunction with ports A and B.

**8255A FUNCTIONAL DESCRIPTION**

CPU Address and Control buses and in turn, issues commands to both of the Control Groups.

**General**

The 8255A is a programmable peripheral interface (PPI) device designed for use in Intel microcomputer systems. Its function is that of a general purpose I/O component to interface peripheral equipment to the microcomputer system bus. The functional configuration of the 8255A is programmed by the system software so that normally no external logic is necessary to interface peripheral devices or structures.

**Data Bus Buffer**

This 3-state bidirectional 8-bit buffer is used to interface the 8255A to the system data bus. Data is transmitted or received by the buffer upon execution of input or output instructions by the CPU. Control words and status information are also transferred through the data bus buffer.

**Read/Write and Control Logic**

The function of this block is to manage all of the internal and external transfers of both Data and Control or Status words. It accepts inputs from the

**(CS)**

Chip Select. A "low" on this input pin enables the communication between the 8255A and the CPU.

**(RD)**

Read. A "low" on this input pin enables the 8255A to send the data or status information to the CPU on the data bus. In essence, it allows the CPU to "read from" the 8255A.

**(WR)**

Write. A "low" on this input pin enables the CPU to write data or control words into the 8255A.

**(A<sub>0</sub> and A<sub>1</sub>)**

Port Select 0 and Port Select 1. These input signals, in conjunction with the RD and WR inputs, control the selection of one of the three ports or the control word registers. They are normally connected to the least significant bits of the address bus (A<sub>0</sub> and A<sub>1</sub>).

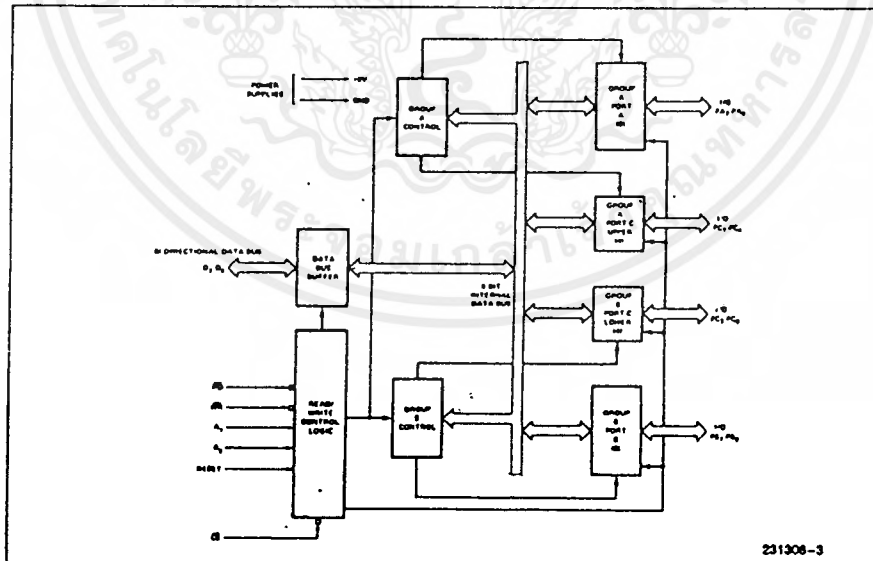


Figure 3. 8255A Block Diagram Showing Data Bus Buffer and Read/Write Control Logic Functions

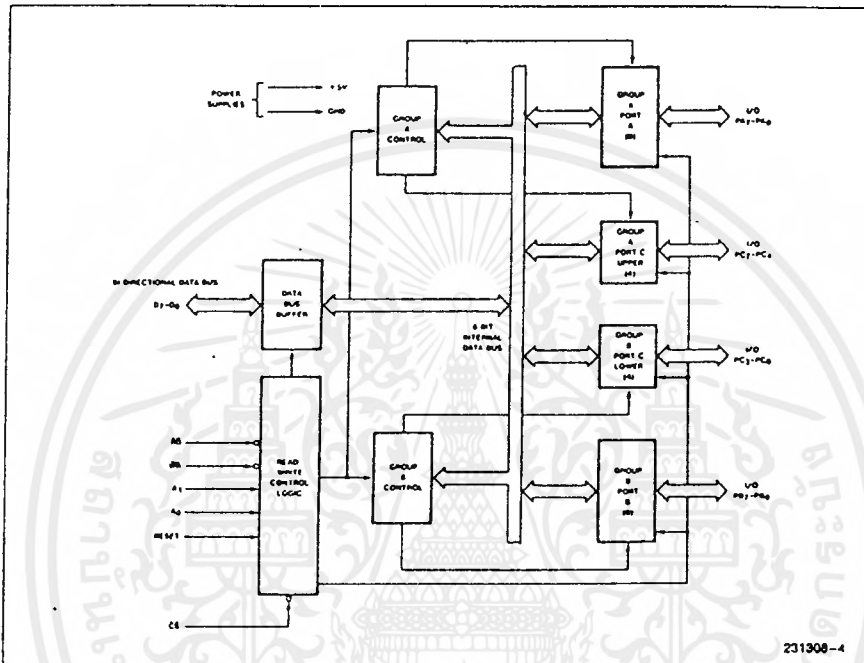
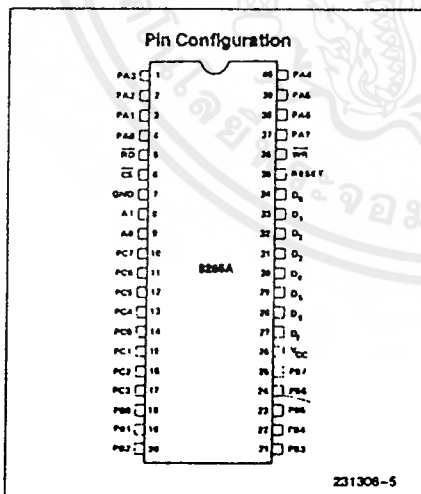


Figure 4. 8255A Block Diagram Showing Group A and Group B Control Functions



Pin Names	
D7-D0	Data Bus (Bi-Directional)
RESET	Reset Input
CS	Chip Select
RD	Read Input
WR	Write Input
A0, A1	Port Address
PA7-PA0	Port A (BIT)
PB7-PB0	Port B (BIT)
PC7-PC0	Port C (BIT)
V <sub>CC</sub>	+ 5 Volts
GND	0 Volts

**8255A OPERATIONAL DESCRIPTION**

**Mode Selection**

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 0—Basic Input/Output

Mode 1—Strobed Input/Output

Mode 2—Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode (i.e., all 24 lines will be in the high impedance state). After the reset is removed the 8255A can remain in the input mode with no additional initialization required. During the execution of the system program any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single 8255A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance; Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results. Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

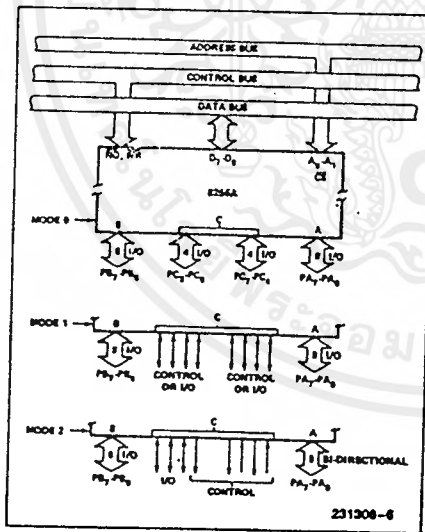


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

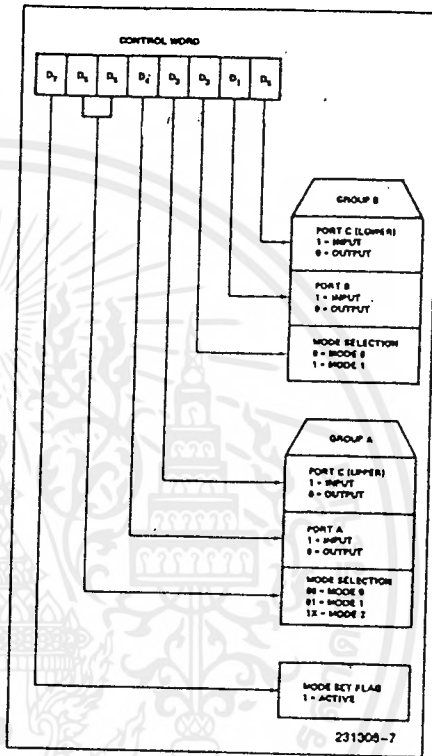


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 8255A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTPUT instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

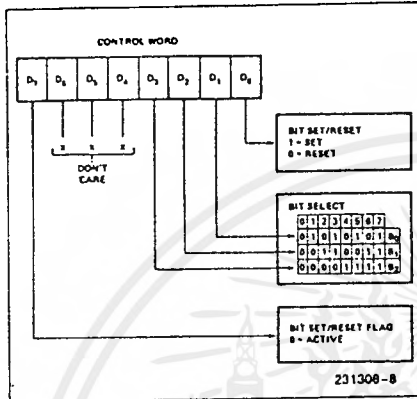


Figure 7. Bit Set/Reset Format

When Port C is being used as status/control for Port A or B, these bits can be set or reset by using the Bit Set/Reset operation just as if they were data output ports.

### Interrupt Control Functions

When the 8255A is programmed to operate in mode 1 or mode 2, control signals are provided that can be used as interrupt request inputs to the CPU. The interrupt request signals, generated from port C, can be inhibited or enabled by setting or resetting the associated INTE flip-flop, using the bit set/reset function of port C.

This function allows the Programmer to disallow or allow a specific I/O device to interrupt the CPU without affecting any other device in the interrupt structure.

INTE flip-flop definition:

(BIT-SET)—INTE is set—Interrupt enable

(BIT-RESET)—INTE is RESET—Interrupt disable

**NOTE:**

All Mask flip-flops are automatically reset during mode selection and device Reset.

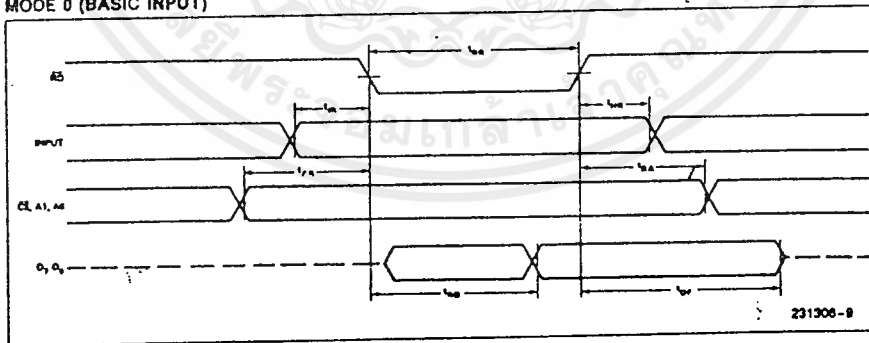
### Operating Modes

**MODE 0 (Basic Input/Output).** This functional configuration provides simple input and output operations for each of the three ports. No "handshaking" is required, data is simply written to or read from a specified port.

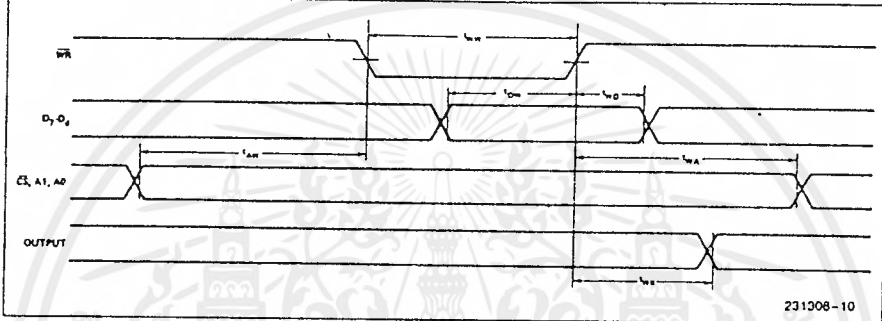
Mode 0 Basic Functional Definitions:

- Two 8-bit ports and two 4-bit ports.
- Any port can be input or output.
- Outputs are latched.
- Inputs are not latched.
- 16 different Input/Output configurations are possible in this Mode.

### MODE 0 (BASIC INPUT)



MODE 0 (BASIC OUTPUT)

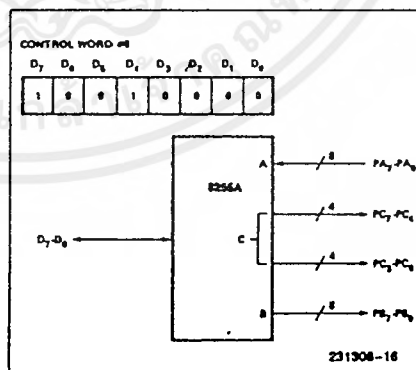
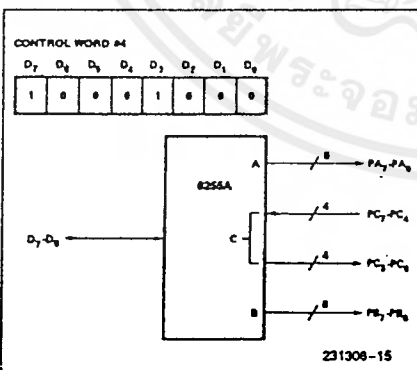
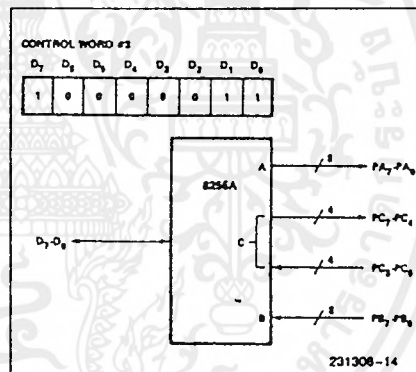
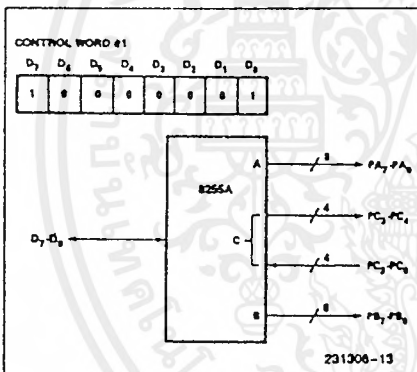
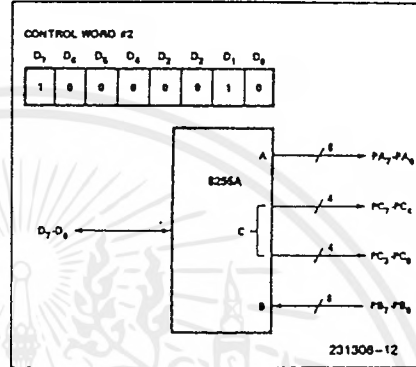
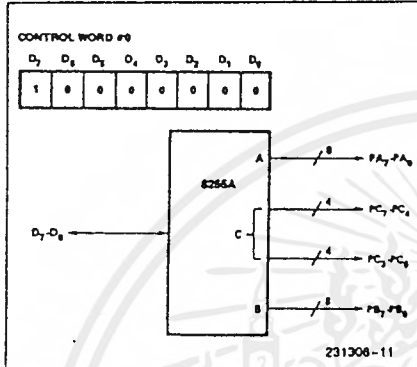


231208-10

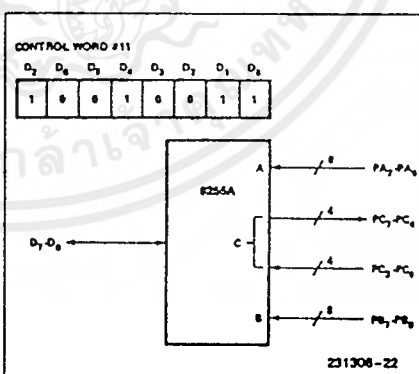
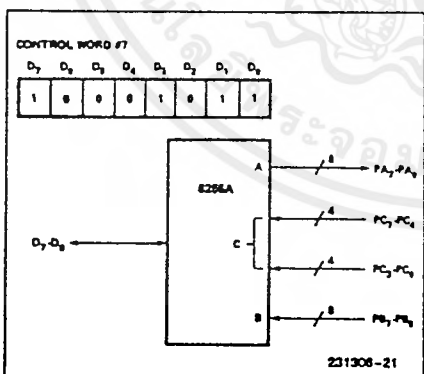
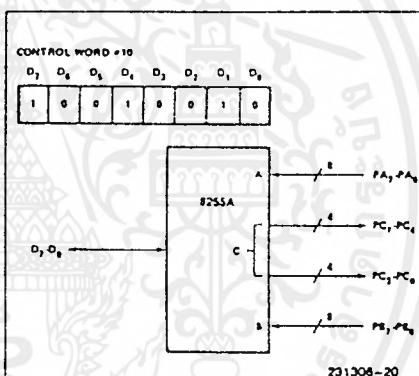
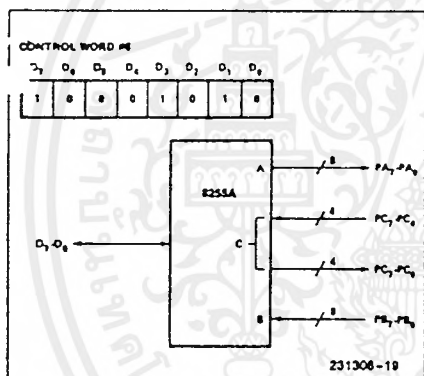
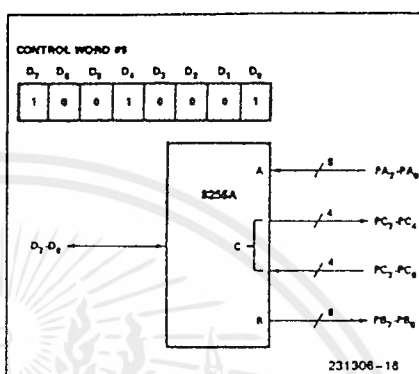
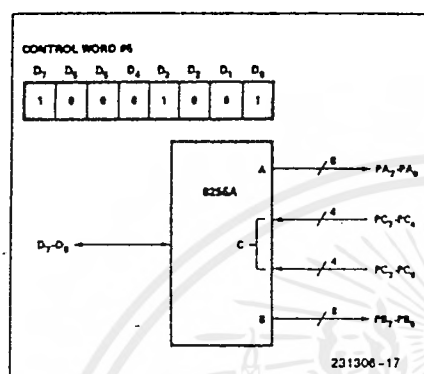
MODE 0 PORT DEFINITION

A		B		Group A			Group B		
D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	Port A	Port C (Upper)	#	Port B	Port C (Lower)	
0	0	0	0	OUTPUT	OUTPUT	0	OUTPUT	OUTPUT	
0	0	0	1	OUTPUT	OUTPUT	1	OUTPUT	INPUT	
0	0	1	0	OUTPUT	OUTPUT	2	INPUT	OUTPUT	
0	0	1	1	OUTPUT	OUTPUT	3	INPUT	INPUT	
0	1	0	0	OUTPUT	INPUT	4	OUTPUT	OUTPUT	
0	1	0	1	OUTPUT	INPUT	5	OUTPUT	INPUT	
0	1	1	0	OUTPUT	INPUT	6	INPUT	OUTPUT	
0	1	1	1	OUTPUT	INPUT	7	INPUT	INPUT	
1	0	0	0	INPUT	OUTPUT	8	OUTPUT	OUTPUT	
1	0	0	1	INPUT	OUTPUT	9	OUTPUT	INPUT	
1	0	1	0	INPUT	OUTPUT	10	INPUT	OUTPUT	
1	0	1	1	INPUT	OUTPUT	11	INPUT	INPUT	
1	1	0	0	INPUT	INPUT	12	OUTPUT	OUTPUT	
1	1	0	1	INPUT	INPUT	13	OUTPUT	INPUT	
1	1	1	0	INPUT	INPUT	14	INPUT	OUTPUT	
1	1	1	1	INPUT	INPUT	15	INPUT	INPUT	

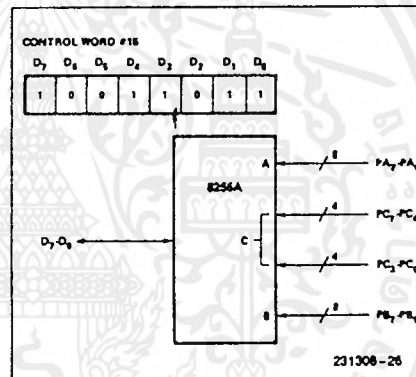
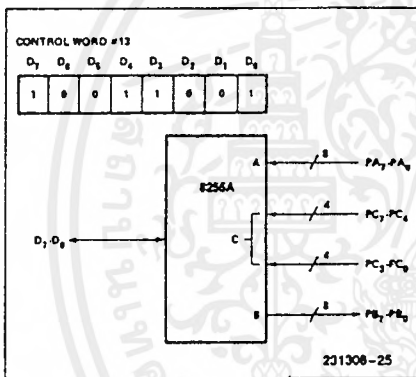
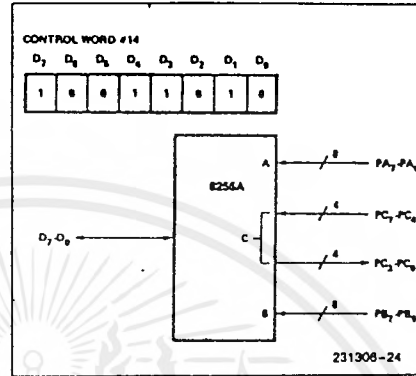
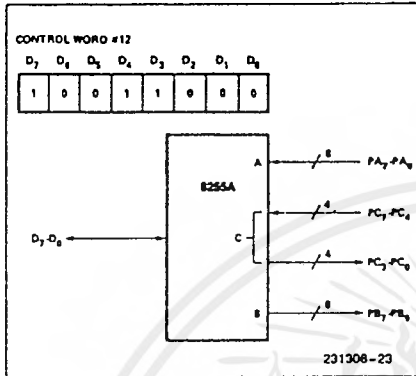
MODE CONFIGURATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Operating Modes**

**MODE 1 (Strobed Input/Output).** This functional configuration provides a means for transferring I/O data to or from a specified port in conjunction with strobes or "handshaking" signals. In mode 1, port A and port B use the lines on port C to generate or accept these "handshaking" signals.

Mode 1 Basic Functional Definitions:

- Two Groups (Group A and Group B)
- Each group contains one 8-bit data port and one 4-bit control/data port.
- The 8-bit data port can be either input or output. Both inputs and outputs are latched.
- The 4-bit port is used for control and status of the 8-bit data port.

**Input Control Signal Definition**

**STB (Strobe Input).** A "low" on this input loads data into the input latch.

**IBF (Input Buffer Full F/F)**

A "high" on this output indicates that the data has been loaded into the input latch; in essence, an acknowledgement. IBF is set by STB input being low and is reset by the rising edge of the RD input.

**INTR (Interrupt Request)**

A "high" on this output can be used to interrupt the CPU when an input device is requesting service. INTR is set by the STB is a "one", IBF is a "one" and INTE is a "one". It is reset by the falling edge of RD. This procedure allows an input device to request service from the CPU by simply strobing its data into the port.

INTE A

Controlled by bit set/reset of PC<sub>4</sub>.

INTE B

Controlled by bit set/reset of PC<sub>2</sub>.

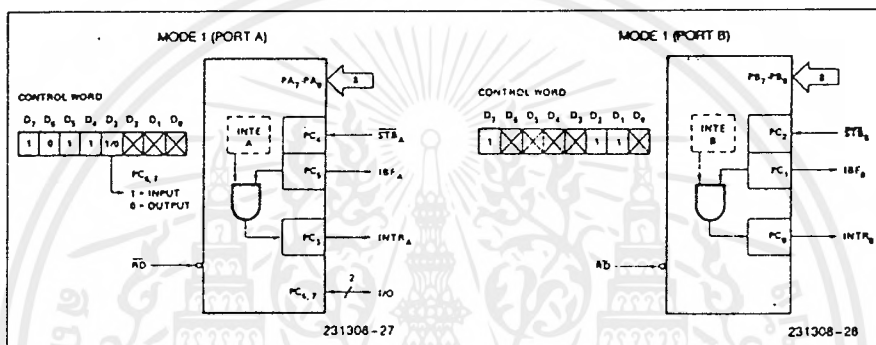


Figure 8. MODE 1 Input

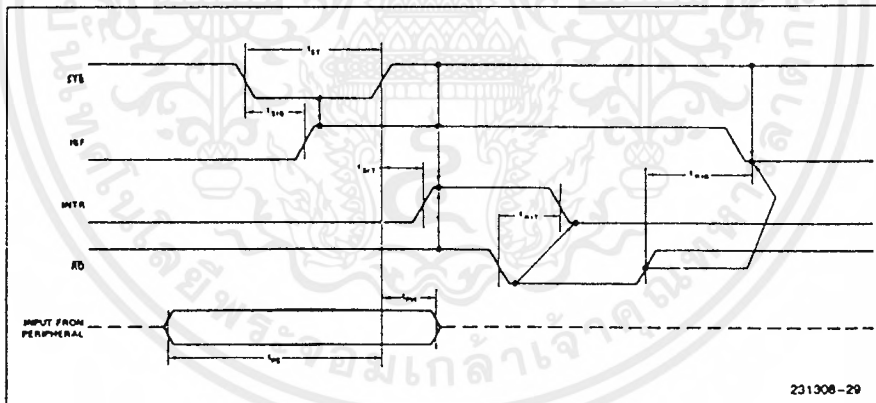


Figure 9. MODE 1 (Strobed Input)

**Output Control Signal Definition**

**$\overline{OBF}$  (Output Buffer Full F/F).** The  $\overline{OBF}$  output will go "low" to indicate that the CPU has written data out to the specified port. The  $\overline{OBF}$  F/F will be set by the rising edge of the  $\overline{WR}$  input and reset by  $\overline{ACK}$  input being low.

**$\overline{ACK}$  (Acknowledge Input).** A "low" on this input informs the 8255A that the data from port A or port B has been accepted. In essence, a response from the peripheral device indicating that it has received the data output by the CPU.

**INTR (Interrupt Request).** A "high" on this output can be used to interrupt the CPU when an output

device has accepted data transmitted by the CPU. INTR is set when  $\overline{ACK}$  is a "one",  $\overline{OBF}$  is a "one", and INTE is a "one". It is reset by the falling edge of  $\overline{WR}$ .

**INTE A**

Controlled by bit set/reset of  $PC_6$ .

**INTE B**

Controlled by bit set/reset of  $PC_2$ .

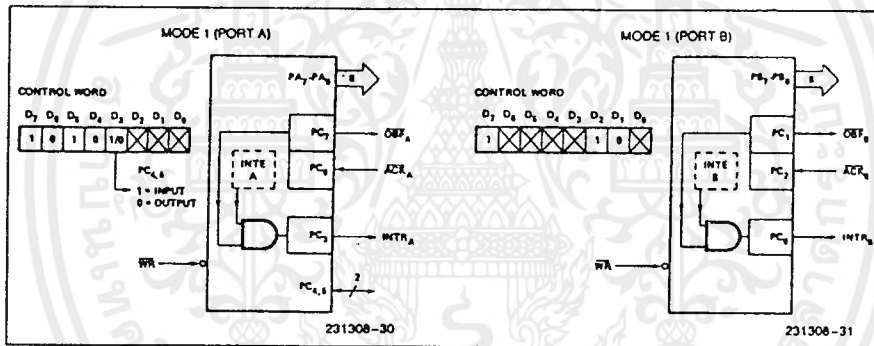


Figure 10. MODE 1 Output

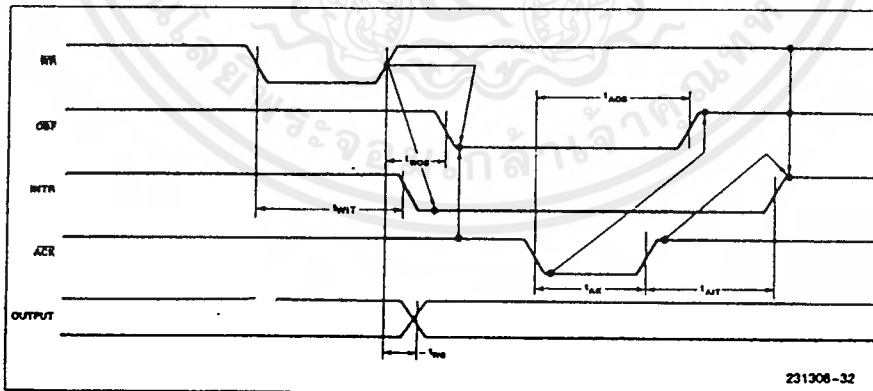


Figure 11. MODE 1 (Strobed Output)

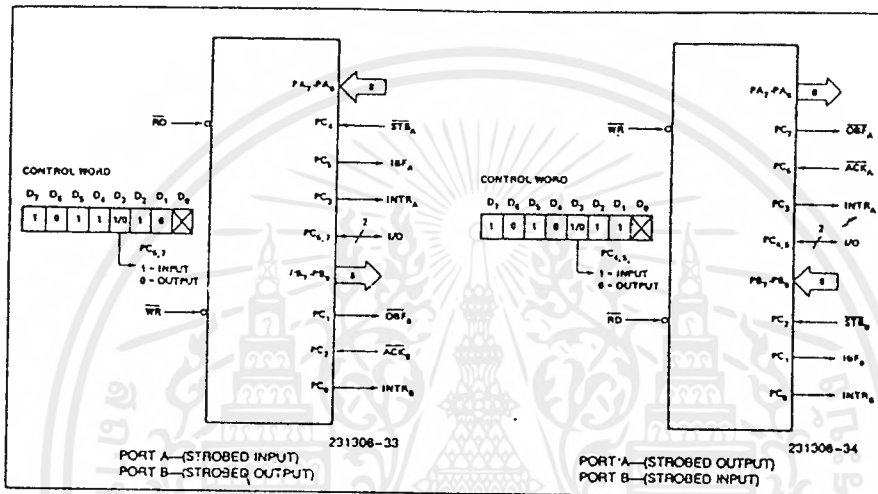


Figure 12. Combinations of MODE 1

**Combinations of MODE 1**

Port A and Port B can be individually defined as input or output in MODE 1 to support a wide variety of strobed I/O applications.

**Operating Modes**

**MODE 2 (Strobed Bidirectional Bus I/O).** This functional configuration provides a means for communicating with a peripheral device or structure on a single 8-bit bus for both transmitting and receiving data (bidirectional bus I/O). "Handshaking" signals are provided to maintain proper bus flow discipline in a similar manner to MODE 1. Interrupt generation and enable/disable functions are also available.

**MODE 2 Basic Functional Definitions:**

- Used in Group A only.
- One 8-bit, bi-directional bus Port (Port A) and a 5-bit control Port (Port C).
- Both inputs and outputs are latched.
- The 5-bit control port (Port C) is used for control and status for the 8-bit, bi-directional bus port (Port A).

**Bidirectional Bus I/O Control Signal Definition**

**INTR (Interrupt Request).** A high on this output can be used to interrupt the CPU for both input or output operations.

**Output Operations**

**OBF (Output Buffer Full).** The OBF output will go "low" to indicate that the CPU has written data to port A.

**ACK (Acknowledge).** A "low" on this input enables the tri-state output buffer of port A to send out the data. Otherwise, the output buffer will be in the high impedance state.

**INTE 1 (The INTE Flip-Flop Associated with OBF).** Controlled by bit set/reset of PC<sub>6</sub>.

**Input Operations**

**STB (Strobe Input).** A "low" on this input loads data into the input latch.

IBF (Input Buffer Full F/F). A "high" on this output indicates that data has been loaded into the input latch.

INTE 2 (The INTE Flip-Flop Associated with IBF). Controlled by bit set/reset of PC<sub>4</sub>.

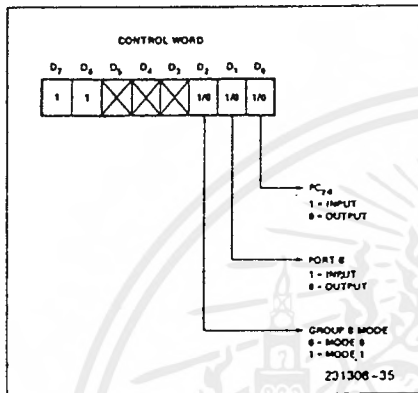


Figure 13. MODE Control Word

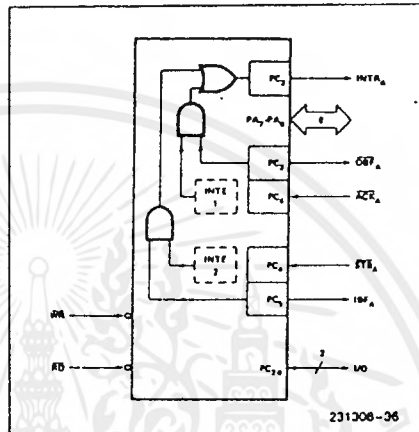


Figure 14. MODE 2

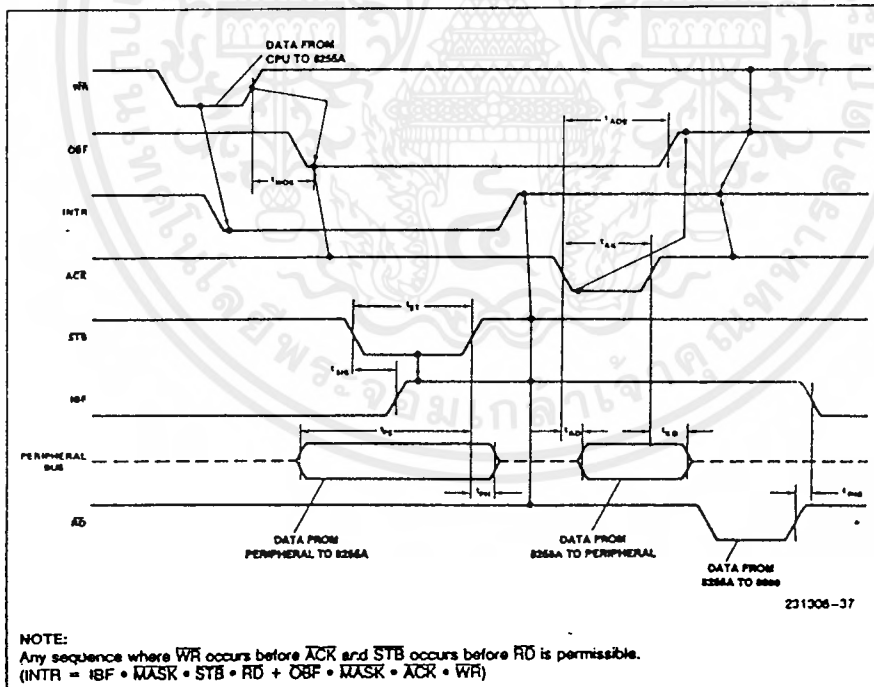
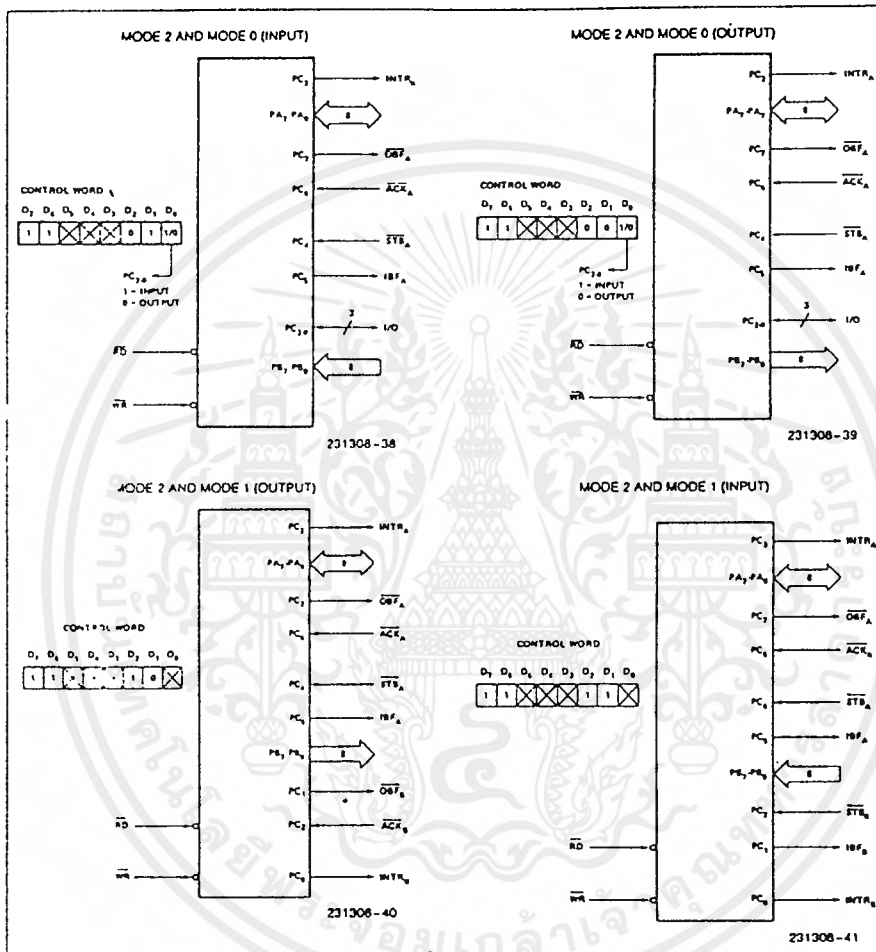


Figure 15. MODE 2 (Bidirectional)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Mode Definition Summary**

	MODE 0		MODE 1		MODE 2
	IN	OUT	IN	OUT	GROUP A ONLY
PA <sub>0</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>1</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>2</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>3</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>4</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>5</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>6</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA <sub>7</sub>	IN	OUT	IN	OUT	↔
PB <sub>0</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>1</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>2</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>3</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>4</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>5</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>6</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PB <sub>7</sub>	IN	OUT	IN	OUT	—
PC <sub>0</sub>	IN	OUT	INTR <sub>B</sub>	INTR <sub>B</sub>	I/O
PC <sub>1</sub>	IN	OUT	IBF <sub>B</sub>	ØBF <sub>B</sub>	I/O
PC <sub>2</sub>	IN	OUT	STB <sub>B</sub>	ACK <sub>B</sub>	I/O
PC <sub>3</sub>	IN	OUT	INTR <sub>A</sub>	INTR <sub>A</sub>	INTR <sub>A</sub>
PC <sub>4</sub>	IN	OUT	STB <sub>A</sub>	I/O	STB <sub>A</sub>
PC <sub>5</sub>	IN	OUT	IBF <sub>A</sub>	I/O	IBF <sub>A</sub>
PC <sub>6</sub>	IN	OUT	I/O	ACK <sub>A</sub>	ACK <sub>A</sub>
PC <sub>7</sub>	IN	OUT	I/O	ØBF <sub>A</sub>	ØBF <sub>A</sub>

} MODE 0  
OR MODE 1  
ONLY

**Special Mode Combination Considerations**

There are several combinations of modes when not all of the bits in Port C are used for control or status. The remaining bits can be used as follows:

If Programmed as Inputs—

All input lines can be accessed during a normal Port C read.

If Programmed as Outputs—

Bits in C upper (PC<sub>7</sub>–PC<sub>4</sub>) must be individually accessed using the bit set/reset function.

Bits in C lower (PC<sub>3</sub>–PC<sub>0</sub>) can be accessed using the bit set/reset function or accessed as a three-some by writing into Port C.

**Source Current Capability on Port B and Port C**

Any set of eight output buffers, selected randomly from Ports B and C can source 1 mA at 1.5 volts.

This feature allows the 8255 to directly drive Darlington type drivers and high-voltage displays that require such source current.

**Reading Port C Status**

In Mode 0, Port C transfers data to or from the peripheral device. When the 8255 is programmed to function in Modes 1 or 2, Port C generates or accepts "hand-shaking" signals with the peripheral device. Reading the contents of Port C allows the programmer to test or verify the "status" of each peripheral device and change the program flow accordingly.

There is no special instruction to read the status information from Port C. A normal read operation of Port C is executed to perform this function.

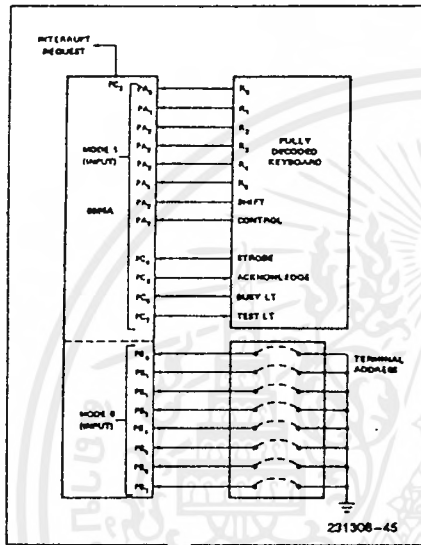


Figure 21. Keyboard and Terminal Address Interface

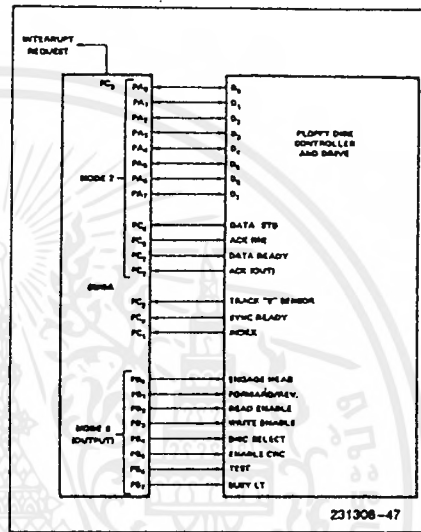


Figure 23. Basic Floppy Disk Interface

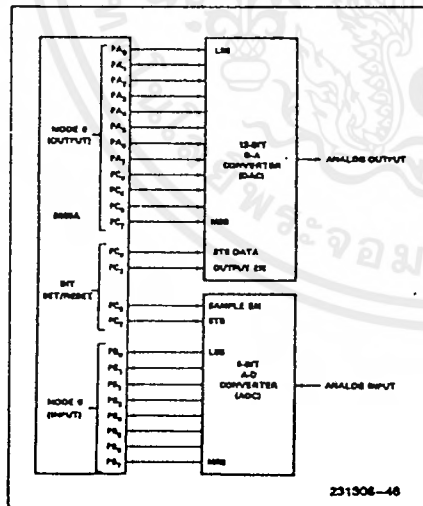


Figure 22. Digital to Analog, Analog to Digital

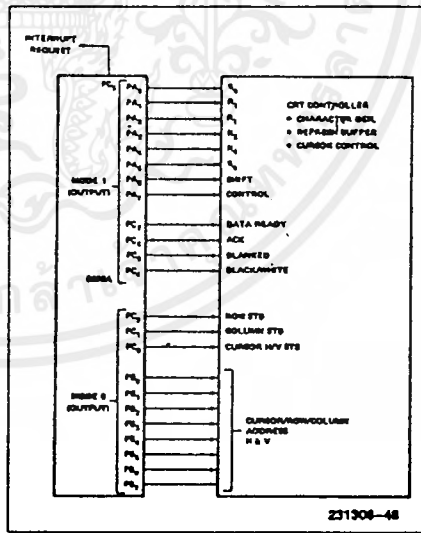


Figure 24. Basic CRT Controller Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74LS138, S138

## Decoders/Demultiplexers

1-Of-8 Decoder/Demultiplexer  
Product Specification

Logic Products

### FEATURES

- Demultiplexing capability
- Multiple input enable for easy expansion
- Ideal for memory chip select decoding
- Direct replacement for Intel 3205

### DESCRIPTION

The '138 decoder accepts three binary weighted inputs ( $A_0, A_1, A_2$ ) and when enabled, provides eight mutually exclusive, active LOW outputs ( $\bar{O}_0 - \bar{O}_7$ ). The device features three Enable inputs: two active LOW ( $\bar{E}_1, \bar{E}_2$ ) and one active HIGH ( $E_3$ ). Every output will be HIGH unless  $E_1$  and  $E_2$  are LOW and  $E_3$  is HIGH. This multiple enable function allows easy parallel expansion of the device to a 1-of-32 (5 lines to 32 lines) decoder with just four '138s and one inverter.

The device can be used as an eight output demultiplexer by using one of the active LOW Enable inputs as the Data input and the remaining Enable inputs as strobes. Enable inputs not used must be permanently tied to their appropriate active HIGH or active LOW state.

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74LS138	20ns	6.3mA
74S138	7ns	49mA

### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74S138N, N74LS138N
Plastic SO	N74LS138D, N74S138D

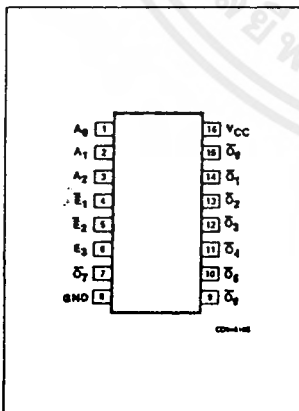
NOTE:  
For information regarding devices processed to Military Specifications see the Signetics Military Products Data Manual.

### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

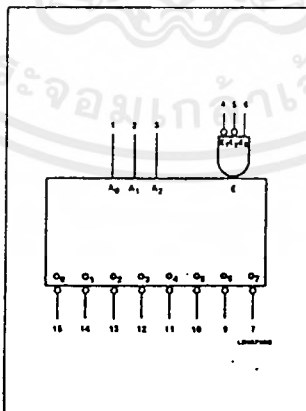
PINS	DESCRIPTION	74S	74LS
All	Inputs	15Sul	1LSul
All	Outputs	10Sul	10LSul

NOTE:  
Where a 74S unit load (Sul) is  $50\mu A I_{OL}$  and  $-2.0mA I_{OH}$ , and a 74LS unit load (LSul) is  $20\mu A I_{OL}$  and  $-0.4mA I_{OH}$ .

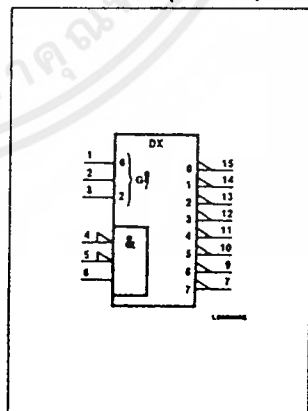
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL

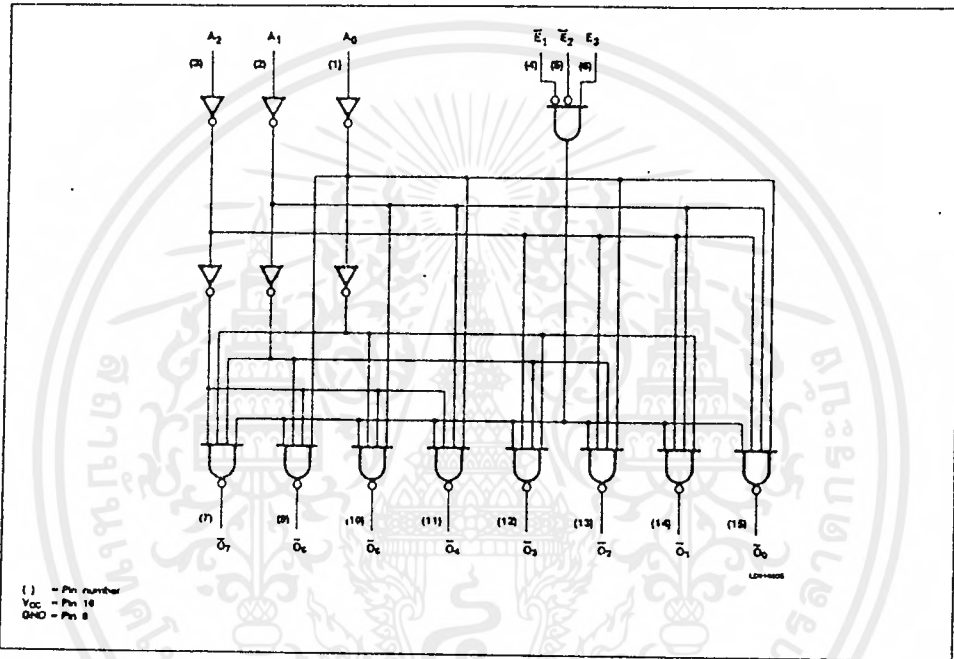


### LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



74LS138, S138

LOGIC DIAGRAM



FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS										
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	0	1	2	3	4	5	6	7
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	L	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	L	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	L	L

H = HIGH voltage level  
 L = LOW voltage level  
 X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74LS245 Transceiver

Octal Transceiver (3-State)  
Product Specification

## Logic Products

### FEATURES

- Octal bidirectional bus interface
- 3-State buffer outputs
- PNP Inputs for reduced loading
- Hysteresis on all Data Inputs

### DESCRIPTION

The 74LS245 is an octal transceiver featuring non-inverting 3-State bus compatible outputs in both send and receive directions. The outputs are all capable of sinking 24mA and sourcing up to 15mA, producing very good capacitive drive characteristics. The device features a Chip Enable (CE) input for easy cascading and a Send/Receive (S/R) input for direction control. All data inputs have hysteresis built in to minimize AC noise effects.

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74LS245	8ns	58mA

### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74LS245N
Plastic SOL-20	N74LS245D

#### NOTE:

For information regarding devices processed to Military Specifications, see the Signetics Military Products Data Manual.

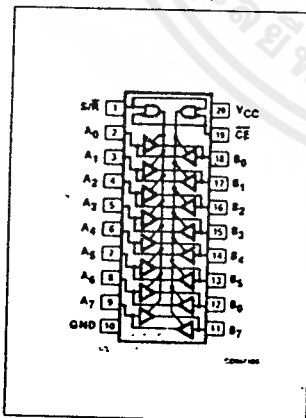
### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

PINS	DESCRIPTION	74LS
All	Inputs	1LSuI
All	Outputs	30LSuI

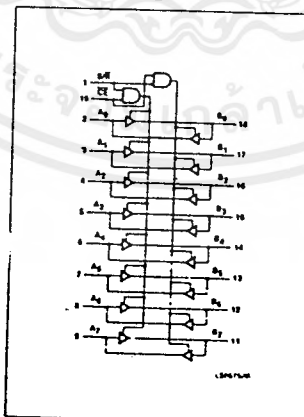
#### NOTE:

Where a 74LS unit load (LSuI) is  $20\mu A I_{IH}$  and  $-0.4mA I_{OL}$ .

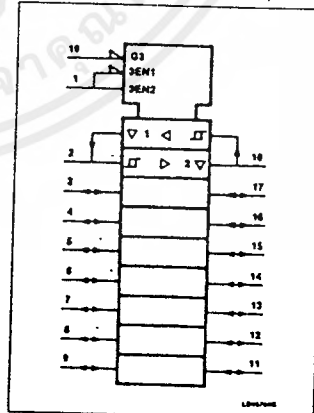
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL



### LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



# 74LS373, 74LS374, S373, S374

## Latches/Flip-Flops

Logic Products

'373 Octal Transparent Latch With 3-State Outputs  
'374 Octal D Flip-Flop With 3-State Outputs  
Product Specification

### FEATURES

- 8-bit transparent latch — '373
- 8-bit positive, edge-triggered register — '374
- 3-State output buffers
- Common 3-State Output Enable
- Independent register and 3-State buffer operation

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74LS373	19ns	24mA
74S373	10ns	105mA
74LS374	19ns	27mA
74S374	8ns	116mA

### DESCRIPTION

The '373 is an octal transparent latch coupled to eight 3-State output buffers. The two sections of the device are controlled independently by Latch Enable (E) and Output Enable ( $\bar{O}E$ ) control gates.

### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP -	N74LS373N, N74S373N, N74LS374N, N74S374N
Plastic SOL-20	N74LS373D, N74S373D, N74LS374D, N74S374D

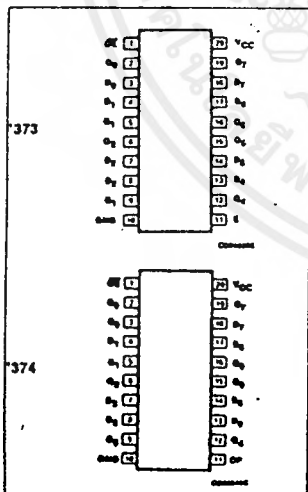
NOTE:  
For information regarding devices processed to Military Specifications, see the Signetics Military Products Data Manual.

### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

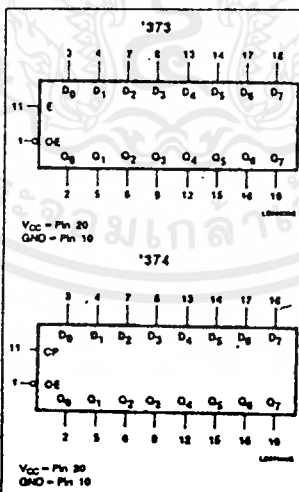
PINS	DESCRIPTION	74S	74LS
All	Inputs	1SuI	1LSuI
All	Outputs	10SuI	30LSuI

NOTE:  
Where a 74S unit load (SuI) is  $50\mu A$   $I_{HI}$  and  $-2.0mA$   $I_{LI}$ , and a 74LS unit load (LSuI) is  $20\mu A$   $I_{HI}$  and  $-0.4mA$   $I_{LI}$ .

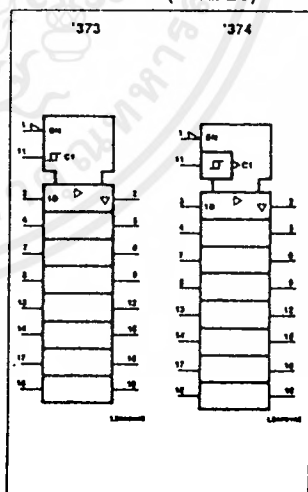
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL



### LOGIC SYMBOL (IEEE/EC)



Latches/Flip-Flops

74LS373, 74LS374, S373, S374

The data on the D inputs are transferred to the latch outputs when the Latch Enable (E) input is HIGH. The latch remains transparent to the data inputs while E is HIGH, and stores the data present one set-up time before the HIGH-to-LOW enable transition. The enable gate has hysteresis built in to help minimize problems that signal and ground noise can cause on the latching operation.

The 3-State output buffers are designed to drive heavily loaded 3-State buses, MOS memories, or MOS microprocessors. The active LOW Output Enable ( $\overline{OE}$ ) controls all eight 3-State buffers independent of the latch

operation. When  $\overline{OE}$  is LOW, the latched or transparent data appears at the outputs. When  $\overline{OE}$  is HIGH, the outputs are in the HIGH impedance "off" state, which means they will neither drive nor load the bus.

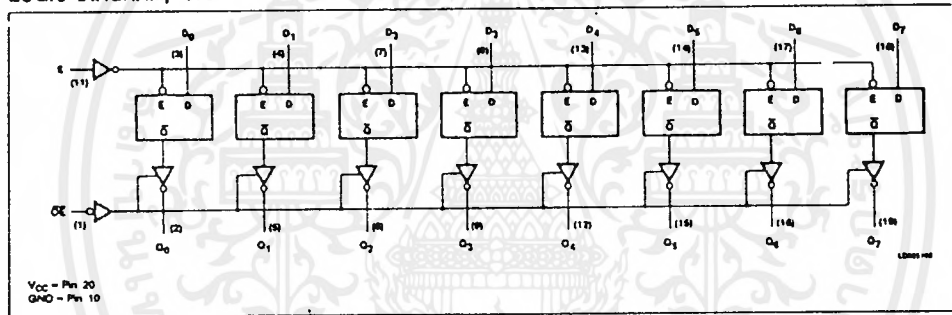
The '374 is an 8-bit, edge-triggered register coupled to eight 3-State output buffers. The two sections of the device are controlled independently by the Clock (CP) and Output Enable ( $\overline{OE}$ ) control gates.

The register is fully edge triggered. The state of each D input, one set-up time before the LOW-to-HIGH clock transition, is transferred

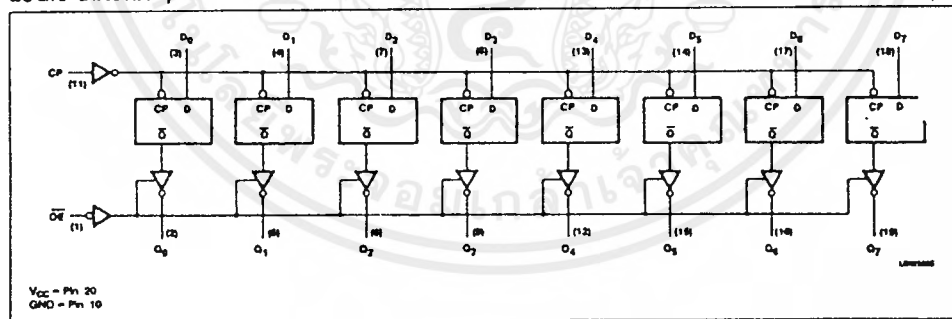
to the corresponding flip-flop's Q output. The clock buffer has hysteresis built in to help minimize problems that signal and ground noise can cause on the clocking operation.

The 3-State output buffers are designed to drive heavily loaded 3-State buses, MOS memories, or MOS microprocessors. The active LOW Output Enable ( $\overline{OE}$ ) controls all eight 3-State buffers independent of the register operation. When  $\overline{OE}$  is LOW, the data in the register appears at the outputs. When  $\overline{OE}$  is HIGH, the outputs are in the HIGH impedance "off" state, which means they will neither drive nor load the bus.

LOGIC DIAGRAM, '373



LOGIC DIAGRAM, '374



MODE SELECT — FUNCTION TABLE '373

OPERATING MODES	INPUTS			INTERNAL REGISTER	OUTPUTS
	$\overline{OE}$	E	$D_n$		$Q_0 - Q_7$
Enable and read register	L	H	L	L	L
	L	H	H	H	H
Latch and read register	L	L	l	L	L
	L	L	h	H	H
Latch register and disable outputs	H	L	l	L	(Z)
	H	L	h	H	(Z)