



ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ปีการศึกษา 2537 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่ และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. กุณทีรา กวักเพชรย์ รหัส 34101027
2. ฤดี รังสฤษฏีศรี รหัส 34105292
3. วิบูลย์ มาสุจันทร์ รหัส 34106331



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ ธนิตย์ ตริสุวรรณวัฒน์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

## Distributed Control System

โดย กุณทีรา กวักเพชรย์

ฤดี รัชตฤษฏ์ศรี

วิบูลย์ มาสุจันท์

ผศ. ธนิตย์ ตริสุวรรณวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

### บทคัดย่อ

ระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน สามารถใช้ในการควบคุมแบบต่างๆ นอกจากรูปแบบการควบคุมแบบง่ายๆที่ใช้หลักการควบคุมแบบป้อนกลับแล้ว ยังควบคุมกระบวนการที่มีรูปแบบการควบคุมที่ซับซ้อนได้อีกด้วย อย่างเช่นการควบคุมแบบใช้ตัวควบคุมหลักและรอง , การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้าร่วมกับแบบป้อนกลับ , การควบคุมแบบสัดส่วน เป็นต้น รวมทั้งประกอบด้วยฟังก์ชันที่สามารถจำลองกระบวนการต่างๆได้ ทำให้เข้าใจและทดลองปรับแต่งกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น

### ABSTRACT

Distributed Control System is able to control simple processes operated with feedback control. In addition , it also uses to control complex processes by means of Cascade Control , Feedforward - feedback Control , Ratio Control , etc.

Moreover , this system is composed of Function Units which can simulate the characteristics of processes. Consequently , we can make easily for adaptation and apprehension of processes.

# สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้า
<b>PART A</b>	
<b>ฟังก์ชันการทำงานต่างๆของ Feedback Control Instrument แต่ละตัว</b>	<b>1</b>
<b>Controller</b>	<b>3</b>
- PID Controller ( PID )	3
- Blending PI Controller ( PI - BLEND )	9
- PD Controller with Manual Reset ( PD - MR )	12
- Two - Position ON - OFF Controller Unit ( ON - OFF )	13
- Time Proportional ON / OFF Controller ( PID - TP )	15
- Sampling PI Controller ( PI - HLD )	16
- Three Position ON / OFF Controller ( ONOFF - G )	18
- PID Controller with Batch Switch ( PID - BSW )	20
<b>Manual Loader Unit</b>	<b>23</b>
- Manual Loader ( MLD )	23
- Manual Loader with input Indicator ( MLD - PVI )	24
- Auto / Manual Station ( MLD - SW )	25
<b>Computing Unit</b>	<b>27</b>
- First Order Lag Unit ( LAG )	28
- First Order Lead Unit ( LD )	28
- Lead / Lag Unit ( LDLAG )	29
- Dead time Unit ( DLAY )	29
- Dead time Compensation Unit ( DLAY - C )	30
- Moving Average Unit ( AVE - M )	31
- Comutative Average Unit ( AVE - C )	35

เนื้อเรื่อง	หน้า
- Line - Segment Function Generation Unit ( FUNC )	34
- Calculation Unit ( CALCU )	35
Ratio Set Unit ( RATIO )	36
Input Indicator	38

## เกี่ยวกับโครงการ

### PART B

บทนำ	1
บทที่ 1 การปรับค่า P	4
การทดลองที่ 1 ในกระบวนการของอุณหภูมิ	8
การทดลองที่ 2 ในกระบวนการของความดัน	12
บทที่ 2 การปรับค่า PI	17
การทดลองที่ 3 ในกระบวนการของอุณหภูมิ	19
การทดลองที่ 4 ในกระบวนการของความดัน	22
บทที่ 3 การปรับค่า PID	25
การทดลองที่ 5 ในกระบวนการของอุณหภูมิ	26
การทดลองที่ 6 ในกระบวนการของความดัน	30
บทที่ 4 Cascade	33
การทดลองที่ 7 ในกระบวนการของระดับและการไหล	36

### PART C

#### วิธีการจำลองโดยใช้เครื่อง DCS

##### Interacting - Noninteracting First Order System

ทฤษฎี	1
ขั้นตอนการจำลองกระบวนการ	5

##### Ratio Control

ทฤษฎี	17
ขั้นตอนการจำลองกระบวนการ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เนื้อเรื่อง

หน้า

Feedforward Control

ทฤษฎี

24

ขั้นตอนการจำลองกระบวนการ

28

Simulated Valve

32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**PART A**  
**ฟังก์ชันการทำงานต่างๆของ Feedback Control Instrument แต่ละตัว**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ฟังก์ชันการทำงานต่างๆของ Feedback Control Instrument แต่ละตัว

ในการ set การทดลองนั้น จะต้องรู้ถึงฟังก์ชันการทำงานต่างๆของ Instrument ต่างๆภายในเครื่อง DCS นี้

ในตอนนี้จะอธิบายถึงการทำงานของ Feedback Control Instrument แต่ละตัว โดยจะแบ่งเป็นหัวข้อหลักๆ คือ

[ block diagram ของตัว Instrument ]

[ การเชื่อมต่อ input / output ] แสดงจุดเชื่อมต่อ IN, OUT, SET, SUB

[ การแปลงสัญญาณทางด้าน input / output ]

[ mode การทำงาน ]

[ alarm ]

### 1. ชนิดของข้อมูล

ตัวย่อที่ใช้แทนข้อมูลต่างๆก็มีดังนี้

PV แทนค่า Process Variable

SV แทนค่า Setpoint

MV แทนค่า Manipulated variable ( output )

โดยข้อมูลต่างๆเหล่านี้จะแสดงอยู่ใน Tuning Panel จะมีข้อสังเกตว่าค่า PV ของตัว Computation Unit ต่างๆจะเป็นผลลัพธ์ของการคำนวณที่ได้

### 2. การทำ Scale

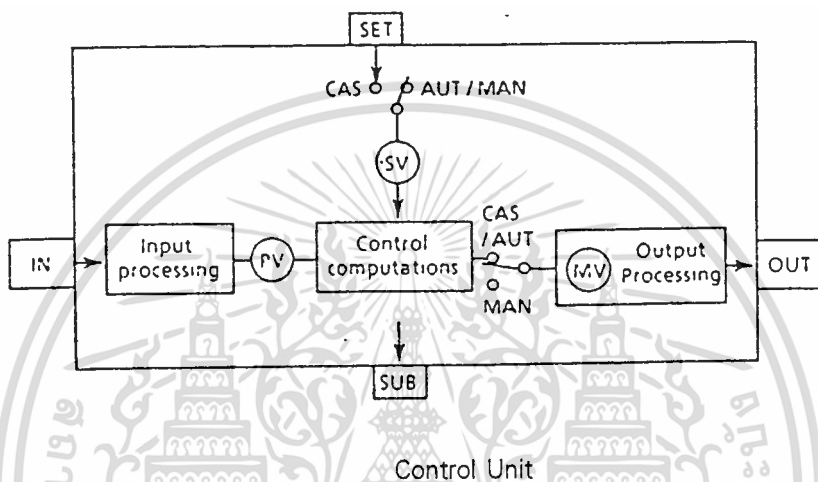
ค่า MV ของ Instrument แต่ละตัวที่แสดงอยู่นั้น จะมีหน่วยของมันที่เป็นอยู่และจะมีค่า scale มาด้วย โดยจะแสดงในรูปของ scale high limit และ scale low limit โดยค่าทั้งสองนี้จะมีค่าได้มากที่สุดได้ 4 หลัก รวมจุดทศนิยม ทั้งนี้ถ้าไม่มีการตั้งค่าเป็นอย่างอื่น ค่าทั้งสองจะเป็น 0.0 ( low limit ) และ 100.0 ( high limit )

### 3. การทำงานของ Feedback Control Instrument แต่ละตัว

ในหัวข้อนี้จะ Controller เป็นตัวอย่างในการอธิบาย

( 1 ) Block diagram

ในรูปแสดง Block diagram ของ Feedback Control Instrument โดยที่ตัวเชื่อมต่อสัญญาณ ( loop connection function ) ที่ใช้สำหรับการรับส่ง สัญญาณจะอยู่ภายนอก block และในแต่ละ block จะแสดงข้อมูลต่างๆ เช่น PV, SV, MV รวมไปถึงสถานะการทำงานต่างๆ เช่น MAN, AUT, CAS



( 2 ) คุณสมบัติทั่วไป

- สัญญาณขาเข้า ( IN terminal )

รับสัญญาณ 1-5 Vdc หรือ pulsetrain ได้จาก card ต่อไปนี้ MAC2, PAC, VM1, VM2, VM4, LCU, LCS, PM1 รวมไปถึงสัญญาณที่ส่งออกจาก Instrument ตัวอื่นๆด้วย

- ฟังก์ชันการแปลงสัญญาณขาเข้า

แสดงว่ามีฟังก์ชันการแปลงสัญญาณนี้ใช้หรือไม่

- ฟังก์ชันการตรวจสอบ alarm

แสดงว่ามีฟังก์ชันนี้ใช้หรือไม่

- ฟังก์ชันการทำ correction / calculation ( compensation )

แสดงว่ามีฟังก์ชันนี้ใช้หรือไม่

- สัญญาณขาออก ( OUT terminal )

คือ สัญญาณขาออก ( analog output ) ที่ต่อกับ I / O card หรือสัญญาณ contact output หรือที่ต่อออกไปยัง Instrument ตัวอื่นๆ โดย analog output ที่ส่งออกไป นั้นจะเป็นสัญญาณ 4 - 20 mA และ 1 - 5 Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟังก์ชันการแปลงสัญญาณขาออก

การส่งสัญญาณออกทาง SUB จะเป็นชนิด VN คือ เมื่อมีการ OUT terminal ส่งสัญญาณ ใน loop แล้วตัว SUM terminal จะสามารถที่จะให้ค่า output 1 - 5 Vdc เพื่อที่จะนำไปต่อกับ recorder ได้ โดยค่า SUB นี้ จะกำหนดให้เป็นค่าอะไรก็ได้ดังต่อไปนี้ PV, ΔPV ( process variable change ) , MV, ΔMV ( MV change )

( 3 ) การกำหนด Item พิเศษ

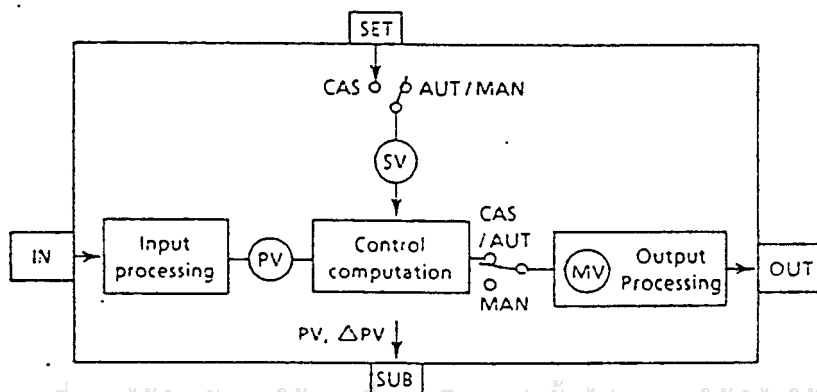
ในส่วนของ builder / maintenance function สามารถที่จะทำการสร้าง พารามิเตอร์ขึ้นมาใช้เองได้

### Controller

ตัว Controller ที่ใช้อยู่ใน μXL Process Contrl Instrument จะมีใช้อยู่ 8 แบบ คือ

- PID Controller ( PID )
- Blending PI Controller ( PI-BLEND )
- PD Controller with Manual Reset ( PD-MR )
- Two - Position ON - OFF Controller Unit ( ON-OFF )
- Time Proportional ON / OFF Controller ( PID-TP )
- Sampling PI Controller ( PI-HLD )
- Three Position ON / OFF Controller ( ONOFF-G )
- PID Controller With Batch Switch ( PID-BSW )

( 1 ) .PID Controller ( PID )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน ตัว PID Controller จะใช้ Algorithm การคำนวณ แบบ PID เพื่อใช้คำนวณค่าผลลัพธ์ที่ทำให้ PV กับ SV เท่ากันให้ได้ และจะแสดงค่าต่างๆเหมือนกับตัว PVI และค่า Output จะถูกส่งออกไปผ่าน I / O card หรือส่งให้กับ Instrument ตัวอื่นได้ และการเปลี่ยน Mode การทำงานระหว่าง Manual กับ Auto ก็จะไม่มียผลกระทบทต่อ Process แต่อย่างใด และใน Mode Auto จะมี Function Setpoint Tracking ให้ใช้ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนค่า Output อย่างกะทันหัน เมื่อมีการเปลี่ยน mode การทำงานเป็น Auto

Control Algorithm มีฟังก์ชันการควบคุมเป็นดังนี้

$$MV(t) = \frac{100}{PB} \left\{ E(t) + \frac{1}{T_I} \int E(t)dt + T_D \frac{dE(t)}{dt} \right\} \quad (1)$$

ในส่วนของ MUX Controller จะใช้สมการด้านล่างนี้ซึ่งได้จากสมการที่ ( 1 ) โดยการแปลงค่าและการ differantialing สมการ ( 1 )

$$En \text{ algorithm: } \Delta MV_n = \frac{100}{PB} \left\{ \Delta E_n + \frac{\Delta T}{T_I} E_n + \frac{T_D}{\Delta T} \Delta(\Delta PV_n) \right\} \quad (2)$$

$$Mn \text{ algorithm: } \Delta MV_n = \frac{100}{PB} \left\{ \Delta PV_n + \frac{\Delta T}{T_I} E_n + \frac{T_D}{\Delta T} \Delta(\Delta PV_n) \right\} \quad (3)$$

$\Delta MV_n$  : ค่า output ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

$E_n = SV_n - PV_n$  : ค่า deviation ( ใน reverse action )

$\Delta E_n = E_n - E_{n-1}$  : ค่า derivative ที่เปลี่ยนไป

$\Delta PV_n$  : ค่าการเปลี่ยนแปลงของ input

$\Delta T$  : ค่าเวลาในการควบคุม ( control period )

PB,  $T_I$ ,  $T_D$  : ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการควบคุมแบบ PD

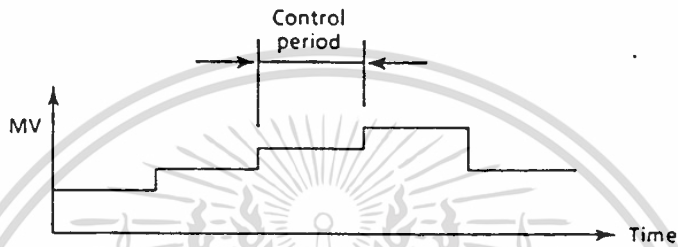
( proportional band , integral time , derivative time ตามลำดับ )

การที่สมการที่ใช้ไม่เหมือนกับสมการพื้นฐาน เพราะว่าตัว MFCN นั้น จะทำการคำนวณแบบช่วง คือ ค่าต่างๆจะอยู่ในรูปของอัตราการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการคำนวณหาค่า  $\Delta MV_n$  หรือค่า Output ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แล้วนำค่าที่ได้นี้ไปทำการบวกหรือลบกับ ค่าเดิมที่มีอยู่ และถ้าตัว PID อยู่ใน mode Cascade จะใช้สมการที่ ( 2 ) ในการคำนวณ และถ้าอยู่ใน mode

Auto ก็จะใช้สมการที่ ( 3 ) ในการคำนวณ ( โดยจะเห็นข้อแตกต่างว่า ในสมการที่ ( 3 ) จะไม่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Setpoint มาคำนวณใน Proportional Term เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงของ Output อย่างกะทันหัน ถ้าตัว Operator เปลี่ยน SV ขึ้นมา )

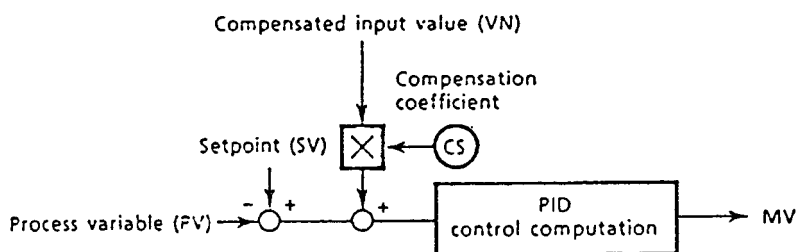
Control Period และ Integral Time ในตอนแรกเราได้กล่าวถึง Scan Period แล้ว ซึ่งก็คือ การทำงานทั้งหมดนั้น จะเกิดขึ้นในหนึ่ง Scan Period แต่การคำนวณในการ Control และการคำนวณค่า Output ใน Auto mode นั้นจะกระทำใน Control Period ดังรูป



Control Period นี้จะขึ้นอยู่กับค่า Integral Time ดังในตาราง

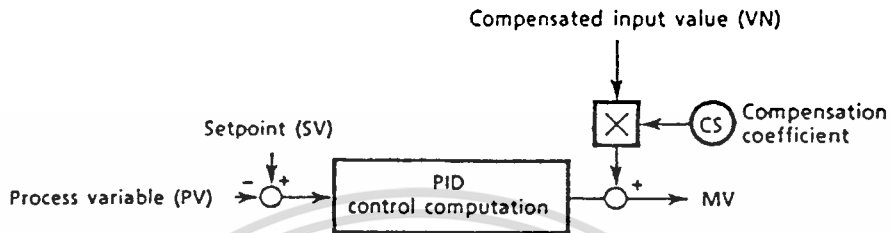
Integral Time	Control Period
1 to 31 seconds	1 second
32 to 63 seconds	2 seconds
64 to 255 seconds	4 seconds
256 to 1,023 seconds	8 seconds
1,024 to 2,047 seconds	16 seconds
2,048 to 9,999 seconds	32 seconds

Input / Output Compensation Function นี้ สามารถใช้ได้ ใน PID Control เพื่อทำการปรับแต่งค่าต่างๆสำหรับระบบที่มี Dead Time สูง โดยการใช้ Function Dead Time Compensation (DLAY - C-) ลบกับสัญญาณ Input ดังรูป



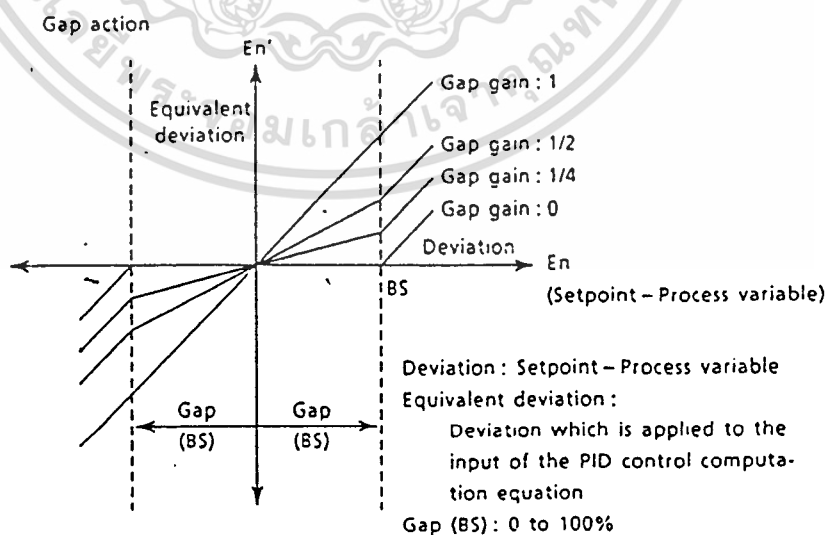
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **Figure 2.6 Input Compensation** ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนทางด้าน Output Compensation จะใช้สำหรับการนำค่าสัญญาณ Feed Forward มารวมเข้ากับ Output ในรูปของ Feed Forward Control



note : การ Compensation นั้น สามารถที่จะทำได้ทั้งที่ input หรือ ที่ Output แห่งเดียว

Gap Action จะใช้ใน pH Control เพื่อให้ระบบปรับตัวเข้าสู่ค่า Setpoint ได้เร็วขึ้น โดยเมื่อค่า deviation มีค่ามากเกินไปที่กำหนดไว้แล้ว ค่า proportional gain ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบเข้าสู่ค่า setpoint ได้เร็วขึ้น และเมื่อเข้าสู่ช่วงที่ต้องการแล้วค่า gain จะกลับมาเป็นค่าเท่าเดิมเหมือนดังในรูป



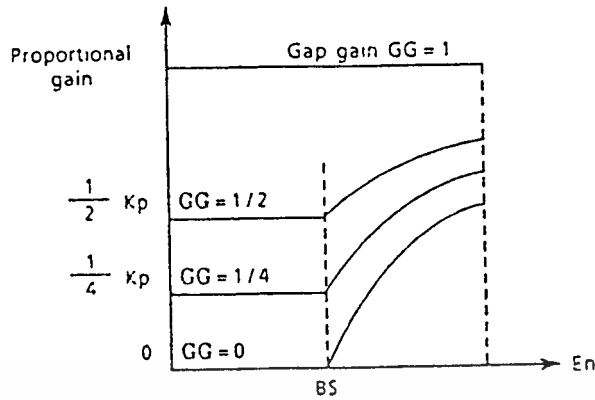
และค่า Gain ต่างๆของระบบจะเป็นดังตาราง โดยค่า gap gain ( GG ) สามารถที่จะกำหนดให้เอกสารนี้เป็น 0, 0.25, 0.5, 1 รับโดยค่าเริ่มต้นนั้นจะเป็น 1 และช่วง Bs จะตั้งได้ตั้งแต่ 0 - 100% การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้ากำหนดให้เป็น 0 ก็จะไม่เกิด gap action

Gap Gain	$ E_n  \leq BS$	$ E_n  > BS$
1/2	$\frac{1}{2} K_p$	$(1 - \frac{BS}{2 E_n }) K_p$
1/4	$\frac{1}{4} K_p$	$(1 - \frac{3BS}{4 E_n }) K_p$
0	0	$(1 - \frac{BS}{ E_n }) K_p$

Equivalent Gain for Gap Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การตั้งค่า MV สามารถที่จะทำได้จาก Sequence table หรือจะทำได้ที่ Manual mode โดยสามารถที่จะตั้งได้ตั้งแต่ 0 - 100 % Control Parameter ค่า Parameter ต่างๆ สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้จากตัว Operator Station โดยค่าต่างๆจำกัดไว้ดังนี้

Proportional Band P : 6.3 - 999.9 %

Integral Time I : 1 - 9999 sec

Derivative Time D : 0 - 9999 sec ( 0 คือไม่ใช่ Derivative Action )

*Direct / reverse Action* การเปลี่ยนแปลงของค่า Output นั้น จะเปลี่ยนแปลงตามค่า derivation หรือ PV - SV โดยเป็นไปตามเงื่อนไขของ Action

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ clamped ( output cloupling ) เมื่อมี Instrument ต่ออยู่ร่วมกันใน loop เดียวกัน โดยตัว A จะส่งสัญญาณ output ไปที่ ตัว B และเมื่อตัว B เกิดสถานะ clamped ขึ้นมาแล้วค่า output ของ A ที่ส่งมายัง B นั้น จะส่งมาในทิศทางที่จะทำให้ตัว B นั้น หลุดออกจากสถานะ clamped

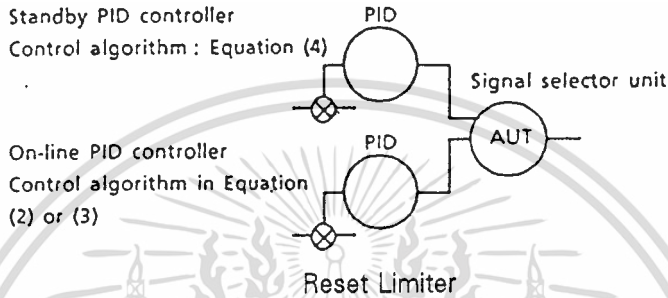
	Deviation	Manipulated Output Change
Direct action	+	↗
	-	↘
Reverse action	+	↘
	-	↗

*Reset limiter* เมื่อในระบบมีการนำตัว signal selector มาใช้เป็นตัวเลือกสัญญาณ output ของ Controller 2 ตัวขึ้นไป แล้ว ตัว Controller ที่ทำหน้าที่ standby อยู่จะใช้สมการในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

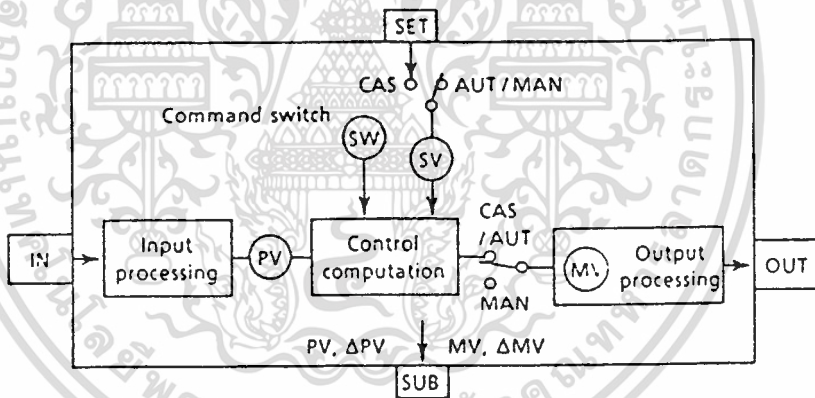


การควบคุมเป็นดังสมการที่ ( 4 ) และการทำงานนี้จะตัดการทำงานมายัง Controller ตัวที่ standby อยู่เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ อันเกิดจากค่า PV ที่รับเข้ามาเพื่อความปลอดภัย

$$\Delta MV = \frac{100}{PB} \left\{ E_n + \frac{D}{\Delta T} \Delta M_n \right\} \quad (4)$$



( 2 ) Blending PI Controller ( PI-BLEND )



Blending PI Controller ( PI-BLEND )

การทำงาน PI - BLEND นี้ Design มาสำหรับระบบที่มีการเปลี่ยน Output ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของ PV คือ จะมีการสะสมของ DV ไว้ตลอด โดยจะทำ PI Control จนกว่าค่า DV ที่สะสมไว้จะเป็น 0 จึงเหมาะสมสำหรับระบบที่จะทำการควบคุมอัตราการไหลให้คงที่สม่ำเสมอ  
Control Algorithm ใช้สมการดังนี้

$$\Delta MV_n = \frac{100}{8PB} \left\{ E_n \cdot \Delta T + \frac{\Delta T}{T_I} \Sigma E_n \right\} + X_n$$

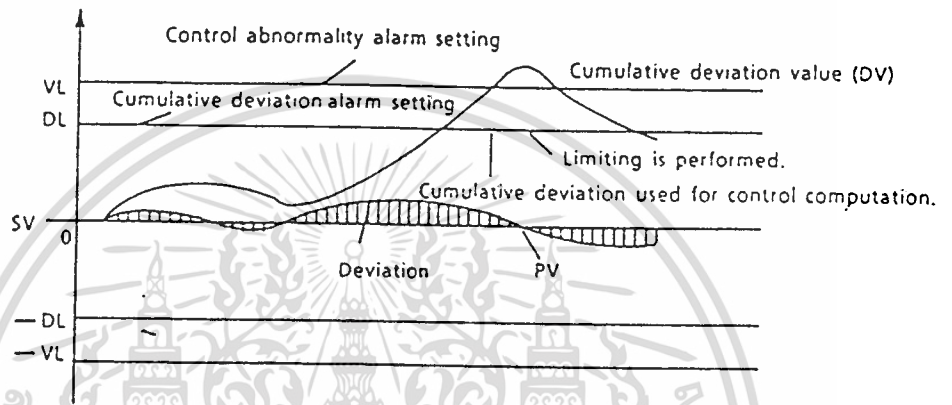
$E_n = SV_n - PV_n$  : ค่า deviation ( ใน reverse action )

$\Delta T$  : ค่าเวลาในการควบคุม ( control period )

$X_n$  : ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เมื่อมีการเปลี่ยน mode การทำงาน จาก

### MAN ไปเป็น AUT เพื่อให้เกิดการกระตุ้นของสัญญาณน้อยที่สุด

การกำหนด Alarm จะสามารถกำหนด Alarm ได้อีกแบบ คือ Alarm เมื่อค่า deviation ที่สะสมไว้เกินค่าที่กำหนดไว้ดังในรูป

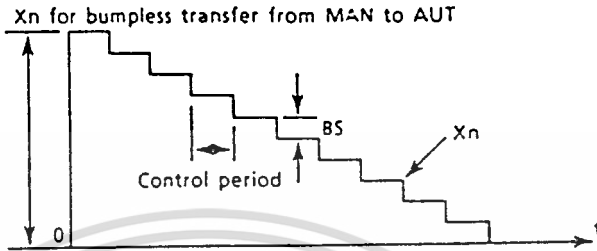


#### Alarm Action

- deviation alarm จะเกิด alarm เมื่อค่า deviation ที่สะสมไว้เกิดมีค่ามากเกินไปที่กำหนดไว้ ( DL )
- control abnormal alarm จะเป็น alarm ส่วนที่เกินค่า deviation alarm ไปแล้ว คือ เมื่อระบบจะไม่สามารถทำการควบคุมอยู่ ( VL )

**Bumpless Transfer** เมื่อมีการเปลี่ยน mode การทำงานจาก MAN ไปเป็น AUT แล้วจะเห็นว่าในสมการการควบคุมจะมีค่า  $X_n$  อยู่ซึ่งค่า  $X_n$  นี้ จะไปรวมกับค่าที่คำนวณใน PID algorithm เมื่อให้ค่า  $\Delta MV$  มีค่าเป็น 0 คือ ค่า output ที่ส่งออกไปเมื่อมีการเปลี่ยน mode การทำงานจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหัน

เมื่อมีการเปลี่ยนไปเป็นแล้วนั้นค่าของ  $X_n$  นี้ ก็จะค่อยๆลดลงไปจะเป็น 0 ในที่สุดโดยค่านี้จะลดลงทุกๆ control period ดังในรูป



Command Switch ใน PI - Blend จะมี switch สำหรับการตั้งค่า Derivation ที่สะสมไว้ให้เป็น 0 แต่ค่านี้จะเป็น Command Switch ใน PI - Blend จะมี Switch สำหรับการตั้งค่า Derivation ที่สะสมไว้ให้เป็น 0 แต่ค่านี้จะเป็น 0 เมื่อมีการเปลี่ยน mode เป็น Auto

Control Period และ Integral Time เหมือนใน PID Controller (PID)

Input / Output Compensation Function ไม่มีให้ใช้งาน

Gap Action ไม่มีให้ใช้งาน

การตั้งค่า MV ไม่มีให้ใช้งาน

Control ( DV ) : - 100 - 100 %

Cumulative deviation alarm setting ( DL ) : - 100 - 100 %

Control abnormality alarm setting ( VL ) : - 100 - 100 %

Cumulative deviation normalization setting ( D ) : 1 - 9999

Ramp constant : 0 - 100 %

Command switch : 0 , 1

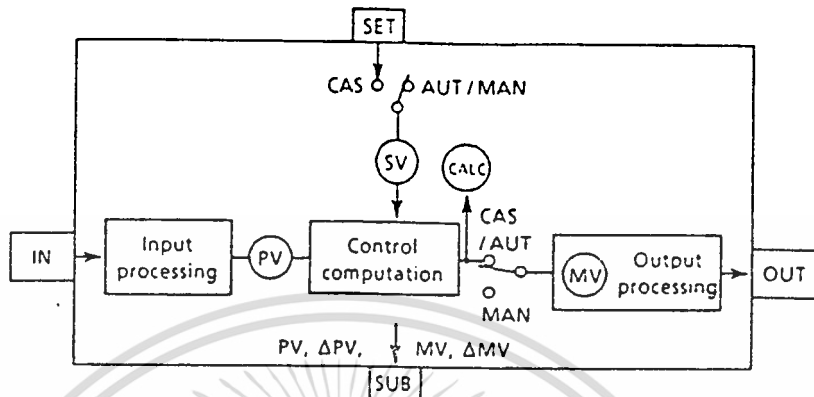
Direct / reverse Action เหมือนใน PID Controller (PID)

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ IOP ( input open ) ไม่มีให้ใช้งาน

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ clamped ( output cloupling ) เหมือนใน PID Controller

( PID )

( 3 ) PD Controller with Manual Reset ( PD-MR )



การทำงาน ในอุตสาหกรรมเคมีที่มีการ Control อุณหภูมิที่มีรูปแบบแน่นอนนั้น จะเป็นระบบที่มี Dead time สูง ฉะนั้นตัว Integral Action จะเป็นต้นเหตุให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงมีการนำเอา Controller ที่ไม่มีส่วนของ Integral term มาใช้ เพราะตัว PD Control จะไม่เกิด Overshoot และมีช่วง PB ที่แคบ และ Derivative Action จะใช้เป็น Phase Lead

Control Algorithm เป็นดังในสมการ

$$MV_n = \frac{100}{PB} \left\{ E_n + \frac{T_n}{\Delta T} \Delta PV_n \right\} + BS + BL_n$$

$$BL_n = \left( 1 - \frac{\Delta T}{T_I} \right) BL_{n-1}$$

$E_n = SV_n - PV_n$  : ค่า deviation ( ใน reverse action )

$\Delta PV_n$  : ค่าการเปลี่ยนแปลงของ input

BS : ค่า Manual reset

$BL_n$  : ค่า Balance rate

$T_I$  : ค่าเวลาของ Balance rate

$\Delta T$  : ค่าเวลาในการควบคุม ( control period )

เมื่อมีการเปลี่ยน Mode การทำงานจาก Manual ไปเป็น Auto ค่า  $BL_n$  จะมีค่าดังนี้

MV : ค่า output ในขณะที่อยู่ใน Manual mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control Period และ Integral Time มีค่าคงที่เป็น 1 วินาที

Input / Output Compensation Function เหมือนใน PID Controller ( PID )

Gap Action ไม่มีให้ใช้งาน

การตั้งค่า MV เหมือนใน PID Controller ( PID )

*Control Parameter*

Proportional Band : 6.3 - 999.9 %

Deviation time D : 0 - 9999 sec. ( 0 ไม่ใช่ action นี้ )

Manual reset ( BS ) : 0 - 100 %

Balance rate time ( I ) : 1 - 9999 sec.

Computed value ( CALC ) : 0 - 100.0 %

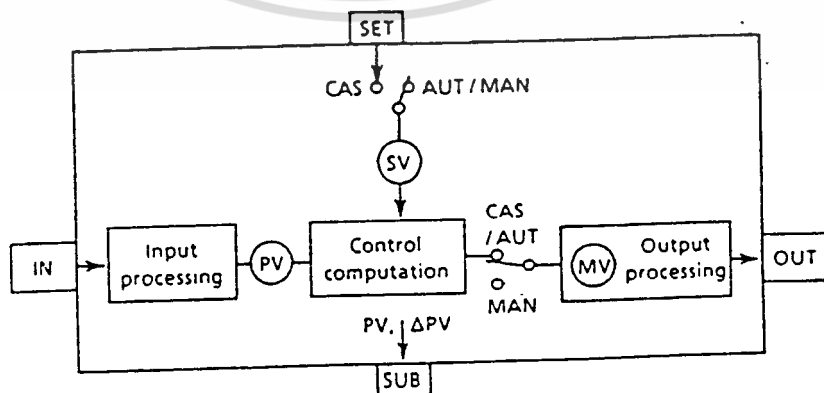
Direct / reverse Action เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ IOP ( input open ) เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ clamped ( output cloupling ) เหมือนใน PID Controller

( PID )

( 4 ) Two - Position ON - OFF Controller Unit ( ON-OFF )

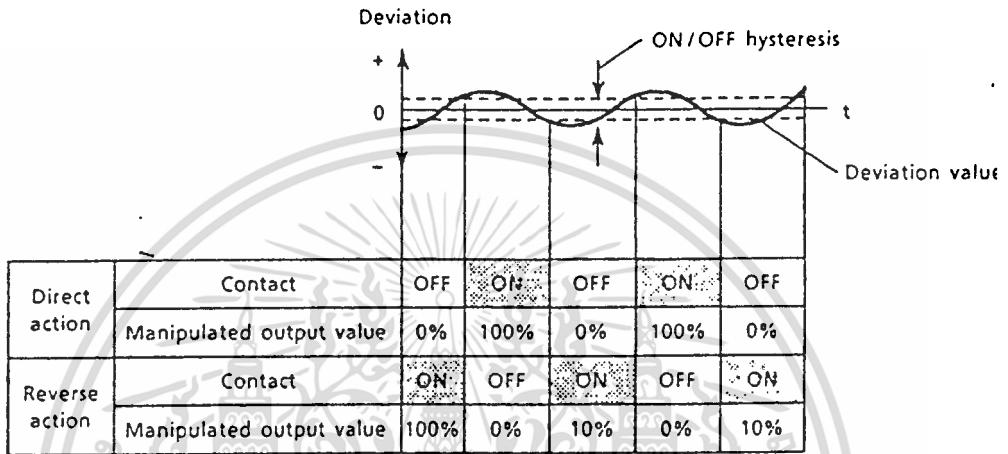


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน เป็น ON - OFF Control ทั่วๆไป โดยให้ Outout ออกที่ Contact

Control Algorithm

[ a ] Auto Mode ค่า Output จะขึ้นอยู่กับค่า Deviation (  $E_n$  ) ดังรูป



[ b ] Manual Mode ค่า Output จะ ON / Off จะอยู่ที่ตัวคนควบคุมเครื่อง

Control Period และ Integral Time มีค่าคงที่เป็น 1 วินาที

Input / Output Compensation Function ใช้ได้เฉพาะ input compensation

Gap Action ไม่มีให้ใช้งาน

การตั้งค่า MV เหมือนใน PID Controller ( PID )

Control Parameter

ON / OFF hysteresis : 1.0 % ( ค่าเริ่มต้น )

Deviation time D : 0 - 9999 sec. ( 0 ไม่ใช่ action นี้ )

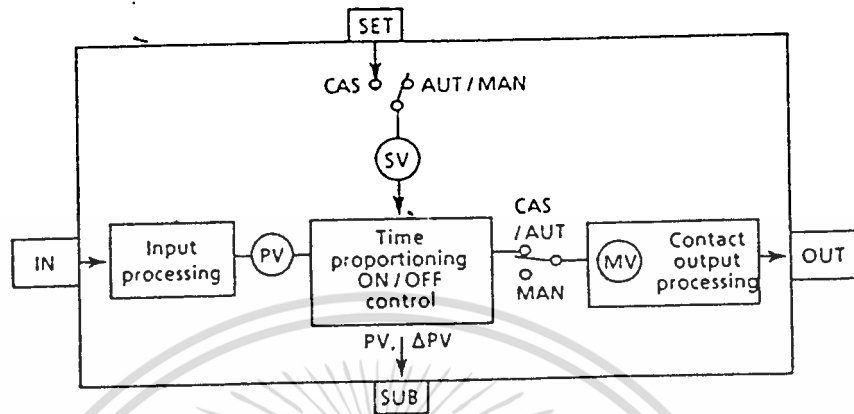
สามารถกำหนดให้เป็นได้ตั้งแต่ 0.0 - 100.0 %

Direct / reverse Action เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ IOP ( input open ) เหมือนใน PID Controller ( PID )

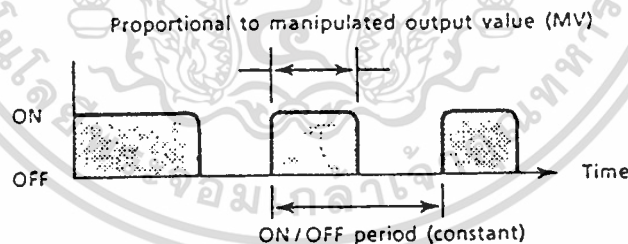
ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ clamped ( output cloupling ) ไม่มีให้ใช้งาน

( 5 ) Time Proportional ON / OFF Controller ( PID-TP )



**การทำงาน** การคำนวณค่าต่างๆเหมือนใน PID แต่ Output ที่ออกไปนั้น จะออกไปที่ Contact โดยที่เวลาในการ ON Contact จะขึ้นอยู่กับค่า Output ของ PID ที่คำนวณได้

**Control Algorithm** จากรูปจะเห็นว่าค่าเวลาในการ ON Contact จะขึ้นอยู่กับ Output ที่ 0 % และ OFF 50 % , ถ้า MV = 80 % จะได้ว่าช่วงเวลาในการ ON จะเป็น 80 % และ OFF 20 %



$$\text{ON time (sec.)} = \text{ON/OFF period (sec.)} \times \frac{\text{Output value (MV) (\%)}}{100(\%)}$$

Bumpless transfer      เหมือนใน PID Controller ( PID )

Control Period และ Integral Time      เหมือนใน PID Controller ( PID )

Input / Output Compensation Function      เหมือนใน PID Controller ( PID )

Gap Action      เหมือนใน PID Controller ( PID )

การตั้งค่า MV      เหมือนใน PID Controller ( PID )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control Parameter

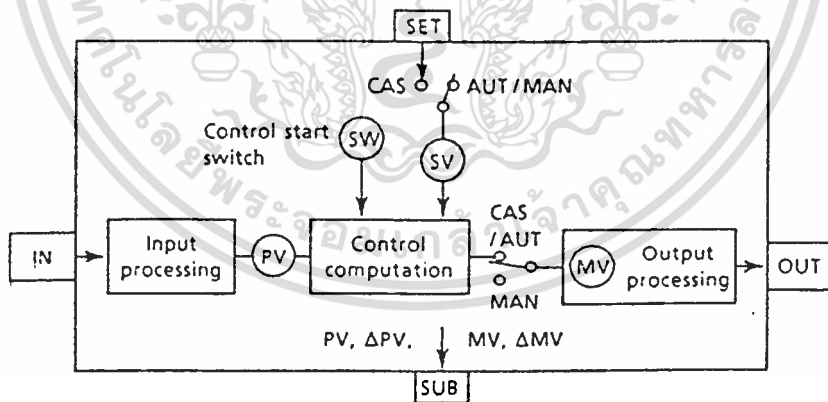
- Proportional Band P : 6.3 - 999.9 %
- Integral Time I : 1 - 9999 sec.
- Deviation time D : 0 - 9999 sec. ( 0 ไม่ใช่ action นี้ )
- Gap ( BS ) : 0 - 100 %
- ON /OFF period : 1 - 125 sec. ( โดยทั่วไปใช้ 1 )
- ON / OFF resolution : 25 msec.
- Gap gain : 0 , 0.25 , 0.5 , 1

Direct / reverse Action เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ IOP ( input open ) เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสถานะ clamped ( output cloupling ) ไม่มีให้ใช้งาน

( 6 ) Sampling PI Controller ( PI-HLD )



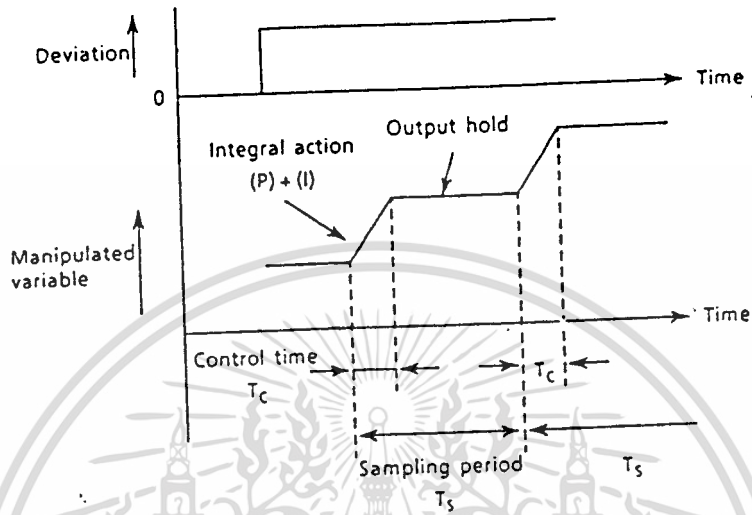
การทำงาน เหมือนๆกับใน PID แต่จะไม่เหมือนกันในด้าน Control Algorithm

Control Algorithm เป็นดังสมการ

$$Mn \text{ type: } \Delta MV_n = \frac{100}{PB} \left\{ \Delta PV_n + \frac{\Delta T}{T_I} E_n \right\} \text{ (Mn type only)}$$

ในระบบที่มี Dead Time สูงๆมันเป็นเรื่องยากมากที่จะใช้ PID Action ในการควบคุมแล้ว  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ระบบจะ stable ฉะนั้นจำเป็นจะต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีความชำนาญ โดยการเปลี่ยน Output และทำการบันทึกค่าต่างๆไว้เป็นสถิติและเป็นแนวทางในการทำงานต่อไป



แต่ใน PI Controller จะเป็นตัวทำงานต่างๆในรูปด้านบนอย่างอัตโนมัติ โดยการคำนวณจะทำการคำนวณใน Control Time ( $T_c$ ) ในแต่ละ Sampling Period และจะเปลี่ยนค่าไปใน Period ต่อไป ถ้าค่า Process Dead Time ( $L$ ) และ Delay Time Constance ( $T$ ) ค่าของ  $T_s$ ,  $T_c$  ใน PI Controller เป็นดังนี้

Sampling period :  $T_s = L + T * (2 \sim 3)$

Control time :  $T_c = T_s / 10$

Sampling period ( $T_s$ ) ก็จะเป็นตัวแทนของค่า Process Variable (PV) ต้องการในการเปลี่ยนแปลงค่าหลังจากที่มีการเปลี่ยนค่า Output

และถ้า Time Constance ( $T_n$ ) ของระบบสั้นกว่า Sampling period ( $T_s$ ) ระบบจะ Control ไม่ได้ ฉะนั้นค่า  $T_s$  จะต้องเป็นดังนี้

$$T_s \leq T_n / 5$$

Bumpless transfer เหมือนใน PID Controller (PID)

Control Period และ Integral Time เหมือนใน PID Controller (PID)

Input / Output Compensation Function เหมือนใน PID Controller (PID)

Gap Action                    เหมือนใน PID Controller ( PID )

การตั้งค่า MV                เหมือนใน PID Controller ( PID )

*Control Parameter*

Proportional Band P        : 6.3 - 999.9 %

Integral Time I            : 1 - 9999 sec.

Sampling period T<sub>s</sub>        : 0 - 9999 sec.

Control time T<sub>c</sub>            : 0 - 9999 sec.

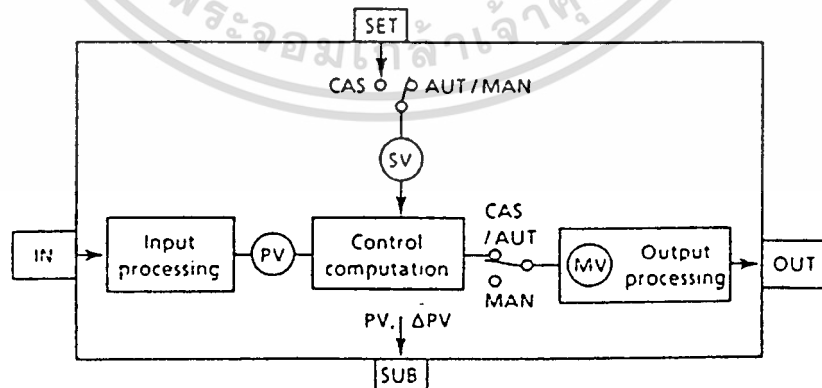
Control start switch        : 0.1

Direct / reverse Action     เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสภาวะ IOP ( input open )    เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสภาวะ clamped ( output cloupling )    ไม่มีให้ใช้งาน

( 7 ) Three Position ON / OFF Controller ( ONOFF-G )

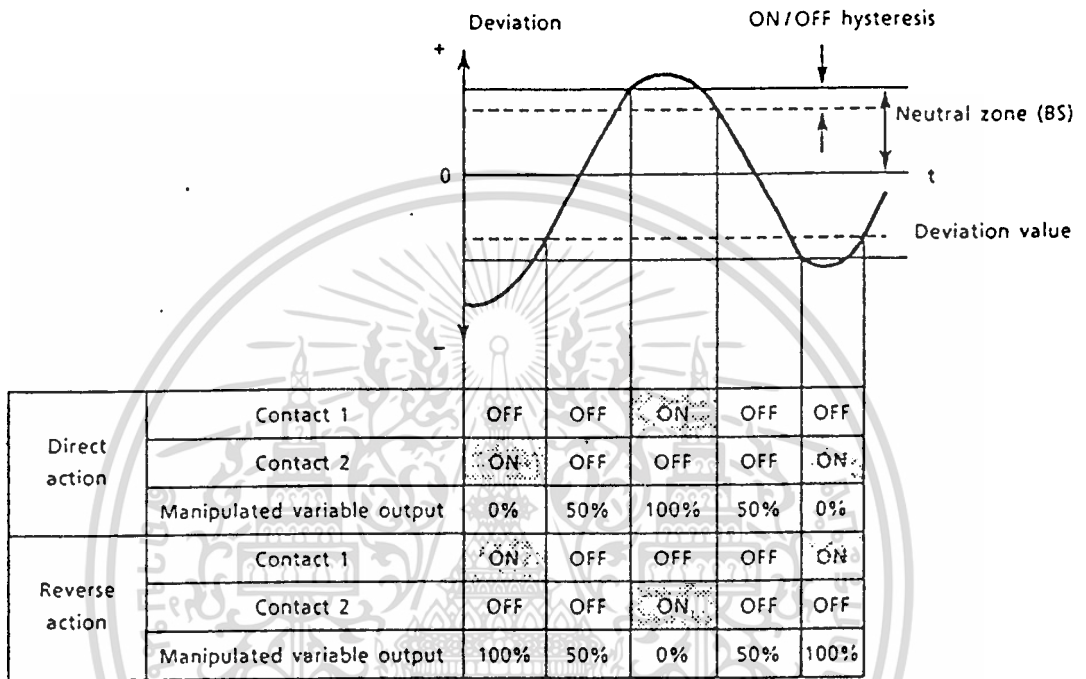


การทำงาน คล้ายๆกับตัว PID แต่ต่างกันที่ Control Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control Algorithm

[ a ] Auto Mode ค่าของ Output จะเป็นดังรูป



[ b ] Manual Mode ค่าของ Output จะเป็นได้ 3 ค่า คือ 0% , 50% , 100% โดยจะสัมพันธ์กับ Control Output ดังนี้

Manipulated Variable Output		0%	50%	100%
Contact output	1	OFF	OFF	ON
Contact output	2	ON	OFF	OFF

การต่อ Contact Output นั้นจะต่อได้ในต่อไปนี้

[ 1 ] ต่อกับ Card ST2 , ST4 , ST5 , ST7

[ 2 ] ST4 จะต่อกับ Terminal 16 , 17

[ 3 ] ST5 จะต่อกับ Terminal 48 , 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[ 4 ] ST7 จะต่อกับ Terminal 16 และ 17, 32 และ 33 หรือ 48 , 49

Contol Period และ Integral Time มีค่าคงที่เป็น 1 วินาที

Input / Output Compensation Function ใช้ได้เฉพาะ Input compensation

Gap Action ไม่มีให้ใช้งาน

การตั้งค่า MV เหมือนใน PID Controller ( PID )

*Control Parameter*

Proportional Band P : 6.3 - 999.9 %

ON / OFF hysteresis : 2 %

สามารถใช้ได้ตั้งแต่ 0.0 - 100.0 %

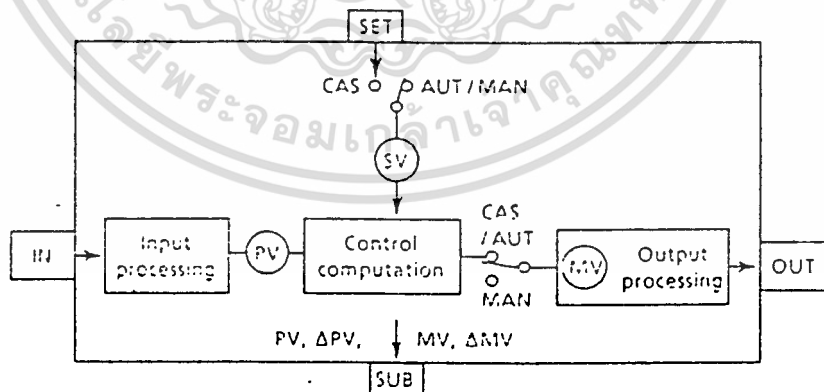
Natural zone BS : 0 - 100 %

Direct / reverse Action เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสภาวะ IOP ( input open ) เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสภาวะ clamped ( output cloupling ) ไม่มีให้ใช้งาน

( 8 ) PID Controller With Batch Switch ( PID-BSW )

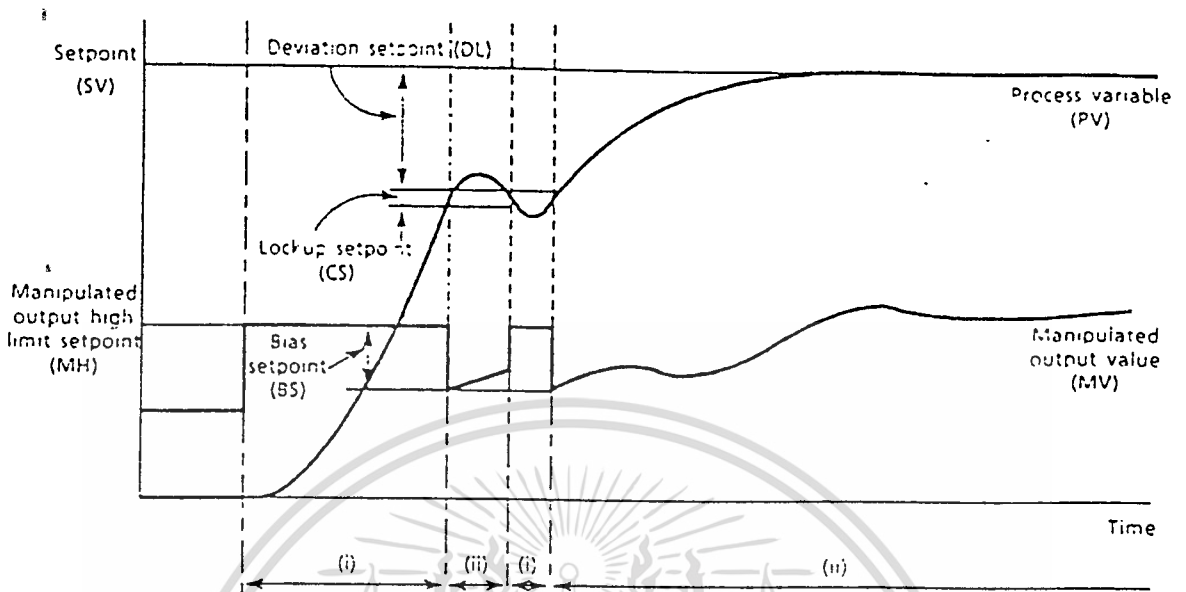


การทำงาน คล้ายๆกับตัว PID แต่จะต่างกันที่ Contol Algorithm

*Contol Algorithm* จะมี Function ที่จะทำให้ PV เข้าสู่ค่า Setpoint ได้เร็วขึ้นและจะไม่มี

Overshoot เกิดขึ้นด้วย ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[ a ] Reverse Action

[ i ] เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ค่า deviation มาก ค่าของ Output จะมีค่าที่ Set ไว้ให้เป็นได้สูงสุดและค่าต่างๆเป็นดังนี้

Status :  $PV < SV - DV$  เกิด Alarm Setpoint ( DL )

Output ;  $MV = MH$  ( High Limit )

[ ii ] เมื่อค่า deviation อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ค่า MV จะเป็นดังนี้

Status :  $PV > SV - DV$  เกิด Alarm Setpoint ( DL )

Output ;  $MV - Bias$  Setpoint ( BS )

และจะถูกตัดเข้าไปทำงานแบบ PID Control และถ้าเกิด Lockup ขึ้น จะทำการตัดไปทำให้ค่า MV เป็นค่า MH ทันที ( DV ออกจากขอบเขตที่ตั้งไว้ )

การที่จะไปทำงานในแบบ PID Control คือ เปลี่ยนจาก [ i ] เป็น [ ii ] นั้นจะต้องให้ค่า Condition นี้เป็นจริง คือ

$$PV < SV - DV - CS$$

[ b ] Direct Action

[ i ] Status : เหมือนกับใน Reverse Action

Output :  $MV = MV - ML$  ( Low limit Output )

[ ii ] Status : เหมือนกับใน Reverse Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output :  $MV = MV + BS$  และตัดไปทำงานในแบบ PID Control

Condition ที่จะทำการตัดการทำงานไป PID จะเหมือนกับใน Reverse Action

Bumpless transfer เหมือนใน PID Controller ( PID )

Control Period และ Integral Time เหมือนใน PID Controller ( PID )

Input / Output Compensation Function ไม่มีให้ใช้งาน

Gap Action ไม่มีให้ใช้งาน

การตั้งค่า MV เหมือนใน PID Controller ( PID )

*Control Parameter*

Proportional Band P : 6.3 - 999.9 %

Integral Time I : 1 - 9999 sec.

Derivative time D : 0 - 9999 sec. ( 0 ไม่ใช่ action นี้ )

Derivative alarm setpoint DL : 0 - ช่วงที่กำหนดไว้ทั้งด้านบวกและลบ

Bias setpoint BS : 0 - 100 %

Lockup setpoint CS : 0 - 100 %

Direct / reverse Action เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสภาวะ IOP ( input open ) เหมือนใน PID Controller ( PID )

ผลตอบสนองเมื่อเกิดสภาวะ clamped ( output cloupling ) เหมือนใน PID Controller

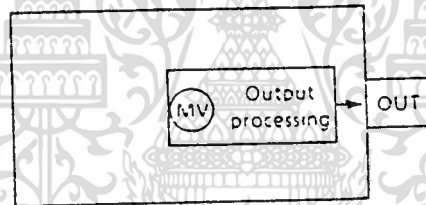
( PID )

### Manual Loader Unit

ตัว Manual Loader Unit เป็นอุปกรณ์ที่ให้ Operator เป็นคนกำหนดค่าของ Output ได้เอง โดยจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด

- Manual Loader (MLD)
- Manual Loader with Input Indicator (MLD-PVI)
- Auto/Manual Station (MLD-SW)

#### ( 1 ) Manual Loader (MLD)



#### คุณสมบัติทั่วไป

- การกระทำการกับสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output limiter

ฟังก์ชันการจำกัดอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output tracking

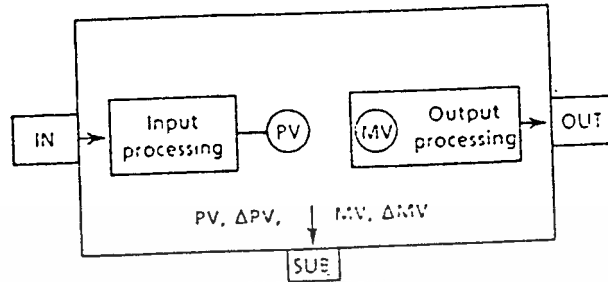
ฟังก์ชัน output alarm check

- สัญญาณขาออก

ส่งไปที่อุปกรณ์ภายใน : 0 - 100 %

ส่งออกไปควบคุมภายนอก : 4 - 20 mA

( 2 ) Manual Loader with Input Indicator (MLD-PVI)



คุณสมบัติทั่วไป

- สัญญาณขาเข้า ( IN terminal )

รับเข้าจากภายนอก : 1 - 5 Vdc , pulse train

รับจากอุปกรณ์ภายในเอง : 0 - 100 %

- ฟังก์ชันการกระทำกับสัญญาณขาเข้า

ฟังก์ชันการแปลงสัญญาณขาเข้า ( Input conversion )

ฟังก์ชัน alarm check ( ไม่มีในส่วนของ deviation/totalizer

- ฟังก์ชันการกระทำกับสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output limiter

ฟังก์ชันการจำกัดอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output tracking

ฟังก์ชัน output alarm check

- สัญญาณขาออก ( Out terminal )

ส่งไปที่อุปกรณ์ภายใน : 0 - 100 %

ส่งออกไปควบคุมภายนอก : 4 - 20 mA

สัญญาณออกที่เป็น pulse width

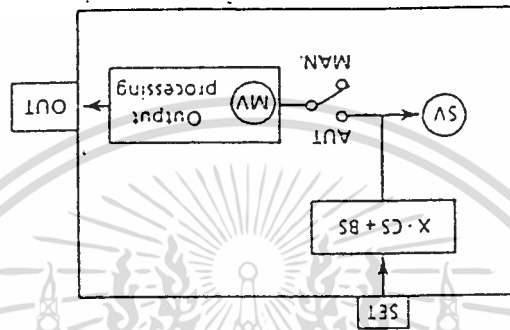
- สัญญาณออกเพื่อไปทำการ compensate ( SUB terminal )

ใช้สำหรับ compensate control และส่งสัญญาณออกสู่ภายนอก

สามารถเลือกได้ว่าจะเอาค่า PV , ΔPV , MV , ΔMV

( 3 ) Auto/Manual Station (MLD-SW)

Loader ตัวนี้จะมี Switch Auto/Manual Selector เมื่อ Switch ถูกตัดจาก Manual ไปเป็น Auto ค่าของ Output จะถูกตัดไปรับค่าของอุปกรณ์ตัวอื่น และค่าที่ถูกส่งมานี้จะสามารถนำมาคูณกับ Gain หรือทำการบวกกับค่า Offset ก็ได้



คุณสมบัติทั่วไป

- สัญญาณขาเข้า ( SET terminal )

รับจากอุปกรณ์ภายในเอง : 0 - 100 %

- ฟังก์ชันการประมวลผลในการควบคุม

$$SV = P_{AUT} CS + BS$$

เมื่อ  $P_{AUT}$  : สัญญาณควบคุมที่จะใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ ( 0 - 100 % )

CS : ค่า gain ของสัญญาณที่จะใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ ( - 4.00 - 4.00 )

BS : ค่า bias ของสัญญาณที่จะใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ ( - 100 - 100 % )

- ฟังก์ชันการกระทำกรกับสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output limiter

ฟังก์ชันการกำจัดอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output tracking

ฟังก์ชันการตั้งค่า MV

- สัญญาณขาออก ( OUT terminal )

ส่งไปที่อุปกรณ์ภายใน : 0 - 100 %

ส่งออกไปควบคุมภายนอก : 4 - 20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อื่นๆ

ฟังก์ชันการทำ bias tracking

Ramp constant ( DL ) : 0 - 100 %

อธิบายการทำงาน

( 1 ) Bias tracking

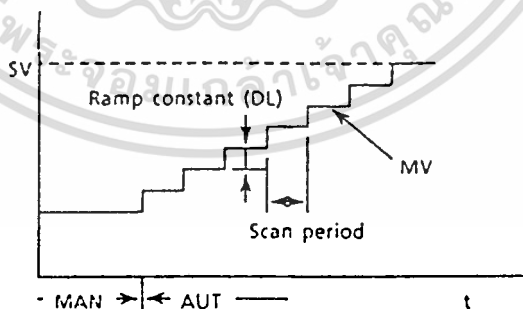
เมื่อเปลี่ยนโหมดการทำงานจาก MAN ไปเป็น AUT หรือเกิดหลุดจากการเกิดสภาวะ condition แล้วค่าของ BS นี้ก็จะเป็นไปดังในสมการต่อไปนี้ เพื่อที่จะให้การเปลี่ยนสถานะนี้เป็นไปด้วยความราบเรียบ และค่า BS นี้จะถูกรักษาไว้ หลังจากที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงเรียบร้อยแล้ว

$$BS = MV - P_{AUT} * CS$$

เมื่อ MV : ค่าของ outputเมื่ออยู่ใน manual mode

( 2 ) Bumpless transfer ( เมื่อไม่ใช่ bias tracking )

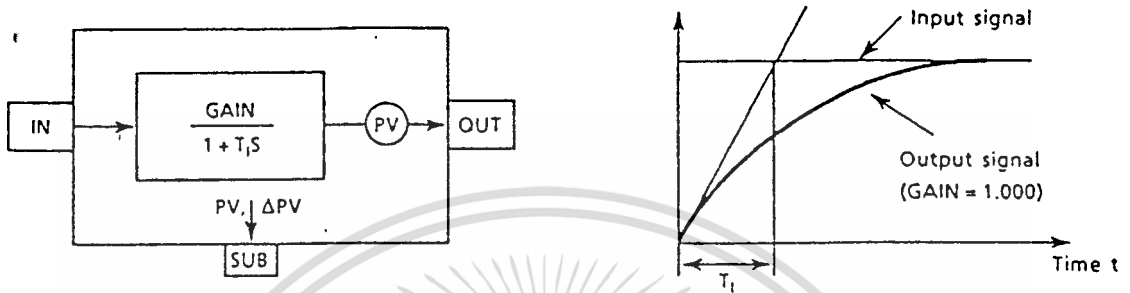
เมื่อมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานจาก MAN ไปเป็น AUT หรือเกิดหลุดจากการเกิดสภาวะ condition แล้วค่าของ output ก็จะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปสู่ค่าที่ได้รับเข้ามาจากค่า setpoint ดังในรูป โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ในแต่ละ scan period จะขึ้นอยู่กับค่า ramp constant ( DL )





( 1 ) First Order Lag Unit ( LAG )

เป็นฟังก์ชันที่เป็นตัว filter หรือจะมีการตอบสนองที่เหมือนกับกระบวนการต่างๆที่มีอยู่ทั่วไป และในรูปจะเป็น block diagram และผลตอบสนองของฟังก์ชันนี้



คุณสมบัติต่างๆไป

- Lag time (  $T_l = l - 1$  ) : 0 - 9998 sec.

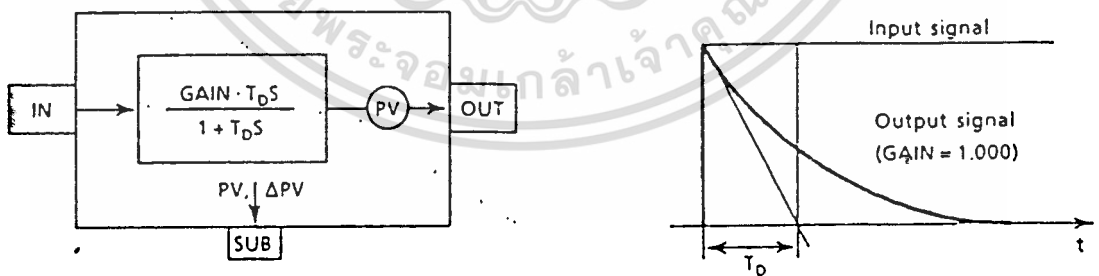
- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

Lag time ( l ) : 1 - 9999 sec.

( 2 ) First Order Lead Unit ( LD )

ในรูปจะเป็น block diagram และผลตอบสนองของฟังก์ชันนี้



คุณสมบัติต่างๆไป

- Derivative time (  $T_D = D$  ) : 0 - 9999 sec.

- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

Lead time ( D ) : 1 - 9999 sec.

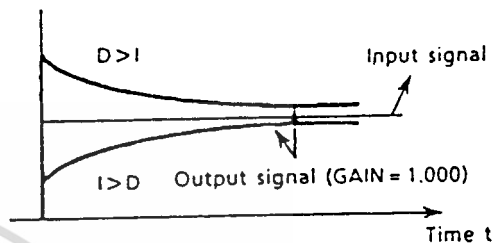
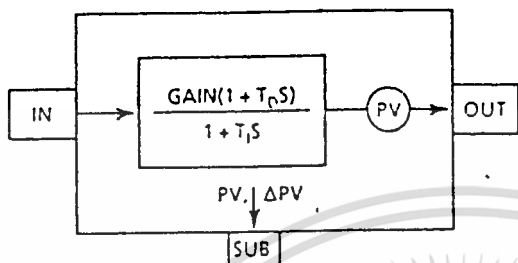
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( 3 ) Lead / Lag Unit ( LDLAG )

ใช้สำหรับการทำ Feed Forward Control

ซึ่งจะมี block diagram และผลตอบ

สนองดังในรูป

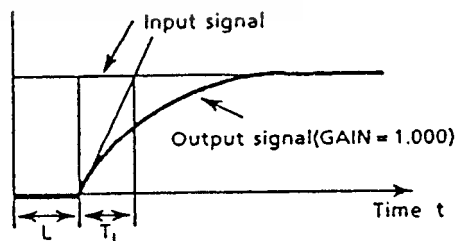
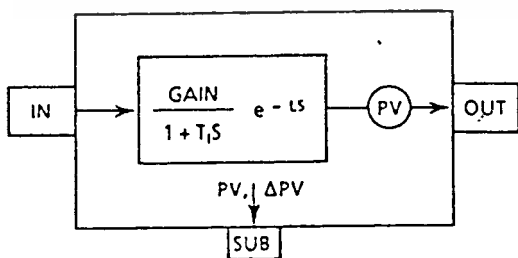


คุณสมบัติต่างๆไป

- Lead time (  $T_D$  ) : 0 - 9999 sec.
- Lag time (  $T_I$  ) : 0 - 9999 sec.
- Parameter ต่างๆ
  - Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000
  - Lead time ( D ) : 0 - 9999 sec.
  - Lag time ( I ) : 1 - 9999 sec.

( 4 ) Dead time Unit ( DLAY )

ใช้ในการจำลองการทำงานของกระบวนการต่างๆ โดยจะใช้ฟังก์ชันของการทำ dead time และ first order lag ร่วมกันโดยจะให้ตอบสนองดังในรูป และจะแสดง block diagram ด้วยเช่นกัน



คุณสมบัติต่างๆไป

- Dead time ( L ) : มีค่าเท่ากับ Interval time ( D ) \* ( m - 1 )

- จำนวนของตัวอย่าง ( m ) ; 1 - 48
- 1 st order lag time (  $T_1 = l - 1$  ) : 0 - 9998 sec.
- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

Sampling interval ( D ) : 0 - 9999 sec.

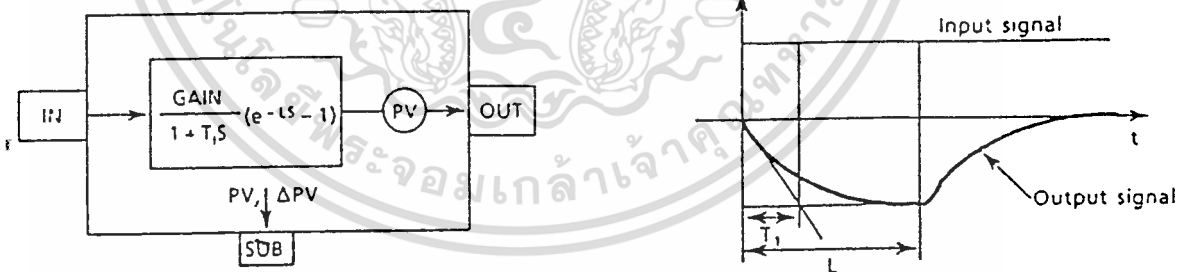
1 st order lag time ( l ) : 1 - 9999 sec.

- ฟังก์ชันการทำ Dead time buffer Initialization

การที่จะทำการล้าง buffer ก็จะทำให้ได้โดยการตั้งค่าให้กับ SW = 1 และ เมื่อทำงานปกติก็ให้ค่า SW = 0

( 5 ) Dead Time Compensation Unit ( DLAY - C )

จากกระบวนการที่มี Dead time สูงนั้นจะทำการควบคุมได้ยากใน PID Action จึงได้มีการเพิ่มตัว DLAY - C เข้าไป เพื่อที่จะทำให้ระบบสามารถที่จะควบคุมได้โดย compensate ค่าต่างๆที่ส่งออกไป โดยจะมี block diagram และจะมีผลตอบสนองของสัญญาณ output ดังรูป



คุณสมบัติทั่วไป

- Dead time ( L ) : มีค่าเท่ากับ Interval time ( D ) \* ( m - 1 )
- จำนวนของตัวอย่าง ( m ) : 1 - 48
- 1 st order lag time (  $T_1 = l - 1$  ) : 0 - 9998 sec.
- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

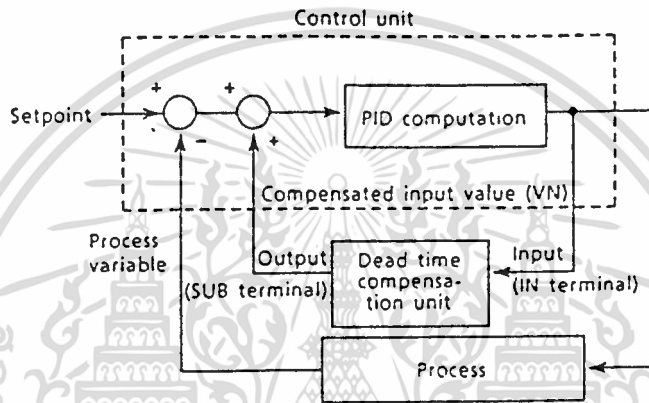
Sampling interval ( D ) : 0 - 9999 sec.

1 st order lag time ( l ) : 1 - 9999 sec.

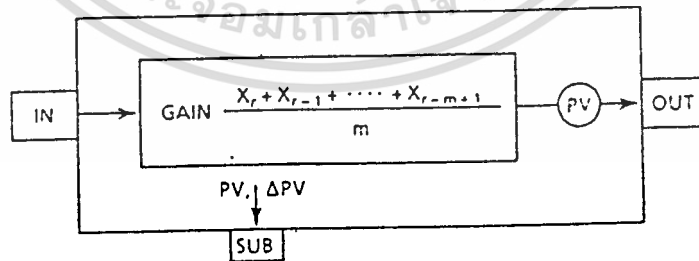
- ฟังก์ชันการทำงาน Dead time buffer Initialization

เหมือนใน dead time unit ( DLAY )

ในรูปแบบจะเป็นการใช้ตัว DLAY - C ในการที่จะนำไปใช้งานในการควบคุม



( 6 ) Moving Average Unit ( AVE - M )



ตัว Unit นี้จะให้ค่าผลเฉลี่ยของ Input ซึ่งจะเก็บค่าแบบเวียน คือ ค่า Data ที่เข้ามาในแต่ละ Sampling Period แล้วเมื่อครบจำนวนแล้ว ก็คำนวณค่าผลเฉลี่ยและเมื่อมีค่าใหม่เข้ามาตัวที่เข้ามาเป็นตัวแรกสุด จะถูกนำออกไป แล้วก็ทำการคำนวณค่าผลเฉลี่ยใหม่ ส่วนข้อมูลที่ถูกนำออกไปจะนำไปเก็บไว้ใน CALC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่างๆไป

- จำนวนของตัวอย่าง ( m ) : 1 - 49
- Sampling interval ( D ) ; 0 - 9999 sec.

ค่า time span = D \* ( m - 1 )

- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

จำนวนของตัวอย่าง ( m ) : 1 - 49

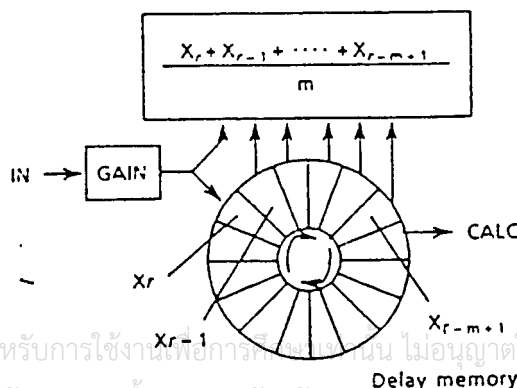
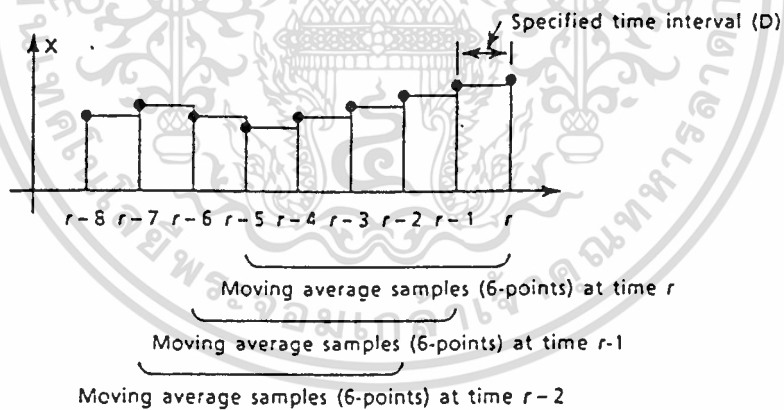
Sampling interval ( D ) : 0 - 9999 sec.

Sampling data ( CALC ) : Data D \* ( l - 1 ) sec.

- ฟังก์ชันการทำ Dead time buffer Initialization

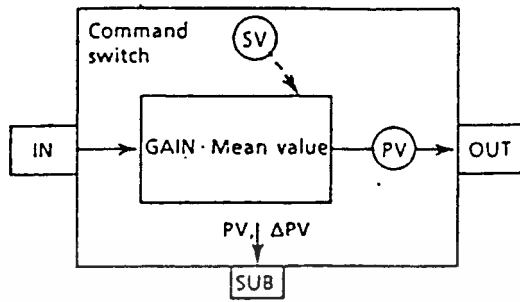
เหมือนใน dead time unit ( DLAY )

การทำงานจะเป็นดังในรูป คือให้ค่า m = 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( 7 ) Comutative Average Unit ( AVE - C )



ตัว Comutative Average Unit นี้ จะคำนวณค่าเฉลี่ยของ Input แล้วทำการรวมเอาไว้ หรือสามารถรักษาไว้ได้จากตัว SV โดยมีการทำงาน ดังรูป

คุณสมบัติต่างๆไป

- Operation mode command switch ( SV )

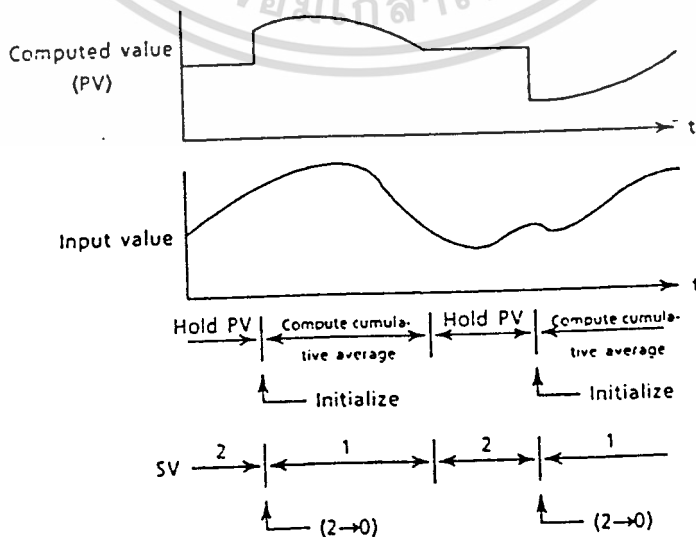
- 0 : Initialize
- 1 : Caculate comulative average
- 2 : ทำการรักษาค่า output ไว้

- Previous average ( K3 )

- Parameter ต่างๆ

Command switch ( SV ) : 0 , 1 , 2

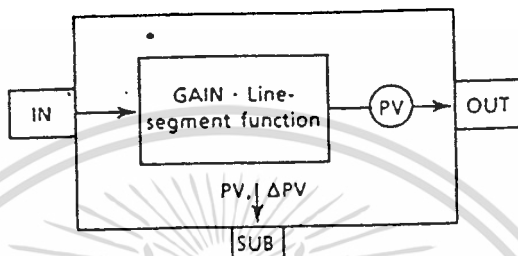
Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Unit ทำการรวมทุกๆวินาที คล้ายกับ Counter และเมื่อทำการรวมจนถึง 32,767 วินาที ค่า SV จะถูก Set ให้เป็น 0 คือ ให้เริ่มการคำนวณใหม่นั้นเอง

( 8 ) Line - Segment Function Generation Unit ( FUNC )



ตัว FUNC นี้ คล้ายๆกับตัว Input Conversion ของตัวอุปกรณ์บางตัวแต่จะต่างกัน ก็คือ มันเป็น Unit ที่แยกออกมาต่างหาก มีตัวอย่างการทำงานดังนี้

คุณสมบัติทั่วไป

- ฟังก์ชันการทำ line-segment

สามารถที่จะทำได้ถึง 14 ส่วนด้วยกัน

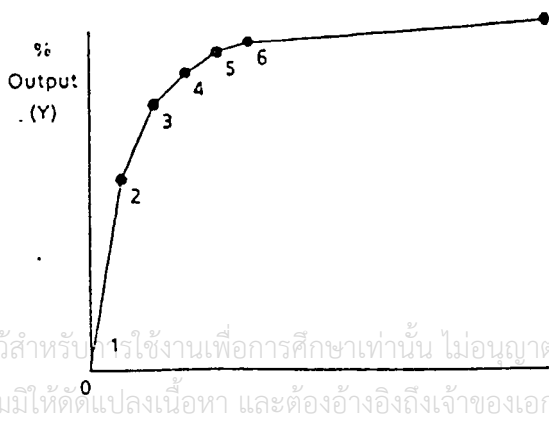
- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

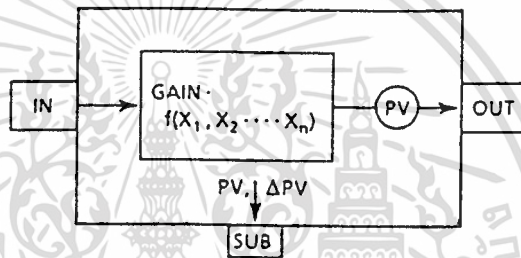
การตั้งค่าต่างๆของฟังก์ชัน

- จำนวนส่วนในการทำงานสามารถตั้งได้ตั้งแต่ 1 จนถึง 14 ส่วน

- coordinate X และ Y ของจุดแต่ละจุดใน segment ดังในรูป



( 9 ) Calculation Unit ( CALCU )



ตัว Calculation Unit จะสามารถนำ Function ทางด้านคณิตศาสตร์และรวมไปถึง Square Root Extraction และมีลักษณะเหมือนกับ Correction Computation ในตัวอุปกรณ์บางตัวแต่จะเป็น Unit ที่แยกออกมาต่างมาต่างหาก

คุณสมบัติทั่วไป

- การคำนวณค่า

Parameter : สามารถนำมาจากส่วนใดในเครื่องก็ได้ หรือจะเป็นส่วนของ sequence data ก็ได้

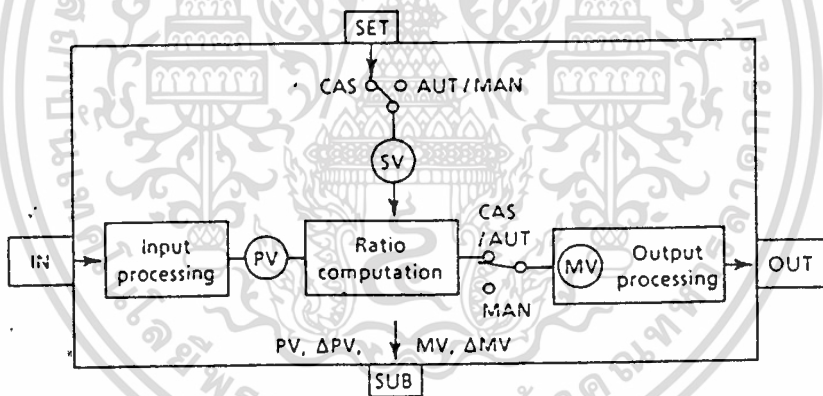
Calculation expression : สามารถใช้เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้ได้ทั้งหมด + , - , \* , / หรือจะใช้ฟังก์ชันทางด้าน logic เช่น NOT , AND , OR , XOR

- Parameter ต่างๆ

Gain ( GAIN ) : 0 - 4.000

### Ratio Set Unit ( RATIO )

ตัว Ratio Set Unit จะมใช้สำหรับระบบที่ต้องการให้มี PV 2 ตัวหรือมากกว่ามีสัดส่วนที่คงที่ต่อกัน และการเปลี่ยนจาก Manual ไปเป็น Auto จะไม่มีการกระตุก โดยค่า Ratio เริ่มต้นตอนที่เปลี่ยนจาก Manual ไปเป็น Auto จะค่อยๆเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะให้ได้ Output ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ



#### คุณสมบัติทั่วไป

- สัญญาณขาเข้า ( IN terminal )

รับเข้าจากภายนอก : 1 - 5 Vdc , pulse train

รับจากอุปกรณ์ภายในเอง : 0 - 100 %

- ฟังก์ชันการกระทำกับสัญญาณขาเข้า

ฟังก์ชันการแปลงสัญญาณขาเข้า ( input conversion )

ฟังก์ชัน alarm check (ไม่มีในส่วนของ deviation alarm )

ฟังก์ชันการทำ correction computation / totalizer

สัญญาณขาเข้าพิเศษ ( SET terminal )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับจากอุปกรณ์ภายในเอง : 0 - 100 %

- ฟังก์ชันการทำงานของ Ratio computation

$$MV = (SV * m) * PV + BS + CS$$

เมื่อ MV : ค่า gain ของ Ratio ที่ตั้งไว้ ( 0 -4.000 )

ค่าเริ่มต้นกำหนดให้เป็น 1

SV : ค่าอัตราส่วน ( Ratio ) กำหนดได้อยู่ในช่วง 0 - 4.000

PV : สัญญาณ input ( 0 - 100 % )

CS : ค่า Bias จากภายนอก ( - 1.000 - 1.000 )

BS : ค่า Bias จากภายใน ( - 100 - 100 % )

- ฟังก์ชันการกระทำการกับสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output limiter

ฟังก์ชันการจำกัดอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออก

ฟังก์ชัน output tracking

ฟังก์ชัน output alarm check

- สัญญาณขาออก ( OUT terminal )

ส่งไปที่อุปกรณ์ภายใน : 0 - 100 %

ส่งออกไปควบคุมภายนอก : 4 - 20 mA

สัญญาณออกที่เป็น pulse width

- สัญญาณออกเพื่อไปทำการ compensate ( SUB terminal )

ใช้สำหรับ compensation control และส่งสัญญาณออกสู่ภายนอก

สามารถเลือกได้ว่าจะเอาค่า PV , ΔPV , MV , ΔMV

- mode การทำงานของอุปกรณ์ตัวนี้

MAN : เป็น mode ที่ทำการคำนวณกำหนดค่าของ output เอง

Auto : เป็น mode ที่ทำการคำนวณค่า output โดยให้ค่า SV เป็น ratio ที่ต้องการ

CAS : เป็น mode ที่จะรับค่า ratio มาจาก SET terminal เพื่อทำการคำนวณค่า output

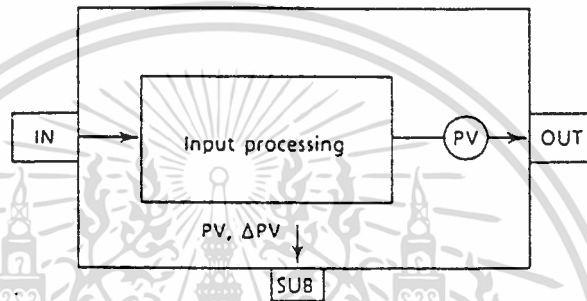
- ฟังก์ชันอื่นๆ

ฟังก์ชันการทำ ratio tracking

### Input Indicator

เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้สำหรับการแสดงค่าที่รับเข้ามาจาก card ต่างๆ เช่น MAC2 , PAC , VM1 ฯลฯ โดยจะแบ่งเป็นอุปกรณ์ได้ 2 ชนิด คือ

#### Input Indicator ( PVI )



#### คุณสมบัติทั่วไป

##### - สัญญาณขาเข้า ( IN terminal )

จากภายนอก : 1 - 5 V , pulse train

จากอุปกรณ์ภายในส่งมา : 0 - 100 %

##### - การกระทำการกับสัญญาณขาเข้า

มีฟังก์ชันการแปลงสัญญาณขาเข้า

มีฟังก์ชันของการ alarm แต่ไม่มีในส่วนของ deviation alarm

มีฟังก์ชัน computation , totalizer

##### - สัญญาณขาออก ( OUT terminal )

ออกสู่ภายนอก : 1 - 5 V

ออกไปยังอุปกรณ์ภายในอื่นๆ

##### - สัญญาณออกเพื่อไปทำการ compensate ( SUB terminal )

ใช้สำหรับ compensation control และส่งสัญญาณออกสู่ภายนอก

สามารถเลือกได้ว่าจะเอาค่า PV , ΔPV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

### ทฤษฎี

DCS ย่อมาจากคำว่า “ Distributed Control System “ เป็นระบบควบคุมโรงงานที่ประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์หลายๆตัวต่อกันเป็นระบบ ฟังก์ชันการควบคุมจะถูกกระจายให้คอมพิวเตอร์เล็กๆแต่ละส่วน ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการย่อยๆ โดยข้อมูลของกระบวนการย่อยๆทุกกระบวนการจะถูกส่งผ่านส่วนสื่อสารไปเก็บรวบรวมที่คอมพิวเตอร์อีกตัว ซึ่งทำหน้าที่ติดต่อกับพนักงาน โดยผ่านทางจอภาพและแป้นกด ( Key board )

ระบบ DCS แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. Human Interface
2. Communication Interface
3. Controlling Unit

Human Interface ทำหน้าที่ติดต่อกับพนักงาน แบ่งเป็น 2 ส่วน

1. Operator Interface สำหรับผู้ควบคุมตรวจสอบสถานะ และควบคุมกระบวนการผลิต
2. Engineering Interface สำหรับวิศวกรระบบทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติม

ระบบควบคุมซึ่งรวมทั้งระบบ Back up กรณีที่ระบบเกิด Shutdown ด้วย

Communication System ทำหน้าที่ในการควบคุมการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง

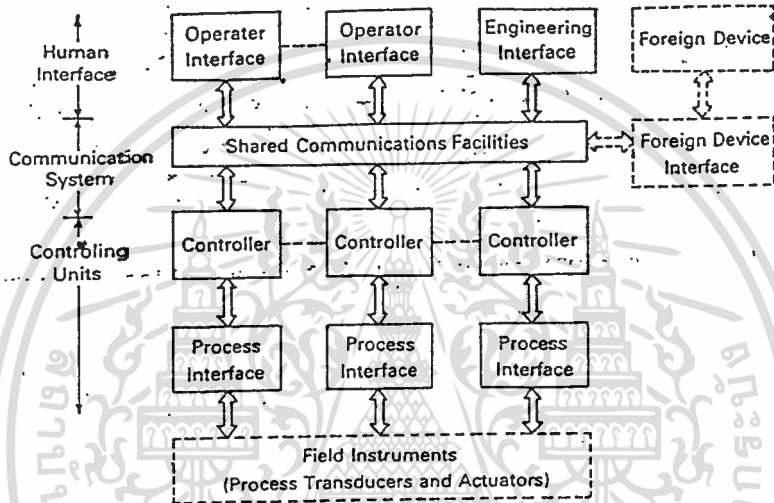
Human Interface กับ Controlling Unit

Controlling Unit ทำหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการผลิตตามขั้นตอนที่โปรแกรมไว้

โดย Engineering Interface ซึ่งตัวแปรบางตัวแปรสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดย Operator Interface การควบคุมกระบวนการผลิตของผู้ควบคุมจะต้องอาศัยจอภาพและแป้นกด

การควบคุมกระบวนการผลิตแบ่งเป็น

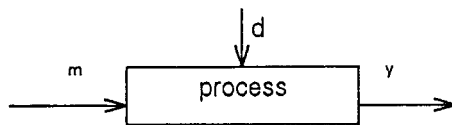
1. การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)
  2. การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้า (Feedforward Control)
- ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการควบคุมแบบป้อนกลับเท่านั้น



รูปที่ 1  
โครงสร้างหลักของระบบ DCS

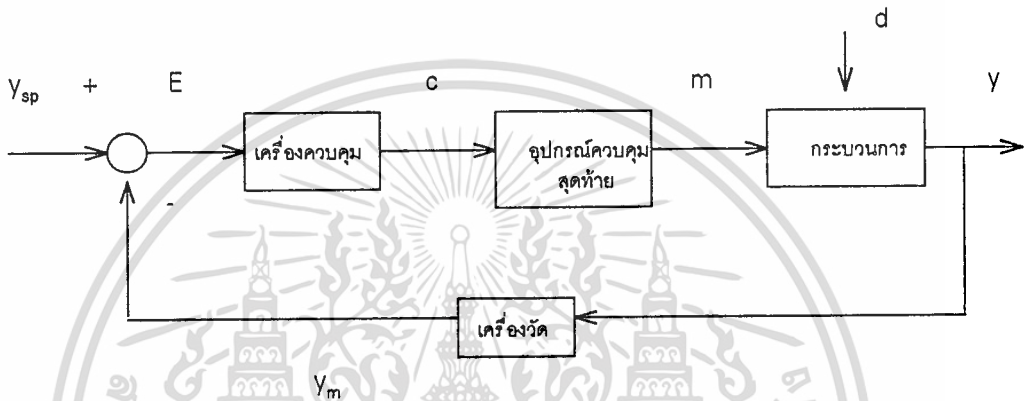
การควบคุมแบบป้อนกลับ

การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นการควบคุมแบบพื้นฐานที่เข้าใจง่าย และนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยมีผังสัญญาณดังนี้



ตัวแปรออกหรือสภาพของกระบวนการ  $y(t)$  จะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเข้าของกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรปรับกระบวนการ  $m(t)$  จากเครื่องควบคุมหรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย และจากการรบกวนภายนอก  $d(t)$  หรือสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพกระบวนการ โดยมีขั้นตอนในการควบคุมสภาพกระบวนการ หรือตัวแปรออกของกระบวนการ ให้มีค่าตามเป้าหมายที่ต้องการ ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ดังนี้



1. เครื่องวัดจะตรวจสอบสภาพและวัดค่าตัวแปรกระบวนการ  $y$  เช่น อุณหภูมิ ความดัน ได้ค่า  $y_m$  ของกระบวนการจากเครื่องวัดที่เป็นตัวแทนแสดงสภาพของกระบวนการ
2. อุปกรณ์เปรียบเทียบ จะมาเปรียบเทียบค่าวัดของกระบวนการ,  $y_m$ , กับค่าสภาพกระบวนการที่ต้องการ ซึ่งเป็นเป้าหมายของการควบคุม,  $y_{sp}$ , และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนในการควบคุม,  $E = y_{sp} - y_m$
3. เครื่องควบคุมนำค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณ เพื่อปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ โดยส่งสัญญาณควบคุม,  $c$ , ไปยังกระบวนการ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุม แต่สัญญาณจากเครื่องควบคุมมักจะไม่สามารถใช้ปรับสภาพของกระบวนการได้โดยตรง จึงต้องส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย เพื่อเปลี่ยนรูปหรือเพิ่มขนาดของสัญญาณควบคุมให้มีกำลังมากพอ โดยสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนี้ เรียกว่า สัญญาณปรับกระบวนการ,  $m$

# บทที่ 1 การปรับค่า P

## ทฤษฎี

เครื่องควบคุมแบบพื้นฐานที่ใช้ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม มี 3 แบบ คือ

1. เครื่องควบคุมแบบ P
2. เครื่องควบคุมแบบ PI
3. เครื่องควบคุมแบบ PID

เครื่องควบคุมแบบ P (Proportional Controller หรือ P Controller)

สัญญาณควบคุมจะแปรผันตามความคลาดเคลื่อนในการควบคุมตามสมการ

$$c(t) = K_c E(t) + C_s$$

$C_s$  = สัญญาณถ่วงของเครื่องควบคุม

เครื่องควบคุมแบบ P สามารถแสดงอัตราการควบคุม 2 วิธี คือ

1.  $K_c$  (Proportional Gain)
2. PB (Proportional Band) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุม E ที่ทำให้

สัญญาณควบคุมมีค่าสูงสุด โดยที่  $PB = 100 / K_c \%$

เช่น  $PB = 200\%$  จะมีค่า  $K_c = 100/200 = 0.5$

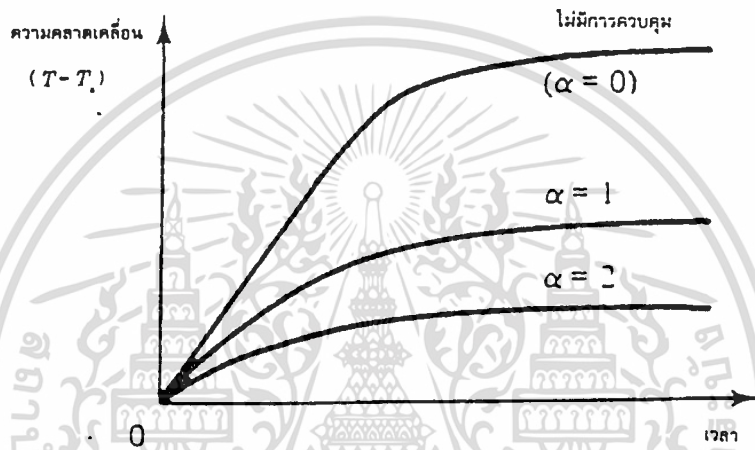
สมมติให้  $C_s = 0$  แทนค่าสมการข้างบน จะได้  $c(t) = 0.5 E(t)$

นั่นคือ ความคลาดเคลื่อนในการควบคุม  $E(t)$  ต้องมี 2 หรือ 200% จึงจะทำให้สัญญาณควบคุมมีค่าสูงสุด = 1 หรือ 100%

ผลการควบคุมแบบ P ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

ผลของการควบคุมแบบพี จะทำให้กระบวนการมีการตอบสนองเร็วขึ้นและมีความคลาดเคลื่อนลดลง แต่จะไม่ลดลงจนเท่ากับ 0

จากสมการข้างต้น เมื่อค่า  $K_c$  มีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่า  $E(t)$  มีค่าลดลง แต่จะไม่เท่ากับ 0 ไม่ว่าจะเปลี่ยนค่า  $K_c$  ให้มีค่ามากเท่าใดก็ตาม นั่นคือ ไม่สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมได้ทั้งหมด

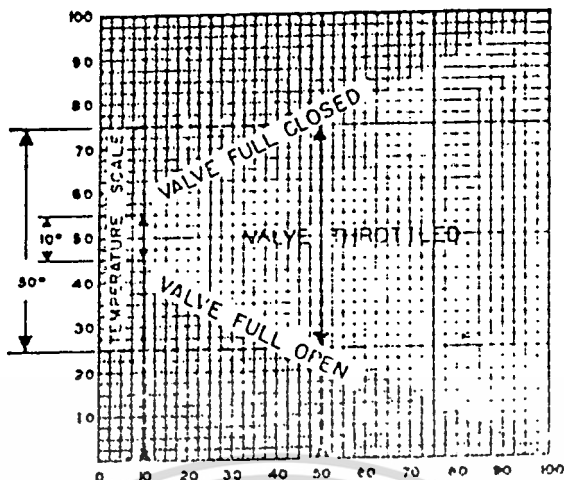


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $E(t)$  และ  $K_c$  ในการควบคุมแบบพี

การควบคุมแบบ PROPORTIONAL

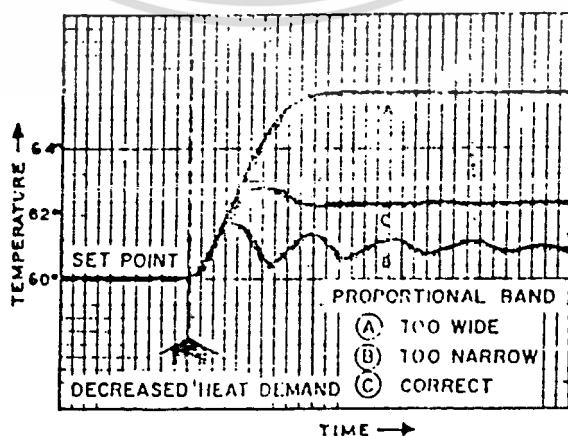
ระบบที่มีค่าความจุน้อยและมีผลตอบสนองที่เร็ว เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงนั้นควรจะใช้ตัวควบคุมแบบ proportional ในกระบวนการที่มีวาล์วเป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้น ตัวควบคุมแบบ proportional จะทำให้วาล์วควบคุมทำงานอย่างต่อเนื่องภายในช่วงการวัดที่กำหนดไว้ และการควบคุมของตัวควบคุมแบบ proportional นี้ จะแสดงอยู่ในเทอมของ proportional band รูปที่ 2 proportional band ที่แคบแสดงว่าวาล์วควบคุมนั้น จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมเต็มที่จะจนถึงตำแหน่งที่ปิดสนิท โดยที่ตัวแปรที่ถูกควบคุมนั้นเปลี่ยนแปลงหรือแปรค่าไปในช่วงแคบๆ เท่านั้น สำหรับ proportional band ที่กว้างก็แสดงว่า ค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมจะต้องแปรค่าไปในช่วงกว้างก่อนที่วาล์วควบคุมนั้น จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งเปิดเต็มที่จนถึงปิดสนิท ตัวควบคุมแบบ proportional นี้จะต่างกับตัวควบคุมแบบ ON-OFF คือจะควบคุมให้ค่าของเอาต์พุตมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้โดยไม่เกิดการ oscillate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของวาล์วกับค่าของตัวแปรเมื่อ proportional band มีค่าต่างกัน proportional band ที่แคบหมายถึงว่าการควบคุมอยู่ในช่วงแคบจำกัด

อย่างไรก็ตามการควบคุมแบบ proportional นั้น จะเกิด offset ขึ้น ถ้า load มีการเปลี่ยนแปลง offset นี้ โดยทั่วไปแล้วเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและสามารถทำให้มีค่าลดน้อยลงได้โดยการปรับให้ proportional band ของตัวควบคุมมีค่าน้อยๆ แต่ถ้า proportional band แคบเกินไปหรือมีค่าน้อยเกินไปก็จะทำให้เอาท์พุทเกิดการ oscillate ต่อเนื่องกันไป ดังนั้นการปรับค่า proportional band จะต้องระวังไม่ให้มีค่าน้อยเกินไปหรือมากเกินไป ค่าของ proportional band เพื่อการควบคุมที่ดีที่สุดนั้น โดยทั่วไปจะปรับให้มีค่ามากกว่าค่าของ proportional band ที่ทำให้เกิดการ oscillate เพียงเล็กน้อย ( curve c ในรูปที่ 3 )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3 Curve แสดงถึงกรณีที่มีค่าต่างกัน ในการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องอาบน้ำแบบฝักบัวเป็นตัวอย่างที่ดีอันหนึ่งของกระบวนการที่มีความจุน้อย นั่นก็คือค่าความจุของระบบนี้จะมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของพลังงานที่เข้ามาในระบบ ดังนั้น curve ของเอาต์พุตหรือผลตอบสนองที่เร็ว และมี time lag เพียงนิดเดียว ค่า time lag นี้จะเป็น time lag ในระบบการวัด

อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำในห้องอาบน้ำแบบฝักบัวนี้ จะเร็วกว่าห้องอาบน้ำที่ใช้อ่างอาบน้ำที่เป็นดังนี้ เพราะอัตราการไหลเข้าของน้ำร้อน ( ปริมาตรต่อนาที) ในกรณีของห้องอาบน้ำแบบฝักบัวจะมีค่ามาเมื่อเทียบกับปริมาตรของน้ำทั้งหมดในระบบ ดังนั้นห้องอาบน้ำแบบฝักบัวจึงจำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมแบบ proportional ในขณะที่ห้องอาบน้ำที่ใช้อ่างอาบน้ำสามารถใช้ตัวควบคุมแบบ ON-OFF และ curve ของผลตอบสนองของกระบวนการนี้ ( ห้องอาบน้ำแบบฝักบัว) จะมี time lag น้อย และอัตราการเพิ่มขึ้นของเอาต์พุตมีค่าค่อนข้างสูง ตัวควบคุมที่ถูกเลือกใช้จึงควรเป็นตัวควบคุมแบบ proportional



### การทดลองที่ 1

#### จุดประสงค์

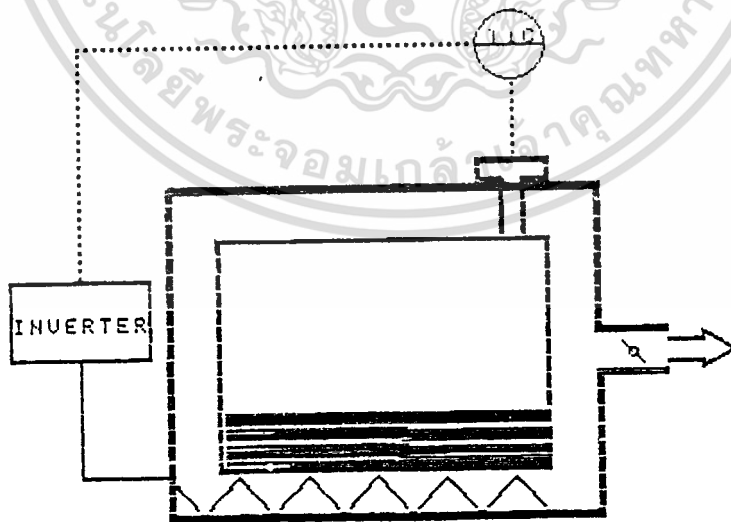
1. เพื่อศึกษาการควบคุมกระบวนการแบบ P
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการอุณหภูมิโดยการปรับค่า P

#### วิธีการทดลอง

1. กดคีย์ F8 (TIC-0006)
2. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ I เพื่อทำการปรับค่าให้ = 9999
3. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ D เพื่อทำการปรับค่าให้ = 0
4. กำหนดค่า SV = 100 จากนั้นทำการปรับค่า P = 6.3 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
5. กำหนดค่า SV = 75 จากนั้นทำการปรับค่า P = 50.0 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
6. ปรับค่า P เป็นค่าต่างๆ บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ ในการเปลี่ยนค่า P ในแต่ละครั้ง ต้องเปลี่ยนค่า SV เพื่อจะได้สังเกตการเข้าสู่ set point ของเอาต์พุต

หมายเหตุ ค่า SV อาจจะถูกกำหนดเป็นค่าอื่นก็ได้

## TEMPERATURE CONTROL

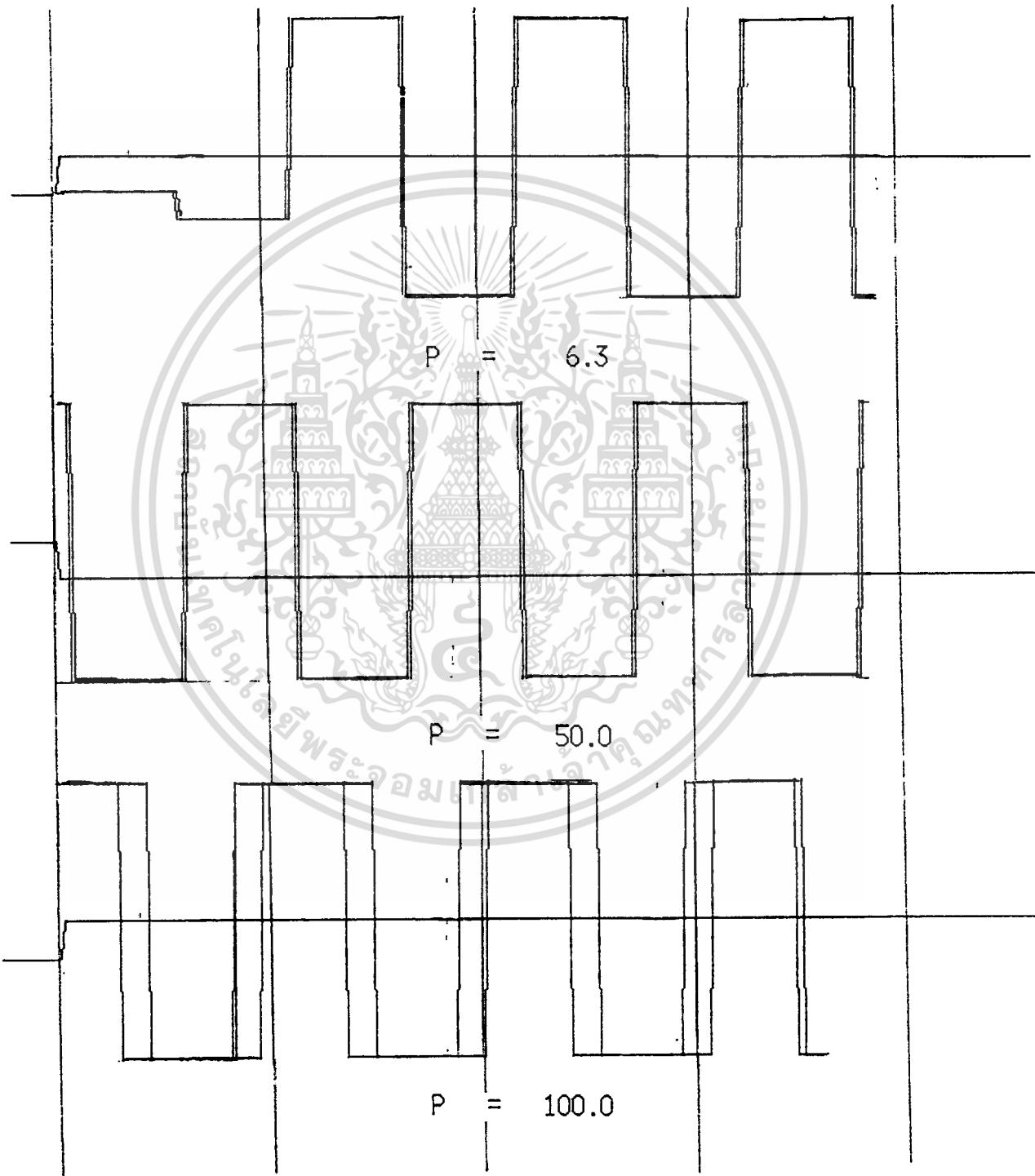


50.0 DEGC

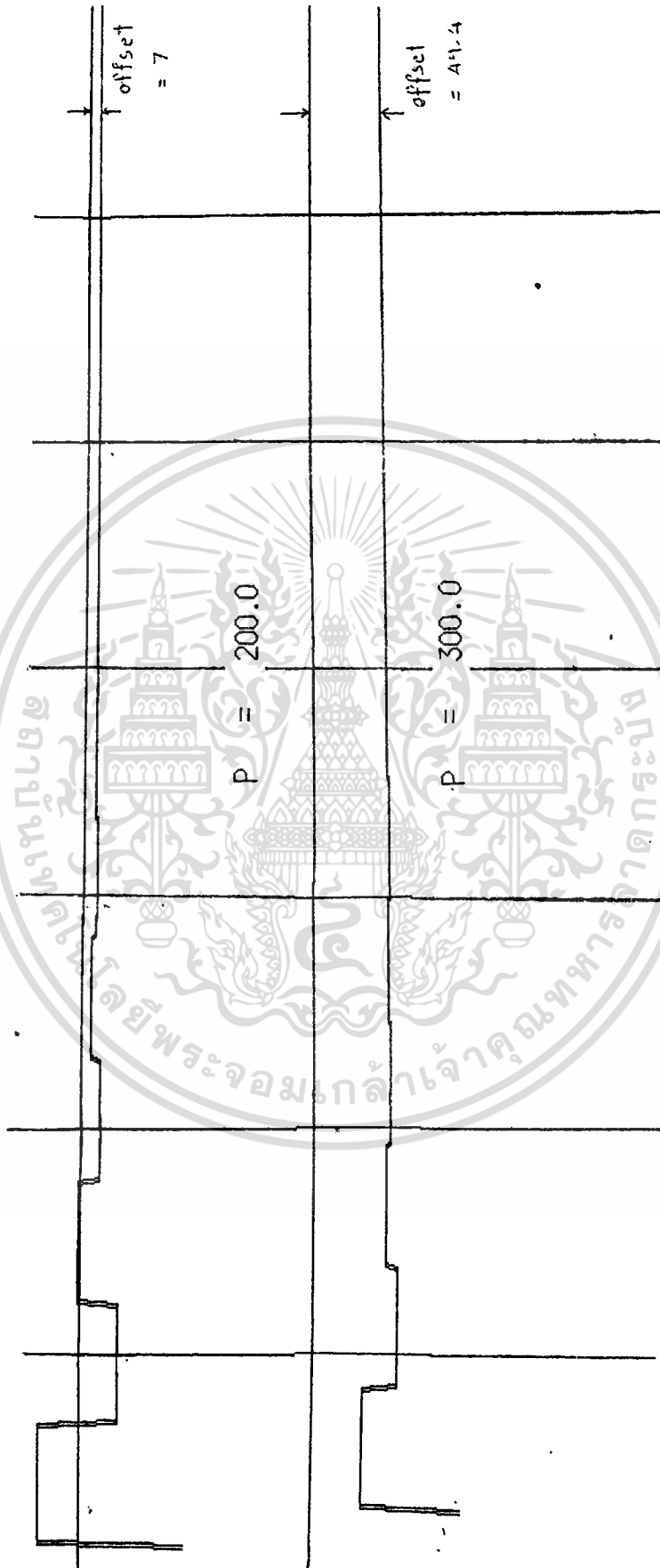
กราฟฟีกที่แสดงถึงกระบวนการอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับค่า proportional band ของตัวควบคุมให้มีค่าน้อยๆ ตัวอย่างจากที่ทดลองคือ กราฟของค่า  $P = 6.3$  จะทำให้ค่าของเอาต์พุตเกิดการ oscillate และเมื่อทำการปรับค่าของ proportional band ให้มากขึ้น จะพบว่าเกิด offset มากขึ้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากกราฟ

$P = 200$  จะได้ค่า offset = 7

$P = 300$  จะได้ค่า offset = 49.4



## การทดลองชุดที่ 2

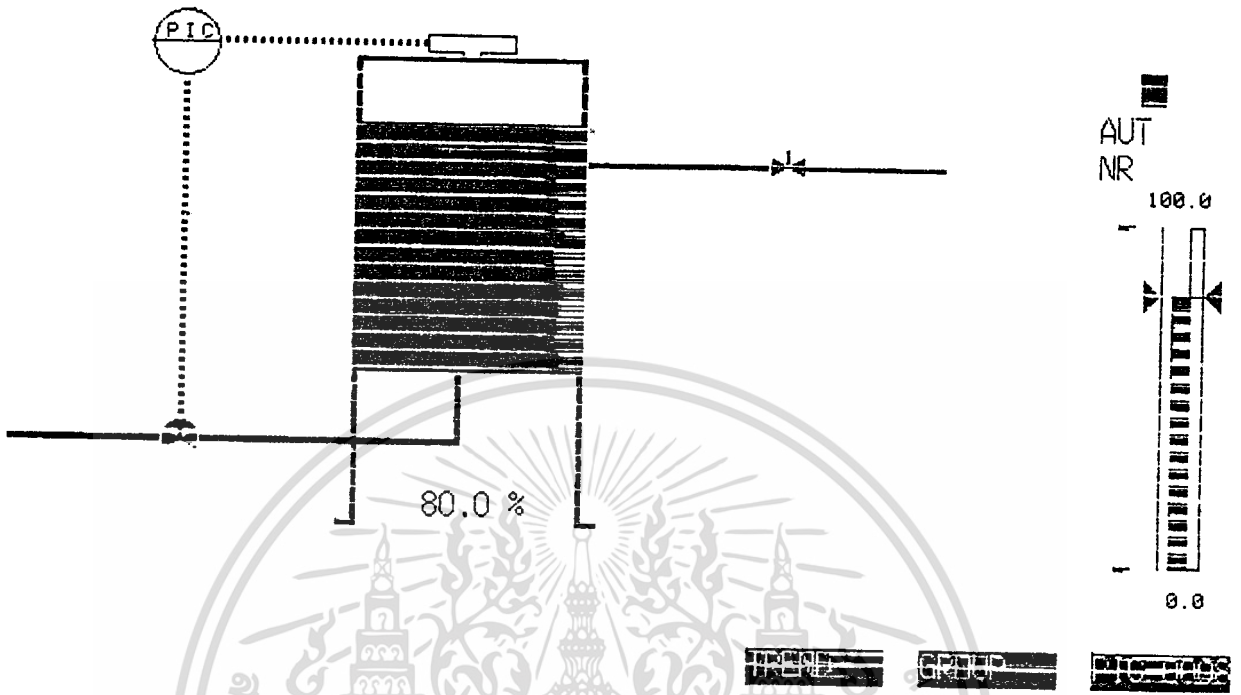
### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการควบคุมกระบวนการแบบ P
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการความดันโดยการปรับค่า P

### วิธีการทดลอง

1. กดคีย์ F8 (PIC-0008)
  2. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ I เพื่อทำการปรับค่าให้ = 9999
  3. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ D เพื่อทำการปรับค่าให้ = 0
  4. กำหนดค่า SV = 70 จากนั้นทำการปรับค่า P = 6.3 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  5. กำหนดค่า SV = 80 จากนั้นทำการปรับค่า P = 50.0 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  6. ปรับค่า P เป็นค่าต่างๆ บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ ในการเปลี่ยนค่า P ในแต่ละครั้ง ต้องเปลี่ยนค่า SV เพื่อจะได้สังเกตการเข้าสู่ set point ของเอาร์ทัพ
  7. เปรียบเทียบผลการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2
- หมายเหตุ ค่า SV อาจจะถูกกำหนดเป็นค่าอื่นก็ได้

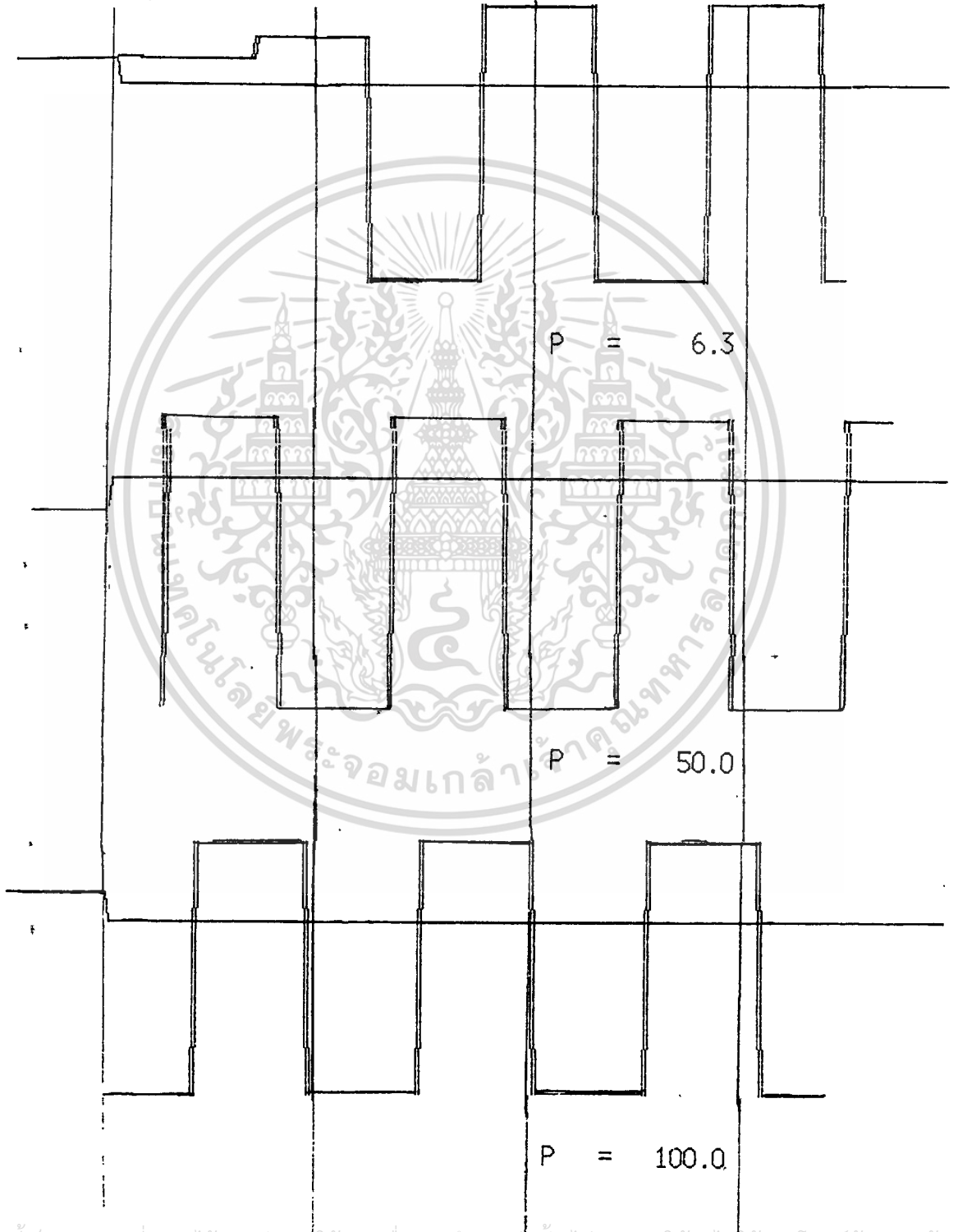
# PRESSURE CONTROL



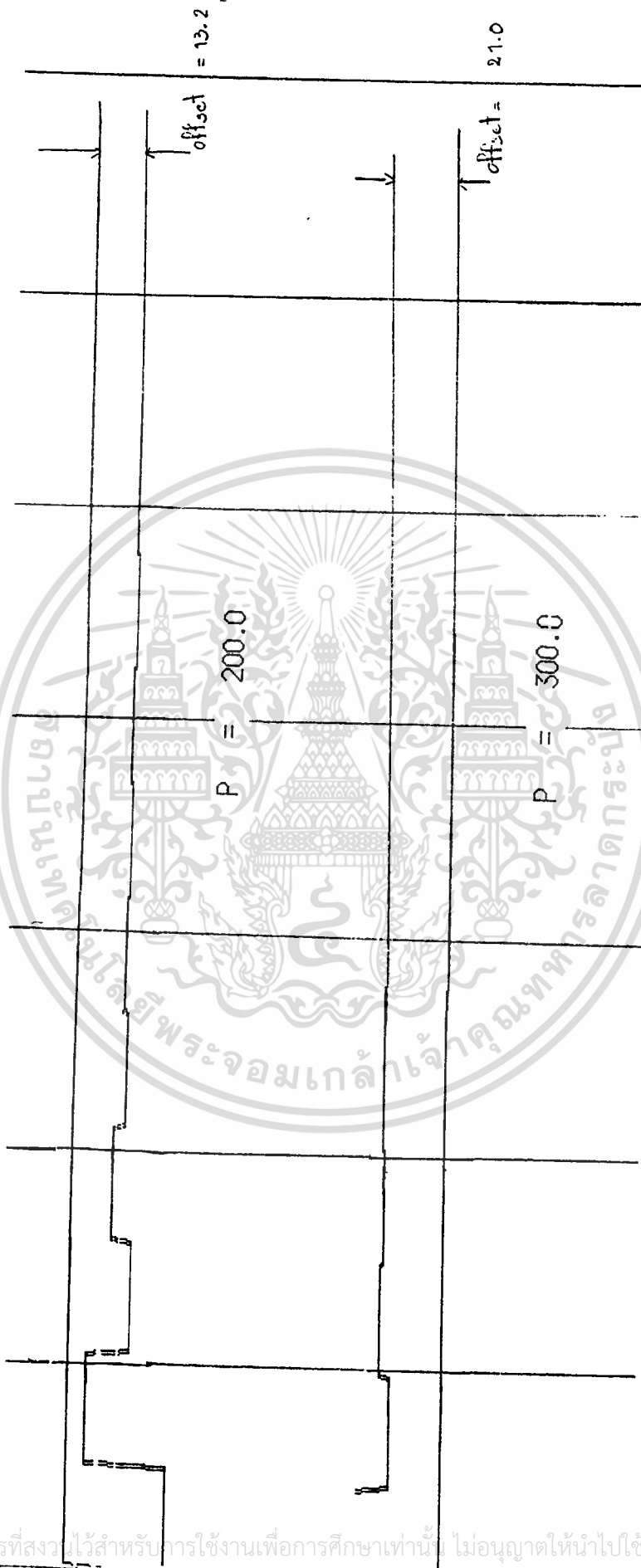
กราฟฟิกที่แสดงถึงกระบวนการความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับค่า proportional band ของตัวควบคุมให้มีค่าน้อยๆ ตัวอย่างจากที่ทดลองคือ กราฟของค่า  $P = 6.3$  จะทำให้ค่าของเอาต์พุตเกิดการ oscillate และเมื่อทำการปรับค่าของ proportional band ให้มากขึ้น จะพบว่าเกิด offset มากขึ้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากกราฟ

$P = 200$  จะได้ค่า offset = 13.2

$P = 300$  จะได้ค่า offset = 21.0

หลังจากการเปรียบเทียบกับกราฟทดลองชุดที่ 1 ( การควบคุมกระบวนการแบบ P ของ อุณหภูมิ ) พบว่า ถึงแม้จะกำหนดค่า  $P$  ของทั้ง 2 กระบวนการให้มีค่าเท่ากันก็ตาม แต่ผลที่ได้จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาที่เอาต์พุตจะเข้าสู่ set point และค่า offset ที่ได้จะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากกระบวนการทั้ง 2 นั้น มี characteristic ที่แตกต่างกันนั่นเอง



## บทที่ 2 การปรับค่า PI

### ทฤษฎี

เครื่องควบคุมแบบ I (Integral Controller หรือ I Controller)

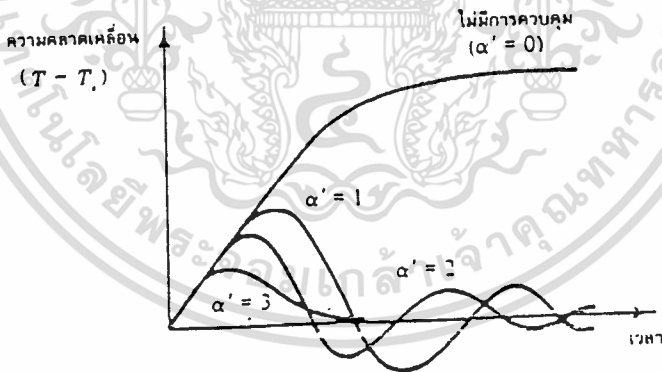
สัญญาณควบคุมมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมตามสมการ

$$c(t) = K_c / T_i \int E(t)dt + C,$$

$T_i$  = ค่าคงที่ของช่วงเวลายินทิเกรต

ผลของการควบคุมแบบไอในระบบการทางอุตสาหกรรม

ผลของการควบคุมแบบไอจะทำให้ระบบการมีการตอบสนองช้าลง และมีความคลาดเคลื่อนลดลงจนหมดไป รวมทั้งมีการแกว่งเกิดขึ้นด้วย



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $E(t)$  และ  $K_c / T_i$  ในการควบคุมแบบไอ

เครื่องควบคุมแบบไอในระบบการทางอุตสาหกรรมที่ใช้กันนั้น ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆในการออกแบบวงจรมอดูลาร์และวงจรถอนิกส์ เครื่องควบคุมจึงมีลักษณะเป็นเครื่องควบคุมแบบพีไอ ดังจะกล่าวต่อไป

เครื่องควบคุมแบบพีไอในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

สัญญาณควบคุมมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมตามสมการ

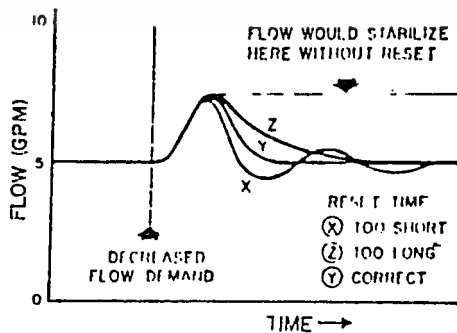
$$c(t) = K_c E(t) + K_c / T_i \int E(t) dt + C_s$$

ผลของการควบคุมแบบพีไอในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

1. กระบวนการไม่มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุม ค่ากระบวนการจะเข้าสู่เป้าหมายการควบคุมเสมอเนื่องจากการควบคุมแบบไอ
2. การเพิ่มค่า  $K_c$  จะทำให้การตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้น เนื่องจากผลของการควบคุมแบบพีและแบบไอ กระบวนการจะแกว่งมากขึ้น ค่าตอบสนองสูงสุดและอัตราการลดทอนเพิ่มขึ้น อัตราการตอบสนองของกระบวนการมีค่ามากขึ้นและเฉื่อยภาพของกระบวนการจะลดลงเนื่องจากผลการควบคุมแบบไอ
3. การลดค่า  $T_i$  จะทำให้การตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้น กระบวนการมีการแกว่งมากขึ้น ค่าการตอบสนองสูงสุดและอัตราการลดทอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลการควบคุมแบบไอ

การควบคุมแบบ PROPORTIONAL+RESET

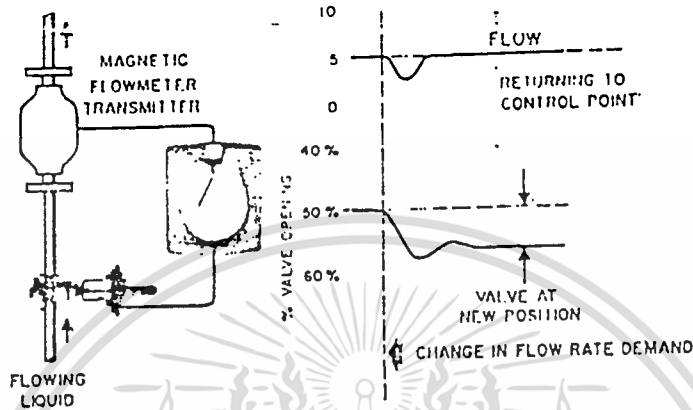
ในกระบวนการบางอย่าง เช่น กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการวัด และควบคุมการไหลนั้น proportional band จำเป็นจะต้องมีค่ามาก เพื่อป้องกันมิให้เกิดการ oscillate นั่นก็คือ จะเกิด offset ที่มีค่ามากด้วย ถ้า load มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวควบคุมเข้าไปอีกเพื่อทำให้ offset มีค่าลดลง และทำให้ค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ แม้ว่า load จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกก็ตาม ตัวควบคุมที่เพิ่มเข้าไปนี้ ก็คือ ตัวควบคุมแบบ reset ซึ่งจะสามารถลดค่าของ offset ลงได้ รูปที่ 2 แสดงถึงผลของตัวควบคุมแบบ reset ที่ใช้ในการกำจัดของ offset อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ load



รูปที่ 2 การลดค่า offset เนื่องมาจาก load เปลี่ยนแปลงโดยในตัวควบคุมแบบ reset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าถ้า reset time ของตัวควบคุมแบบ reset (integral) มีค่าน้อยเกินไป แล้ว เอาท์พุท ของระบบจะเกิดการ oscillate แต่ถ้า reset time มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ offset หดไปอย่างช้าๆ สำหรับรูปที่ 3 จะแสดงถึง curve ของผลตอบสนองของระบบควบคุมการไหล



รูปที่ 3 Curve ของผลตอบสนองของระบบควบคุมการไหลเมื่อ load เปลี่ยนแปลง

### การทดลองชุดที่ 3

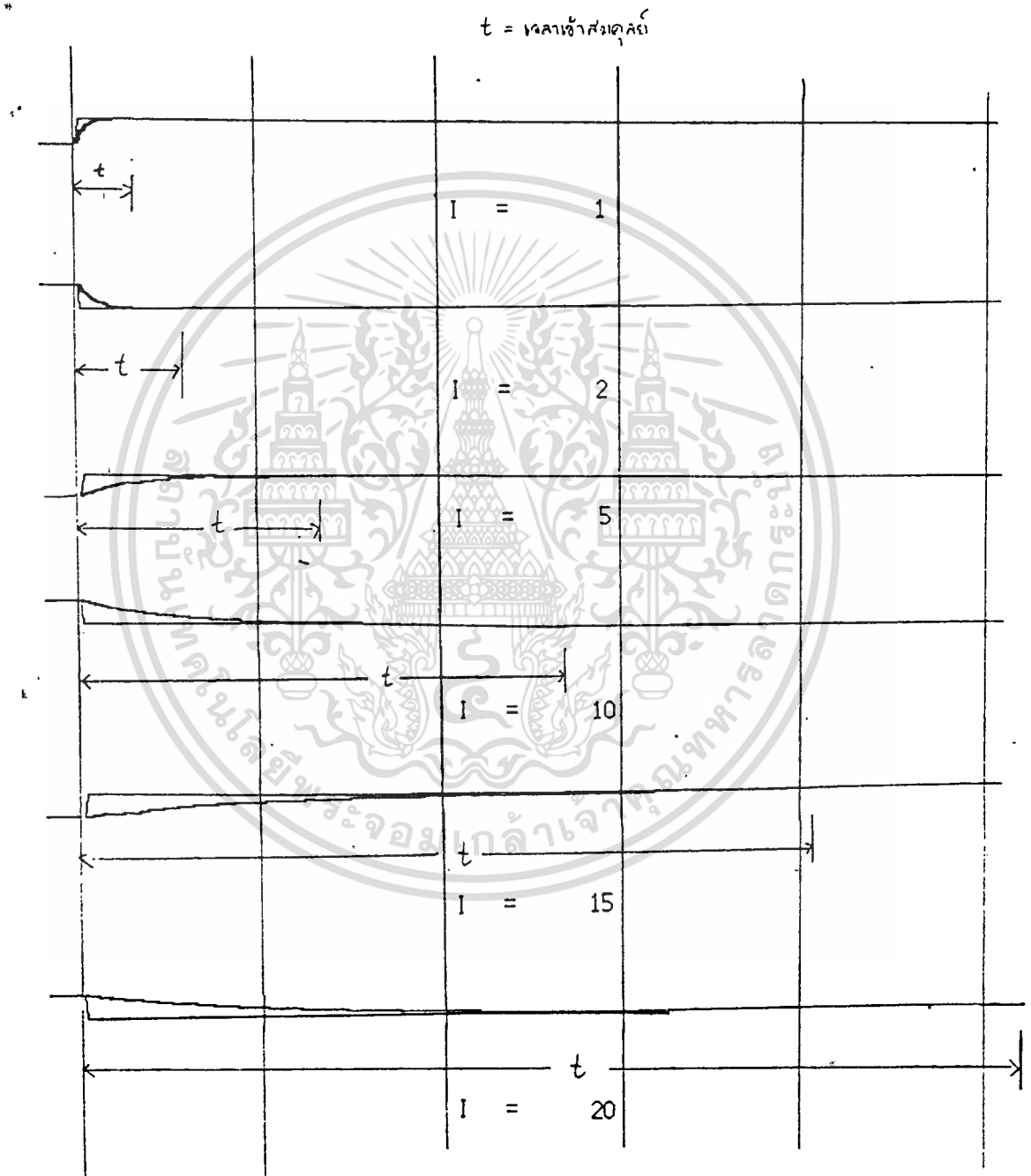
#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการควบคุมกระบวนการแบบพีไอ (PI)
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการอุณหภูมิโดยการปรับค่า PI

#### วิธีการทดลอง

1. กดคีย์ F8 (TIC-0006)
  2. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ P เพื่อทำการปรับค่าให้ = 150
  3. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ D เพื่อทำการปรับค่าให้ = 0
  4. กำหนดค่า SV = 75 จากนั้นทำการปรับค่า I = 1 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  5. กำหนดค่า SV = 100 จากนั้นทำการปรับค่า I = 2 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  6. ปรับค่า I เป็นค่าต่างๆ บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ ในการเปลี่ยนค่า I ในแต่ละครั้ง ต้องเปลี่ยนค่า SV เพื่อจะได้สังเกตการเข้าสู่ set point ของเอาท์พุท
- หมายเหตุ ค่า SV อาจจะทำหนดเป็นค่าอื่นก็ได้

ผลการทดลอง



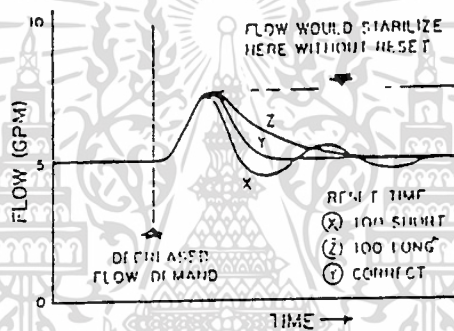
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในชุดที่ 1 การควบคุมกระบวนการแบบ P นั้น ค่า P ต้องมีค่ามาก เพื่อป้องกันมิให้เกิดการ Oscillate นั่นก็คือเกิด offset มากด้วยถ้า load มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น การที่ทำให้ offset ลดลง เราจึงเพิ่มตัวควบคุมเข้าไป ซึ่งก็คือ ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ซึ่งจะสามารถลดค่า offset ลงได้

สังเกตจากกราฟที่ได้จากการทดลอง พบว่า เมื่อ reset time มีค่าน้อยลงจะส่งผล คือ offset จะหมดไป เช่น เมื่อกำหนดค่า  $I = 3$  จะใช้เวลากำจัด offset 1 นาที

เมื่อกำหนดค่า  $I = 10$  จะใช้เวลากำจัด offset เกือบจะ 3 นาที



รูปแสดงถึง การลดค่า offset อันเนื่องมาจาก load เปลี่ยนแปลง โดยใช้ตัวควบคุมแบบ I

ซึ่งจากกระบวนการอุณหภูมินี้ จะเห็นว่าค่า I ที่เหมาะสมที่สุด คือ  $I = 1$  ใช้เวลากำจัด offset น้อยที่สุด

สรุปได้ว่า ผลจากการลดค่า reset time น้อยลง คือ

1. offset จะหมดไป
2. ผลการตอบสนองจะเกิดเร็วขึ้น
3. อัตราส่วนของช่วงกว้างของการแกว่งจะเพิ่มขึ้น นั่นคือ ระบบจะขาดเสถียรภาพมากขึ้น

## การทดลองชุดที่ 4

### จุดประสงค์

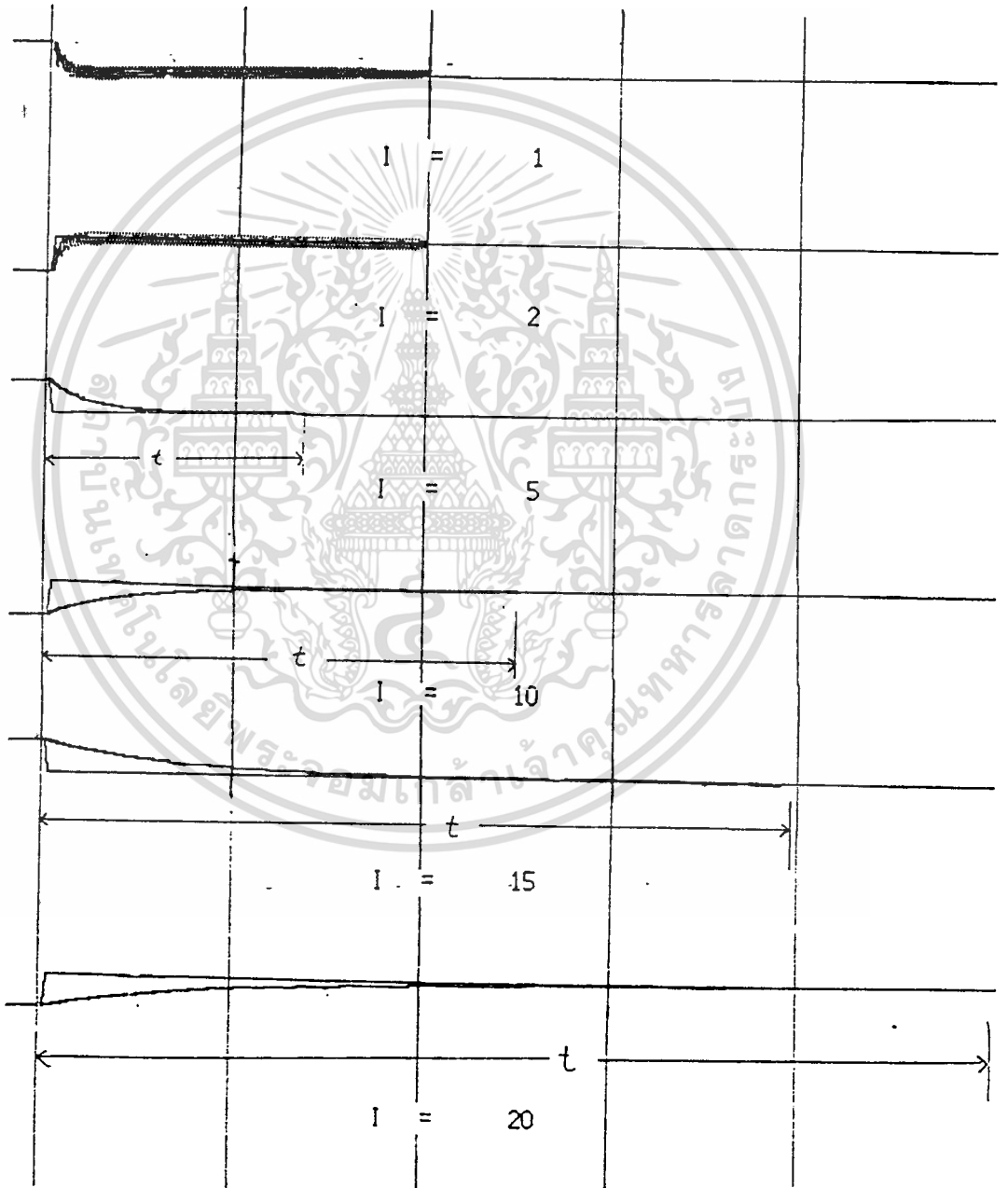
1. เพื่อศึกษาการควบคุมกระบวนการแบบพีไอ (PI)
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการความดันโดยการปรับค่า PI

### วิธีการทดลอง

1. กดคีย์ F8 (PIC-0006)
2. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ P เพื่อทำการปรับค่าให้ = 200.0
3. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ D เพื่อทำการปรับค่าให้ = 0
4. กำหนดค่า SV = 80 จากนั้นทำการปรับค่า I = 1 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
5. กำหนดค่า SV = 70 จากนั้นทำการปรับค่า I = 2 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
6. ปรับค่า I เป็นค่าต่างๆ บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ ในการเปลี่ยนค่า I ในแต่ละครั้ง ต้องเปลี่ยนค่า SV เพื่อจะได้สังเกตการเข้าสู่ set point ของเอาต์พุต
7. เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผลการทดลองชุดที่ 4, 2 และ 3  
หมายเหตุ ค่า SV อาจจะทำเป็นค่าอื่นก็ได้

ผลการทดลอง

t = เวลาเข้าศูนย์กลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในชุดที่ 2 การควบคุมกระบวนการแบบ P นั้น ค่า P ต้องมีค่ามาก เพื่อป้องกันมิให้เกิดการ Oscillate นั่นก็คือ เกิด offset มากด้วย ถ้า load มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการที่ทำให้ offset ลดลง เราจึงเพิ่มตัวควบคุมเข้าไป ซึ่งก็คือ ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ซึ่งจะสามารถลดค่า offset ลงได้

หลังจากเปรียบเทียบกับผลการทดลองชุดที่ 3 พบว่า ถึงแม้ว่าค่า  $K_c$  ในการทดลองทั้งสอง มีค่าเท่ากัน แต่ผลก็คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ set point ได้ค่าที่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากกระบวนการทั้งสองนั้นมีค่า characteristic แตกต่างกันนั่นเอง



### บทที่ 3 การปรับค่า PID

#### ทฤษฎี

เครื่องควบคุมแบบ D ( Derivative Controller หรือ D Controller )

สัญญาณควบคุมมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุม ตามสมการ

$$c(t) = K_c T_D d E(t) / dt + C_s$$

$T_D =$  ค่าคงที่ของเวลาอนุพันธ์

ผลของการควบคุมแบบดีในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

ผลของการควบคุมแบบดี จะทำให้ผลการตอบสนองของกระบวนการช้าลงและเสถียรภาพของระบบดีขึ้น

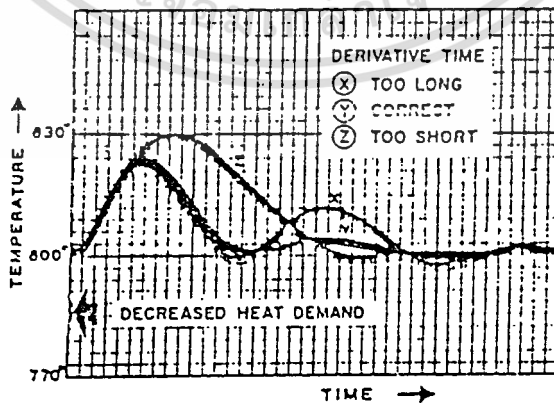
เครื่องควบคุมแบบพีไอดีในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

สัญญาณควบคุมมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมตามสมการ

$$c(t) = K_c E(t) + K_c / T_I \int E(t) dt + K_c T_D d/dt E(t) + C_s$$

ผลการควบคุมแบบ PID ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

จะได้ผลเช่นเดียวกับการควบคุมแบบพีไอ แต่ว่ากระบวนการจะมีเสถียรภาพดีขึ้น เนื่องจากการควบคุมแบบดี แต่ค่า  $K_c$  ไม่สามารถทำให้ค่าการตอบสนองสูงสุดและอัตราการลดทอนของกระบวนการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการควบคุมแบบพีไอ



รูปที่ 1 การเพิ่มตัวควบคุมแบบ derivative เข้าไปจะทำให้กระบวนการยังคง

มีเสถียรภาพดีถึงแม้ว่า proportional band จะมีค่าน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองชุดที่ 5

### จุดประสงค์

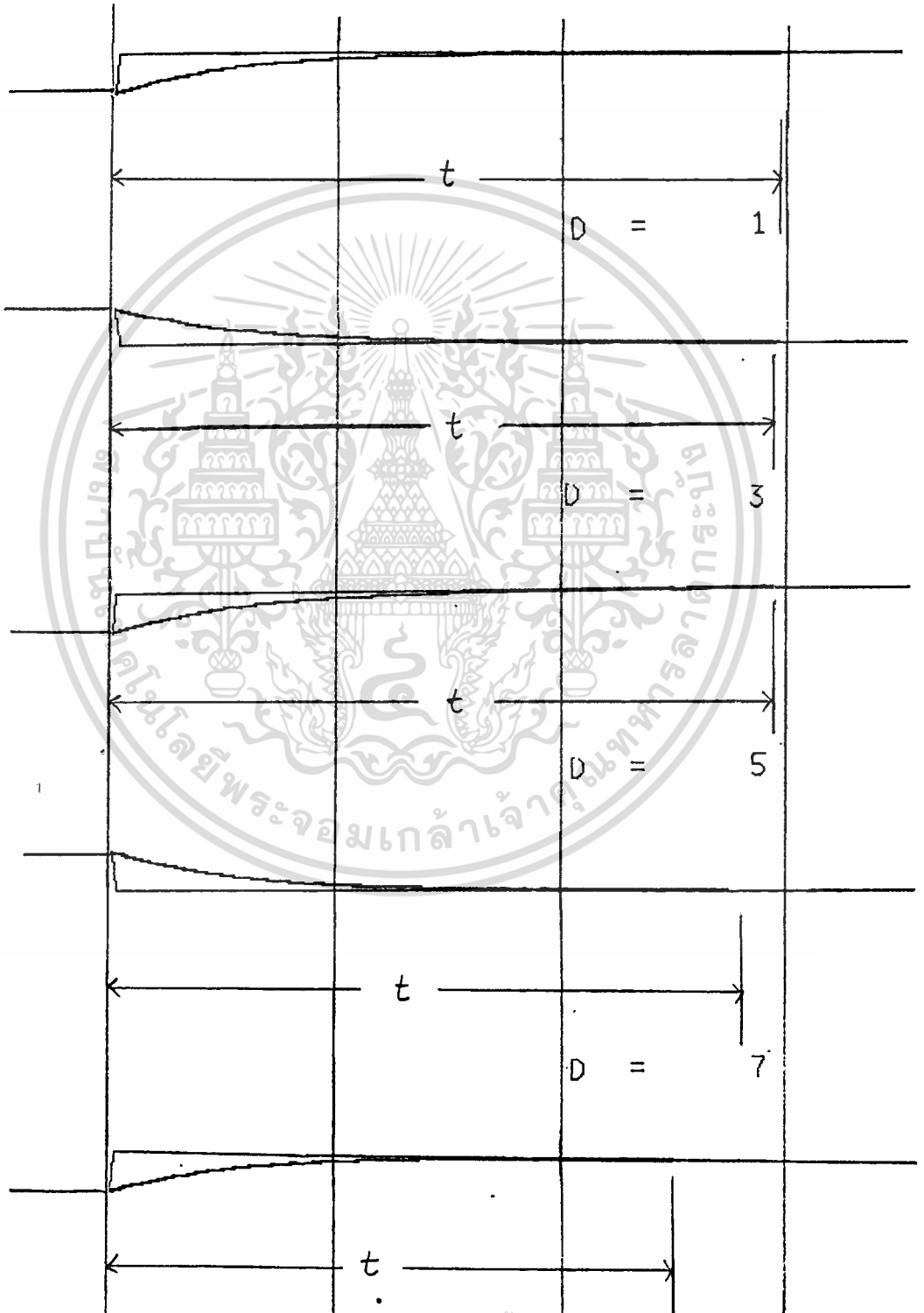
1. เพื่อศึกษาการควบคุมกระบวนการแบบพีไอดี (PID)
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการอุณหภูมิโดยการปรับค่า P, I และ D

### วิธีการทดลอง

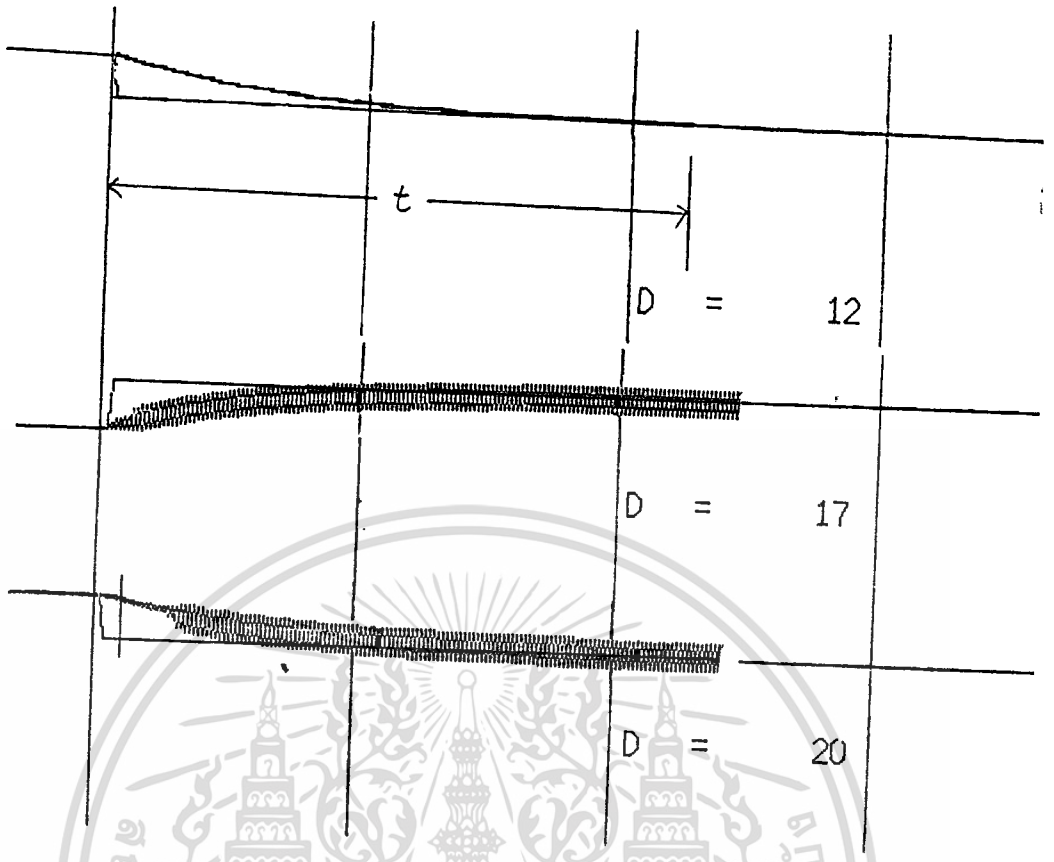
1. กดคีย์ F8 (TIC-0006)
  2. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ P เพื่อทำการปรับค่าให้ = 200.0
  3. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ I เพื่อทำการปรับค่าให้ = 0
  4. กำหนดค่า SV = 100 จากนั้นทำการปรับค่า D = 1 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  5. กำหนดค่า SV = 75 จากนั้นทำการปรับค่า D = 3 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  6. ปรับค่า D เป็นค่าต่างๆ บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ ในการเปลี่ยนค่า D ในแต่ละครั้ง ต้องเปลี่ยนค่า SV เพื่อจะได้สังเกตการเข้าสู่ set point ของเอาร์ทพุท
  7. เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผลการทดลองชุดที่ 5 และ 3
- หมายเหตุ ค่า SV อาจจะถูกกำหนดเป็นค่าอื่นก็ได้

ผลการทดลอง

$t$  = เวลาเข้าสู่สมดุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 10 ข้อชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า กิริยาควบคุมแบบ derivative จะช่วยให้เข้าสู่ set point ได้เร็วขึ้น สังเกตจากกราฟในการทดลองชุดที่ 3 (PI ของ temperature)

เมื่อ  $P = 200$  และ  $I = 10$  จะเห็นว่าเวลาในการเข้าสู่ set point ขณะที่ค่า D มีค่าต่างๆจะใช้เวลาน้อยกว่า เมื่อ D มีค่าเป็น 0 และยิ่งเพิ่มค่า D เวลาในการเข้าสู่ set point ก็ยิ่งลดลง จึงสรุปได้ว่า เมื่อเราปรับค่า derivative time ให้มีค่าที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้กระบวนการมีค่า proportional band ที่แคบๆได้โดยที่กระบวนการนั้นยังคงเสถียรภาพดี



## การทดลองชุดที่ 6

### **จุดประสงค์**

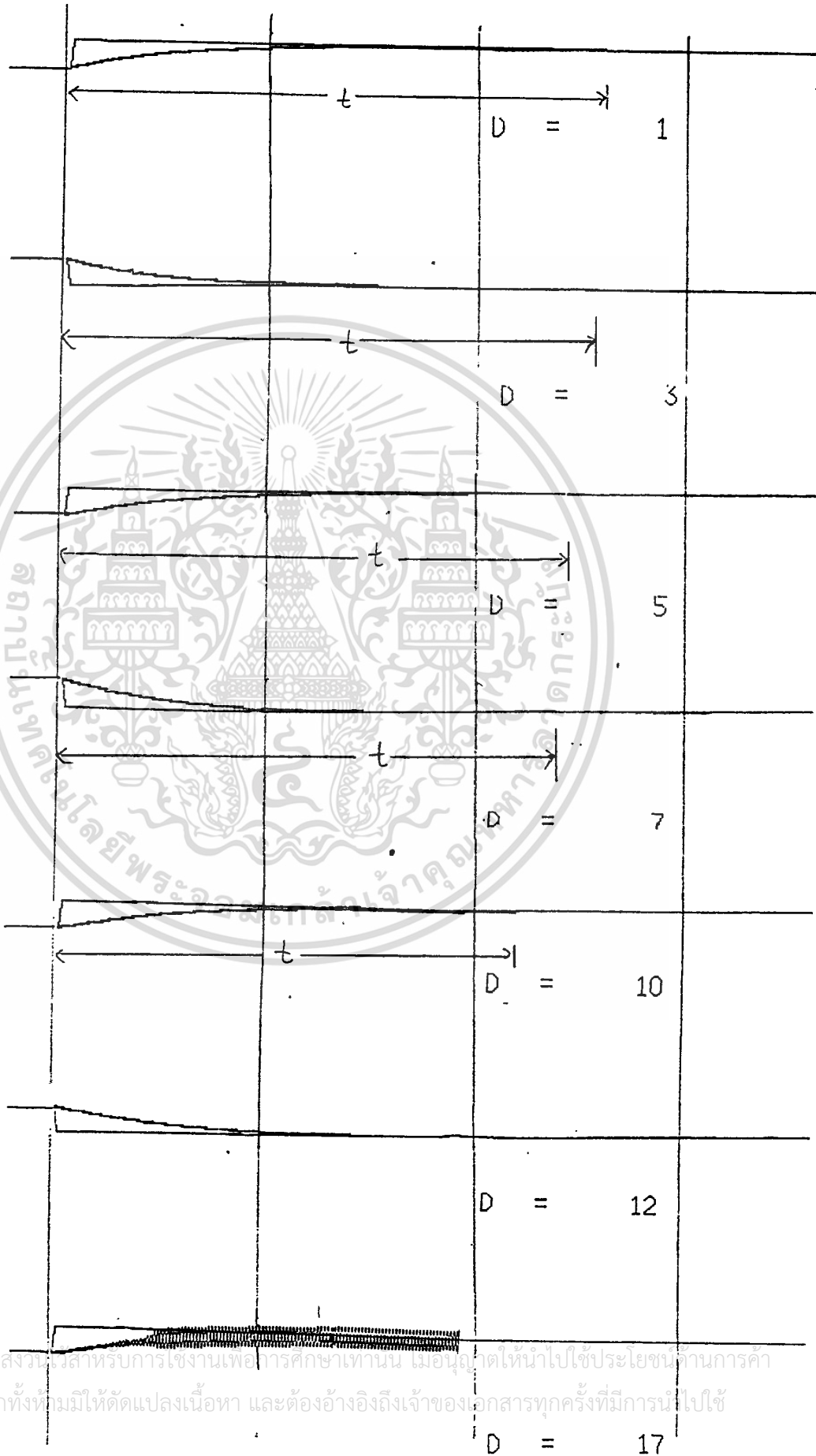
1. เพื่อศึกษาการควบคุมกระบวนการแบบพีไอดี (PID)
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการ ความดันโดยการปรับค่า P , I และ D

### **วิธีการทดลอง**

1. กดคีย์ F8 ( PIC-0006 )
  2. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ P เพื่อทำการปรับค่าให้ = -200.0
  3. เลื่อน  $\Rightarrow$  ไปที่ I เพื่อทำการปรับค่าให้ = 0
  4. กำหนดค่า SV = 100 จากนั้นทำการปรับค่า D = 1 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  5. กำหนดค่า SV = 75 จากนั้นทำการปรับค่า D = 3 บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ
  6. ปรับค่า D เป็นค่าต่างๆ บันทึกผลการทดลองและสังเกตกราฟ ในการเปลี่ยนค่า D ในแต่ละครั้ง ต้องเปลี่ยนค่า SV เพื่อจะได้สังเกตการเข้าสู่ set point ของเอาต์พุต
  7. เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผลการทดลองชุดที่ 6 และ 4
- หมายเหตุ ค่า SV อาจจะกำหนดเป็นค่าอื่นก็ได้

$t =$  ทล.เข้าสู่มวล

ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D = 17

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ฏิกิริยาควบคุมแบบ derivative จะช่วยให้เข้าสู่ set point ได้เร็วขึ้น สังเกตจากกราฟในการทดลองชุดที่ 4 (PI ของ pressure )

เมื่อ  $P = 200$  และ  $I = 10$  จะเห็นว่าเวลาในการเข้าสู่ set point ขณะที่ค่า D มีค่าต่างๆ จะใช้เวลาน้อยกว่า เมื่อ D มีค่าเป็น 0 และยิ่งเพิ่มค่า D เวลาในการเข้าสู่ set point ก็ยิ่งลดลง จึงสรุปได้ว่า เมื่อเราปรับค่า derivative time ให้มีค่าที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้กระบวนการมีค่า proportional band ที่แคบๆ ได้โดยที่กระบวนการนั้นยังคงเสถียรภาพดี



## บทที่ 4 CASCADE

### ทฤษฎี

Cascade Control เป็นการควบคุมชนิด Combine Control ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการควบคุมกระบวนการ การควบคุมแบบ Cascade นี้จะมีรูปการควบคุมอยู่ 2 รูป ใน 2 รูปนี้มีตัวควบคุม คือ Master Controller และ Slave Controller Cascade Control นี้จะใช้ได้ดีในกระบวนการที่มี Disturbance และ Dead Time มาก

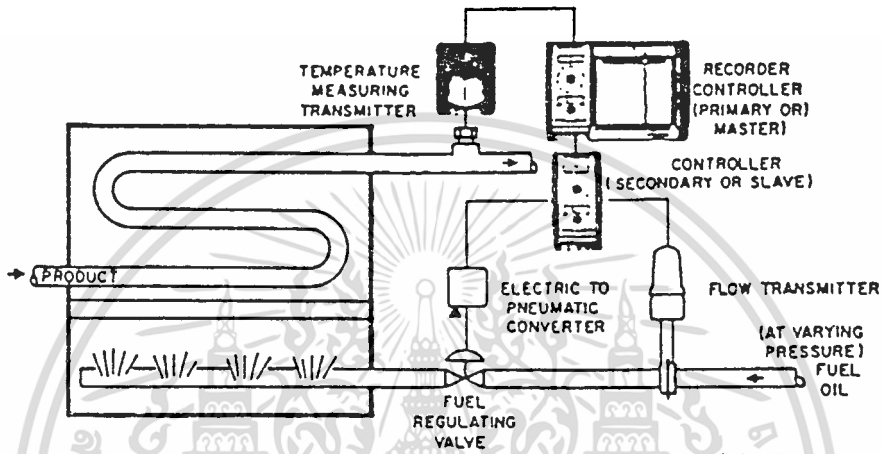
จุดมุ่งหมายของระบบควบคุมแบบ cascade ก็เหมือนกับตัวควบคุมแบบ loop เดียวทั่วไป คือ ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานไหลเข้ากับพลังงานไหลออก และทำให้ตัวแปรที่ถูกควบคุมมีค่าคงที่ตามต้องการ อย่างไรก็ตาม loop ที่สองของระบบควบคุมแบบ cascade จะทำให้ lag ในกระบวนการมีค่าลดลง ดังนั้นการไหลเข้าที่มีเสถียรภาพจะทำให้การทำงานทั้งหมดมีความเที่ยงตรงมากขึ้น

ตัวควบคุมรองนี้อาจจะถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายที่มีความประณีตละเอียดมาก และถูกควบคุมโดยตัวควบคุมหลัก ( ทำนองเดียวกันกับระบบควบคุมที่มีตัวควบคุม ซึ่งเป็นตัวกำหนดการทำงานของวาล์วควบคุมเพียงตัวเดียว ) และตัวแปรตัวที่สองนี้จะไม่ได้ถูกควบคุมเช่นเดียวกับตัวแปรตัวแรก ( ตัวแปรที่ถูกควบคุม ) แต่ตัวแปรตัวที่สองนี้จะเหมือนตัวกลางของการควบคุม ตัวอย่างเช่น ถ้าตัวควบคุมการไหล นั่นก็คือ ตัวควบคุมหลักจะไม่ได้เป็นตัวบังคับ หรือ กำหนดตำแหน่งของวาล์ว แต่จะไปควบคุมการไหลแทน

ในกรณีของระบบควบคุมแบบ cascade นั้น ระบบอิเล็กทรอนิกส์ จะเป็นระบบที่ดีกว่าระบบนิวแมติกส์ รูปที่ 1 เป็นตัวอย่างอันหนึ่งของระบบควบคุมแบบ cascade ที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ กระบวนการจะประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทำให้ร้อน โดยที่ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งเข้าไปในหลอดที่ผ่านเตาทำความร้อน ซึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการทำความร้อน และสิ่งที่ต้องการควบคุมก็คือ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด การควบคุมนี้จะทำได้ค่อนข้างยาก เพราะแรงดันของเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนแปลงอย่างเอาแน่ไม่ได้ตลอดเวลา เมื่อแรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น จะทำให้ความร้อนของเตาเพิ่มมากขึ้น นั่นก็คือ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะสูงเกินกว่าที่ต้องการได้ ในกรณีที่ ถ้ากระบวนการนี้มีตัวควบคุมเพียงตัวเดียวนั้น ตัวควบคุมก็จะพยายามแก้ไขให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามต้องการ โดยควบคุมให้การไหลเข้าของเชื้อเพลิงลดลง และถ้าในเวลาเดียวกันนี้แรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงมาด้วย ผลที่เกิดขึ้น ก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปเกินกว่าช่วงที่ยอมรับได้ นั่นก็คือ กระบวนการแบบนี้จะต้องใช้ระบบควบคุมแบบ cascade โดยที่ตัวควบคุมการไหลจะทำหน้าที่ป้องกันกระบวนการจากการเปลี่ยนแปลงของผลข้างเคียง ( side effect variation ) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเชื้อเพลิง และจะทำให้ตัวควบคุมหลักทำการควบคุมอุณหภูมิ



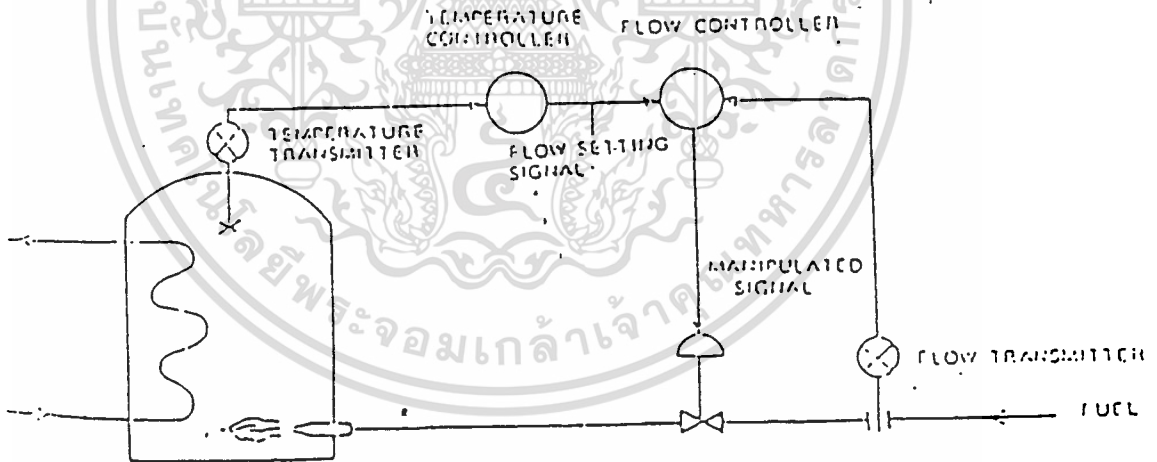
รูปที่ 1 ระบบควบคุมแบบ cascade ซึ่งต้องการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้คงที่ ถึงแม้ว่าแรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทำความร้อนจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

การวัดการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ทำได้โดยการตรวจวัดแรงดันตกคร่อมแผ่น orifice และใช้เครื่องส่งแรงดันแตกต่างกันด้วย สัญญาณ 10 - 50 mAdc ( หรือ 4 - 20 m Adc ) ซึ่งเป็น output ของเครื่องส่งแรงดันแตกต่างกัน จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมรอง ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการไหลของเชื้อเพลิง สำหรับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์นั้น จะถูกวัดโดยเครื่องส่งอุณหภูมิ สัญญาณ output 10 - 50 mAdc ( หรือ 4 - 20 mAdc ) ของเครื่องส่งอุณหภูมิ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่าของอุณหภูมิจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมหลัก และสัญญาณ output ของตัวควบคุมหลักซึ่งมีค่า 10 - 50 mAdc ( หรือ 4 - 20 mAdc ) จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมรอง โดยที่ cascade ของตัวควบคุมหลักจะตั้งไว้ที่ตำแหน่ง " cascade" สัญญาณ output ของตัวควบคุมหลักซึ่งส่งมายังตัวควบคุมรองนี้จะเป็นค่าที่กำหนดไว้ของตัวควบคุมรองเอง ดังนั้น ฟังก์ชันการทำงานของระบบนี้ก็จะ เป็นแบบ cascade

การวิเคราะห์ระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ จะสามารถแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบ cascade นั้น จะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติ ( natural frequency ) มีค่ามากขึ้น และทำให้ค่าของ time constants บางค่าในระบบลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นผลดีต่อระบบควบคุมกระบวนการยิ่งไปกว่านั้น ระบบควบคุมแบบ cascade ยังทำให้

1. ลดผลของ disturbance ลงได้
2. การปรับค่าต่างๆในกรณีที่มี disturbance ทำได้แน่นอนกว่า
3. สามารถกำหนดขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างในตัวควบคุมรองได้

จากรูปเป็นตัวอย่าง Cascade Control ของการควบคุมอุณหภูมิในเตา  อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิจะเป็น Master และอุปกรณ์ควบคุมการไหลจะเป็น Slave สัญญาณออกของตัวควบคุมอุณหภูมิจะส่งไปเป็นค่าเป้าหมายของตัวควบคุมการไหล  อุปกรณ์ควบคุมการไหลจะควบคุมให้การไหลของก๊าซเป็นไปตามสัญญาณจากตัวควบคุมอุณหภูมิเสมอ โดยมี Disturbance คือ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความดันก๊าซในท่อ ที่ทำให้อุณหภูมิในเตาไม่คงที่ หรือเท่ากับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้



**ระบบควบคุมแบบควบคุมร่วมกัน ( Cascade Control )**

### การทดลองที่ 7

#### จุดประสงค์

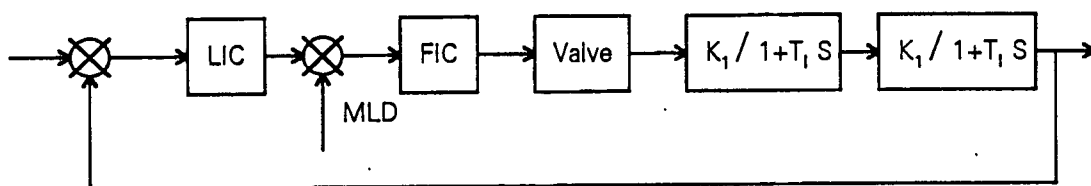
1. เพื่อศึกษาถึงระบบควบคุมแบบร่วมกัน (Cascade Control) ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม
2. เรียนรู้และทดลองควบคุมกระบวนการ การวัดระดับและการไหล

#### วิธีการทดลอง

1. เปิด graphic ไปที่หน้า 3
2. กดคีย์ F8 ( LIC-0000 )
3. ปรับค่า P, I, D แล้วสังเกตค่า MV ของ LIC และ SV ของ FIC จาก faceplate
4. ทำการทดลองเปลี่ยนค่า P, I, D ไปเป็นค่าต่างๆ สังเกตความแตกต่างในการเปลี่ยนในแต่ละครั้ง
5. สรุปผลการทดลองว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร
6. ทดลองวาด Block Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่าง LIC และ FIC
7. ทำการทดลองเปลี่ยนค่า SV ของ LIC แล้วสรุปผลที่ได้

#### สรุปผลการทดลอง

จากการสังเกตค่า MV ของ LIC และค่า SV ของ FIC จาก Faceplate ของ ( FIC-0000 ) กับ ( LIC-0001 ) จะเห็นว่าค่าSV ของ FIC จะเคลื่อนตามค่า MV ของ LIC เมื่อเปรียบเทียบจากทฤษฎีแล้วจะพบว่า ลูปการควบคุมระดับจะเป็น Master และลูปการควบคุมการไหลจะเป็น Slave ระดับที่วัดได้จะส่งไปเป็นค่าเป้าหมายของตัวควบคุมการไหล

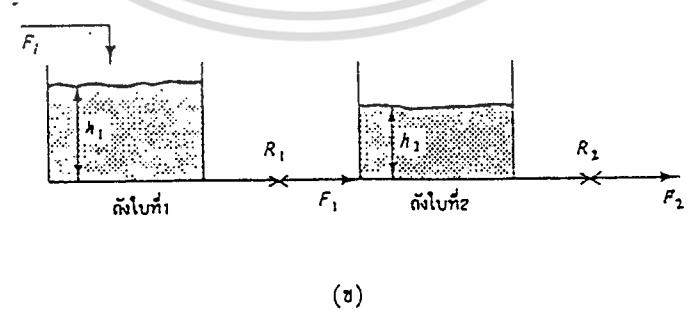
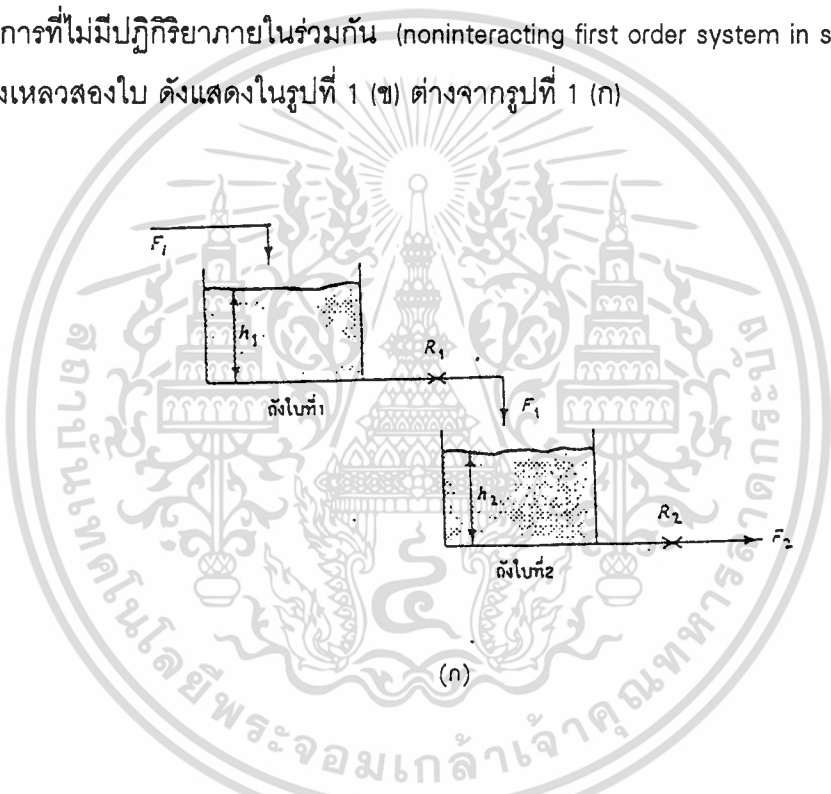




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERACTING และ NON-INTERACTING FIRST ORDER SYSTEM

กระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการถ่ายเทมวลสารหรือพลังงานระหว่างกระบวนการ เช่น ถังบรรจของเหลว 2 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ของเหลวจากถังใบแรกจะไหลเข้าสู่ถังใบที่สองระดับของเหลวในถังใบแรก จะมีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเข้าและระดับของเหลวในถังใบที่สอง แต่ระดับของเหลวของถังใบที่สอง จะไม่มีผลกระทบต่อระดับของเหลวในถังใบแรก กระบวนการที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ เป็นตัวอย่างของกระบวนการอันดับสอง ที่เกิดจากกระบวนการอันดับหนึ่งสอง กระบวนการที่ไม่มีปฏิริยาภายในร่วมกัน (noninteracting first order system in series) และถึงบรรจของเหลวสองใบ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) ต่างจากรูปที่ 1 (ก)



รูปที่ 1 กระบวนการอันดับสองประกอบด้วยถังบรรจของเหลว 2 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับของเหลวในถัง 2 ใบ จะมีปฏิริยาภายในร่วมกันกระทบต่อสภาพของถังอีกใบหนึ่งเสมอ กระบวนการเช่นนี้ เป็นตัวอย่างของกระบวนการอันดับสอง ที่เกิดจากกระบวนการอันดับหนึ่ง 2 ,กระบวนการที่มีปฏิริยาภายในร่วมกัน (interacting first order system in series)

ในการวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวกับระดับของของเหลวนั้น จะต้องเกี่ยวข้องกับการไหลของของเหลวด้วย โดยทั่วไปแล้วการไหลของของไหลนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ทั้งนี้จะพิจารณาจากค่า Reynolds number ของของไหล ถ้า Reynolds number น้อยกว่า 2,000 การไหลนั้นจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ แต่ถ้า Reynolds number มีค่ามากกว่า 3,000-4,000 แล้วการไหลจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

ค่าความต้านทานและค่าความจุของระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลว

พิจารณาถึงค่าความต้านทาน (resistance) และค่าความจุ (capacitance) เพื่อที่จะอธิบายถึงคุณลักษณะไดนามิกของระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลว โดยจะพิจารณาจากการไหลผ่านท่อสั้นๆที่ต่ออยู่ระหว่างภาชนะบรรจ (tank) 2 ใบ ค่าความต้านทานการไหลของของเหลว จะกำหนดได้ว่า เป็นค่าของการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างของระดับของของเหลว (ความแตกต่างของระดับของของเหลวของภาชนะบรรจุทั้งสอง) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล นั่นคือ

$$R = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างของระดับของของเหลว (ft)}}{\text{การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล (ft}^3\text{/sec)}}$$

เนื่องจากว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความแตกต่างของระดับของของเหลว ในกรณีของการไหลแบบราบเรียบกับการไหลแบบปั่นป่วนไม่เหมือนกัน ในที่นี้จึงจะแยกการพิจารณาออกเป็นสองกรณี

พิจารณาระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลวในรูปที่ 2 ในระบบนี้ของเหลวจะไหลผ่าน load curve ออกจากภาชนะบรรจุ ถ้าการไหลผ่านสิ่งกีดขวางนี้เป็นแบบราบเรียบ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ภาวะคงที่ (steady state) และความสูง (head) ที่ภาวะคงที่ที่ระดับของสิ่งกีดขวาง จะกำหนดได้จาก

$$Q = KH$$

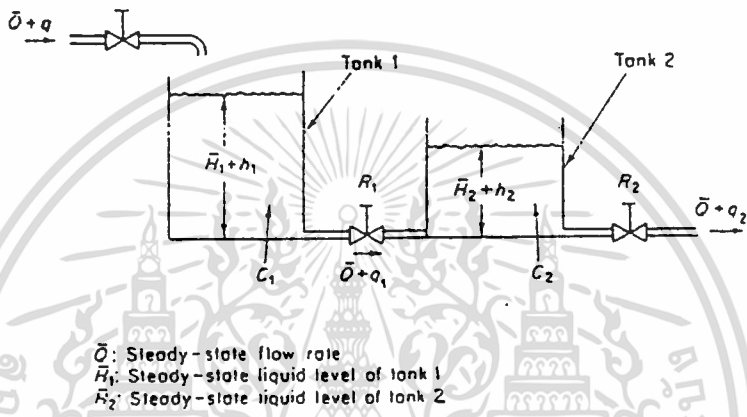
โดยที่  $Q =$  อัตราการไหลของของเหลวที่ภาวะคงที่ (ft<sup>3</sup> / sec)

$K =$  สัมประสิทธิ์ (ft<sup>2</sup> / sec)

$H =$  ความสูงที่ภาวะคงที่ (ft)

### ระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลวที่มีปฏิกริยาซึ่งกันและกัน

พิจารณาระบบในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นระบบที่มีภาชนะบรรจสองภาชนะซึ่งต่ออย่างมีปฏิกริยาซึ่งกันและกัน ดังนั้น transfer function ของระบบ จะไม่เท่ากับผลคูณของ transfer function อันดับหนึ่งสองชุดคูณกัน



รูปที่ 2 ระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลวที่มีปฏิกริยาซึ่งกันและกัน

ในที่นี้จะสมมติว่าการแปรค่าของตัวแปรจากค่าที่ภาวะคงที่ของมันมีค่าน้อยมาก ดังนั้น จะหาสมการต่างๆของระบบในรูปที่ 2 ได้ดังนี้

$$h_1 - h_2 = q_1 \tag{1}$$

$$\frac{C_1 dh_1}{dt} = q - q_1 \tag{2}$$

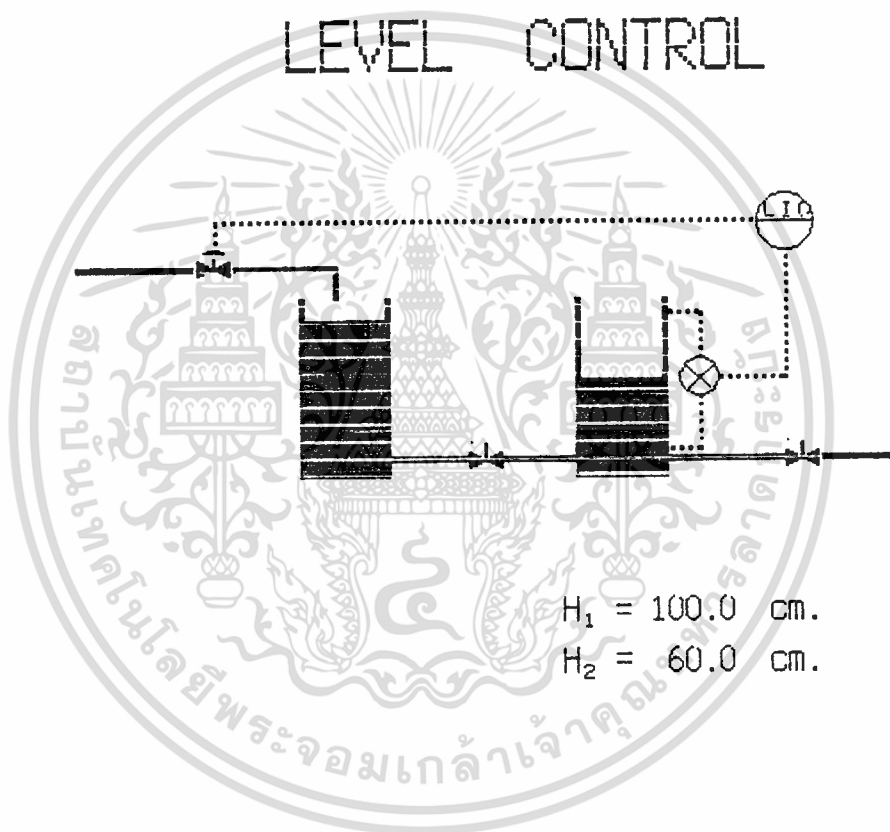
$$q_2 = \frac{h_2}{R_2} \tag{3}$$

และ

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \tag{4}$$

ถ้าให้ q เป็นอินพุตและ q<sub>2</sub> เป็นเอาต์พุต transfer function ของระบบจะเป็นดังนี้

$$\frac{Q_2(s)}{Q(s)} = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1} \tag{5}$$



รูปแสดง Interacting Control Process ซึ่งแสดงใน Graphic Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการจำลองกระบวนการโดยใช้เครื่อง DCS

#### ระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลวที่มีปฏิริยาซึ่งกันและกัน

พิจารณาระบบในรูป ซึ่งเป็นระบบที่มีภาชนะบรรจสองภาชนะ ซึ่งต่ออย่างมีปฏิริยาซึ่งกันและกัน ดังนั้น transfer function ของระบบจะไม่เท่ากับผลคูณของ transfer function อันดับหนึ่งสองชุดคูณกัน



รูปที่ 1 ระบบเกี่ยวกับระดับของของเหลวที่มีปฏิริยาซึ่งกันและกัน

ในที่นี้จะสมมติว่าการแปรค่าของตัวแปรจากค่าที่ภาวะคงที่ของมันมีค่าน้อยมาก ดังนั้น จะหาสมการต่างๆของระบบในรูปที่ 1 ได้ดังนี้

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = q_i - q_1 \quad \text{----- (1)}$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad \text{----- (2)}$$

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1} \quad \text{----- (3)}$$

$$q_2 = \frac{h_2}{R_2} \quad \text{----- (4)}$$

เอา (3) , (4) แทนใน (1) , (2)

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = q_1 - \left[ \frac{h_1 \cdot h_2}{R_1} \right] \quad \text{----- (5)}$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = \left[ \frac{h_1 \cdot h_2}{R_1} \right] - \frac{h_2}{R_2} \quad \text{----- (6)}$$

จากสมการที่ (5)

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = q_1 - \left[ \frac{h_1 \cdot h_2}{R_1} \right]$$

$$R_1 A_1 \frac{dh_1}{dt} = R_1 q_1 - h_1 + h_2$$

Take Laplace

$$A_1 R_1 S H_1 = R_1 Q_1 - H_1 + H_2$$

$$A_1 R_1 S H_1 + H_1 = R_1 Q_1 + H_2$$

$$(A_1 R_1 S + 1) H_1 = R_1 Q_1 + H_2$$

$$H_1 = \frac{R_1}{A_1 R_1 S + 1} Q_1 + \frac{1}{A_1 R_1 S + 1} H_2 \quad \text{--- (7)}$$

จากสมการที่ (6)

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = \left[ \frac{h_1 \cdot h_2}{R_1} \right] - \frac{h_2}{R_2}$$

Take Laplace

$$A_2 S H_2 = \left[ \frac{H_1 \cdot H_2}{R_1} \right] - \frac{H_2}{R_2}$$

$$A_2 R_2 S H_2 = \frac{R_2}{R_1} H_1 - \frac{R_2}{R_1} H_2 - H_2$$

$$A_2 R_2 S H_2 + H_2 + \frac{R_2}{R_1} H_2 = \frac{R_2}{R_1} H_1$$

$$(A_2 R_1 R_2 S + R_1 + R_2) H_2 = R_2 H_1$$

$$H_2 = \frac{R_2}{A_2 R_1 R_2 S + R_1 + R_2} H_1$$

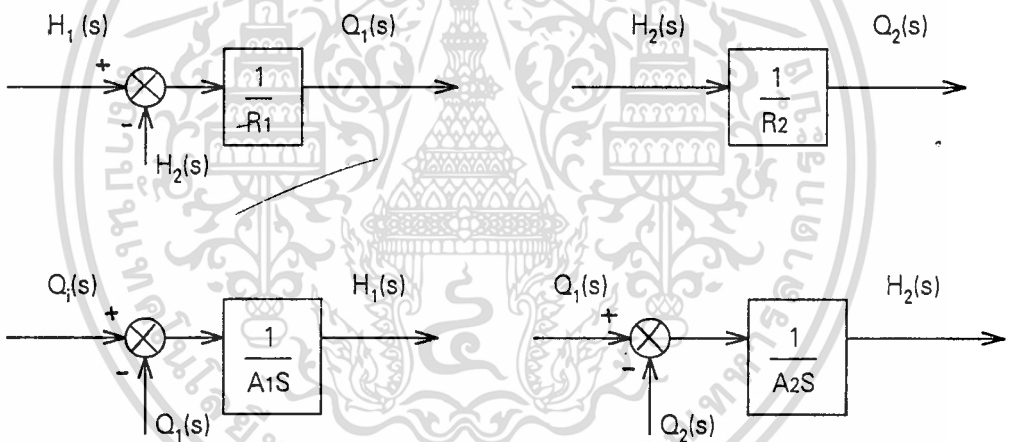
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} H_1 \bigg/ \left[ \frac{A_2 R_1 R_2}{R_1 + R_2} S + 1 \right] \text{ ----- ( 8 )}$$

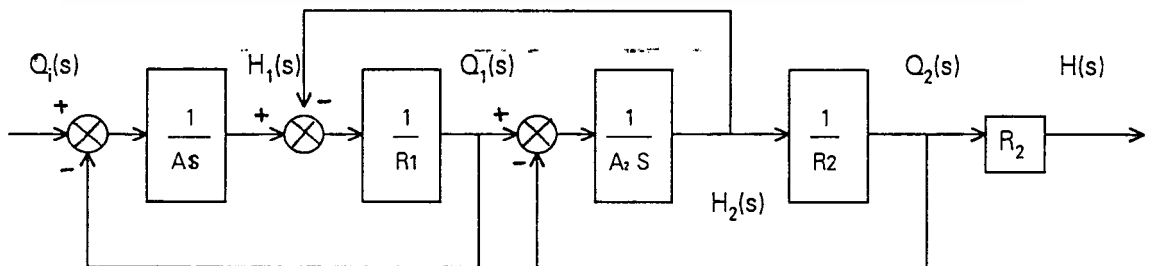
แทนสมการที่ ( 7 ) ลงใน ( 8 ) จะได้ ดังนี้

$$\frac{H_2}{Q_1} = \frac{R_2}{(A_1 A_2 R_1 R_2) S^2 + (A_1 R_1 + A_1 R_2 + A_2 R_2) S + 1}$$

เขียน block diagram ได้ดังนี้

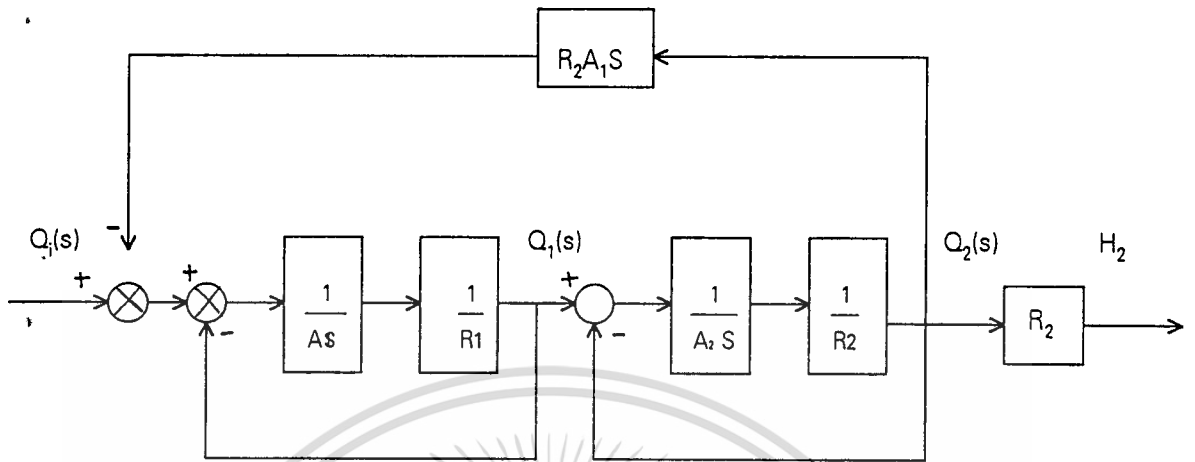


( A )



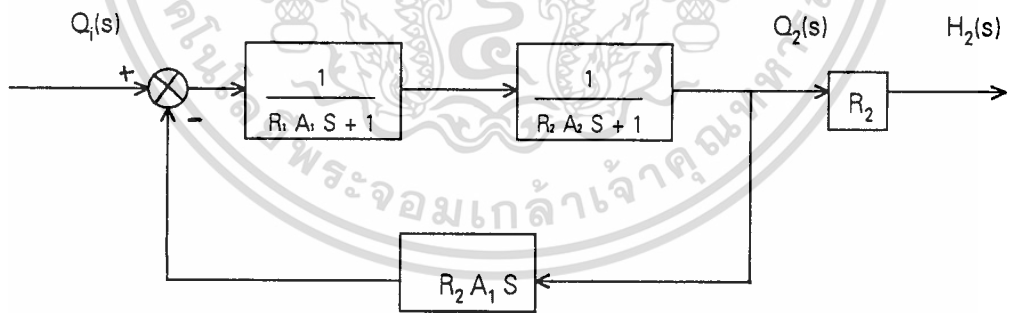
( B )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



( C )

จาก block diagram รูปข้างบนนี้ ไม่สามารถที่จะหา function ภายในเครื่องมาแทนได้ เนื่องจากภายในเครื่องไม่มี function ที่เป็น pure differential และ pure integral โดยที่  $R_2 A_1 S$  ต้องใช้เป็น pure differential ส่วน  $\frac{1}{A_1 S}$ ,  $\frac{1}{R_1}$ ,  $\frac{1}{A_2 S}$ ,  $\frac{1}{R_2}$  ต้องใช้เป็น pure integral ดังนั้นเราจึงทำการยุบ block diagram ได้เป็น



( D )

transfer function ของ Unit ต่าง ๆ ดังนี้

First Order Lag Unit ( LAG )  $\frac{K}{1 + T_1 S}$

First Order Lead Unit ( LD )  $\frac{K T_D S}{1 + T_D S}$

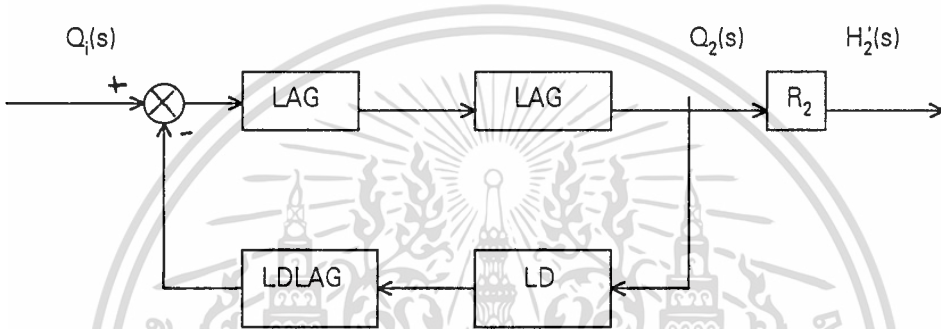
Lead / Lag Unit ( LDLAG )  $\frac{K(1 + T_D S)}{1 + T_1 S}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่วิทยาลัยอาชีวศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแต่ละ block diagram กับ transfer function ของแต่ละ Unit

จะได้  $\frac{1}{R_1 A_1 S + 1}$  และ  $\frac{1}{R_2 A_2 S + 1}$  ใช้เป็น LAG

$R_2 A_1 S$  ใช้เป็น LDLAG \* LD



จาก  $\tau = RA$   
 $\tau = (3/5) * 60 \text{ sec.}$   
 $A = (\tau / 4) (20 / 100)^2$   
 ดังนั้น  $R = 1200$

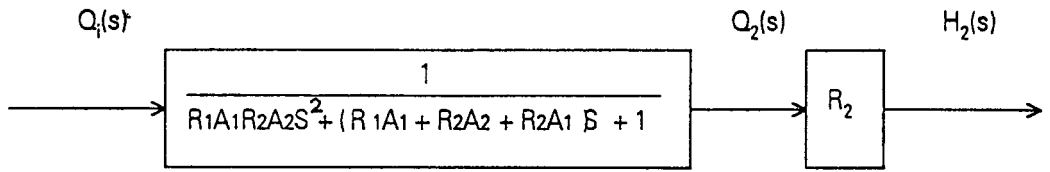
ซึ่งจากผลนี้จะเกิดปัญหา เนื่องจากมีค่ามากกว่าค่า limit gain ที่เครื่องได้กำหนดไว้ ( 0 - 4,000 )

เราจึงนำเอา PID Controller เข้ามาต่อเพิ่ม เพื่อใช้ค่า PB ของ PID Controller มาเป็น gain แทน

โดย  $T_1 = 9999 \text{ sec.}$   
 $T_D = 0 \text{ sec.}$   
 $100 / PB = 1200$

จะได้  $PB = 0.083$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 6.3 %  
 แต่ limit PB ของเครื่อง คือ 6.3 - 100 %

ดังนั้นเราจึงทำการยุบ block diagram อีก ได้เป็น

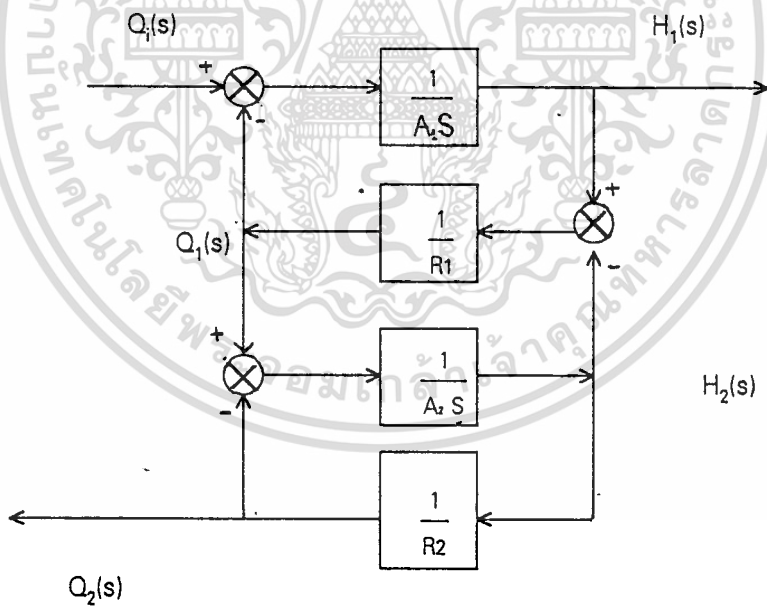


( E )

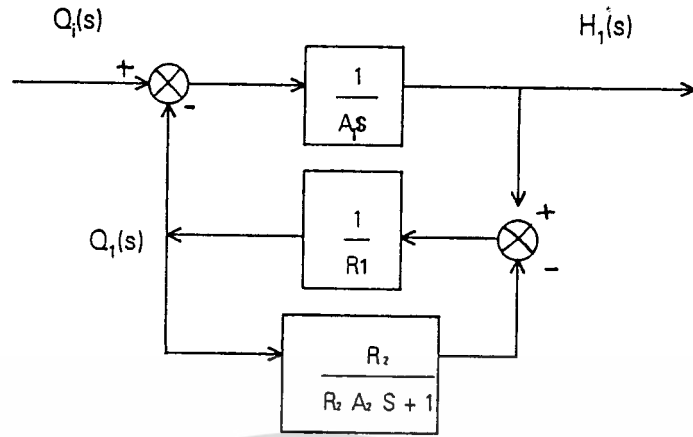
Transfer Function ที่ต้องการ คือ  $\frac{H_1}{Q_i}$  ,  $\frac{H_2}{Q_i}$  ,  $\frac{Q_1}{Q_i}$  ,  $\frac{Q_2}{Q_i}$

แต่จาก block ข้างบนนี้สามารถหา transfer function ได้เพียง  $\frac{Q_2}{Q_i}$  และ  $\frac{H_2}{Q_i}$

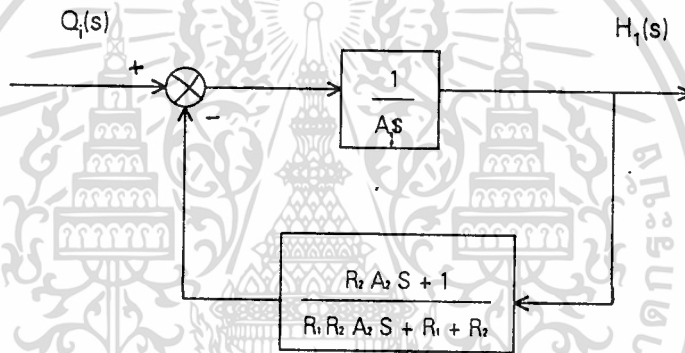
จึงนำ block diagram รูป ( C ) มาแปลง เพื่อที่จะหาค่า  $\frac{H_1}{Q_i}$  และ  $\frac{Q_1}{Q_i}$  ได้ดังนี้



( F )



( G )



( H )

จะได้

$$\frac{H_1}{Q_i} = \frac{R_1 R_2 A_2 S + R_1 + R_2}{R_1 R_2 A_1 A_2 S^2 + (R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_2 A_1) S + 1}$$

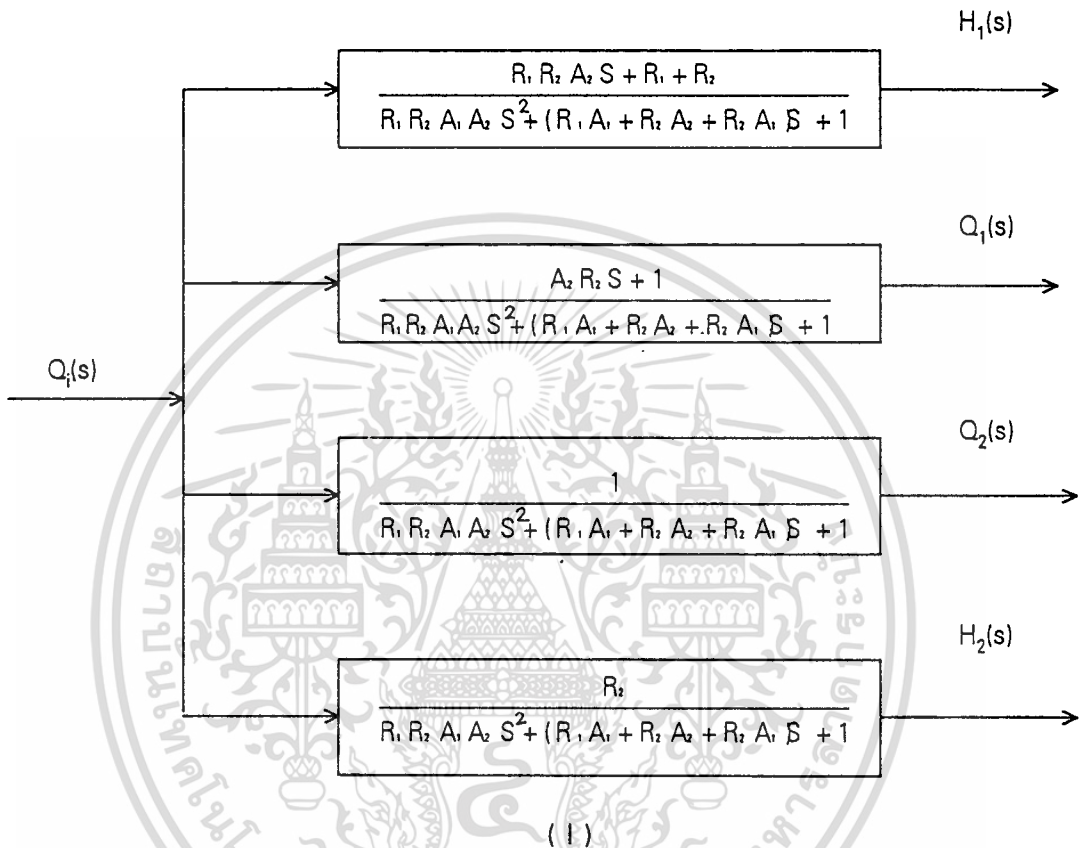
$$\frac{Q_1}{Q_i} = \frac{Q_1}{H_1} * \frac{H_1}{Q_i}$$

จะได้

$$\frac{Q_1}{H_1} = \frac{R_2 A_2 S + 1}{R_1 R_2 A_2 S + R_1 + R_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{A_2 R_2 S + 1}{R_1 R_2 A_1 A_2 S^2 + (R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_2 A_1 \beta + 1)}$



จาก transfer function ที่ได้จาก block diagram ( I ) นั้น อยู่ในรูป Second Order ซึ่งหา function จากเครื่องมาใช้ไม่ได้ ดังนั้น เราจึงใช้ First Order Unit ต่างๆมาคูณกันตามความเหมาะสม ดังนั้น จึงต้องหาค่าสัมประสิทธิ์ของ S เพื่อนำมาแทนใน function ดังนี้

First Order Lag Unit ( LAG )  $\frac{K}{1 + T_I S}$

First Order Lead Unit ( LD )  $\frac{K \ D S}{1 + T_D S}$

Lead / Lag Unit ( LDLAG )

$$\frac{K(1+T_0 S)}{1+T_1 S}$$

คำนวณหาค่า  $T_{11}$  ,  $T_{12}$  และค่า  $R$  ดังนี้

$$T_{11} T_{12} = R_1 A_1 R_2 A_2 \quad \text{----- ( 1 )}$$

$$T_{11} + T_{12} = R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_2 A_1 \quad \text{----- ( 2 )}$$

จาก plant model ของ flow-level control

$$T = RA = (3/5) 60 \text{ sec.} = 36 \text{ sec.}$$

โดยที่

$$T_1 = T_2$$

$$T_1 = R_1 A_1$$

$$T_2 = R_2 A_2$$

และ

$$A_1 = A_2 = (\pi/4) (20/100)^2 \text{ m}^2$$

ดังนั้น

$$R_1 = R_2$$

ต่อจากนั้นเราก็ทำการ scaling จากหน่วย  $\text{m}^2$  เป็น  $\text{cm}^2$

$$\text{จะได้ } A_1 = A_2 = (\pi/4) (20)^2 \text{ cm}^2$$

หาค่า

$$R_1 = R_2 = T/A = 0.12$$

จากสมการที่ ( 1 ) แทนค่า  $T_1$  และ  $T_2$

$$\text{จะได้ } T_{11} T_{12} = 36 * 36 \quad \text{----- ( 3 )}$$

จากสมการที่ ( 2 )

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } T_{11} + T_{12} &= 3T_1 \\ &= 3 * 36 = 108 \quad \text{----- ( 4 )} \end{aligned}$$

จากสมการที่ ( 3 )

$$T_{11} = (36 * 36) / T_{12}$$

แทนค่าในสมการที่ ( 4 )

$$(36 * 36) / T_{12} + T_{12} = 3 * 36$$

$$T_{12} = 13.75$$

T<sub>12</sub> แทนค่าในสมการที่ (3)

$$T_{11} = (36 * 36) / 13.75 = 94.25$$

พิจารณารูป (1) block ที่ 1 เราจะใช้ LDLAG \* LAG

$$\text{โดย } \left[ \frac{K_1 (1 + T_0 S)}{1 + T_1 S} \right] \left[ \frac{K}{1 + T_1 S} \right]$$

$$\text{จาก } \frac{R_1 R_2 A_2 S + (R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)} (R_1 + R_2) = \left[ \frac{R_1 R_2 A_2}{R_1 + R_2} + 1 \right] (R_1 + R_2)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } K_1 K_2 &= R_1 + R_2 = 0.24 \\ R_2 A_2 &= T_2 \\ \frac{R_1}{R_1 + R_2} &= 1/T \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} T_D &= 1/2 T_2 \\ &= 18 \end{aligned}$$

ได้ block diagram คือ



$$\text{โดยที่ } K_1 K_2 = 0.24$$

พิจารณารูป (1) block ที่ 2 ก็จะเหมือน block ที่ 1 คือใช้ LDLAG \* LAG

$$\text{โดยที่ } \left[ \frac{K_1}{1 + T_{11} S} \right] \left[ \frac{K_2 (1 + T_D S)}{1 + T_{12} S} \right] = \frac{K_1 K_2 (1 + T_D S)}{T_{11} T_{12} S^2 + (T_{11} + T_{12} S + 1)}$$

จาก 
$$\frac{A_2 R_2 S + 1}{R_1 R_2 A_1 A_2 S^2 + (R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_2 A_1 \beta + 1)}$$

จะได้ 
$$K_1 K_2 = 1$$
  

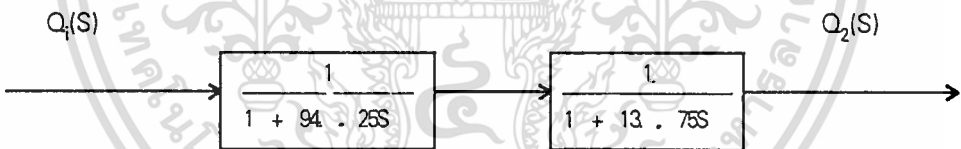
$$T_D = R_2 A_2 = T_2 = 36$$



พิจารณารูป (1) block ที่ 3 จะใช้ LAG 2 ตัว ต่อกัน

โดยค่า  $T_{1,1} = 94.25$  และ  $T_{1,2} = 13.75$

จะได้ 
$$K_1 K_2 = 1$$

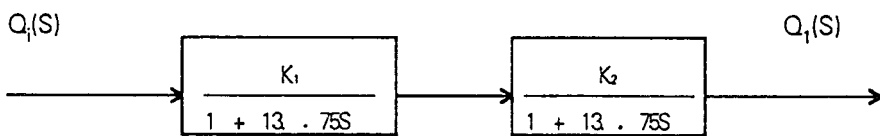


พิจารณารูป (1) block ที่ 4 จะใช้ LAG 2 ตัว ต่อกัน

โดยที่ 
$$\left[ \frac{K_1}{1 + T_{11} S} \right] \left[ \frac{K_2}{1 + T_{12} S} \right] = \frac{K_1 K_2}{T_{11} T_{12} S^2 + (T_{11} + T_{12} \beta + 1)}$$

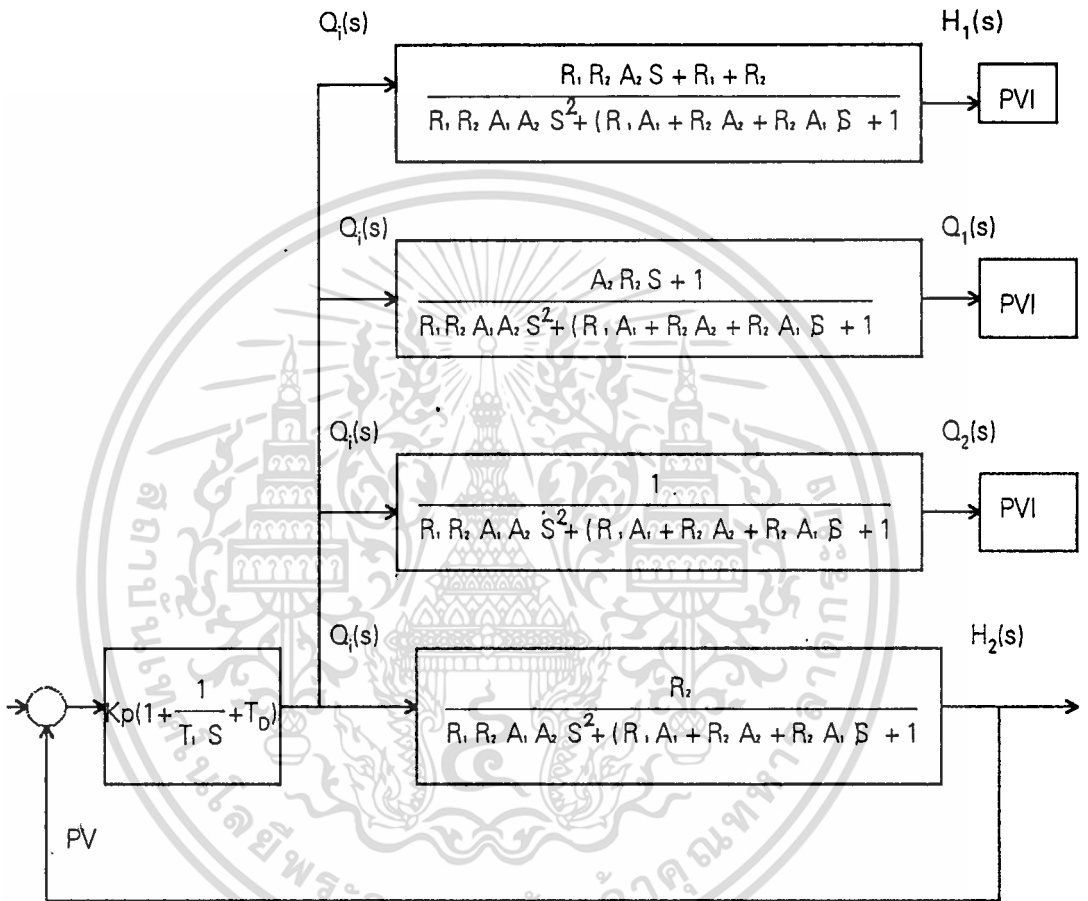
จาก 
$$\frac{R_2}{R_1 R_2 A_1 A_2 S^2 + (R_1 A_1 + R_2 A_2 + R_2 A_1 \beta + 1)}$$

จะได้ 
$$K_1 K_2 = R_2 = 1200$$



โดยที่  $K_1 K_2 = 0.12$

จากนั้นนำไปเขียนใน feedback Instrument Specification และ Loop diagram ตาม function ที่หาได้ ซึ่ง loop diagram ที่ได้ คือ

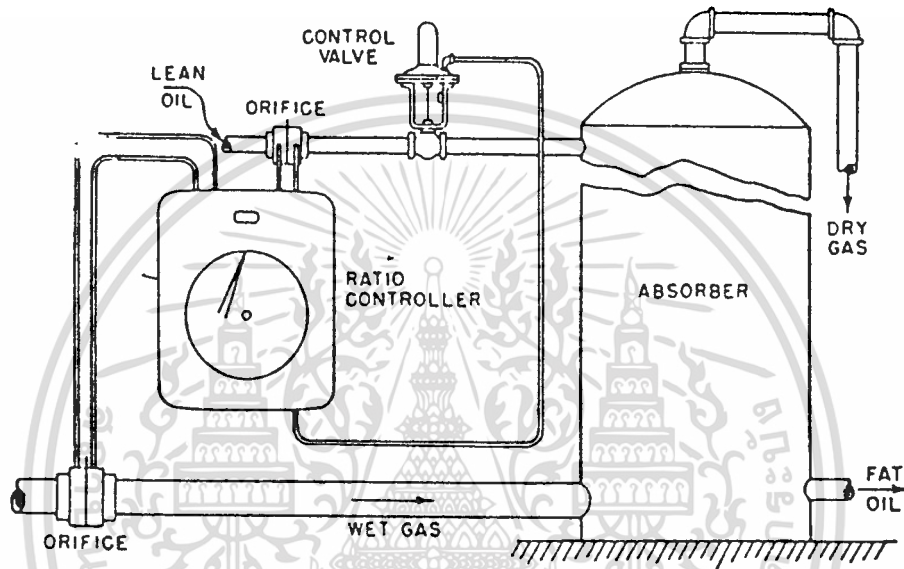


จากการคำนวณค่า R จะมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.12 แต่จากการ simulated จะได้ว่า R ที่เหมาะสม คือ 0.9 ดังนั้นจึงปรับให้ค่า K จาก block diagram รูปที่ 1 ใน block ที่ 4 จะได้  $K_1 K_2 = 0.9$  ปรับให้  $K_1 = 1$  และ  $K_2 = 0.9$

ส่วน block ที่ 1  $K_1 K_2 = R_1 R_2 = 1.8$  ปรับให้  $K_1 = 1, K_2 = 1.8$

### RATIO CONTROL

ตัวควบคุมแบบ ratio เป็นตัวควบคุมที่มีสองอินพุตแต่มีเอาต์พุตเดียว ลักษณะของการควบคุมจะต่างกัน คือ ตัวควบคุมแบบ ratio นี้ จะควบคุมให้อัตราส่วน ( ratio ) ของตัวแปรสองตัว ( ซึ่งก็คืออินพุตของตัวควบคุมแบบ ratio ) มีค่าตามที่ต้องการ



รูปที่ 1 ตัวควบคุมแบบ ratio กับการควบคุมการไหล

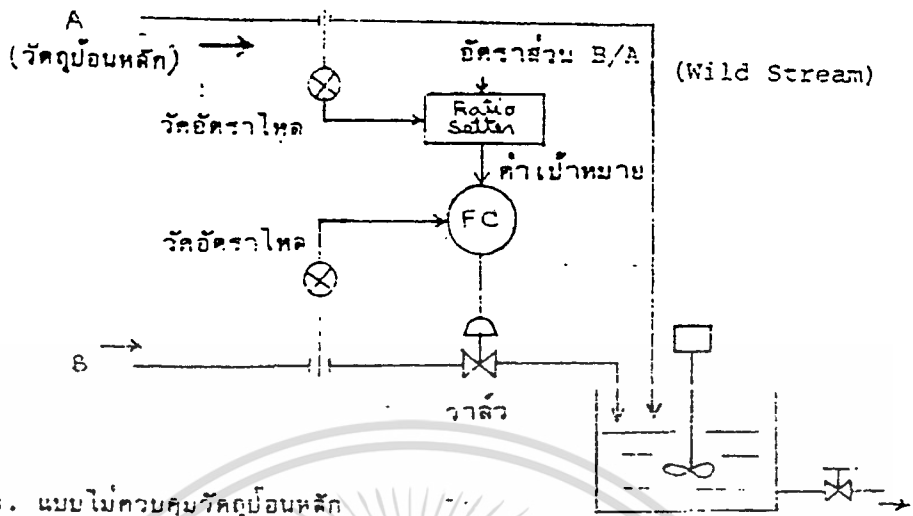
รูปที่ 1 เป็นตัวอย่างอันหนึ่งของกระบวนการที่มีตัวควบคุมแบบ ratio ตัวควบคุมแบบ ratio นี้ จะมีอุปกรณ์วัดสองชุดและมีอุปกรณ์ควบคุมเพียงชุดเดียว อุปกรณ์วัดชุดแรกจะทำการวัดค่าของตัวแปรซึ่งไม่ได้ถูกควบคุม ( ในที่นี้ก็คือ การไหลของแก๊สเปียก ) และอุปกรณ์วัดชุดที่สอง จะทำการวัดค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุม ( ในที่นี้ คือ lean oil ) ค่าของตัวแปรทั้งสองนี้จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมแบบ ratio ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมอัตราส่วนของการไหลระหว่างตัวแปรที่ถูกควบคุมกับตัวแปรที่ไม่ได้ถูกควบคุมให้เป็นไปตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ นั่นก็คือ เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ ratio จะถูกส่งไปยังวาล์ว ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการไหลของ lean oil เพื่อจะไปควบคุมให้ lean oil ไหลมากขึ้น หรือไหลน้อยลงจนอัตราส่วนของการไหลระหว่าง lean oil กับแก๊สเปียกเป็นไปตามต้องการ เช่นอัตราส่วนอาจจะถูกกำหนดเป็น 3:1 หรือ 1.5:1 หรือ 0.5:1 เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมแบบ ratio จะประกอบไปด้วยกิริยาควบคุมแบบ proportional และกิริยาควบคุมแบบ reset เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการใช้กิริยาควบคุมแบบอื่นร่วมด้วย ก็สามารถทำได้

เราจะใช้การควบคุมแบบนี้ก็ต่อเมื่อ เราต้องการควบคุมอัตราส่วนของปริมาณวัตถุป้อน หลายๆชนิดให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา เช่น การควบคุมอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในเตาเผา การผสมสี การผสมอาหารสัตว์ ฯลฯ

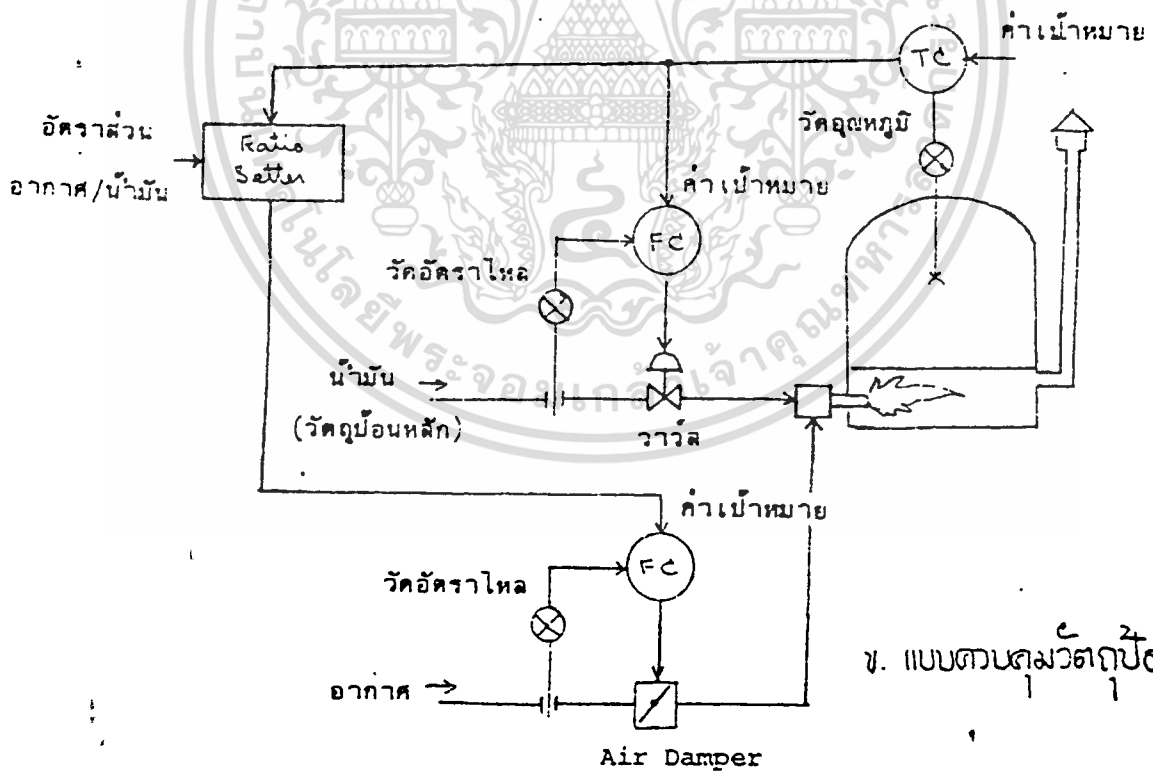
ในทางปฏิบัติเรามักจะกำหนดวัตถุป้อนชนิดหนึ่งเป็นวัตถุป้อนหลัก อัตราไหลของวัตถุป้อนหลักอาจจะไม่ถูกควบคุม (wild) หรืออาจจะถูกควบคุมก็ได้แล้วแต่ชนิดของงาน ส่วนอัตราไหลของวัตถุป้อนอื่นๆที่เหลือทุกตัว จะถูกควบคุมให้มีอัตราส่วนที่แน่นอนกับอัตราไหลของวัตถุป้อนหลักตลอดเวลา





ก. แบบไม่ควบคุมวัตถุดิบหลัก

( ก ) แบบไม่ควบคุมวัตถุดิบหลัก



ข. แบบควบคุมวัตถุดิบหลัก

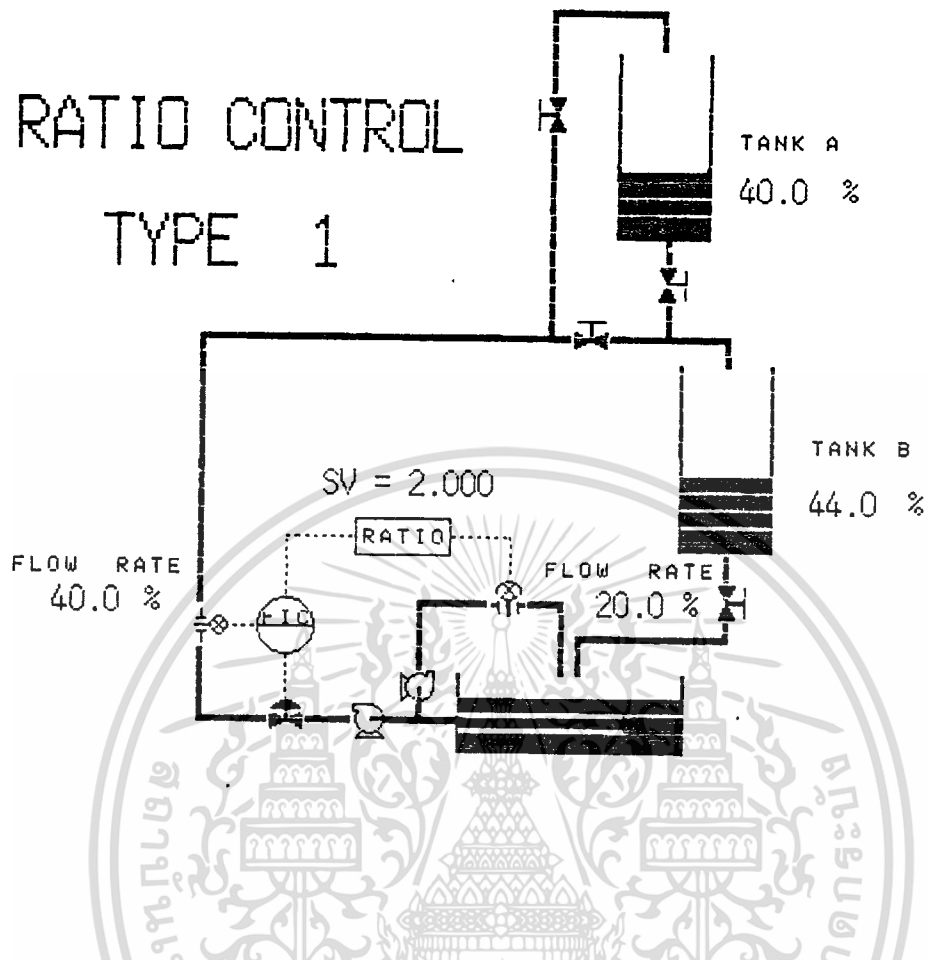
( ข ) แบบควบคุมวัตถุดิบหลัก

รูปที่ 2 ตัวอย่างการควบคุมแบบ Ratio Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

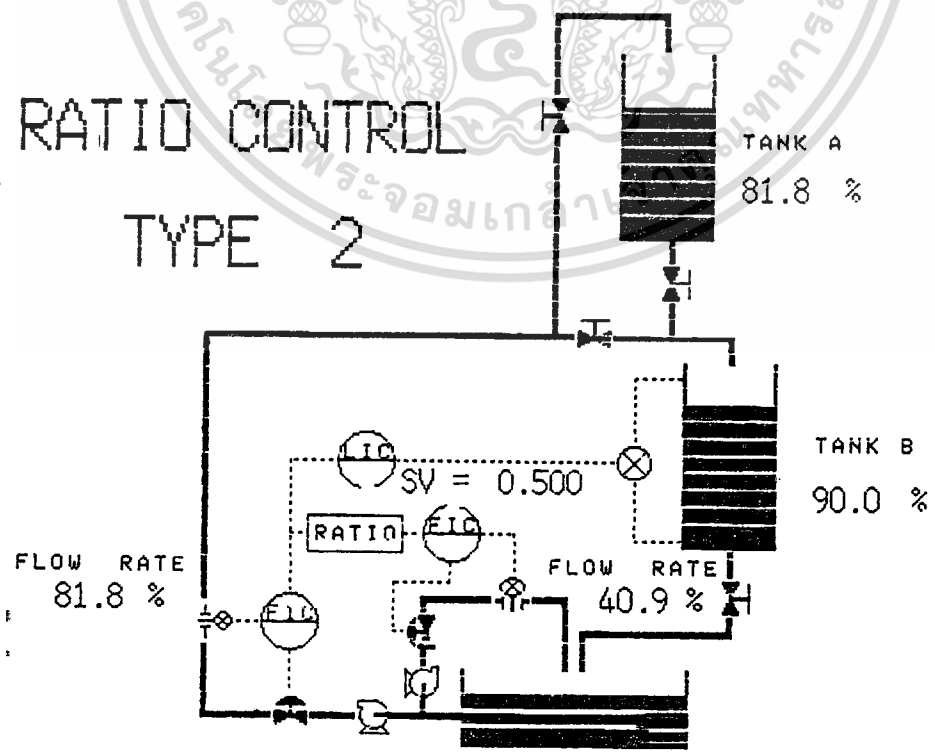
# RATIO CONTROL

## TYPE 1



# RATIO CONTROL

## TYPE 2



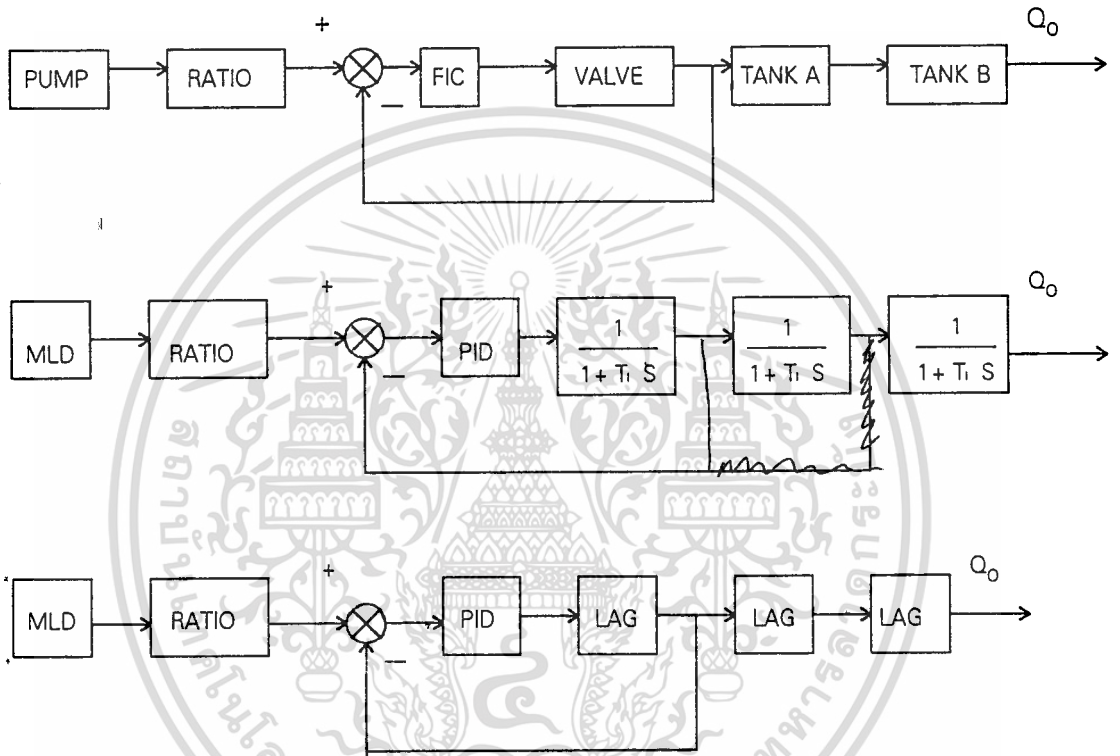
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการจำลองของ Ratio Control

ซึ่ง Ratio Control มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี

#### 1. Ratio Control แบบไม่ควบคุมวัตถุดิบหลัก

จาก Process สามารถเขียนเป็น Control Loop ได้ดังนี้

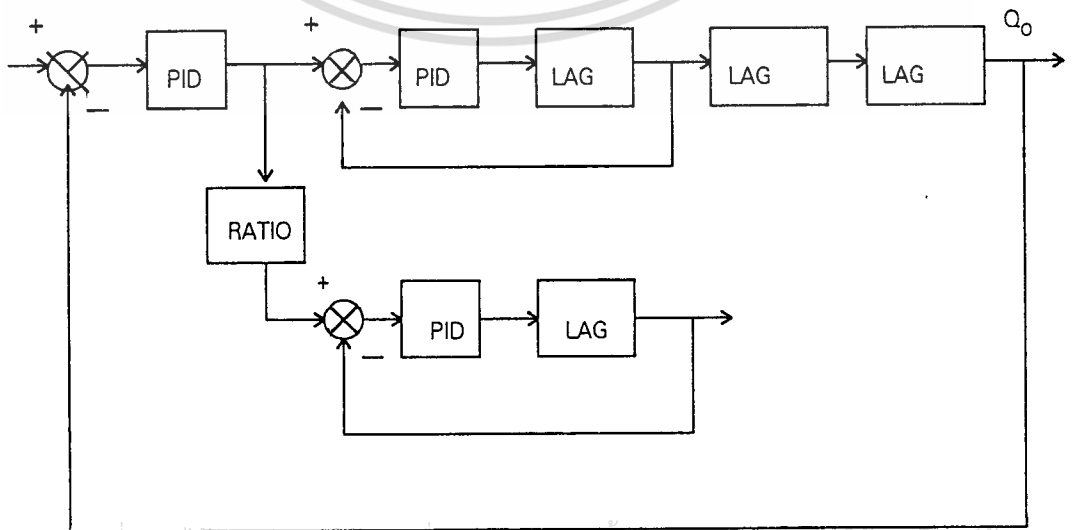
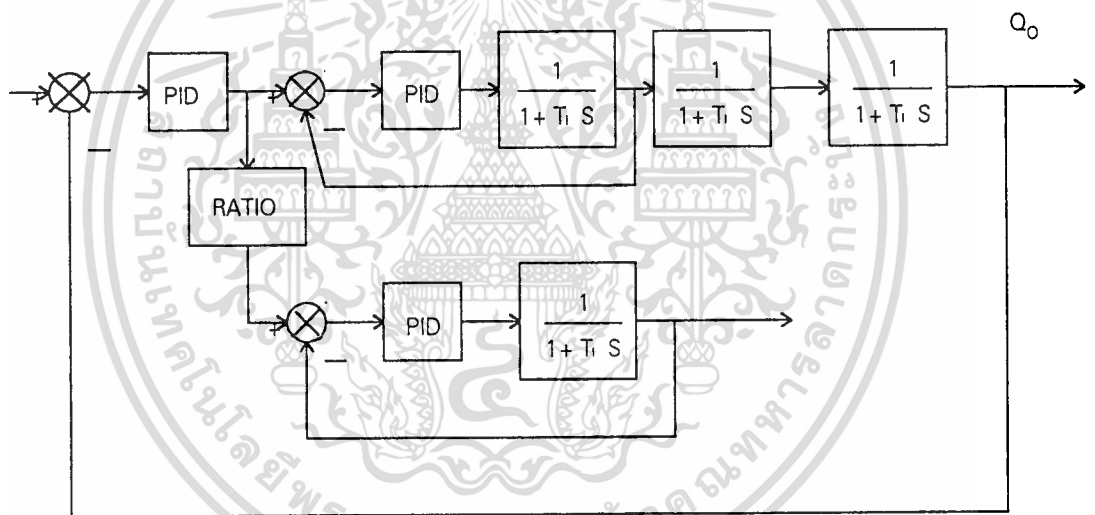
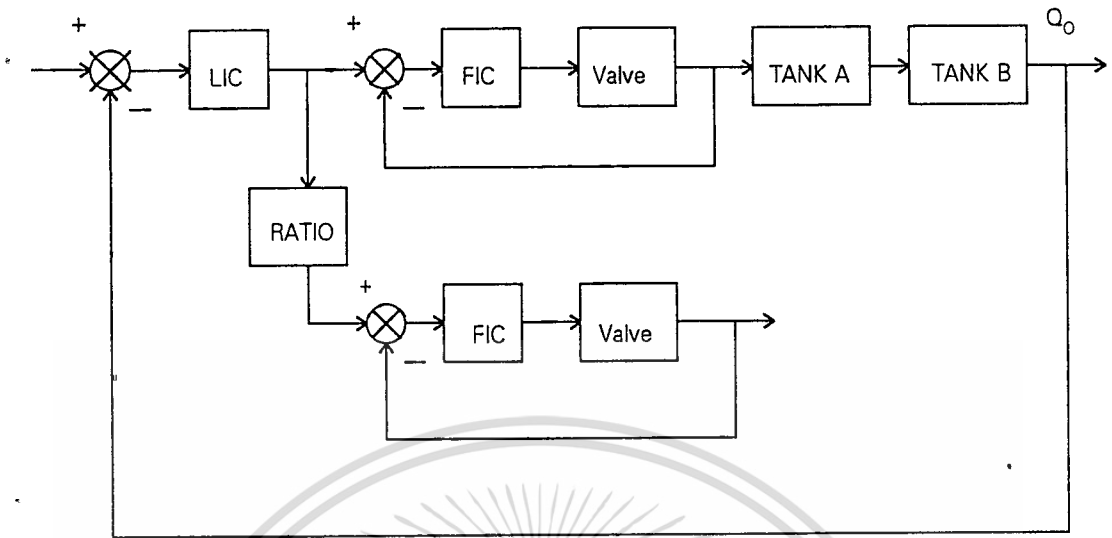


รูปที่ ( 1 )

จากนั้น จึงนำไปเขียนใน Feedback Instrument Specification และ Loop Diagram ตามที่ Function ที่เรามาได้ตั้งที่แสดงไว้แล้วในรูปที่ ( 1 )

#### 2. Ratio Control แบบควบคุมวัตถุดิบหลัก

จาก Process สามารถเขียนเป็น Control Loop ได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

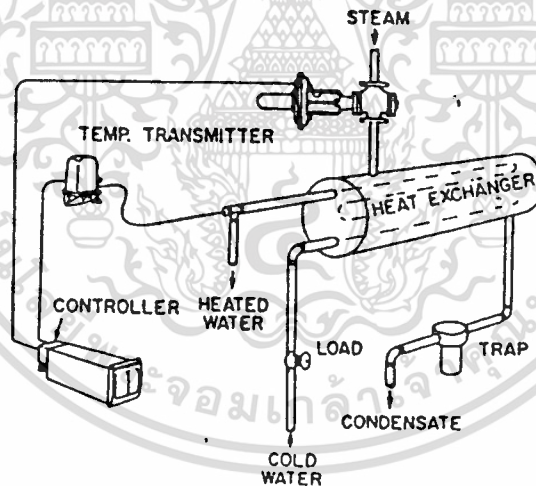
จากนั้น จึงนำไปเขียนใน Feedback Instrument Specification และ Loop Diagram ตามที่ Function ที่เรามาได้ดังที่แสดงไว้แล้วในรูปข้างบน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### FEEDFORWARD CONTROL

การควบคุมแบบ feedforward สามารถประยุกต์ใช้ในระบบควบคุม เพื่อทำให้เกิดความสมดุลระหว่างพลังงานไหลเข้ากับพลังงานไหลออก แต่ก่อนที่จะประยุกต์ใช้การควบคุมแบบ feedforward กับกระบวนการใดๆ นั้น ขั้นแรกจะต้องเข้าใจถึงกระบวนการให้สมบูรณ์เสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างสมการอธิบายถึงกระบวนการขึ้นมา จากนั้นจัดสมการให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถหาคำตอบได้ด้วยอุปกรณ์วัดและควบคุมที่มีอยู่ นอกจากนั้นยังจะต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ เพื่อชดเชยการ lead และ lag ที่จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ในกระบวนการ ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ด้วย ถ้าหากสามารถจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ได้สมบูรณ์ ก็พบว่าระบบควบคุม feedforward จะเป็นระบบควบคุมกระบวนการที่ดี แต่ในทางปฏิบัติแล้วอาจจะเกิดมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งหรืออาจจะมีคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้นมา ซึ่งจะทำให้การควบคุมยากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้ สามารถแก้ไขได้ โดยเพิ่มการป้อนกลับให้กับระบบควบคุมแบบ feedforward ผลก็คือ ทำให้ระบบควบคุมแบบ feedforward เป็นระบบที่ดีที่สุด



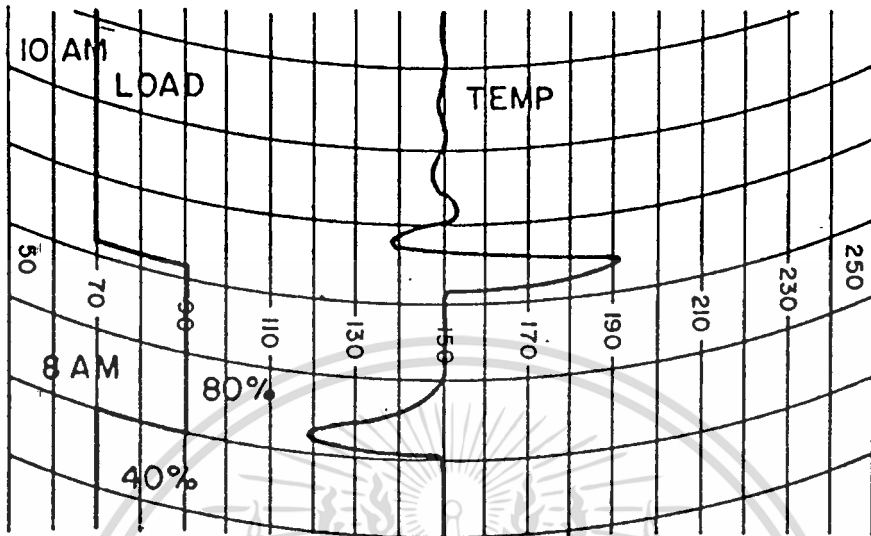
รูปที่ 1 ระบบควบคุมกระบวนการ heat exchanger ที่มีการควบคุมป้อนกลับ

รูปที่ 1 เป็นกระบวนการ heat exchanger ที่มีการควบคุมป้อนกลับธรรมดา และตัวควบคุมเป็นแบบ PID สำหรับรูปที่ 2 นั้น แสดงถึงผลตอบสนองของระบบควบคุมกระบวนการ heat exchanger นี้ เมื่อ load มีการเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 2 จะพบว่าถึงแม้การควบคุมป้อนกลับจะดีก็ตามแต่ค่าของ overshoot ก็มีค่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากการแก้ไขไม่สามารถจะทำได้ก่อนที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

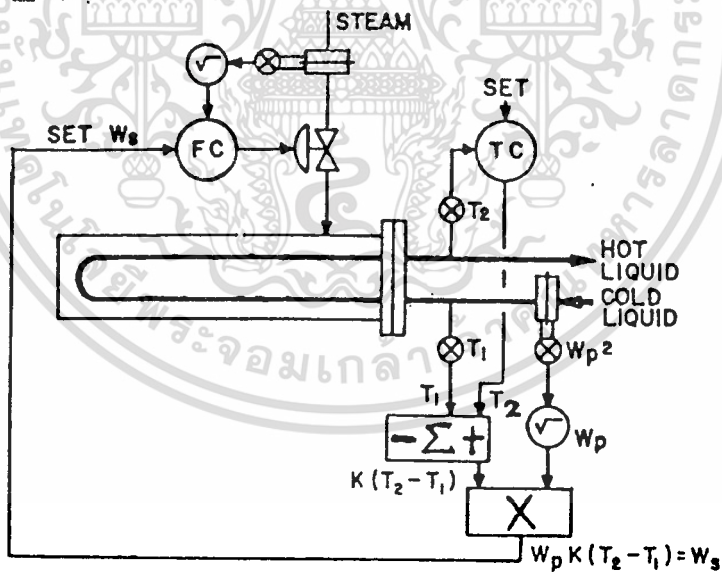
รูปที่ 3 แสดงถึงระบบ heat exchanger ซึ่งเปลี่ยนมาใช้ในการควบคุมแบบ feedforward แทนระบบจะเกิดความสมดุลเมื่อ

$$\text{ความร้อนไหลเข้า} = \text{ความร้อนไหลออก}$$



FB CONTROL - 3 MODE

รูปที่ 2 ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 1

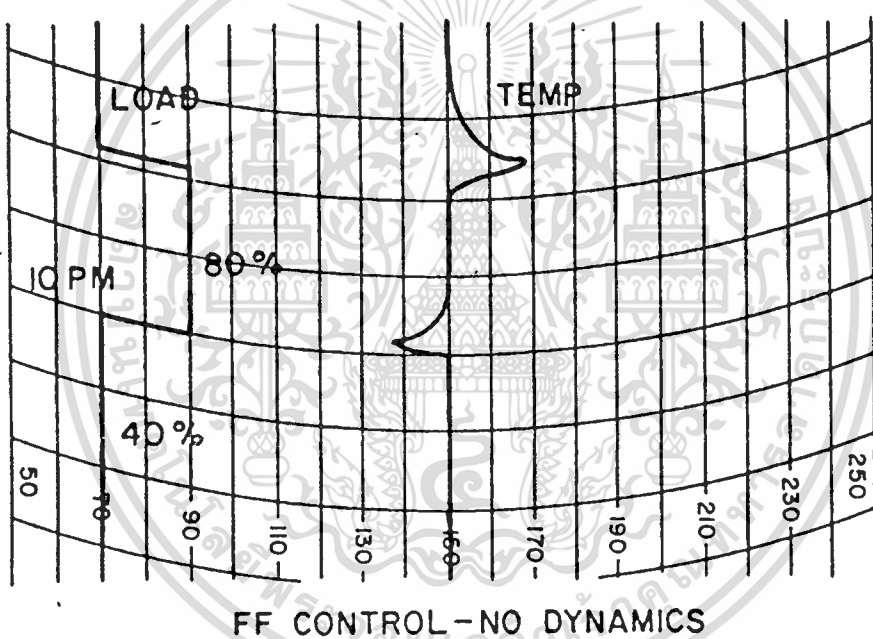


รูปที่ 3 กระบวนการ heat exchanger ที่มีการควบคุมแบบ feedforward

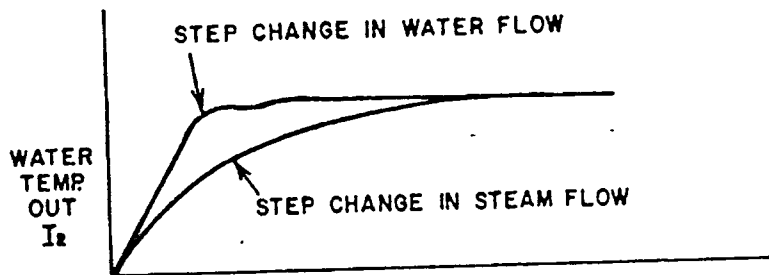
รูปที่ 4 แสดงถึงผลตอบสนองของกระบวนการ heat exchanger ที่มีการควบคุมแบบ feedforward ซึ่งจะเห็นว่าผลตอบสนองของกระบวนการได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น แม้ว่า load จะเปลี่ยนแปลงไป ( พิจารณาเกี่ยวกับรูป 2 ) สำหรับรูปที่ 4 จะแสดงการเปรียบเทียบผลตอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนองของกระบวนการ ( อุณหภูมิของน้ำร้อน ) เมื่อน้ำที่ไหลเข้า ( load ) และไอน้ำที่ไหลเข้า ( manipulated variable ) เปลี่ยนแปลงไปแบบ step ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าผลตอบสนองไดนามิกของกระบวนการ เมื่อ load เปลี่ยนแปลงไปนั้น จะเร็วกว่าผลตอบสนองไดนามิกของกระบวนการ เมื่อ manipulated variable เปลี่ยนแปลง

ในกระบวนการนี้จำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์ เพื่อแก้ไขความแตกต่างระหว่างผลตอบสนองไดนามิกเข้าไปด้วย ตัวชดเชย ( compensator ) ผลตอบสนองไดนามิกนี้ จะเรียกว่า ตัวชดเชยแบบ lead / lag ซึ่งจะถูกใส่เข้าไปในกระบวนการระหว่างตัวถอดราก็สองกับตัวคูณดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะแสดงถึงผลตอบสนองของระบบควบคุมกระบวนการ heat exchanger ที่มีตัวชดเชยแบบ lead / lag รวมอยู่ด้วย จากรูปที่ 6 นี้ จึงเห็นได้ชัดยิ่งขึ้นว่าการควบคุมแบบ feedforward นี้ สามารถจะควบคุมกระบวนการได้ดีและสมบูรณ์กว่าการควบคุมแบบป้อนกลับ

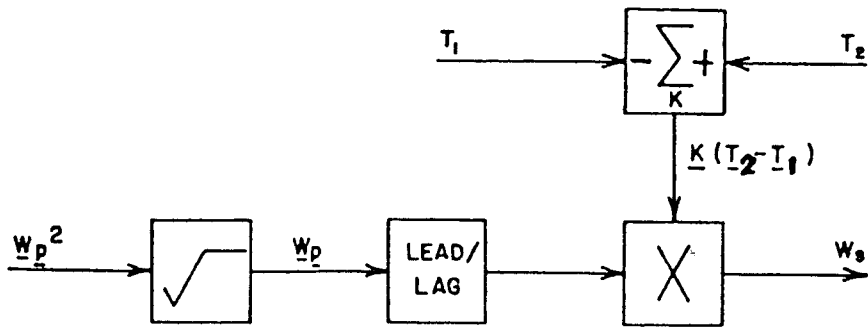


รูปที่ 4 ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 3

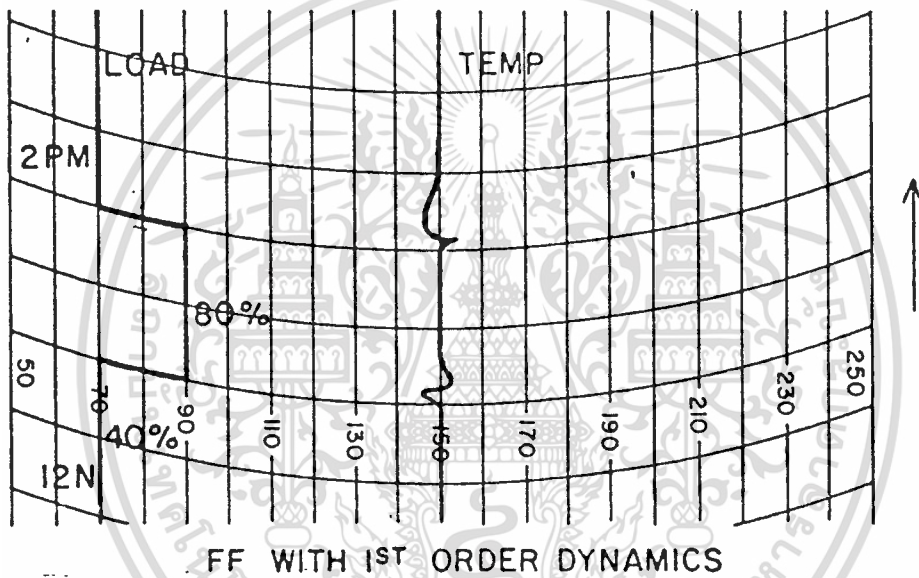


รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงแบบ step ของน้ำและไอน้ำที่ไหลเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 การเพิ่มตัวชดเชยแบบ lead / lag ให้กับระบบในรูปที่ 3



รูปที่ 7 ผลตอบสนองของระบบในรูปที่ 3 ที่มีตัวชดเชยแบบ lead / lag ร่วมด้วย

อย่างไรก็ตามระบบควบคุมแบบ feedforward นี้ค่อนข้างยุ่งยาก จึงทำให้มีราคาแพงกว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับมาก นอกจากนี้การปรับค่าต่างๆในระบบควบคุมป้อนกลับนั้นจะทำได้ง่ายกว่าระบบควบคุมแบบ feedforward ในทางปฏิบัติแล้วโดยทั่วไปจึงใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ และจะใช้การควบคุมแบบ feedforward เมื่อกระบวนการที่จะควบคุมนั้นต้องการความเที่ยงตรงสูงเท่านั้น หนึ่งระบบควบคุมการต้มกลั่น ( distillation ) จะเป็นระบบที่ประยุกต์ใช้การควบคุมแบบ feedforward มาก เพราะระบบแบบนี้มีผลตอบสนองที่ช้าและมี dead times ที่นานตลอดจนเป็นระบบที่ยุ่งยากซับซ้อนด้วย

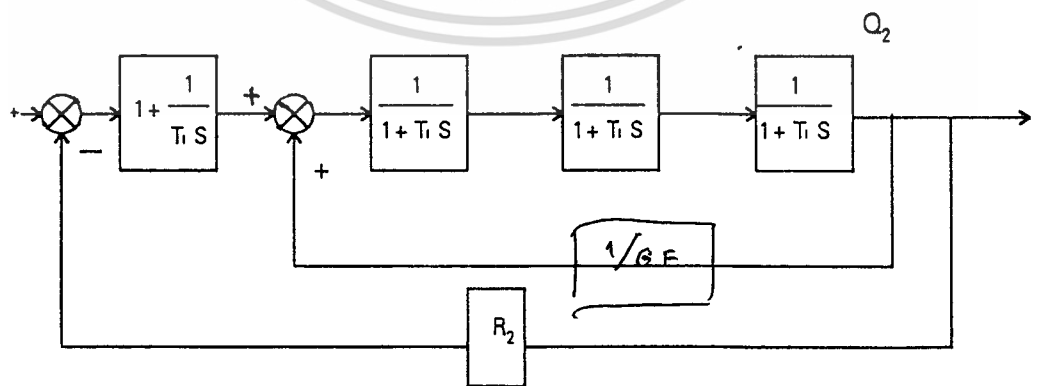
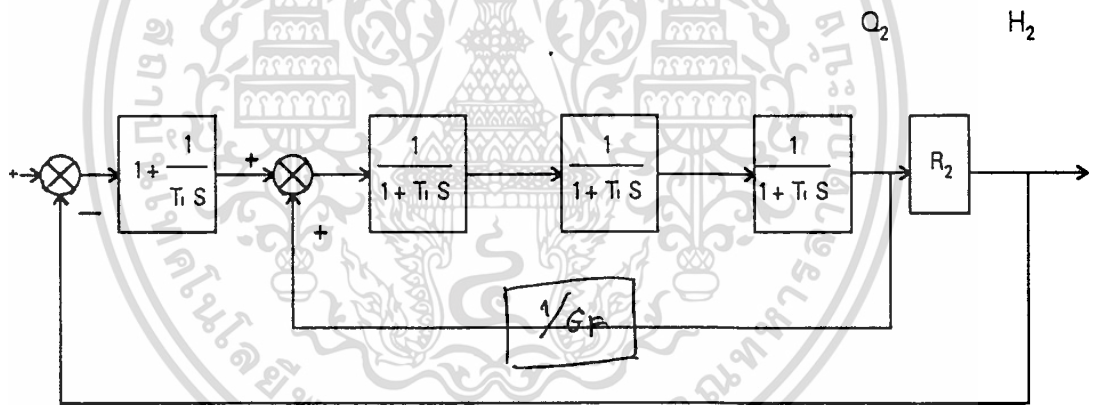
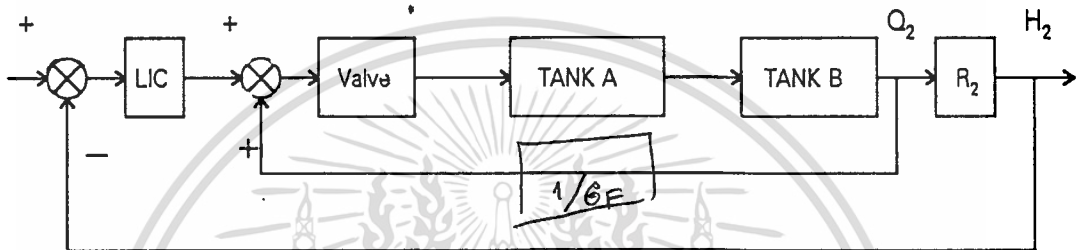
### วิธีการจำลอง Process ของ Feedforward Control

จาก Process ตามในรูปข้างล่างนี้จะสามารถเขียนเป็น Control Loop ได้ดังนี้

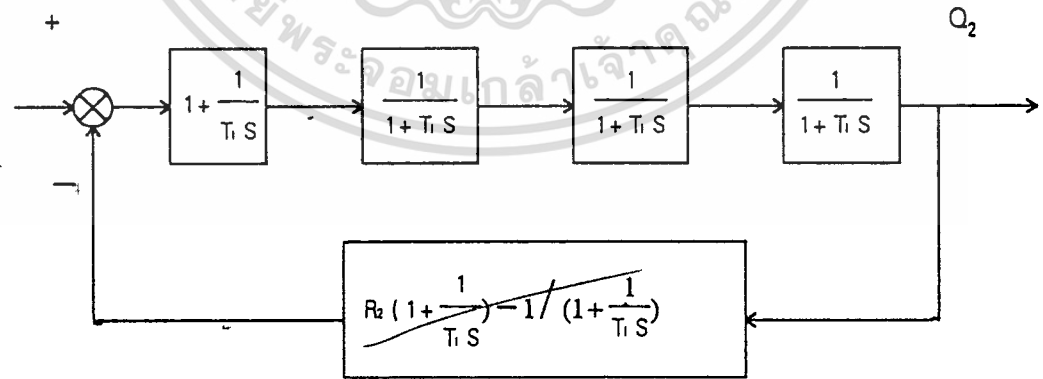
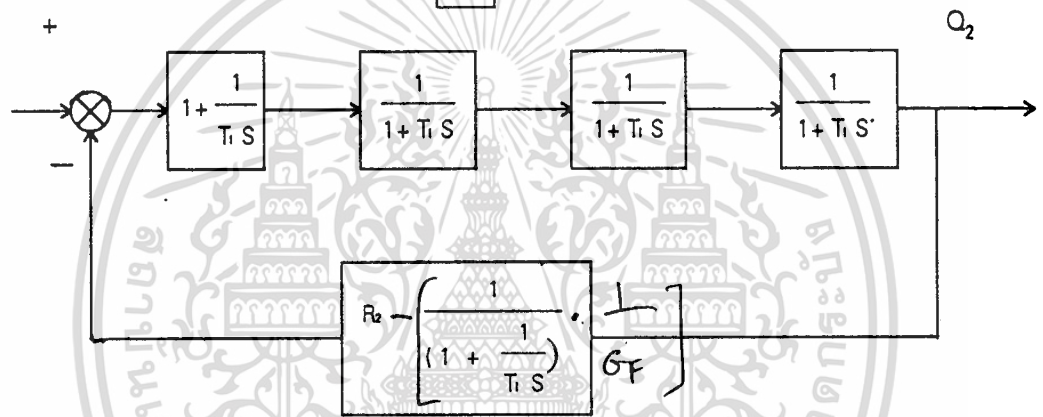
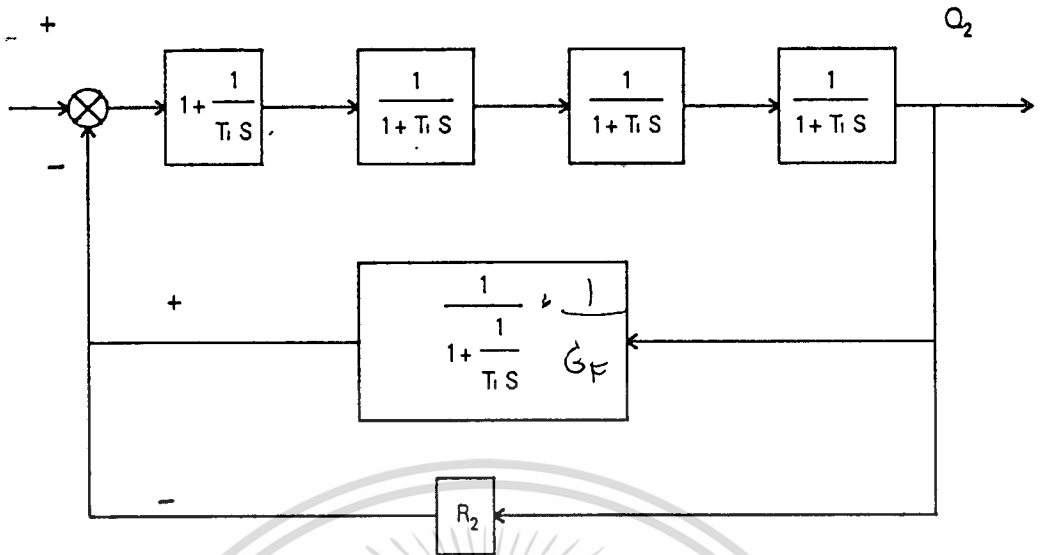
โดย  $PB = 100 \Rightarrow K_p = 1$

$I = 15$

$D = 0$

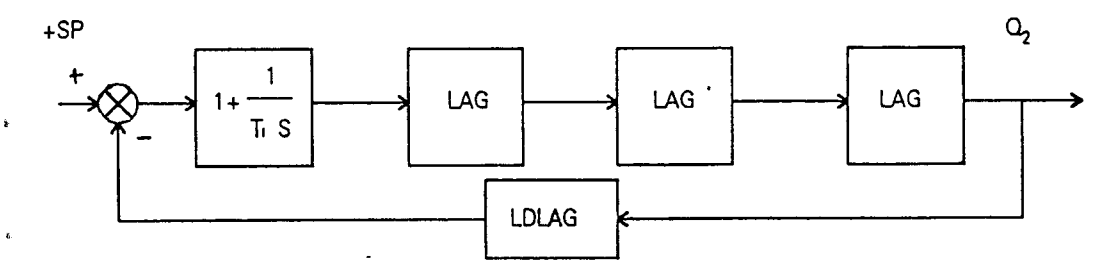
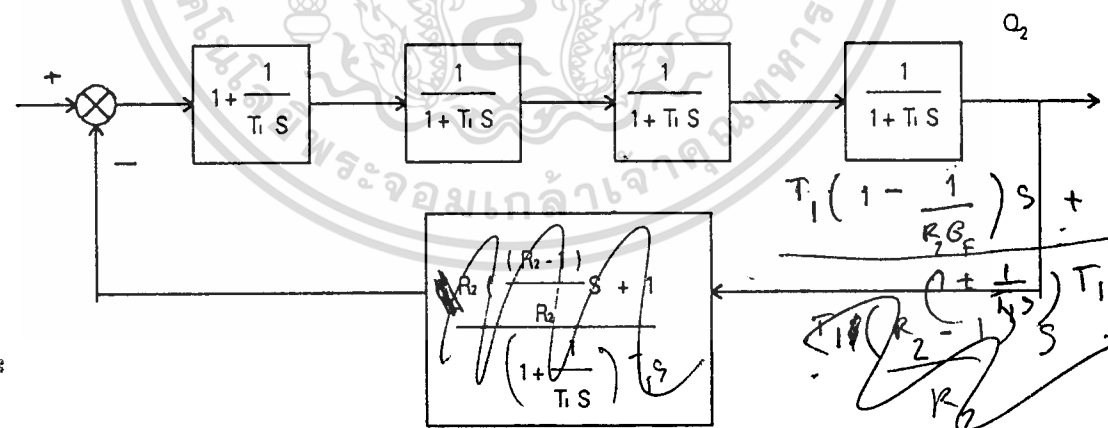
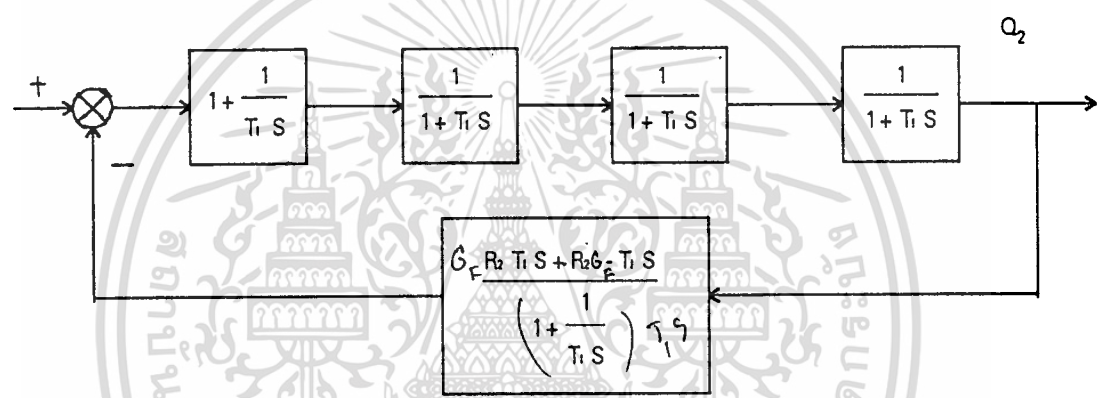
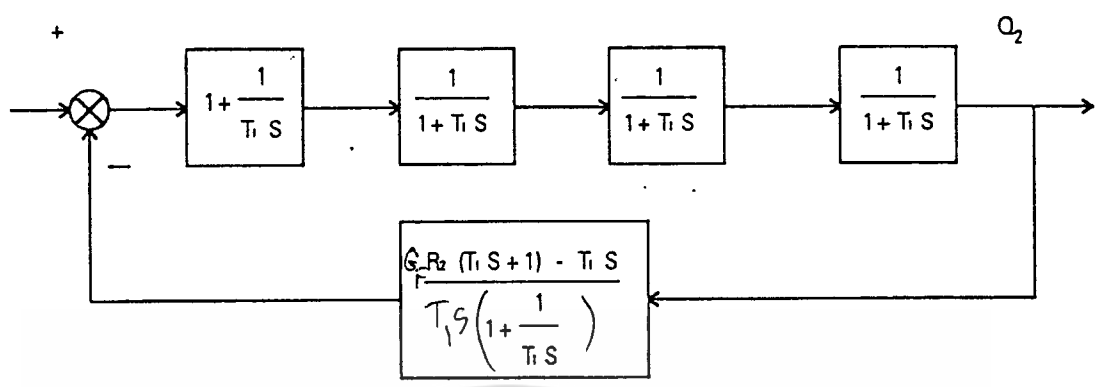


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\cancel{R_2 \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) G_F} - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) G_F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{T_i (1 - \frac{1}{R_2 G_c})}{T_i (R_2 - 1) s + 1}$$

$$1 + T_i S$$

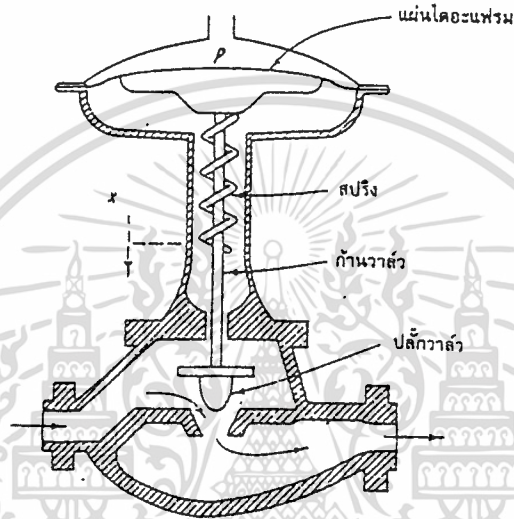
จากนั้นจึงนำไปเขียนใน Feedback Instrument Specification และ Loop Diagram ตาม function ที่หาได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วาล์วควบคุมชนิดบังคับด้วยความดันลม

วาล์วควบคุม เป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายชนิดหนึ่ง ที่ใช้ปรับอัตราการไหล โดยใช้ สัญญาณควบคุมชนิดความดันลมเปลี่ยนระยะชักของก้านวาล์ว ( stem ) ดังรูปที่แสดงข้างล่าง



รูปแสดงวาล์วควบคุมชนิดบังคับด้วยความดันลม

สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\text{แรงดันจากความดันลม} - \text{แรงดันของสปริง} - \text{แรงดันเนื่องจากความผิด} = \text{มวล} \cdot$$

ความเร่ง

เมื่อ  $p$  ความดันลมที่ใช้ควบคุมระยะชักของก้านวาล์ว

$A$  พื้นที่แผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) ที่ใช้ความดันลมเป็นแรงกดของก้านวาล์ว และปลั๊กวาล์ว

$k$  ค่าคงที่ของสปริงและแผ่นไดอะแฟรมตามกฎของฮุก (Hook's law)

$b$  สัมประสิทธิ์ความผิด

$m$  มวลของก้านวาล์วและปลั๊กวาล์ว

$x$  ระยะชักของก้านวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปสมการใหม่จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วควบคุม

$$pA \cdot kx - b \frac{d}{dt} x = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

เนื่องจากสมการดังกล่าวจะต้องรู้ค่าทางฟิสิกส์ต่างๆของวาล์วด้วย เป็นการยุ่งยากในการ simulate และ characteristic ของวาล์ว จะ lag ค่าสัญญาณจาก controller ด้วย lag time ที่น้อยมาก จึงใช้ lag unit เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วควบคุมแทน โดยในที่นี้จะใช้ค่า lag time = 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนิศย์ ศรีสุวรรณวัฒน์ เป็นอย่างสูง ที่ท่านได้ประสาทวิชาความรู้และให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางในการทดลองโครงการ และวิธีแก้ไขปัญหามากมาย ตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องของอุปกรณ์ อันเป็นผลทำให้โครงการและปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆทุกคนที่ให้อำนาจใจ และความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นแก่ผู้ทำโครงการนี้ตลอดมา



## เอกสารอ้างอิง

1. กิตติ ตีระเศรษฐ , “ พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม “ , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2526 , หน้า 138 - 146
2. กิตติ ตีระเศรษฐ , “ อุปกรณ์วัดและควบคุมในกระบวนการ “ , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2527
3. สุเชียร เกียรติสุนทร , “ พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม “ , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ( ไทย - ญี่ปุ่น ) , 2536
4. Yokogawa Electric Corporation , “ Instruction Manual ,  $\mu$ XL Model MFCU , MFCD and MFCN , Field Control , Unit , Function Manual “ , IM 34A6B21 - 01E , 1 st Edition

