



เครื่องควบคุมกระบวนงานแบบโปรแกรมได้หลายช่อง

PROGRAMMABLE MULTICHANNEL PID CONTROLLER

โดย

นาย พงศธร เมธนาวิณ 38012107

นาย วีระ กัดตสมบุรณ์ 38012118

นาย ศิริ เกตุมงคลสิทธิ์ 38013424

วัน เดือน ปี.....-4.คค.2541  
เลขทะเบียน.....038612  
เลขเรียกหนังสือ.....T 4008๗ พ 125๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038612

# PROGRAMMABLE MULTICHANNEL PID CONTROLLER



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT**

**FOR THE DEGREE**

**BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENT ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEER**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1997**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

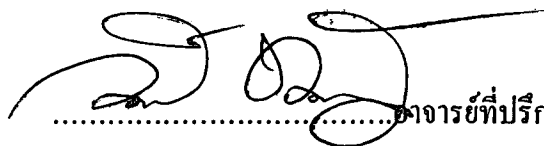
ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
สาขา วิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

เครื่องควบคุมกระบวนการแบบโปรแกรมได้หลายช่อง  
PROGRAMMABLE MULTICHANNEL PID CONTROLLER

ผู้จัดทำ

นาย พงศธร เมธนาวิน 38012107  
นาย วีระ กัตตสมบูรณ์ 38012118  
นาย ศิริ เกตุมงคลสิทธิ์ 38013424



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องควบคุมกระบวนการแบบโปรแกรมได้หลายช่อง

นาย พงศธร เมธนาวิน

นาย วีระ กัดศมบูรณ์

นาย สิริ เกตุมงคลสิทธิ์

รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของผลงานที่เกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการแบบ PID ที่สามารถโปรแกรมเป็นแบบการควบคุมธรรมดา, การควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบอัตราส่วนได้ซึ่งในการควบคุมนั้นสามารถควบคุมได้หลายช่อง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 68HC11 เป็นหน่วยควบคุมหลัก โดยในแต่ละช่องสามารถควบคุมแยกจากกันได้อย่างอิสระ โดยจะแสดงผลค่าอินพุตและเอาต์พุตที่ LCD และแสดงผลที่จอ monitor ของเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ท RS 232 ในอัตราการรับส่งข้อมูล 9600 bit/sec โดยสามารถรับและส่งค่าพารามิเตอร์ระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 ซึ่งในส่วนการแสดงผลที่จอ monitor จะเป็นลักษณะผลตอบสนองของสัญญาณในลักษณะเปอร์เซ็นต์ SP, PV และ MV แต่ละช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PROGRAMMABLE MULTICHANNEL PID CONTROLLER

Mr. Pongsathorn Matanawin

Mr. Weera Grudsomboon

Mr. Siri grademongkolsit

Assoc.Prof Wittaya tipsuvanaporn Thesis Adviser

Academic Year 1997

## ABSTRACT

This thesis is a fraction of programmable multichannel PID process controller. Using basic control, cascade control and ratio control. Can used in multichannel control by microcontroller 68HC11 is a main control unit. Each channel control independent by display parameter input and output at LCD and monitor of personal computer by part port RS 232 with 9600 baud rate. Can receive and transmit data parameter between personal computer with board microcontroller 68HC11. That part display for monitor PC. will be response signal sv, pv and mv in nature is percent each channel.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.วิชา ทิพย์สุวรรณพร เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชา  
ความรู้ในเรื่องต่างๆต่อกลุ่มผู้จัดทำ และขอขอบคุณอาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ ที่ให้คำแนะนำใน  
การทดลองห้อง Process Control Lab ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่  
ได้ช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1

ความเป็นมาของหัวข้อปริญญาโท

1

วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

1

ขอบเขตของปริญญาโท

1

เนื้อหาของปริญญาโท

2

บทที่ 2 หลักการการควบคุมกระบวนการและการคำนวณ

3

การควบคุมแบบโปรแกรม

3

การควบคุมแบบสัดส่วน

3

Duplex Control

5

Auto Selector Control

6

ระบบควบคุมแบบคาสเคด

7

ตัวควบคุมและแบบการควบคุม

8

Proportional Action

9

Integral action

11

Proportional-Integral Action

13

Derivative Action

14

Proportional-Derivative Action

15

Proportional-Integral-Derivative

16

PID Controller

16

การปรับค่า PID

17

เทคนิคการปรับค่า PID

18

ผลของ PID ต่อเสถียรภาพของระบบ

22

บทที่ 3 โครงสร้างของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

24

เขียนโปรแกรมควบคุมสำหรับเครื่องจักรกลอัตโนมัติให้ทำงานตามที่ต้องการ และผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

หน่วยประมวลผลกลาง	24
หน่วย Input และ Output	24
หน่วยติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม	24
ส่วนรับคำสั่งและแสดงผล	25
ข้อมูลเกี่ยวกับ 68HC11	26
การเขียนโปรแกรมการคำนวณ	29
ฟังก์ชันการควบคุมของเครื่อง	30
ชนิดและโครงสร้าง	30
หน่วยควบคุม	30
ส่วนประกอบของหน่วยควบคุม	30
Basic Control Unit	31
Cascade Control Unit	32
Ratio Control Unit	34
โปรแกรมผู้ใช้และคำสั่งสำหรับเครื่องควบคุม	34
การจัดข้อมูลของโปรแกรมผู้ใช้	35
การปรับแต่งพารามิเตอร์สำหรับเครื่อง	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	38
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	55
ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง	55
ข้อเสนอแนะและแก้ไข	55
แนวทางการพัฒนา	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	57

## สารบัญรูป

### รูปที่

### หน้า

2.1 Single Loop (PID Control)	3
2.2 การควบคุมแบบ โพรแกรมนได้	4
2.3 ตัวอย่างการควบคุมแบบ Ratio Control	4
2.4 ตัวอย่างการควบคุมแบบ Duplex Control	5
2.5 ความสัมพันธ์ของ Controller signal กับการเปิดปิดของ CV	6
2.6 Auto Selector Control	6
2.7 ระบบควบคุมที่ใช้โดยทั่วไป	7
2.8 ระบบควบคุมแบบคาสเคด	8
2.9 โครงสร้างภายในตัวควบคุม	8
2.10 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ P	9
2.11 ผลตอบสนองของ Proportional Action	9
2.12 Proportional Band	10
2.13 Offset	11
2.14 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ Integral	12
2.15 ผลตอบสนองของ Integral Action	12
2.16 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ PI	13
2.17 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PI	13
2.18 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ Derivative	14
2.19 ผลตอบสนองของ Derivative Action	14
2.20 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ PD	15
2.21 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PD	15
2.22 Block Diagram ของการควบคุมแบบ PID	16
2.23 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PID	17
2.24 แสดงผลตอบสนองที่มีกาแกว่งเท่ากับ $1/4$	17
2.25 Reaction Curve Method	20
2.26 แสดงการแกว่งแบบต่อเนื่อง	21
2.27 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบต่างๆเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย	23
3.1 แสดง โครงสร้างของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller	25
3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ BSC Function	31
3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ CSC Function	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ตัวอย่างการควบคุมแบบ Cascade Control Function	33
3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของหน่วยควบคุมแบบ Ratio	34
3.6 แสดงแผงวงจรภายในเครื่อง	36
3.7 ตัวเครื่องเมื่อประกอบเสร็จ	37
4.1 แสดงกระบวนการจำลองการควบคุมระดับของเหลว	39
4.2 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder เมื่อ PB = 23%	40
4.3 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder เมื่อ PB = 24%	40
4.4 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder เมื่อ PB = 25%	41
4.5 รูปกระบวนการการควบคุมการไหลของของเหลว	42
4.6 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder ของ Flow Process เมื่อ PB = 26%	43
4.7 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder ของ Flow Process เมื่อ PB = 25%	43
4.8 รูปกระบวนการการควบคุมแบบ Cascade	45
4.9 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder ของการควบคุมแบบ Cascade	45
4.10 แสดงกระบวนการแบบ Level Cascade Flow Control	48
4.11 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC	48
4.12 แสดงกระบวนการการควบคุม Level แบบแรก	49
4.13 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC	49
4.14 แสดงกระบวนการการควบคุมอุณหภูมิ	50
4.15 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC	51
4.16 แสดงกระบวนการการควบคุม Level แบบที่ 2	51
4.17 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC	52
4.18 แสดงกระบวนการควบคุมความดัน	53
4.19 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC	53
4.20 แสดงกระบวนการควบคุมอัตราส่วน	54
4.21 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC	54
ผ.1 Flow Chart แสดงการทำงานในรูป BSC	62
ผ.2 Flow Chart แสดงการทำงานหลัก	63
ผ.3 Flow Chart แสดงการคำนวณแบบ Proportional	64
ผ.4 Flow Chart แสดงการคำนวณแบบ Integral	65
ผ.5 Flow Chart แสดงการคำนวณแบบ Derivative	66

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างการปรับค่า PID ของนักคณิตศาสตร์แต่ละคน	19
2.2 แสดงการนำค่า $K_p, L, T_e$ มาคำนวณหา $PB, T_i, T_d$	20
2.3 แสดงการนำค่า $PB_u, P_u$ มาคำนวณหา $PB, T_i, T_d$	21
3.1 การเลือกโหมดการทำงานของ 68HC11	27
3.2 แสดงส่วนประกอบของหน่วยควบคุมของแต่ละ function	30
3.3 แสดงโปรแกรมการทำงานของบล็อคไคอะแกรม BSC	31
3.4 แสดงโปรแกรมการทำงานของบล็อคไคอะแกรม CSC	33
3.5 แสดงรหัสแอสคริปของคำสั่งแต่ละคำสั่งที่มีในเครื่อง	34



## บทที่ 1

### บทนำ

#### (introduction)

#### 1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญาานิพนธ์

ในปัจจุบันการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้พัฒนาขึ้นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเริ่มมาจากอุตสาหกรรมต่างๆ และในอุตสาหกรรมในการผลิตนั้นต้องการทั้งความเร็ว ความถูกต้องและความสะดวกในการใช้งานในการประมวลผล ซึ่งจะช่วยในการลดต้นทุนการผลิตให้คุ้มค่ามากที่สุด ดังนั้นในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาในการใช้งาน ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นจะเป็นลักษณะการควบคุมแบบธรรมดา แบบคาสเคดและแบบอัตราส่วน ซึ่งในปริญญาานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาเครื่องควบคุมแบบ PID 8 ช่องให้สามารถโปรแกรมเป็นกระบวนการควบคุมแบบต่างๆที่กล่าวมาและสามารถทำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการควบคุมเพื่อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆให้มีความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งก็คือ controller ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถพัฒนาในด้านฟังก์ชันให้มีความสามารถเท่าเทียมกันได้

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

- 1 เพื่อศึกษาการควบคุมแบบ PID ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆในงานอุตสาหกรรม
- 2 เพื่อศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 68HC11 ที่ใช้เขียนโปรแกรมในการควบคุมแบบ PID 8 ช่อง
- 3 เพื่อให้การควบคุมแบบ PID 8 ช่อง สามารถโปรแกรมเป็นการควบคุมแบบ Basic Control Cascade control และ Ratio Control
- 4 สามารถทำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการควบคุมได้ เช่น ถอด square root
- 5 โดยสามารถแสดงผลที่จอ LCD เป็น %PV %SV และ %MV และ แสดงค่า  $K_p$ ,  $T_i$  และ  $T_d$
- 6 โดยสามารถแสดงผลที่หน้าจอ monitor ของ PC ในลักษณะสัญญาณ Damping และค่า %PV, %SV และ %Mv ได้ทั้ง 8 ช่องและสามารถรับและส่งค่า พารามิเตอร์ต่างผ่าน พอร์ต RS 232 ไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 ได้

7 มีฟังก์ชัน Bumpless เพื่อ ไม่ให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ Final element ที่นำตัวเครื่องไปควบคุมซึ่ง เกิดจากการเปลี่ยน mode การทำงานจาก manual เป็น mode Auto ของสัญญาณ MV

#### 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาตัวเครื่องควบคุมแบบ PID 8 channel ให้สามารถทำการโปรแกรมเป็นการควบคุมกระบวนการแบบธรรมดา แบบคาสเคดและแบบอัตราส่วนซึ่งแยกอิสระต่อกันในแต่ละช่องและส่วนฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ ซึ่งสามารถที่จะแสดงผลได้ทั้งที่ตัว LCD และที่ จอ Monitor ของ PC และรับส่งค่าพารามิเตอร์ระหว่าง ตัว PC ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Computer กับ บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้โดยผ่านทางพอร์ต RS 232 ซึ่งในส่วนการแสดงผลที่ PC Computer นั้นแสดงได้ทั้งค่า %PV,%SVและ %MV และแสดงในลักษณะสัญญาณ

Damping ทั้ง 8 ช่อง

#### 1.4 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของการทำปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ในการทำ ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 หลักการของกระบวนการแบบต่างๆและการคำนวณ PID การปรับ PID ผลตอบสนองของ PID

บทที่ 3 ฟังก์ชันของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller ส่วนการออกแบบของโปรแกรมผู้ใช้

บทที่ 4 แสดงผลการทดลองของการควบคุมกระบวนการแบบต่างๆ

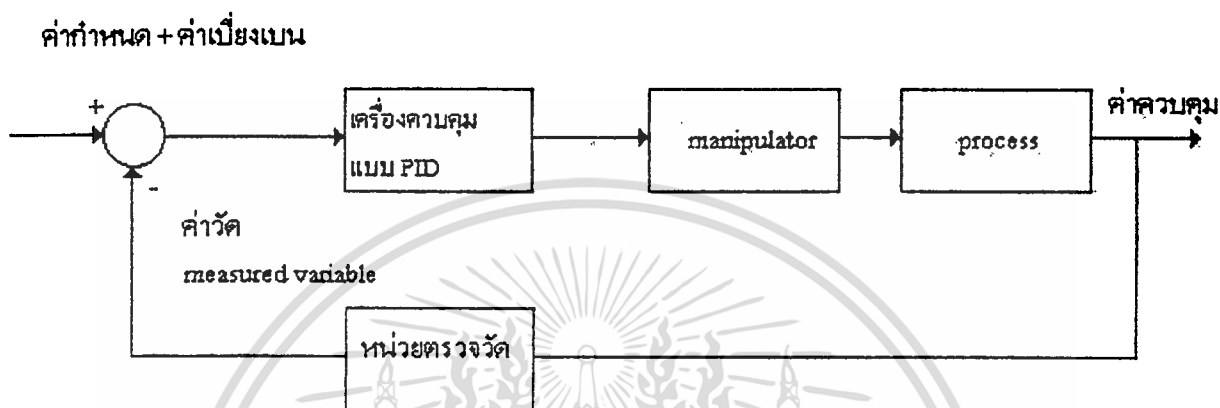
บทที่ 5 บทสรุป จะกล่าวถึงเนื้อหาของปริญญานิพนธ์ รวมทั้งปัญหาที่ประสบมาในการทำงาน และแนวทางในการพัฒนาต่อไป



## บทที่ 2

### หลักการการควบคุมกระบวนการและการคำนวณ

การควบคุม process ด้วยระบบPID Control กล่าวคือ ระบบควบคุมป้อนกลับโดยใช้ Proportional action หรือ Proportional + Integral action หรือ Proportional + Integral + Derivative action ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Single Loop (PID Control)

แต่ใน process บางประเภทซึ่งมีลักษณะพิเศษหรือจุดประสงค์พิเศษ หรือต้องการสมรรถนะในการควบคุมที่สูงขึ้น แม่นยำยิ่งขึ้น หรือ process ที่มีการควบคุมมากจุดและสภาพการควบคุมสลับซับซ้อน มีความเกี่ยวพันระหว่าง control-loop เหล่านั้นเป็นต้น ซึ่ง PID control แบบ single - loop ไม่อาจสนองความต้องการได้สมบูรณ์ ก็อาจใช้ระบบควบคุมที่ให้ instrument ทำงานประสานกันเป็นระบบควบคุมแบบผสม ( combination control system )

แบ่งชนิดของการควบคุมได้ดังนี้

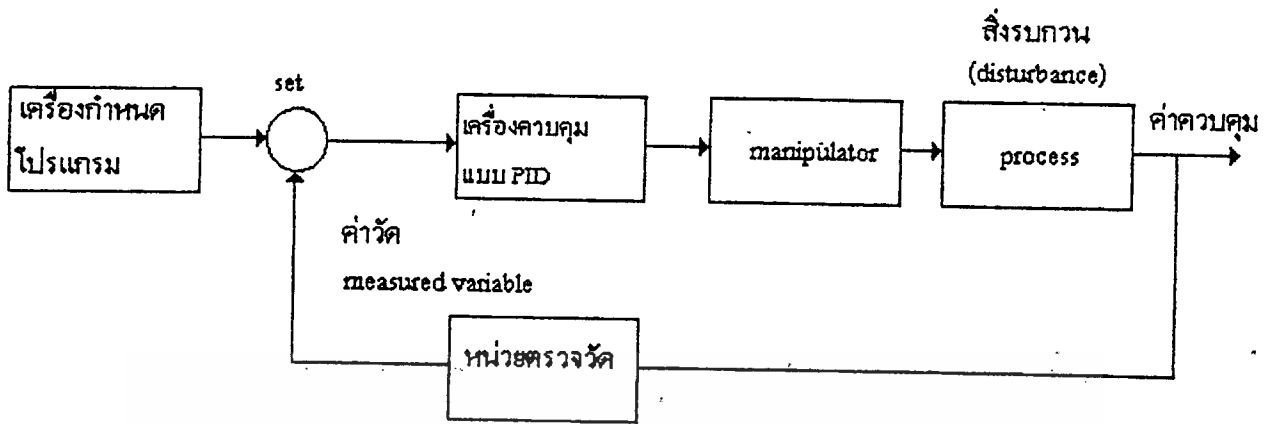
#### 1 การควบคุมแบบโปรแกรม ( Program Control )

แทนการควบคุม process ให้ได้ค่าควบคุมที่คงที่ ( fixed - point control ) ค่าควบคุมอาจกำหนดให้เปลี่ยนไปตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องกำหนดโปรแกรม ( program setter ) ส่งคำสั่งเข้าจุดกำหนดค่าของเครื่องควบคุม PID ในลักษณะ remote setting ดังแสดงในรูปที่ 2.2

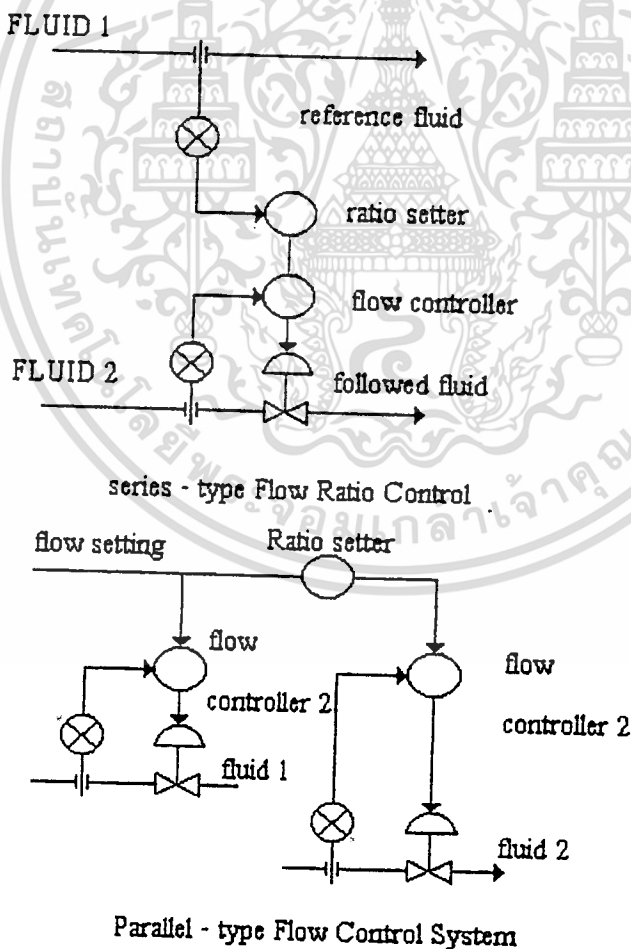
#### 2 การควบคุมแบบสัดส่วน ( Ratio Control )

ใน Process ที่เข้มงวดในการควบคุมการผสมของวัตถุดิบให้ได้สัดส่วนที่ละเอียดและถูกต้องและสม่ำเสมอตลอดเวลา มักจะพบในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบเผาไหม้ทั่วไป และการควบคุมการผสมของเหลวสองชนิด ตัวอย่างของ Ratio Control แสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การควบคุมแบบโปรแกรม (Program Control)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.3 ตัวอย่างของการควบคุมแบบ Ratio Control อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

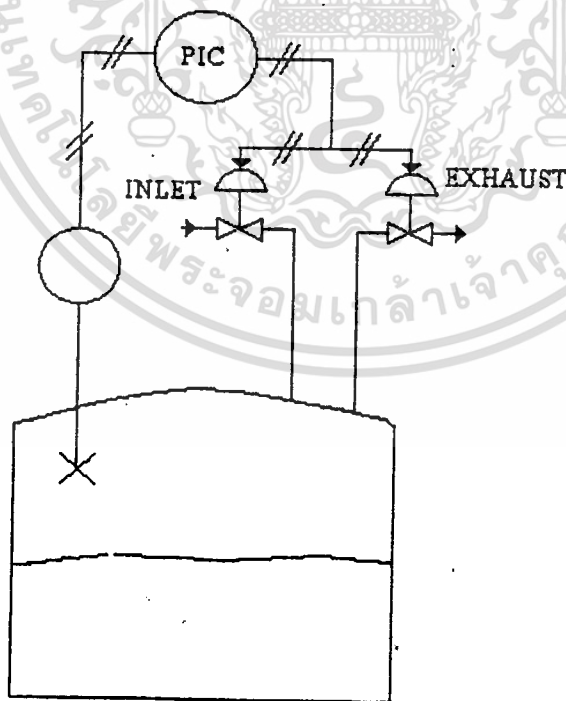
### 3 Duplex Control

ระบบ Duplex Control นั้นประกอบด้วย input จาก measuring device 1 จุด แต่มี output ไปให้ final control element หรือ manipulator 2 จุด ทั้งนี้อาจเป็น output เดียวกันจาก controller ตัวเดียวกัน ส่งไปบังคับ control valve 2 ตัว ลักษณะการทำงานแตกต่างกัน ตามข้อกำหนดของ positioner ซึ่งไม่เหมือนกัน หรืออาจเป็น 2 output จากกลไกการควบคุมแยกจากกัน ไปสู่ control valve แต่ละตัวก็ได้

ตัวอย่างการใช้งานด้วยระบบนี้แสดงในรูปที่ 2.4 เป็นการควบคุมความดันของแก๊สหรืออากาศในถังปฏิบัติการ ซึ่งความดันอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ การควบคุมใช้ Control valve 2 ตัว ตัวหนึ่งเป็น inlet valve อีกตัวเป็น exhaust valve เมื่อความดันในถังต่ำกว่ากำหนด controller จะสั่งให้ exhaust valve ปิด และ inlet valve เปิด เพื่อให้แก๊สหรือลมเข้าไปในถัง ปรับความดันให้สูงขึ้น

เมื่อความดันภายในถังสูงกว่ากำหนด controller จะสั่งให้ inlet valve ปิดและ exhaust valve เปิด ให้แก๊สหรือลม ระบายออกจนความดันต่ำลงสู่ระดับที่ต้องการ

เมื่อความดันภายในถังได้ตามกำหนด controller จะสั่งให้ทั้ง inlet valve และ exhaust valve ปิด หรืออาจเปิดทั้งคู่เพียงน้อยๆ ในกรณีที่ต้องการ purge หรือระบายแก๊สทิ้ง

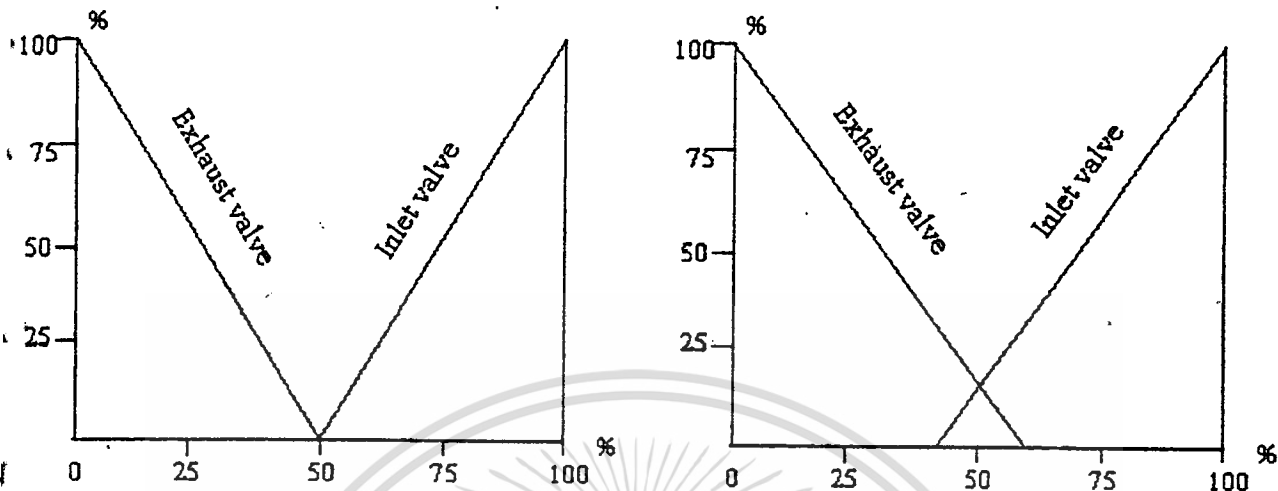


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการควบคุมแบบ Duplex Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของ output signal กับการทำงานเปิดปิด inlet valve และ exhaust valve ดัง

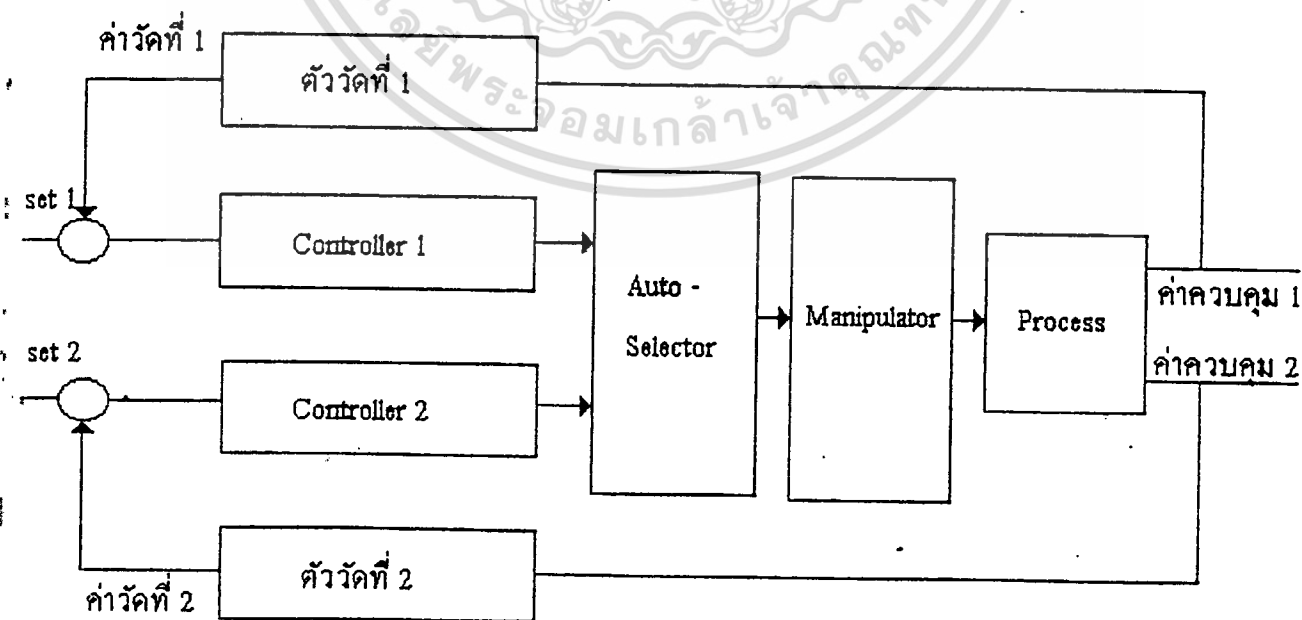
รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของ controller signal กับการเปิดของ CV ในระบบ Duplex Control

4 Auto Selector Control

เป็นระบบควบคุมที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับ Duplex Control กล่าวคือ Auto Selector Control จะประกอบด้วย input จาก measuring device 2 จุด และมี output ไปสู่ final control element เพียงจุดเดียว ทั้งนี้จุดวัดทั้ง 2 จุด ต่างก็ส่งสัญญาณเข้าไปยัง controller แต่ละตัวและ controller แต่ละตัวต่างก็ส่ง output signal ออกมาตลอดเวลา output signal ทั้งสองนี้จะส่งเข้า auto selector unit เพื่อเลือกใช้ signal ที่สำคัญว่าในขณะนั้นก็ส่งไปบังคับ control valve ทำงานเพื่อควบคุม process ให้ได้จุดประสงค์ทั้ง 2 ด้านในลักษณะที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 2.6 Auto Selector Control

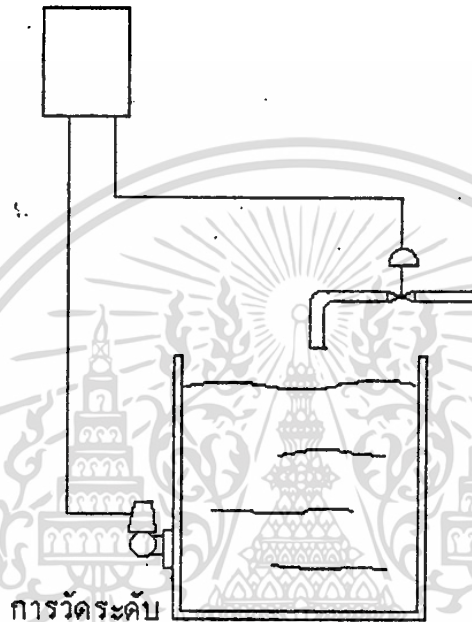
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5 ระบบควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control System)

การควบคุม process ส่วนใหญ่ตัว manipulator หรืออุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (final control element) มักเป็นวาล์วควบคุม (หรือวาล์วที่มีลักษณะใกล้เคียง) ค่าควบคุม process จะถูกปรับเปลี่ยนไปตามค่าที่ต้องการ โดยการบังคับการไหลของสารหรือ utility ที่ใช้ใน process นั้น ทั้งนี้ยึดหลักการว่า % การเปิดของ control valve กับอัตราการไหลมีความสัมพันธ์กันอย่างมั่นคงดังรูปที่

2.7

เครื่องควบคุมระดับ



รูปที่ 2.7 ระบบควบคุมที่ใช้โดยทั่วไป (conventional control system)

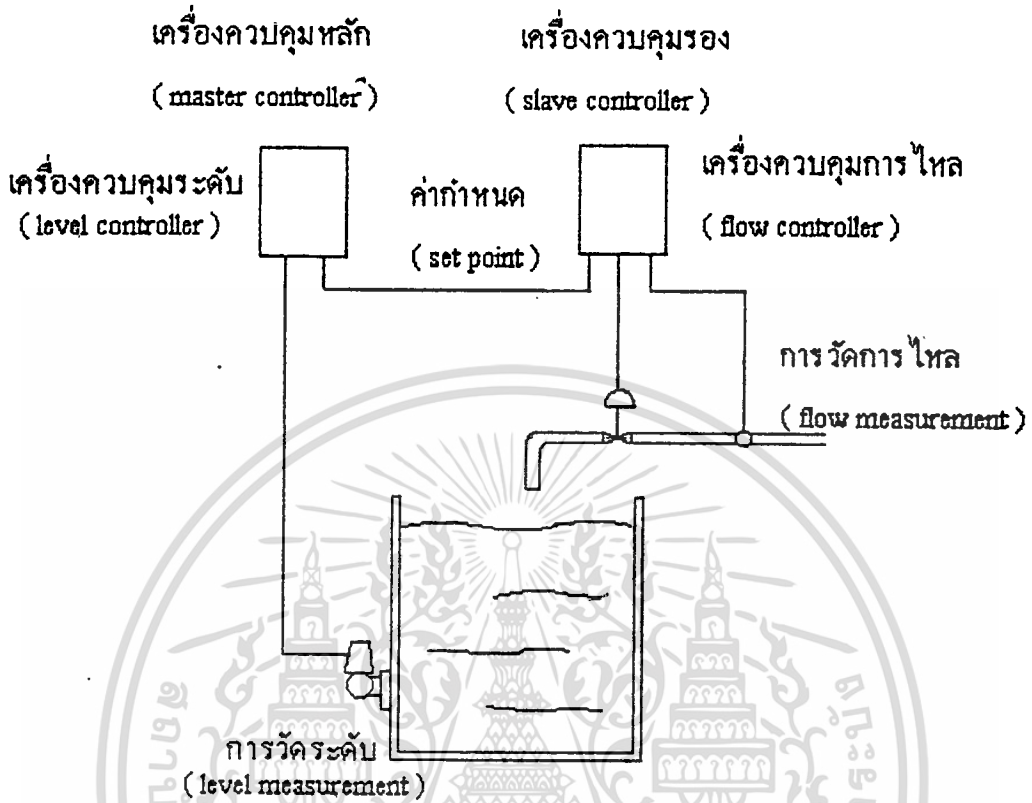
แต่ในความจริงแล้ว อัตราการไหลของ utility หรือสารใน process ก็อาจผิดเพี้ยนไปจากเดิมได้แม้การเปิดของ วาล์วควบคุม จะคงที่ไว้ที่ตำแหน่งเดิม การผิดเพี้ยนนี้อาจเกิดจากความผันของ utility supply อาจตกหรือไม่คงที่หรือความผันในท่อส่งสารเกิดเปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุอื่นๆ เมื่ออัตราการไหลของ utility หรือสารใน process ไม่เป็นไปตามค่าที่ควรจะเป็นก็ย่อมมีผลให้ค่าควบคุมของ process กวัดแกว่งเป็นสิ่งที่รบกวน (Disturbance) ขึ้นได้

ซึ่งการควบคุมแบบ PID สามารถบังคับค่าควบคุมให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ แต่การแก้ไขนี้กระทำภายหลังที่เกิดสิ่งรบกวน (Disturbance)

ใน process ที่ต้องการควบคุมอย่างละเอียด โดยไม่ต้องการสิ่งรบกวนที่ไม่จำเป็นดังกล่าว โดยใช้รูปควบคุมการไหลทั้งหมดมาทำหน้าที่เป็น manipulator แทนวาล์วควบคุมตัวเดิม manipulated variable หรือค่าสัญญาณออกของเครื่องควบคุมตัวเดิม ก็กลายเป็นค่ากำหนดของรูปควบคุมการไหล เครื่องควบคุมการไหลซึ่งกลายเป็นเครื่องควบคุมรอง (Slave Control) จะบังคับให้ utility หรือสารไหลเข้า process ตามคำสั่งของเครื่องควบคุมหลัก (master control) โดยไม่ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

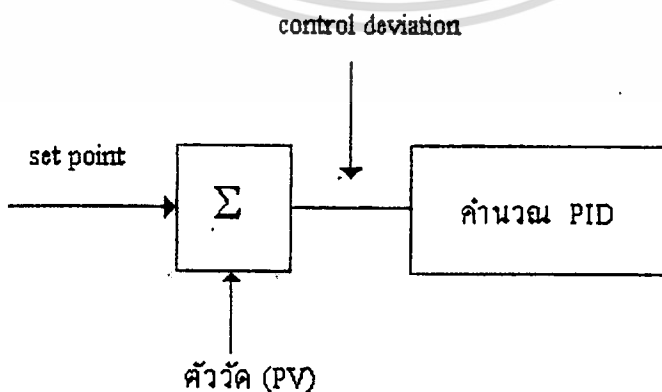
เกิดสิ่งรบกวนอันเปลี่ยนมาจาก การผันแปรของตัวแปรอื่นๆใน utility line ได้โดย การจัดตั้งลักษณะ ระบบควบคุมนี้เรียกว่า ระบบควบคุมแบบคาสเคด (cascade control system) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระบบควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control)

### ตัวควบคุมและแบบการควบคุม (Controller and Control Action)

ตัวควบคุมจะรับสัญญาณจากการวัด เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายหรือ set point ผลต่างทั้งสองจะถูกส่งไปยังภาคคำนวณ เพื่อผลิตสัญญาณควบคุมขาออก ซึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนขับเคลื่อนอีกทีหนึ่ง โครงสร้างภายในตัวควบคุมแสดงดังในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของผลต่างกับสัญญาณควบคุมขาออก กำหนดโดย ภาคคำนวณซึ่งความสัมพันธ์นี้เรียกว่า Control Action แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

ON-OFF Action

Proportional Action (P- Control)

integral or reset action (I- Action)

derivative action (D-Action)

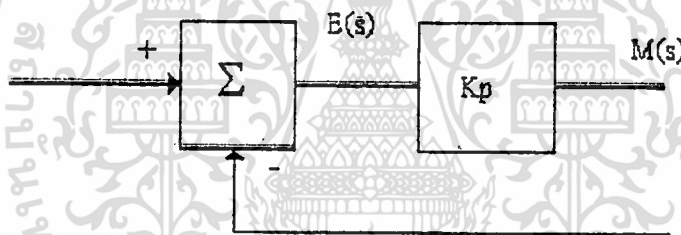
การควบคุมจะใช้ Action แต่ละชนิดหรือ ใช้หลายชนิดร่วมกันเช่น On-off,P,PIและ PID

**Proportional Action** คือ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุมกับสัญญาณคลาดเคลื่อน  $e(t)$  คือ

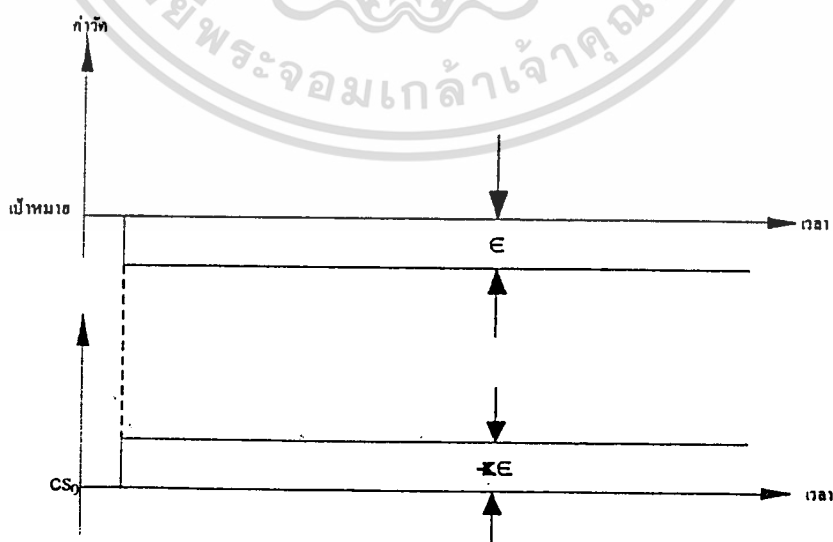
$$m(t) = K_p * e(t)$$

หรือ  $M(s) / E(s) = K_p$

โดย  $K_p$  จะอยู่ในเทอมของ proportional Sensitivity หรือ Gain หน่วยควบคุมแบบ Proportional จึงเป็น Amplifier ที่สามารถปรับค่าของ Gain ได้ดังรูปที่ 2.10แสดงถึง Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ proportional



รูปที่ 2.10 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ P

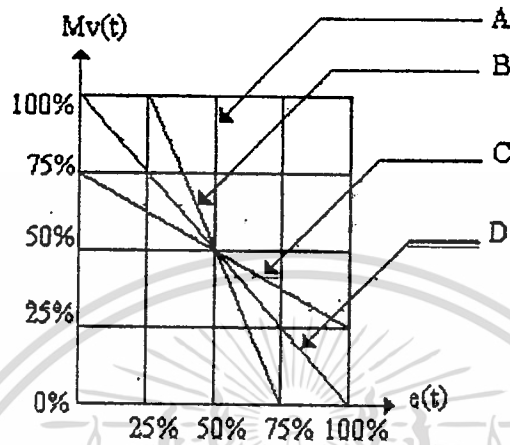


รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองของ Proportional Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบ proportional มักจะแสดงในรูป proportional Band (%PB) ค่า PB คือค่า สัญญาณ Error ที่ทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไป 100% เมื่อ PB = 50% หมายถึง ถ้าสัญญาณ Error เกิดขึ้น 50% สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไป 100% ดังรูปที่ 2.12

$$PB = 1/K_p * 100$$



รูปที่ 2.12 Proportional Band

A เมื่อ PB = 0% ,  $K_p = \infty (100/0)$

B เมื่อ PB = 50% ,  $K_p = 2 (100/50)$

C เมื่อ PB = 100% ,  $K_p = 1 (100/100)$

D เมื่อ PB = 200% ,  $K_p = 0.5 (100/200)$

ซึ่งจากรูปที่ 2.12 แสดงว่าค่า PB เป็นตัวบอกความไวของการแก้ความผิดพลาดจึงอาจเรียกได้ว่า  $K_p$  เป็นความไวของ Proportional Control

#### คุณสมบัติของ Proportional Action

1 เมื่อลดค่า PB ลงจะทำให้อัตราขยายสูงขึ้น การควบคุมจะไวทำให้เกิดการแกว่งขึ้น

2 เมื่อเพิ่มค่า PB อัตราขยายจะลดลง ทำให้ค่าที่วัดได้จะแตกต่างกับค่าเป้าหมายมาก

ขึ้น ทำให้เกิด Offset

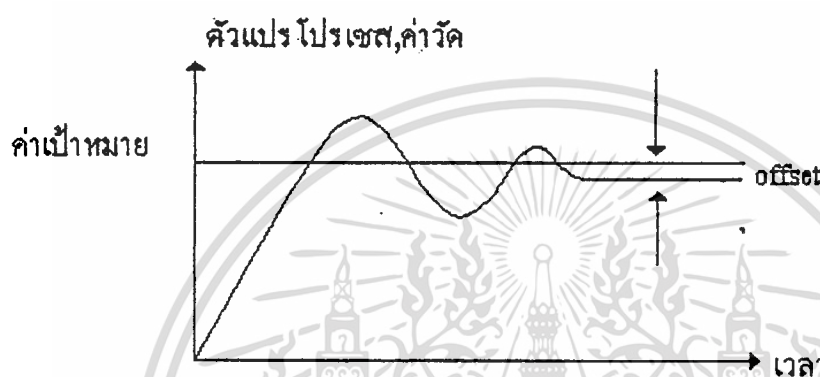
3 เมื่อ process เกิดสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป หรือ เกิด Disturbance ก็ทำให้เกิด offset

offset คือ การที่ตัวแปรโพรเซสหรือค่าที่วัดได้จาก process มีค่าไม่เท่ากับค่าเป้าหมาย (set point) ทำให้การควบคุมไม่เป็นไปตามที่ต้องการ offset มักจะเกิดขึ้นในการควบคุมแบบ Proportional Control ที่มีค่า PB ใหญ่และในขณะที่เกิด Disturbance ในโพรเซส ซึ่งได้แก่การเปลี่ยนแปลงของโหลดในสภาวะแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีแก้ offset ที่เกิดขึ้นใน process

- 1 ให้ลด PB ให้เล็กน้อย
- 2 เปลี่ยน bias เป็นการควบคุมด้วยมือ
- 3 เปลี่ยนค่าเป้าหมาย(set point) ใหม่
- 4 ใช้การควบคุมที่มี reset action



รูปที่ 2.13 Offset

### Integral Action (Reset Action)

Integral Action คือ ค่าของเอาต์พุตของหน่วยควบคุม  $m(t)$  จะมีความสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ดังนี้

$$m(t) = \frac{1}{T_i} * \int e(t) dt$$

โดยที่  $T_i$  เป็นค่า Integral Time ที่สามารถปรับค่าได้ Transfer Function ของหน่วยควบคุมแบบ Integral คือ

$$\begin{aligned} M(s) / E(s) &= \frac{1}{T_i * s} \\ &= \frac{K_i}{s} \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อ } K_i = 1 / T_i$$

กรียาควบคุมแบบ Integral บางครั้งเรียกว่า Reset Control การควบคุมแบบนี้สัญญาณควบคุมจะแปรค่าตามอินทิเกรตต่อเวลาของผลต่าง เมื่อผลต่างเปลี่ยนเป็น step สัญญาณควบคุมจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา ดังรูป Integral Time ( $T_i$ ) คือเวลาที่ใช้ในการเพิ่มค่าของสัญญาณควบคุมจะมีขนาด

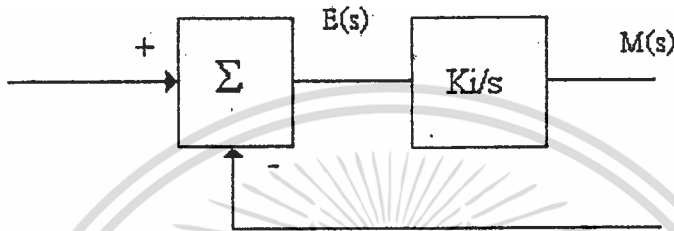
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ ผลต่างที่เปลี่ยนไป ดังนั้น เมื่อ  $T_i$  มีค่าน้อยผลของ Integral Action จะมากกว่าเมื่อ  $T_i$  มีค่ามาก

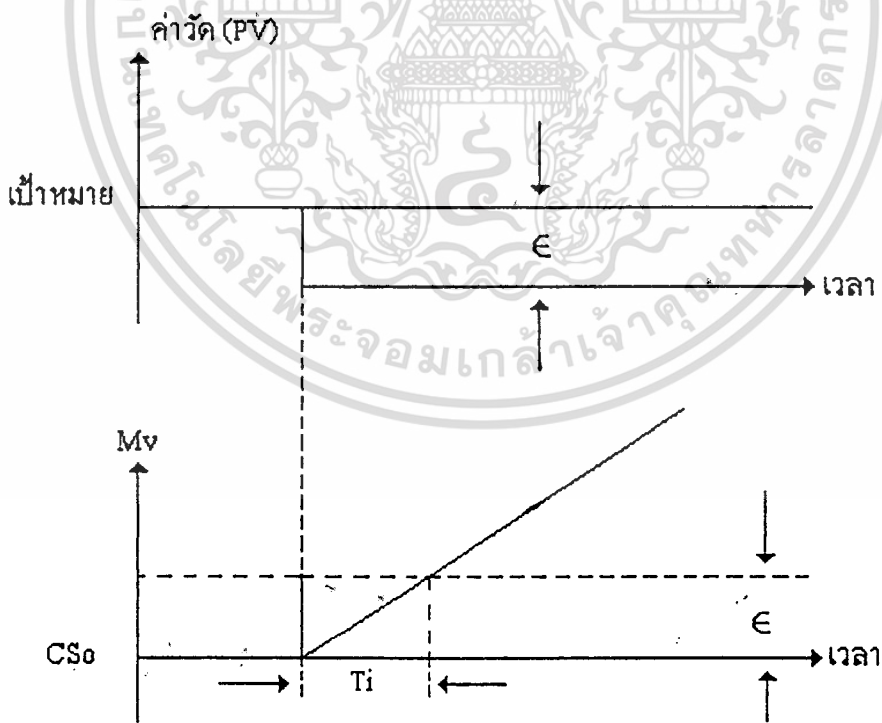
**คุณสมบัติของ Integral Action**

1 offset ที่เกิดจาก Proportional Action จะถูก Integral Action แก้จนหมด

2 เมื่อ  $T_i$  มีค่าน้อยลง ผลของ Integral Action จะมาก ทำให้เกิดการแกว่งได้ ทำให้ขาดเสถียรภาพ



รูปที่ 2.14 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ Integral



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองของ Integral Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Proportional - Integral (PI)

การควบคุมของหน่วยควบคุมแบบ PI นั้นสามารถได้ด้วยสมการดังนี้

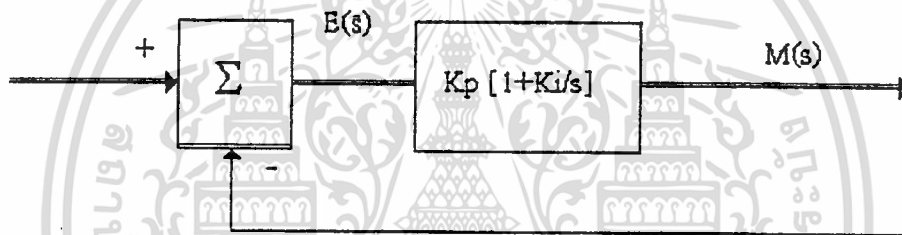
$$m(t) = K_p * \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} * \int e(t) dt \right]$$

$$\begin{aligned} M(s) / E(s) &= K_p * \left[ 1 + \frac{1}{T_i * s} \right] \\ &= K_p \left[ 1 + \frac{K_i}{s} \right] \end{aligned}$$

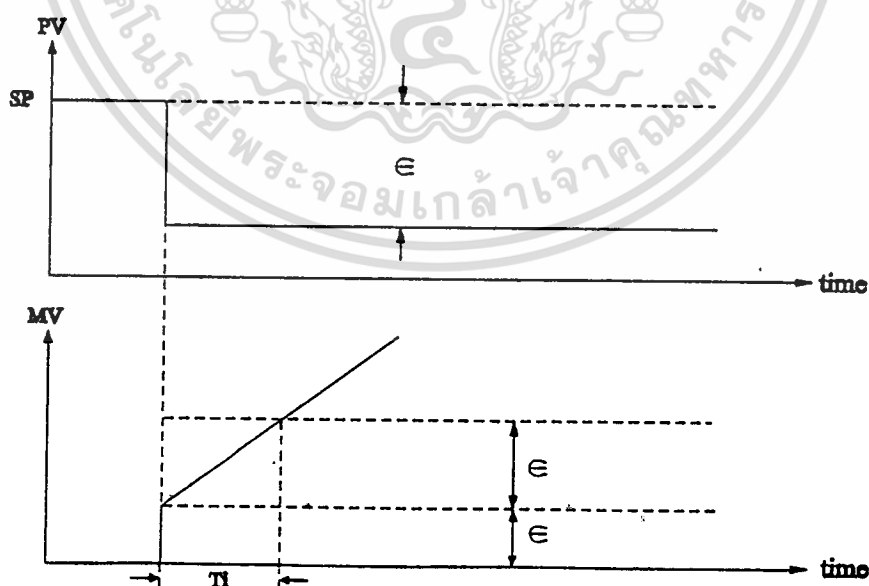
โดยที่  $K_p$  คือ ค่าของ gain

$T_i$  คือ ค่าของ Integral Time

ทั้งค่า  $K_p$  และ  $T_i$  เป็นค่าที่ปรับ  $T_i$  เป็นค่าที่ปรับกริยาควบคุมแบบ Integral นั้นจะมีผลต่อ ส่วน Proportional ดังรูปที่แสดงถึง Block Diagram ของหน่วยควบคุม PI และผลตอบสนองของ PI Action



รูปที่ 2.16 Block diagram ของหน่วยควบคุมแบบ PI



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Derivative Action (Rate Action)

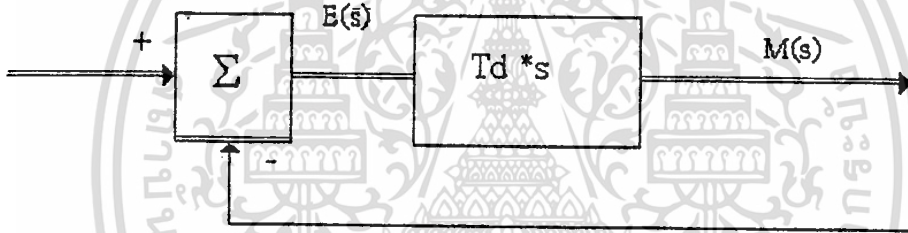
การควบคุมแบบนี้เหมาะกับขบวนการที่มี time lag มากๆ เพราะ สามารถแก้ข้อผิดพลาด โดยการกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีความผิดพลาดขึ้น เพราะสัญญาณควบคุมจะแปรตาม อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ error และในบางครั้งจะเรียกกรียาควบคุมแบบนี้ว่า Rate Action การควบคุมแบบ Derivative Action ไม่สามารถนำไปใช้ได้เพียงเดียวๆ เพราะว่า error เป็น 0 คือมีค่าคงที่ ค่าที่ควบคุมจะไม่มีค่าเอาท์พุท ดังนั้น Derivative Action จะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบ proportional

$$m(t) = T_d * \frac{de(t)}{dt}$$

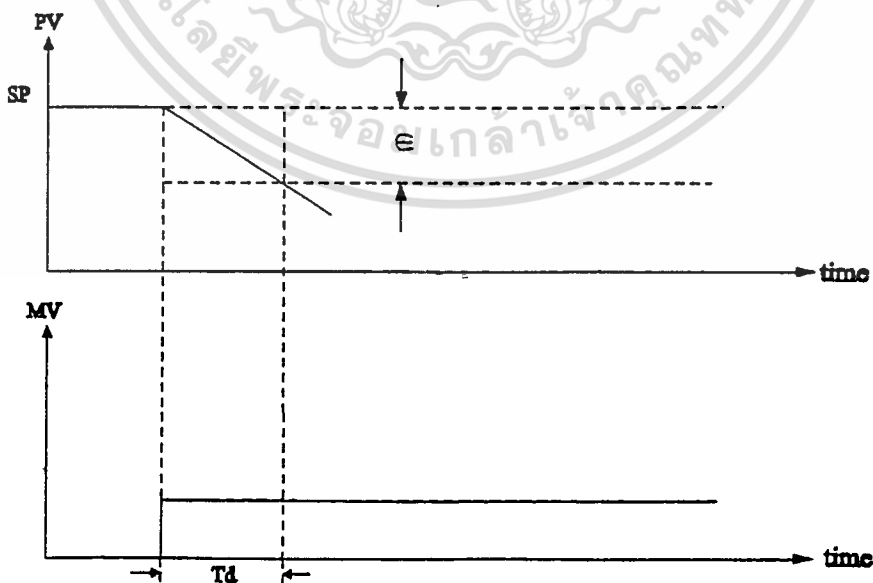
$$\text{หรือ } M(s)/E(s) = T_d * s$$

โดยที่  $T_d$  เป็นค่าของ Derivative Time

จากรูปจะเห็นว่า  $T_d$  จะเท่ากับช่วงเวลาที่ผลต่าง error ที่เปลี่ยนไปจนมีค่าเท่ากับความชันของการเปลี่ยนนี้ ถ้า  $T_d$  มากจะทำให้ผลของ Derivative Action มาก



รูปที่ 2.18 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ Derivative



รูปที่ 2.19 ผลตอบสนองของ Derivative Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ซึ่งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติของ Derivative Action

1 เหมาะสำหรับโปรเซสที่มี Time.lag มากๆ จะทำให้การควบคุมถึงค่าเป้าหมายเร็วขึ้น  
 2 ถ้า Td มากไปผลของ Derivative Action จะมากทำให้ระบบทั้งระบบไวขึ้นแต่จะขาดเสถียรภาพ

3 ไม่เหมาะสำหรับโปรเซสที่มี Time Lag น้อยๆ และตัวแปรโปรเซสเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น การควบคุมการไหล ความดัน เป็นต้น

### Proportional -Derivative Action (PD)

การควบคุมแบบ PD นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

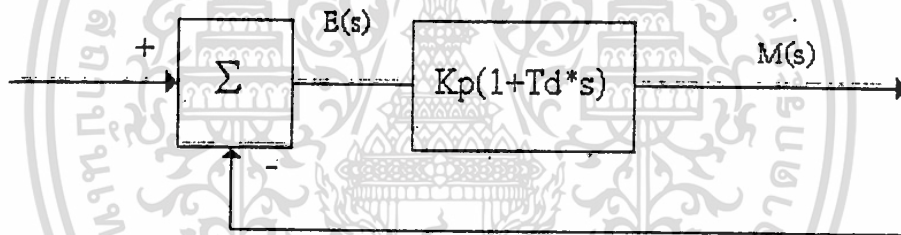
$$m(t) = Kc * \left[ e(t) + Td * \frac{de(t)}{dt} \right]$$

$$M(s)/E(s) = Kc * [1 + Td * s]$$

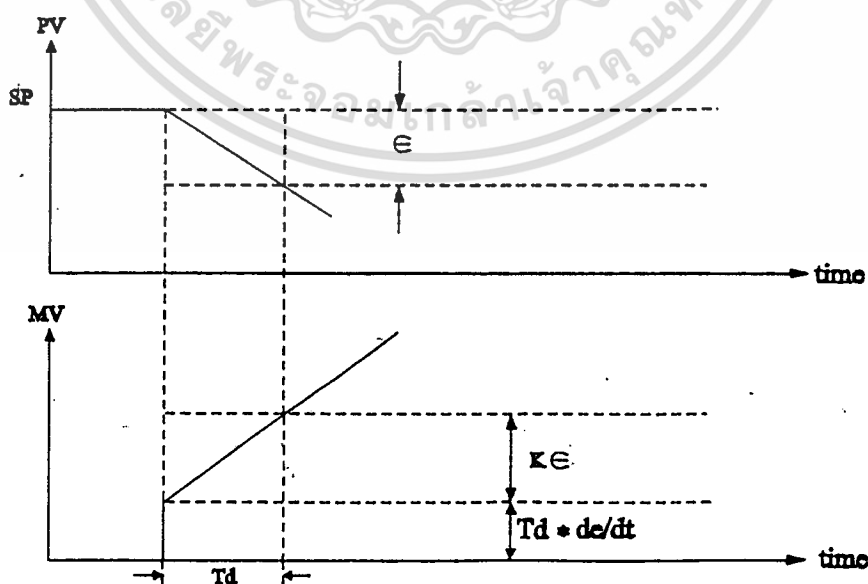
โดยที่ Kc คือ ค่าของ gain

Td คือค่าของ Derivative Time

ซึ่งค่าทั้งสองค่าสามารถปรับค่าได้



รูปที่ 2.20 Block Diagram ของหน่วยควบคุมแบบ PD



รูปที่ 2.21 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Proportional - Integral - Derivative (PID)

การควบคุมแบบ PID นั้นได้รวบรวมเอากริยาควบคุมแบบ Proportional ซึ่งเป็นอัตราขยาย กริยาควบคุมแบบ Integral สามารถแก้ค่า offset และ Overshoot ที่ทำให้เกิดการ Oscillate และ กริยาควบคุมแบบ Derivative จะทำให้เกิดผลตอบสนองได้อย่างรวดเร็วซึ่งสมการของ PID มีดังนี้

$$m(t) = Kc * \left[ e(t) + \frac{1}{Ti} * \int e(t)dt + Td * \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Transfer function คือ

$$\begin{aligned} m(t) &= Kp * \left[ 1 + \frac{1}{Ti * s} + Td * s \right] \\ &= Kp * \left[ 1 + \frac{Ki}{s} + Kd * s \right] \end{aligned}$$

### PID controller

โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตที่คำนวณได้เป็นช่วงเวลาสั้นๆแทนที่จะเป็นเวลาที่ต่อเนื่อง สมการ PID คือ

$$m(t) = Kc \left[ e(t) + \frac{1}{Ti} * \int e(t)dt + Td \frac{de(t)}{dt} \right] + p(0)$$

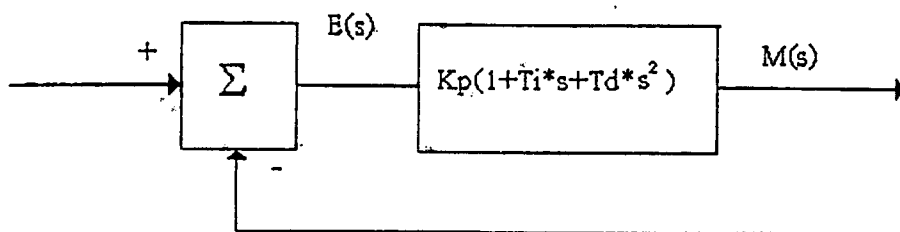
$$e(t) = sv(t) - mv(t)$$

เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการความแตกต่างได้ดังต่อไปนี้

$$\int e(t)dt = \sum_{k=1}^n e(k)\Delta t$$

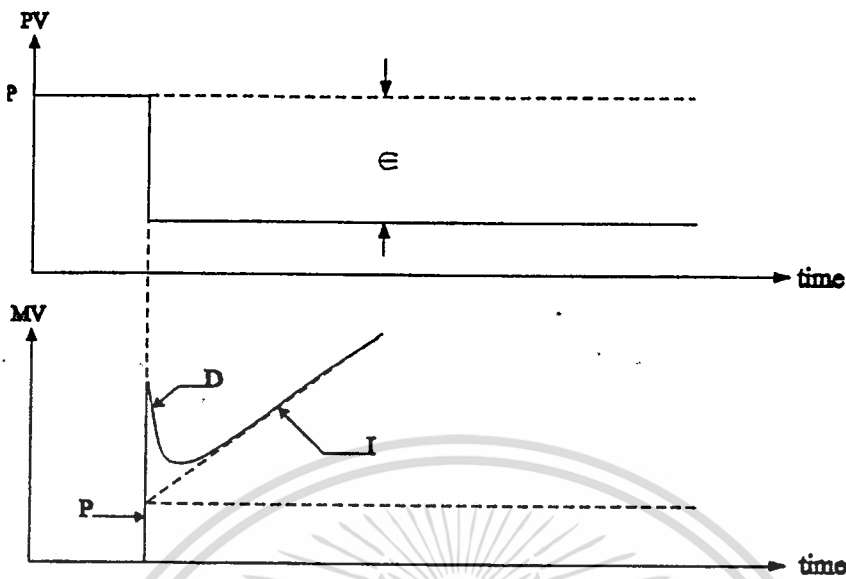
$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{[e(n) - e(n-1)]}{\Delta t}$$

$$m(n) = Kc \left[ e(n) + \frac{1}{Ti} \sum_{k=1}^n e(k)\Delta t + Td \frac{(e(n) - e(n-1))}{\Delta t} \right] + p(0)$$



รูปที่ 2.21 Block Diagram ของการควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



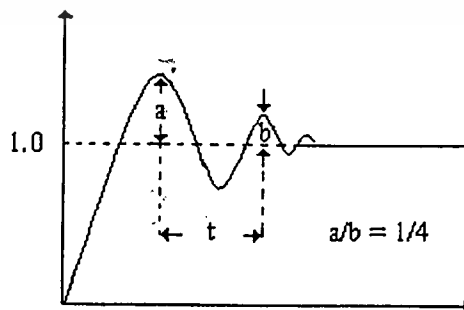
รูปที่ 2.22 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ PID

### การปรับค่า PID

การปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งมีวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID เพื่อให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด วิธีการปรับค่ามีหลายวิธี แต่ไม่มีวิธีไหนที่ดีที่สุด กล่าวคือบางวิธีจะต้องพิจารณาผลตอบสนองของระบบ และประสบการณ์ในการปรับค่า ในขณะที่บางวิธีอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา โดยทั่วไปการปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ PID จะพิจารณาเงื่อนไขใน Frequency Domain ซึ่งอยู่ในรูปของ Gain Margin & Phase Margin เงื่อนไขใน Time Domain ที่นิยมใช้เพื่อปรับค่ามีดังต่อไปนี้

#### 1. อัตราการเสื่อม 1/4 (Quarter Decay)

คือ Peak Overshoot ลูกที่ 2 ต่อ Peak Overshoot ลูกแรก (Maximum Overshoot) ของผลตอบสนองของระบบที่มีการแกว่งจะต้องมีค่าเท่ากับ 1/4 ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงผลตอบสนองที่มีการแกว่งเท่ากับ 1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ดัชนีแสดงสถานะแบบ Integral of Square Error (ISE) ที่มีค่าน้อยที่สุด แสดงด้วยสมการ

$$ISE = \int [e(t)]^2 dt = \text{น้อยที่สุด}$$

โดยที่  $e(t)$  = ค่าความคลาดเคลื่อน =  $sv(t) - mv(t)$

3.ดัชนีแสดงสถานะแบบ Integral of Absolute Error (IAE) ที่มีค่าน้อยที่สุด แสดงด้วยสมการ

$$IAE = \int e(t) dt = \text{น้อยที่สุด}$$

4.ดัชนีแสดงสถานะแบบ Integral of Time Multiplied Absolute Error (ITAE) ที่มีค่าน้อยที่สุด แสดงด้วยสมการ

$$ITAE = \int t \cdot e(t) dt = \text{น้อยที่สุด}$$

เงื่อนไขทั้ง 4 ที่กล่าวมา แบบที่ 1 เป็นแบบที่สะดวกเพราะสามารถวัดได้จากผลตอบสนองของระบบโดยตรง ส่วนแบบที่ 2.3.2 ถึงแบบที่ 2.3.4 มีข้อดีคือ จะมีความแม่นยำสูงกว่าแบบ 2.3.1 กล่าวคือ parameter ต่างๆของการควบคุมแบบ PID อาจมีหลายค่าที่ทำให้ผลตอบสนองมีอัตราการเสื่อม 1/4 แต่จะมีเพียงค่าเดียวที่ทำให้เงื่อนไขมีค่าน้อยที่สุด

เงื่อนไขแบบอัตราการเสื่อม 1/4 นั้นจะเป็นเงื่อนไขที่ดีในการเข้ากันได้ระหว่าง Rise time ที่เร็ว และ Setting time ที่น้อย สำหรับเงื่อนไขที่ 2 ถึง 4 นั้น เนื่องจากผลตอบสนองของระบบไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่าดัชนีแสดงสถานะแต่ละแบบก็เปลี่ยนแปลงตามระบบด้วย แต่คุณลักษณะทั่วไปของดัชนีแต่ละระบบนั้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้คือ เงื่อนไขที่ 2 ซึ่งเป็นดัชนีแสดงสถานะแบบ ISE นั้นถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาก ค่าดัชนีแสดงสถานะก็จะมาก ดังนั้นจะทำให้ดัชนีแสดงสถานะ มีค่าน้อยที่สุด ผลตอบสนองของระบบจะต้องมี Rise time ที่น้อยมาก ซึ่งทำให้มีข้อเสียคือมี Overshoot ที่สูง สำหรับเงื่อนไขแบบ ITAE ซึ่งเป็นค่าของเวลาคูณกับค่าของความคลาดเคลื่อนนั้น

#### เทคนิคการปรับค่า PID

ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงวิธีการตั้งค่า PID ของนักคณิตศาสตร์แต่ละคนเพื่อควบคุมคุณภาพให้ได้ดีที่สุด แต่ในทางปฏิบัติยังคงไม่มีวิธีใดที่ดีที่สุดที่จะสามารถนำไปใช้กับทุกระบบได้



ชื่อผู้เสนอ	แบบ	แบบการควบคุม	Control Action PB%	Control Action Ti(min)	Control Action Td(min)	เกณฑ์
Zieg-ler	A,B	P	2 P Bu	-	-	25%
		PI	2.2 P Bu	0.83 Pu	-	damp
		PID	1.7 P Bu	0.5 Pu	0.125 Pu	ratio
Zieg-ler	A,B	P	100 kpL/T	-	-	25%
		PI	110 kpL/T	33L	-	damp-
		PID	83 kpL/T	2L	0.5L	ratio
Taka - hashi	A	P	110 kpL/T	-	-	minimum
		PI	110 kpL/T	3.3L	-	
		PID	77 kpL/T	2.2L	0.45L	
chien Hrones Rewick	A	P	333 kpL/T	-	-	no
		PI	286 kpL/T	1.2L	-	over
		PID	167 kpL/T	T	0.5L	shoot
chien Hrones Reswick	B	P	143kpL/T	-	-	20%
		PI	167 kpL/T	T	-	over
		PID	105 kpL/T	0.5 Pu	0.125 Pu	shoot
chien Hrones Reswick	B	P	333 kpL/T	-	-	no
		PI	167 kpL/T	4L	-	over
		PID	105 kpL/T	2.4L	0.4L	shoot
chien Hrones	B	P	143 kpL/T	-	-	20%
		PI	143 kpL/T	2.3L	-	over
		PID	83 kpL/T	2L	0.42L	shoot
Hrones Zieg-ler	B	PI	167kpL/T	4L	-	over
		PID	105kpL/T	2.4L	0.4L	shoot
	A,B	P	100 kpL/T	-	-	minimum control area
		PI L/T =1	167 kpL/T	T+L	-	
		L/T =1	250 kpL/T	2L	-	
PID L/T =1	133 kpL/T	0.5*(T+L)	0.125*(T+L)			
L/T =1	200 kpL/T	0.25L	0.25L			

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการปรับค่า PID ของนักคณิตศาสตร์แต่ละคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติวิธีที่นิยมใช้ในการปรับค่า PID สำหรับการควบคุมเพื่อให้ได้ 1/4 Damping Ratio มี 3 วิธีคือ

### 1 Reaction Curve Method

#### วิธีการ

- 1) ให้เปลี่ยนระบบควบคุมเป็นแบบลูปเปิด
- 2) ให้ทำการหาคุณสมบัติของกระบวนการ ( Process Characteristic ) โดยการเปลี่ยนค่าสัญญาณควบคุมไป  $\Delta PV$  แล้วบันทึกรูปคลื่นของตัวแปรกระบวนการ ( Process Variable )
- 3) หา Process Gain ( $K_p$ ) , Dead time( $LE$ ) และ ค่าคงเวลา( $TE$ )จาก Process Characteristic

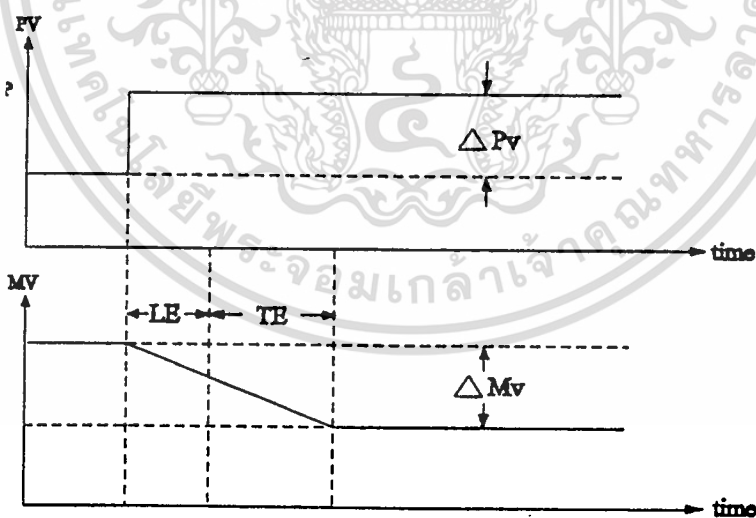
ในรูปที่ 2.24

$$K_p = \Delta MV / \Delta PV$$

- 4) นำค่า  $K_p, LE, TE$  ที่หามาได้ไปคำนวณหา  $PB, Ti, Td$  จากตารางที่ 2.2

ชนิดของการควบคุม	PB%	Ti(min)	Td(min)
P	$100 K_p * LE / TE$	$\infty$	0
PI	$110 K_p * LE / TE$	$3.3 LE$	0
PID	$83 K_p * LE / TE$	$2.0 LE$	$0.5 LE$

ตารางที่ 2.2 แสดงการนำค่า  $K_p, LE, TE$  มาคำนวณหา  $PB, Ti, Td$



รูปที่ 2.24 Reaction Curve Method

### 2 Ultimate Sensitivity Method

#### วิธีการ

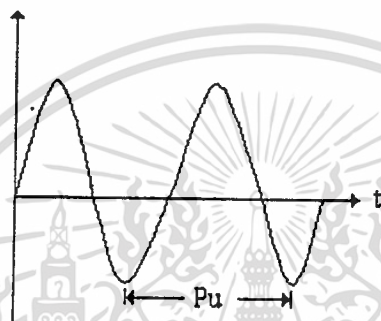
- 1) ให้ระบบควบคุมเป็นแบบลูปเปิด
- 2) ตั้ง  $Ti$  สูงสุด และ  $Td$  ต่ำสุด ใช้ P Action ในการควบคุมเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ครั้งแรกตั้งค่า PB ไว้ที่ค่าสูงสุด แล้วลดค่า PB ลงมา ลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อดูผลตอบสนอง ลดค่า PB ให้ต่ำลงมาเรื่อยๆจนถึงค่าที่เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อย จะทำให้ขบวนการเกิดการแกว่งต่อเนื่องไปตลอดค่า PB ในขณะนั้นเรียกว่า PBU ( Ultimate Proportional Band )

4) หาคาบเวลาในการแกว่ง ให้เท่ากับ  $P_u$  ดังรูปที่ 2.25

5) นำค่า PBU และ  $P_u$  ที่หาได้ไปคำนวณหาค่า  $PB, T_i$  และ  $T_d$  จากตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.25 แสดงการแกว่งแบบต่อเนื่อง

ชนิดของการควบคุม	PB%	$T_i$ (min)	$T_d$ (min)
P	2 PBU	$\infty$	0
PI	2.2 PBU	0.83 $P_u$	0
PID	1.7 PBU	0.5 $P_u$	0.125 $P_u$

ตารางที่ 2.3 แสดงการนำค่า PBU, $P_u$  มาคำนวณหา  $PB, T_i, T_d$

#### 2.4.3 Trial and error

เป็นวิธีการที่ใช้หลักการของ Ultimate Sensitivity Method เพียงแต่ไม่ต้องคำนวณแต่ใช้การทดลองปรับค่าต่างๆเพื่อหาผลตอบสนองที่ดีที่สุด

##### 1) P Control

1.1) ปรับตัวควบคุมไปที่ Manual Mode

1.2) ปรับ PB ไปที่สูงสุด  $T_i$  สูงสุด และ  $T_d$  ต่ำสุด

1.3) ปรับค่าเป้าหมาย (set point) ไปสู่ค่าที่ต้องการ

1.4) ปรับ manual control จนตัวแปรกระบวนการหรือค่าที่รับได้เท่ากับค่าเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยของศูนย์วิจัยด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5) ปรับตัวควบคุมไปที่ Automatic Mode
- 1.6) เปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อย เมื่อค่าPV เริ่มเปลี่ยนให้ลดค่าเป้าหมายกับมาที่เดิม
- 1.7) ลดค่า PB ลงมาและทำตามขั้นตอนที่1.6 ใหม่ โดยสังเกตผลตอบสนองของค่าPV
- 1.8) ทำขั้นตอน 1.6และ 1.7 หลายๆครั้ง จนได้อัตราส่วนช่วงกว้างของการแกว่งของผลตอบสนองเป็น  $\delta$  Damping Ratio

## 2) PI Control

- 2.1) ทำเหมือน P Control จากขั้นที่ 1.1 ถึง 1.8 เพื่อหา PB ที่ดีที่สุด
- 2.2) ลดค่า Ti จน Offset หายไป
- 2.3) เพิ่มค่า Ti ถ้าเกิดการแกว่งขึ้น
- 2.4) ทำขั้นตอนที่ 2.2 และ2.3 จนกว่าผลตอบสนองเป็น  $\delta$  Damping Ratio

## 3) PID control

- 3.1) ทำเหมือน P Control จากขั้นตอนที่ 1.1 ถึง1.2
- 3.2) ลดค่า PB ลงมาจนเกิดการแกว่ง
- 3.3) เพิ่ม Td จนการแกว่งหยุด
- 3.4) ลดค่า PB จนเกิดการแกว่งใหม่อีก
- 3.5) ทำขั้นตอนที่ 3.2 ถึง 3.4 หลายๆครั้งจน Td ไม่สามารถหยุดการแกว่งได้
- 3.6) เพิ่ม PB จนหยุดการแกว่ง  
ตั้งค่า Ti ให้เท่ากับ Td ค่าสุดท้าย ( $T_i=T_d$  กรณีที่ PID Interface Coefficient เท่ากับ 2)

### ผลของ PID ต่อเสถียรภาพของระบบ

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบ PID นั้น ถ้าแปรค่า PB, Ti และ Td จะมีผลต่อระบบควบคุมดังนี้

### ผลของ P- action

เมื่อลดค่าPB ลงทำให้อัตราการขยายสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้

1. offset ลดลง
2. คาบเวลา(period)ของการแกว่งลดลง
3. อัตราส่วนของช่วงกว้างการแกว่งเพิ่มขึ้น ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

### ผลของ I - action

เมื่อให้ P และ D action คงที่แล้วและลองลดค่าTi (Reset Time)จะมีผลทำให้

1. offset หายไป
2. ผลตอบสนองจะเร็วขึ้น ( fast response)
3. อัตราส่วนของช่วงกว้างของการแกว่งเพิ่มขึ้น ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

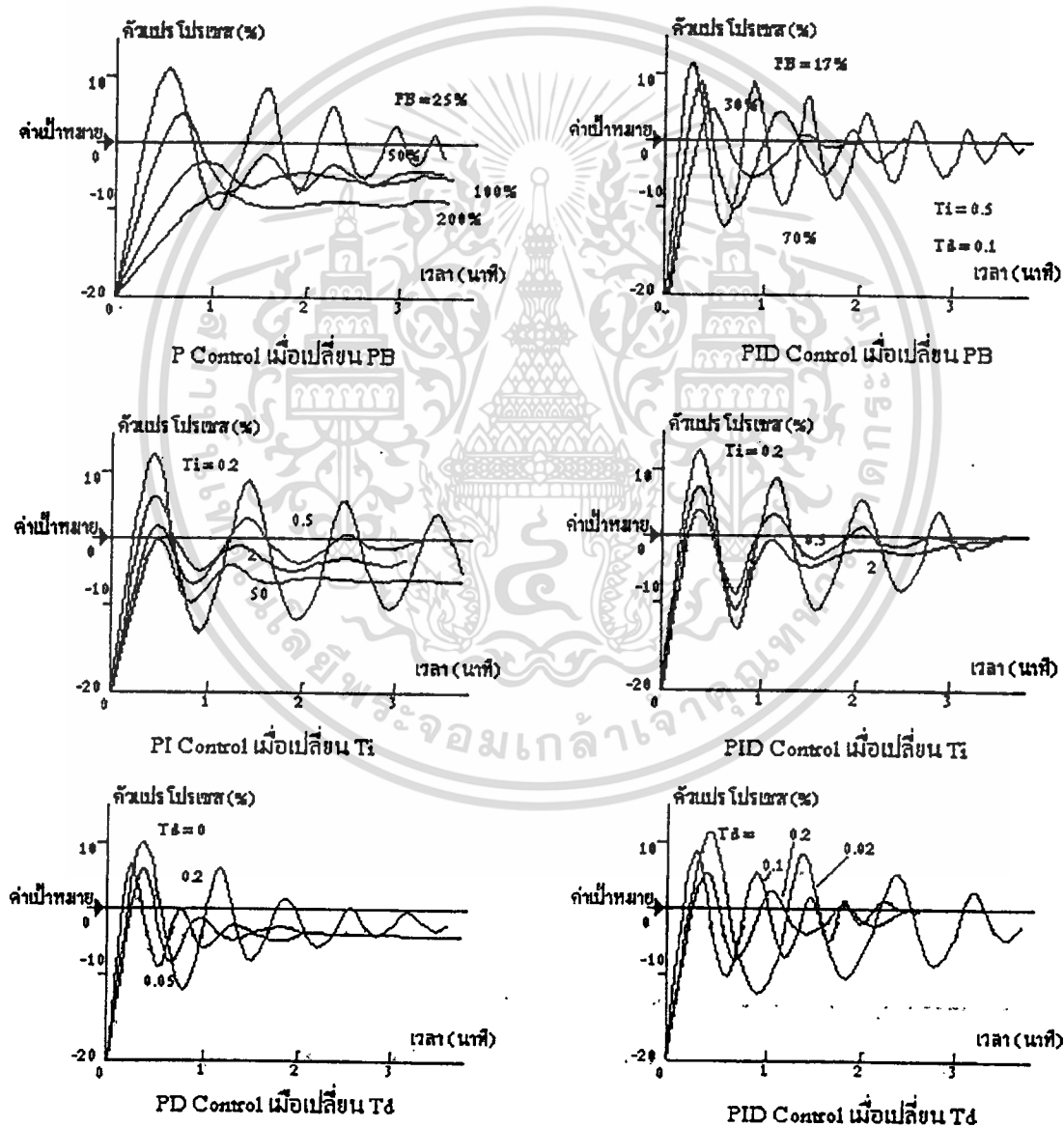
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลของ D - action

เมื่อให้ P และ I action คงที่แล้วเพิ่มเวลา  $T_d$  (Derivative Time) ให้นานขึ้นจะมีผลทำให้

1. อัตราส่วนช่วงกว้างของการแกว่งจะลดลง ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น
2. คาบเวลา (period) ของการแกว่งลดลง

โดยปกติถ้าให้ค่าเวลา  $T_d$  มากจะมีแนวโน้มทำให้ระบบมีเสถียรภาพก็จริงแต่ก็มีข้อเสียคือตอบสนองต่อสัญญาณรบกวน(Noise) ได้ง่ายทำให้ผลตอบสนองของระบบเร็วเกินไปซึ่งผลตอบสนองของการควบคุมเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายนั้นแสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบต่างๆ เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## โครงสร้างของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

#### 1 หน่วยประมวลผลกลาง

เป็นหน่วยประมวลผลหลักที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ได้ออกแบบเพื่อควบคุมกระบวนการรับค่าจาก output ของ process ที่จะทำการควบคุมส่งมายัง input ของเครื่องควบคุมและของเครื่องควบคุมและทำการประมวลผลข้อมูล input ตามโปรแกรมที่ผู้ใช้เครื่องควบคุมได้โปรแกรมไว้ และส่งข้อมูลที่ได้จากการคำนวณของเครื่องควบคุมไปยัง output เพื่อไปควบคุมกระบวนการดังกล่าว ส่วนโปรแกรมที่เครื่องควบคุมนั้นเป็นชุดคำสั่งในการควบคุมกระบวนการในส่วนต่างๆ เช่น BSC ,CSC และ RTC โดยหน่วยประมวลผลหลักนั้นได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ MC 68HC11 ซึ่งเป็นไมโคร คอนโทรลเลอร์ที่มีสมรรถภาพดังที่กล่าวในบทที่แล้ว

#### 2 หน่วย input และ output

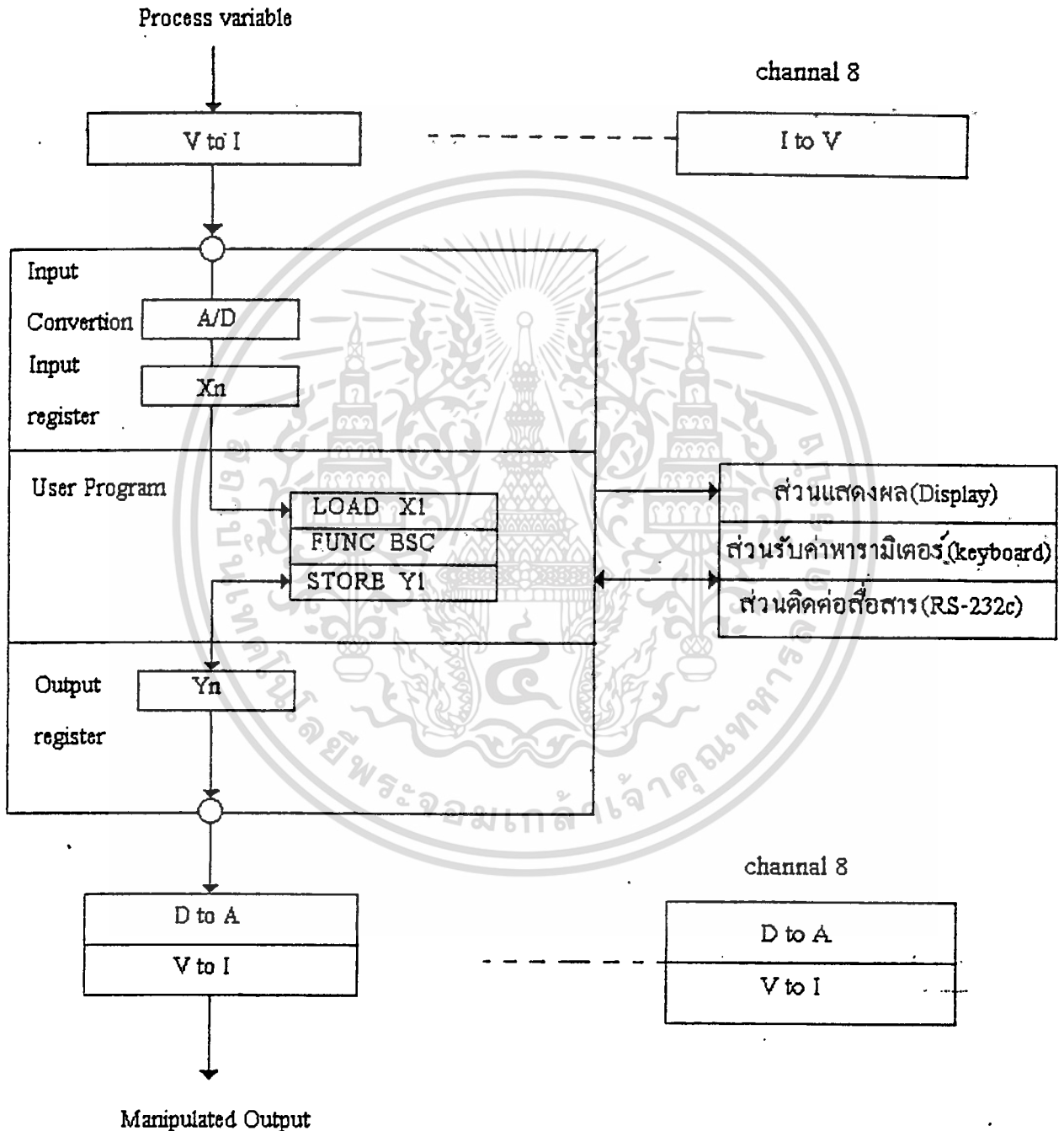
หน่วย input ของเครื่องควบคุมนั้นจะรับสัญญาณ 4-20 mA ที่มาจากโปรเซส แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณ 0-5 Vdc โดยมีวงจร I to V ที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าว ส่วน output ของเครื่องควบคุมนั้นจะส่งสัญญาณไปควบคุมกระบวนการตามที่ใช้ได้โปรแกรมไว้ ซึ่งสัญญาณออกที่ได้จากเครื่องควบคุมนั้นจะเป็นสัญญาณ 0 - 5 Vdc จึงต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณ 4 - 20 mA โดยใช้วงจร D to A เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมกระบวนการต่อไป

#### 3 หน่วยติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

หน่วยติดต่อสื่อสารจะทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Microcontroller กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่รับค่าสถานะ input และ output ของเครื่อง Microcontroller ไปแสดงผลยังหน้าจอ monitor ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานะของกระบวนการและตัว Microcontroller จะรับค่าของการโปรแกรมค่าอินพุตที่ใช้ในการคำนวณของกระบวนการจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปทำการคำนวณและประมวลผลที่ Microcontroller การเชื่อมต่อกระทำผ่านพอร์ตอนุกรม มาตรฐาน RS-232c

#### 4 ส่วนรับคำสั่งและแสดงผล

โดยจะใช้คีย์จำนวน 24 คีย์ จัดเป็นแมทริก 8 หลัก 3 แถว ประกอบด้วยวงจรสแกนคีย์และเข้ารหัสเมื่อมีการกดคีย์แต่ละครั้งจะไปขัดจังหวะเพื่อให้หน่วยประมวลผลมาทำการรับข้อมูลไปจัดการต่อไปและส่วนแสดงผลจะใช้ LCD ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัดถูกต่อกับบัสข้อมูลโดยตรง



รูปที่ 3.1 แสดง โครงสร้างของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ 68HC11

บล็อกไดอะแกรมภายในของ 68HC11 ที่จะนำมาใช้คือ เบอร์ MC-68HC11A1 โดยมี บล็อกไดอะแกรม ส่วนประกอบภายในดังรูป

ภายในชิพประกอบด้วยส่วนหลักๆ 6 ส่วน คือ

1. ซีพียู
2. หน่วยความจำ
3. แอคทีวูมเตอเรอร์ วอตซ์ค็อก ตัวตั้งเวลา
4. พอร์ตอินพุท เอาท์พุท
5. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
6. สโตรบ และเฮนซ์เช็ค

### ซีพียู(CPU)

มีส่วนประกอบย่อยอีก 3 ส่วนคือ

1. ส่วนควบคุมโหมดการทำงานของชิพ (MODE)
2. ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (CLK)
3. ส่วนลอจิกอินเตอร์รัพท์ (INT)

โดยทั้งสามส่วนจะได้รับการควบคุมการทำงานจากซีพียู

### โหมดการทำงานของ 68HC11

ประกอบด้วยโหมดการทำงาน 4 โหมด ดังนี้

1. โหมดซิงเกิลชิพ (single - chip operating mode)
2. โหมดมัลติเพล็กซ์ขยาย ( expanded multiplexed operating mode)
3. โหมดบูตสแตร็ปพิเศษ (special bootstrap operating mode)
4. โหมดทดสอบพิเศษ (special test operating mode)

โดยเลือกจากการกำหนดสถานะที่ขา MODA และ MODB ดังในตารางที่ 3.1

MOD A	MOD B	โหมดการทำงาน
1	0	ซิงเกิลชิพ ( single ship )
1	1	มัลติเพลกซ์ขยาย (extended multiplexed )
0	0	บูตแอสตรับพิเศษ (special bootstrap )
0	1	ทดสอบพิเศษ ( special test )

ตาราง 3.1 การเลือกโหมดการทำงานของ 68HC11

### ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

สัญญาณนาฬิกาเป็นพัลส์ที่มีคาบเวลาแน่นอน ไม่จำเป็นจะต้องเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม 68HC11 สามารถที่จะกำหนดสัญญาณนาฬิกาภายในได้ด้วยตัวชิปเอง โดยต่อคริสตอลเข้าที่ขา XTAL และEXTAL

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในจะเท่ากับ 1 ใน 4 ของความถี่ที่ขาที่ต่อกับคริสตอล สัญญาณนาฬิกาเรียกว่า สัญญาณนาฬิกาของระบบ

### ส่วนลอจิกอินเตอร์รัพท์

เมื่อมีการอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้นในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่ว่าจะป็นฮาร์ดแวร์อินเตอร์รัพท์ หรือ ซอฟต์แวร์อินเตอร์รัพท์ จะยังไม่มีการบริการอินเตอร์รัพท์ในทันทีจนกว่าชิพจะเอ็กซีคิวต์คำสั่งปัจจุบันในขณะนั้นเสร็จสมบูรณ์

ใน 68HC11 สามารถรับการอินเตอร์รัพท์ทางฮาร์ดแวร์ได้ 17 แห่ง และอีก 2 อินเตอร์รัพท์ทางซอฟต์แวร์ ทั้งนี้ไม่รวมการอินเตอร์รัพท์ที่เกิดจากการรีเซต ลักษณะการอินเตอร์รัพท์แบ่งได้ 2 ลักษณะคือ มาสเคเบิลอินเตอร์รัพท์(Maskable Interrupt) และนอนมาสเคเบิลอินเตอร์รัพท์ (Nonmaskable Interrupt)

### หน่วยความจำ

ภายในชิพ MC68HC11A1จะมีหน่วยความจำ 2 แบบ คือแรมและอีอีพรอม ซึ่งการต่อและเรียกใช้ขึ้นอยู่กับชิพเป็นหลัก ซึ่งการจัดสรรหน่วยความจำภายในชิพ หรือเรียกว่า Memory maps ขึ้นอยู่กับว่า MC 68HC11A1 ทำงานอยู่ในโหมดใด

แอดคิวมูเลเตอร์ วอตซ์ด็อกซ์ ตัวตั้งเวลา

ในส่วนนี้จะมีการติดต่อกับพอร์ต A โดยใช้พอร์ต A เป็นทางผ่านของข้อมูล โดยพัลส์แอดคิวมูเลเตอร์จะใช้พอร์ต PA7 ในขณะที่ส่วนของตัวตั้งเวลาหลักจะใช้ PA0-PA6 ในชิพยังมีวงจรวอตซ์ด็อกซ์เพื่อช่วยให้ชิพสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีการรีเซ็ตระบบอยู่บ่อยๆก็ตาม

พอร์ตอินพุทและเอาต์พุท

ใน MC 68HC11A1 มีพอร์ตอินพุทเอาต์พุทด้วยกัน 5 พอร์ตดังนี้

พอร์ต A เป็นทั้งพอร์ตอินพุทและเอาต์พุท โดยมีการทำงานแยกกันคือ PA7 เป็นพอร์ตที่สามารถส่งผ่านข้อมูลได้สองทิศทาง ในขณะที่ PA3-PA6 เป็นพอร์ตเอาต์พุทไทมเมอร์หลัก และ PA0-PA2 เป็นพอร์ตอินพุท

พอร์ต B เป็นพอร์ตเอาต์พุท ในขณะที่พอร์ต C เป็นพอร์ตอินพุทเอาต์พุท สามารถส่งข้อมูลได้สองทิศทาง โดยที่พอร์ต C จะทำหน้าที่เป็นบัตแอสเครสต่ำและบัตซ์ข้อมูลด้วย โดยได้รับการควบคุมการทำงานแบบมัลติเพลกซ์ทำไม่ให้เกิดความสับสน

พอร์ต D เป็นพอร์ตในการถ่ายทอคสัญญาณจากส่วนเชื่อมต่อจากพอร์ต และ peripheral serial จึงมีลักษณะเป็นพอร์ตอินพุทเอาต์พุทที่สามารถส่งผ่านข้อมูลได้สองทิศทาง

พอร์ต E เป็นพอร์ตอินพุทสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital)

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC)

เป็นวงจรที่ช่วยเสริมให้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ปกติแล้ว 68HC11 จะมีวงจร ADC อยู่ภายในชิพขนาด 8 บิตจำนวน 8 ช่องยกเว้นเบอร์ 68HC11A8 จะมีเพียง 4 ช่อง ส่วนการเรียกใช้งานวงจรส่วนนี้จะได้รับการควบคุมจากซีพียู

สโตรบและแฮนด์เช็ค

ในส่วนนี้จะทำงานร่วมกับส่วนขยายบัตซ์ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ซีพียูสามารถทำงานได้กับแอด-เครสถึง 16 บิต ในส่วนนี้จะมีสัญญาณที่สำคัญอยู่ 2 สัญญาณ คือ STRB/  $\bar{W}$  และ STRA/AS โดยสัญญาณทั้งสองคือสัญญาณสโตรบเพื่อให้ชิพทำการอ่านเขียนข้อมูลได้ และส่วนนี้ยังมีวงจรแฮนด์เช็คเพื่อตรวจสอบความพร้อมในการรับส่งข้อมูลของชิพกับอุปกรณ์ภายนอก

## การเขียนโปรแกรมคำนวณ

การควบคุมเนื่องจากสัญญาณเบี่ยงเบน (error) การควบคุมเกิดขึ้นด้วยความแตกต่างของสัญญาณที่วัดได้จาก process (DV digital input variable) กับค่าที่ต้องการ (DSP digital set point) เนื่องจากค่าที่วัดเข้ามาเป็นลักษณะ analog to digital โดยที่ Microcontroller เป็น 8 bit จึงมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง FF ค่า 0 หมายถึงที่ 0% ของสัญญาณที่วัดได้จาก process และค่า FF หมายถึงที่ 100% ของสัญญาณที่วัดได้จาก process และที่ set point ก็เช่นเดียวกัน

เช่น การควบคุมที่ 60% จะมีค่าในการคำนวณ =  $[60/100]*255$

การควบคุมเนื่องจากสัญญาณความเบี่ยงเบน(error) เราสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$DE = \frac{DV - DSP}{D_{max} - D_{min}}$$

เมื่อ	DE	คือ	ค่าผิดพลาด
	DV	คือ	ค่าที่ได้จากการวัดหรือตัวแปรกระบวนการ
	DSP	คือ	ค่าเป้าหมาย
	Dmax	คือ	ค่าสูงสุดของพิกัด
	Dmin	คือ	ค่าต่ำสุดของพิกัด

## PROPORTIONAL MODE

สำหรับสัญญาณขาออกของโหมตสัดส่วนคือ

$$P = P_0 + K_P * DE$$

เมื่อ	P	คือ	สัญญาณขาออกของเครื่องควบคุมแบบสัดส่วน
	P <sub>0</sub>	คือ	ค่า bias เมื่อไม่มีค่าผิดพลาด
	K <sub>P</sub>	คือ	อัตราขยายแบบสัดส่วน

## INTEGRAL MODE

สำหรับสัญญาณขาออกของโหมตอินทิกรัล

$$SUM = SUM + DE$$

$$PI = K_I * DT * SUM$$

เมื่อ	SUM	คือ	ค่าสะสมของความผิดพลาด
	K <sub>I</sub>	คือ	อัตราขยายของเครื่องควบคุมแบบอินทิกรัล
	DT	คือ	เวลาระหว่างการสุ่มสัญญาณจากตัวแปรกระบวนการ
	PI	คือ	สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมแบบอินทิกรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DERIVATIVE MODE

สำหรับสัญญาณขาออกของโหมคเดอริเวทีฟ

$$DDE = DE - DE0$$

ถ้า  $DE = DE0$

$$PD = KD \cdot DDE / DT$$

เมื่อ DDE คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด

DE0 คือ ค่าผิดพลาดจากการสุ่มครั้งที่แล้ว

PD คือ สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมแบบเดอริเวทีฟ

KD คือ อัตราขยายของเครื่องควบคุมแบบเดอริเวทีฟ

จากนั้นนำสัญญาณขาออกของแต่ละโหมคมารวมกันและทำการจัดสเกลให้เหมาะสม จะได้

$$P_{OUT} = (P+PI+PD)R_{OUT}$$

เมื่อ  $P_{OUT}$  คือ สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมแบบ PID

$R_{OUT}$  คือ พิกัดที่ทางออกของเครื่องควบคุมแบบ PID

### ฟังก์ชันการควบคุมของเครื่อง Programmable Multichannel

#### ชนิดและโครงสร้างของฟังก์ชันการควบคุม

เครื่องควบคุมแบบ Programmable controller นั้นจะประกอบด้วยฟังก์ชันการควบคุมดังนี้

- หน่วยควบคุม (Control unit)
- ส่วนประกอบของหน่วยควบคุม (Control element)

#### หน่วยควบคุม (Control Unit)

1 Basic Control Unit (mnemonic คือ BSC)

2 Cascade Control Unit (mnemonic คือ CSC)

#### ส่วนประกอบของหน่วยควบคุม Control Element)

ในแต่ละหน่วยควบคุม (Control Unit) ประกอบด้วยส่วนย่อยต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

Control element	Function	Specification setting	Mnemonic Instruction Code	
			BSC	CSC
PID 1	control 1 <sup>st</sup> loop	PID standard	√	√
PID 2	control 2 <sup>nd</sup> loop	PID standard	-	√

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของหน่วยควบคุมของแต่ละ function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1 Basic Control Unit

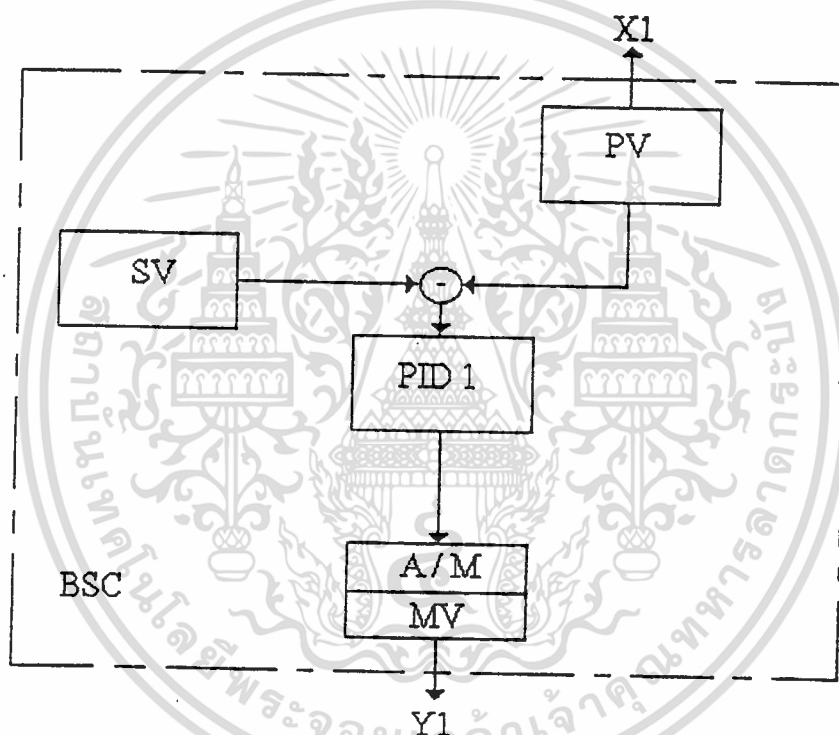
เป็นหน่วยควบคุมที่ประกอบด้วย หน่วยควบคุมแบบ PID 1 ชุด ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการควบคุมเพียง loop เดียว

[ Mnemonic Instruction Code ]

BSC n          Basic control unit

### การทำงาน

จะรับค่าอินพุตจากกระบวนการ ( process variable) แล้วนำมาทำการคำนวณในหน่วยควบคุมแบบ PID จากนั้นนำผลลัพธ์ (manipulated variable) ที่ได้ไปเก็บไว้ใน Y1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะนำไปควบคุมกระบวนการอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของ BSC Function

ลำดับ	โครงสร้างโปรแกรม	หมายเหตุ
1	LD X1	อ่านค่าอินพุตจาก X1 ( Process Variable )
2	BSC	คำนวณค่า output โดย basic control function )
3	ST Y1	เก็บค่า output ไว้ที่ Y 1 ( Manipulated output )

ตารางที่ 3.3 แสดงโปรแกรมการทำงานของบล็อกไดอะแกรม BSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 Cascade Control Unit

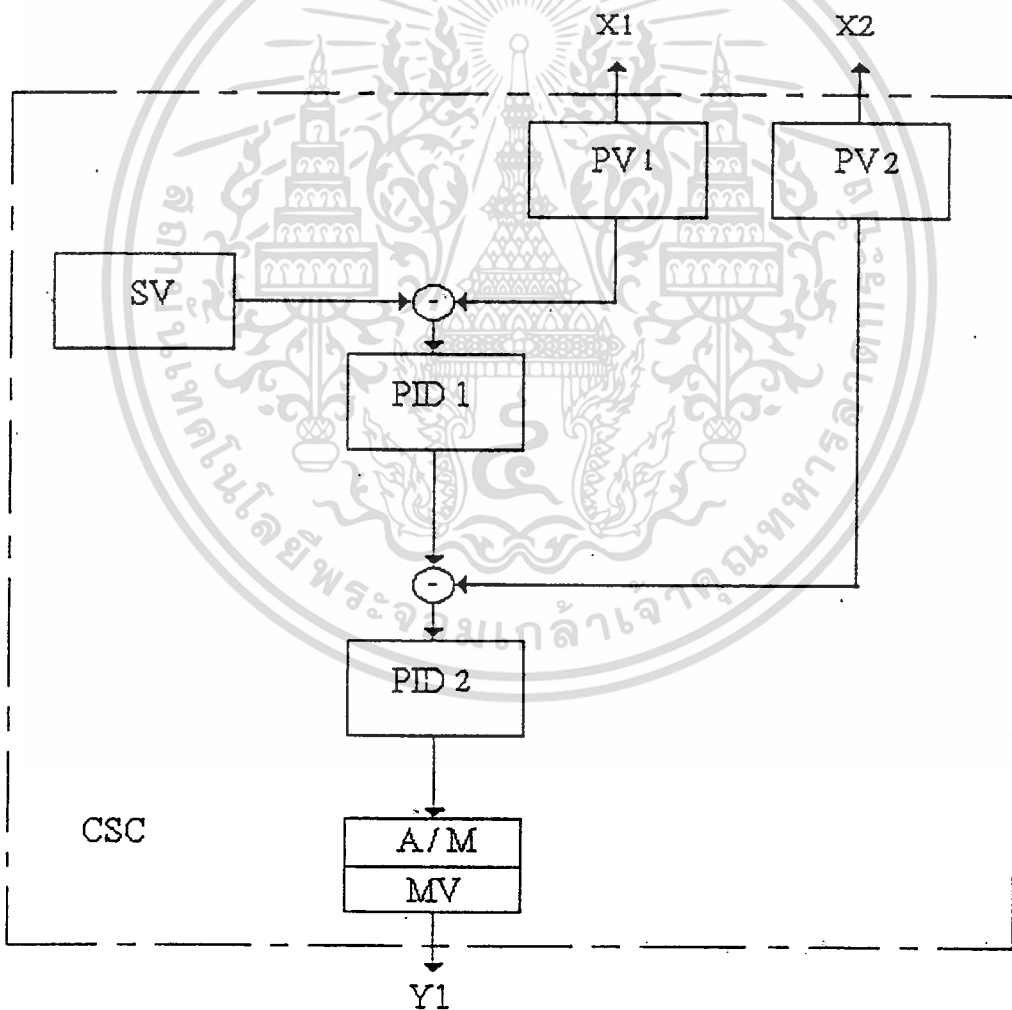
หน่วยควบคุมแบบ cascade control ประกอบด้วยส่วนประกอบของหน่วยควบคุม(control element) 2 ส่วนคือ PID1 และ PID2

[Mnemonic Instruction Code]

CSC n Cascade control unit

### การทำงาน

โดยจะรับค่าอินพุตจากกระบวนการซึ่งประกอบด้วยอินพุตจากกระบวนการแรก(primary process) และอินพุตจากกระบวนการที่สอง (secondary process) จากนั้นก็นำมาทำการคำนวณที่หน่วยควบคุมแบบ CSC เมื่อได้ผลลัพธ์ในการคำนวณแล้วก็นำค่าที่ได้ไปเก็บไว้ใน Y1

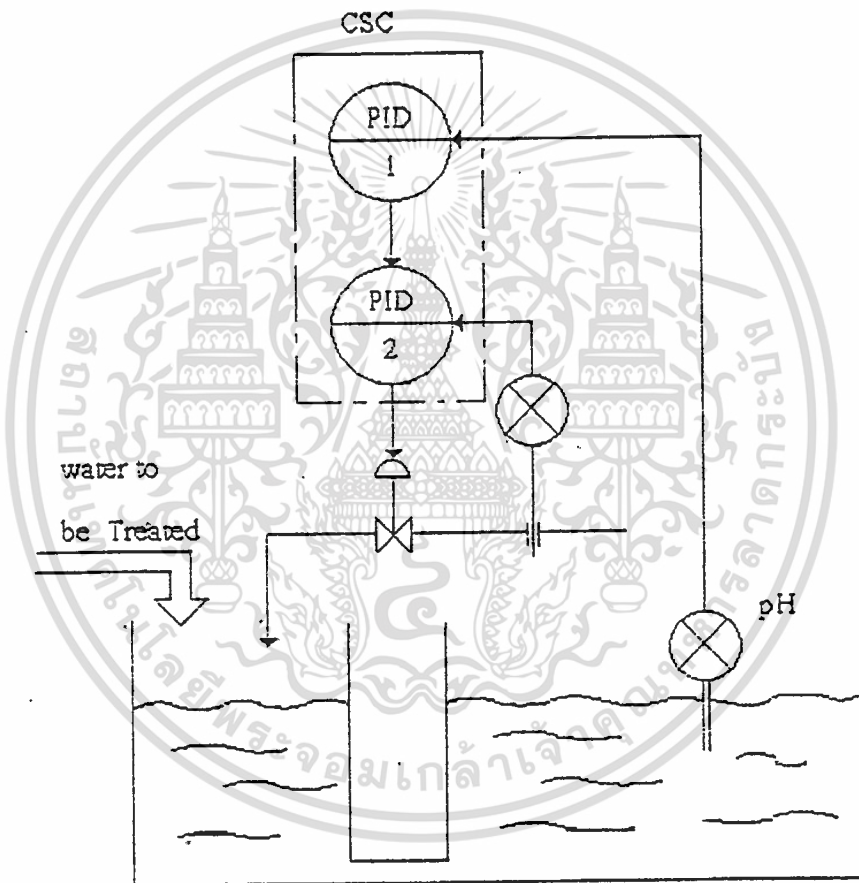


รูปที่ 3.3 บล็อกโคโตะแกรมของ CSC Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	โครงสร้างโปรแกรม	หมายเหตุ
1	LD X1	อ่านค่าอินพุตจาก X1(1 <sup>st</sup> Process Variable)
2	LD X2	อ่านค่าอินพุตจาก X2(2 <sup>nd</sup> Process Variable)
3	CSC	คำนวณค่า output โดย cascade control function )
4	ST Y1	เก็บค่า output ไว้ที่ Y 1 ( Manipulated output )

ตารางที่ 3.4 แสดงโปรแกรมการทำงานของบล็อกไดอะแกรม CSC

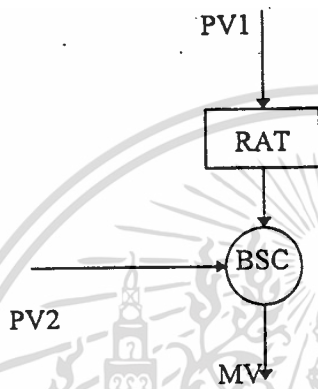


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการควบคุมแบบ Cascade Control Function ในการควบคุม pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3 Ratio Control Unit (RAT)

หน่วยการควบคุมแบบอัตราส่วนจะทำการRatio กันกับloop การควบคุมหลักโดยค่าที่ทำ Ratio อยู่ที่ค่า 0.01 ถึง 1.00 (1%-100%) เมื่อทำการratio แล้วค่าที่ได้จะเป็นค่า set point ให้กับหน่วยควบคุมแบบ BSC ของ loop รอง



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของหน่วยควบคุมแบบ Ratio

โปรแกรมผู้ใช้และคำสั่งสำหรับเครื่องควบคุม

การโปรแกรมจะกระทำได้โดยการป้อนคำสั่งผ่านคีย์บอร์ดซึ่งจะทำการเก็บเป็นรหัสแล้วทำการ run โปรแกรมเพื่อแปลง เป็น opcode ที่ cpu 68hc11 สามารถทำงานได้โดยคำสั่งที่ป้อนมี ดังนี้

รหัส	คำสั่ง	ข้อมูล	ความหมาย
80H	LDX	01-08	เป็นคำสั่งนำสัญญาณอินพุตจากกระบวนการ
81H	LDM	01-20	เป็นคำสั่งนำข้อมูลจากหน่วยความจำมาใช้
82H	STY	01-08	เป็นคำสั่งนำข้อมูลออกเอาต์พุตเพื่อควบคุมกระบวนการ
83H	STM	01-20	เป็นคำสั่งนำข้อมูลเก็บลงหน่วยความจำ
84H	BSC	01-08	เป็นวงรอบการควบคุมเดี่ยวแบบพื้นฐาน PID
85H	CSC	01-08	เป็นวงรอบการควบคุมแบบ cascade
86H	RAT	0.01-1.00	เป็นการคูณค่า ratio
87H	SQR	-	เป็นการถอด $\sqrt{\quad}$ ของสัญญาณ PV
90H	END	-	เป็นคำสั่งจบโปรแกรม

ตารางที่ 3.5 แสดงรหัสแอดเดรสของคำสั่งแต่ละคำสั่งที่มีในเครื่อง :

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การจัดข้อมูลของโปรแกรมผู้ใช้

ข้อมูลของโปรแกรมผู้ใช้จะมีลักษณะเป็นชุดคำสั่งแต่ละชุดคำสั่งถูกจัดเป็นเรคคอร์ดซึ่งภายในจะประกอบด้วยฟิลด์ 2 ฟิลด์แต่ละเรคคอร์ดมีขนาด 2 ไบท์มีโครงสร้างข้อมูลดังนี้

Record

Code: 1Byte

Data: 1Byte

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว โปรแกรมที่ป้อนCPUไม่สามารถทำการประมวลผลได้ จึงต้องมีการแปลงเป็นCode ที่ CPU สามารถประมวลผลได้ดังนี้

คำสั่ง LDX nn ;nn คือ 01- 08

รหัสที่ได้ LDAA #Snn-1

JSR LDX\_nn\_SUB

คำสั่ง LDM nn ;nn คือ 01- 20

รหัสที่ได้ LDAA #Snn-1

JSR LDM\_nn\_SUB

คำสั่ง STY nn ;nn คือ 01- 08

รหัสที่ได้ LDAA #Snn-1

JSR STY\_nn\_SUB

คำสั่ง STM nn ;nn คือ 01- 20

รหัสที่ได้ LDAA #Snn-1

JSR STM\_nn\_SUB

คำสั่ง BSC nn ;nn คือ 01- 08

รหัสที่ได้ LDAA #Snn-1

JSR BSC\_nn\_SUB

คำสั่ง CSC nn ;nn คือ 01- 04

รหัสที่ได้ LDAA #Snn-1

JSR CSC\_nn\_SUB

คำสั่ง RAT nn ;nn คือ 0.01- 1.00

รหัสที่ได้ LDAA #Snn

JSR RAT\_nn\_SUB

คำสั่ง SQR

รหัสที่ได้ JSR SQR\_SUB

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

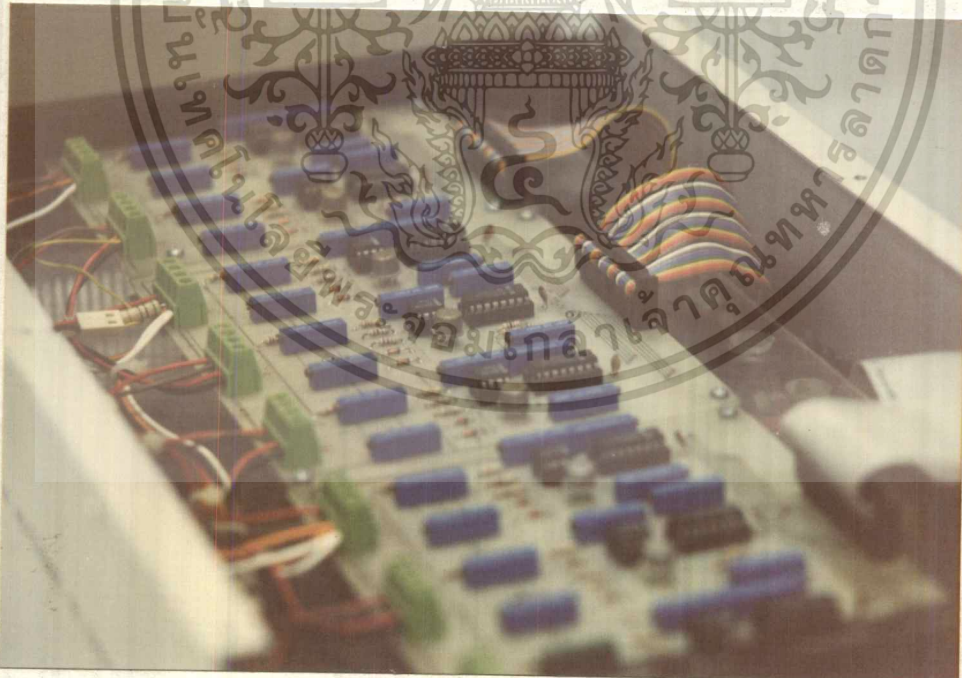
รหัสที่ได้

RTS

การปรับแต่งพารามิเตอร์สำหรับเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

การกำหนดค่าอัตราขยายและพารามิเตอร์ในแต่ละวงรอบการควบคุมสามารถกระทำได้ โดยการป้อนที่คีย์บอร์ดร่วมกับการแสดงผลทางจอ LCD และผ่านทางคอมพิวเตอร์หลังจากการป้อนค่าแล้วก็จะทำการ RUN เข้าสู่โหมด Auto ค่าเหล่านี้มีผลต่อกระบวนการค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สามารถปรับได้มีดังนี้

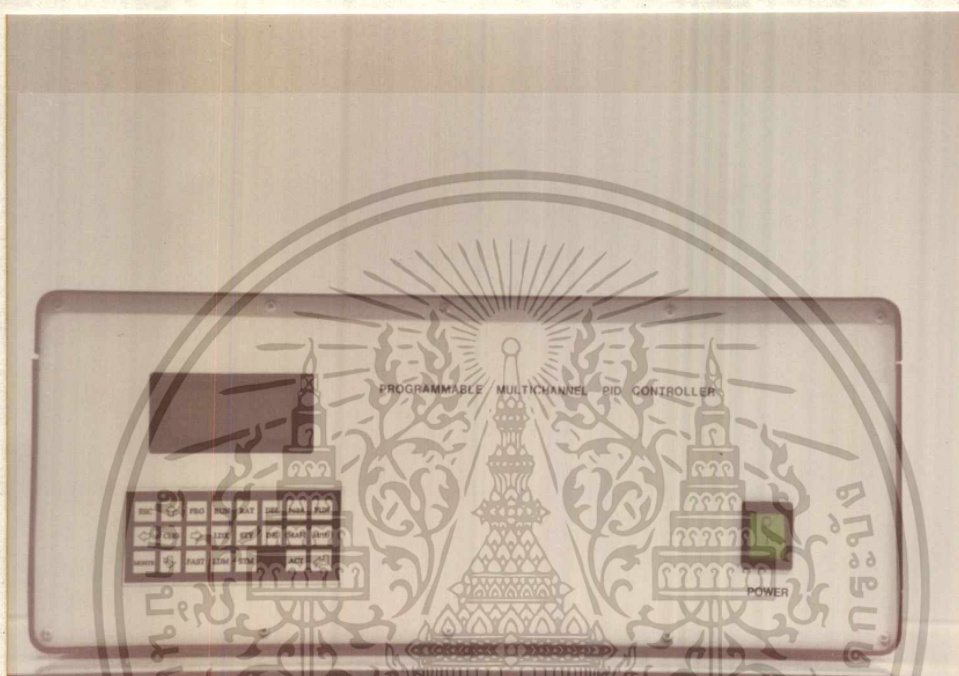
KP	000.1-50.0	เพิ่มครั้งละ 0.1 ค่าปกติ 001.0
Ti	0001.0-1000.0 s	เพิ่มครั้งละ 0.5 ค่าปกติ 1000.0
Td	0000.0-0127.5 s	เพิ่มครั้งละ 0.5 ค่าปกติ 0000.0
SV	000-100%	สามารถปรับได้ทั้งในโหมด Manual และ Auto
MV	000-100%	สามารถปรับได้เฉพาะโหมด Manual เท่านั้น
Controller Action	REV/DIR	ค่าปกติ REV



รูปที่ 3.5 แสดงแผงวงจรภายในของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมดโดยไม่มีการรับประกันใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ตัวเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller เมื่อประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

โดยทำการเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแต่ละกระบวนการคือ กระบวนการจำลอง การควบคุมระดับของของเหลว การควบคุมอัตราการไหลของของเหลว การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความดัน โดยในการทดลองนั้นให้ทดลองตามฟังก์ชันการควบคุมแบบ BSC ,CSC และ RAT

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1 เครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

2 Recorder

3 Personal Computer

4 ขบวนการจำลองที่ใช้ในการทดลอง Process Level , Process Temp , Process Pressure และ Process Flow

#### ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

1 นำเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller ที่ Input ของเครื่องเข้ากับสัญญาณ PV ของ Process ที่จะทำการทดลองและ ต่อสัญญาณ MV ของ Process ต่อเข้ากับ Output ของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

2 นำ Recorder ต่อเข้ากับเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

3 นำ Personal Computer ต่อเข้ากับเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller ที่ Port RS 232

4ทำการทดลองแต่ละกระบวนการ โดยทดลองแยกกันในแต่ละช่องการการควบคุมและทดลองที่เดียวพร้อมกันหมดทั้ง 8 ช่องการควบคุม

5) บันทึกผลการทดลอง

โดยการทดลองการควบคุมระดับของของเหลว การควบคุมอัตราการไหลและการควบคุมแบบคาสเคดในตอนที 1 นั้นให้ทดลองและแสดงผลกับRecorderโดยกำหนดช่องการควบคุมที่จะใช้เอง ส่วนตอนที่ 2 ให้ทดลองพร้อมกัน 8 ช่องการควบคุมจาก Process ทั้งหมด 6 Process

ตอนที่ 1

การทดลองการควบคุมระดับของของเหลว ( Level Process)

#### ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการทดลองขบวนการจำลองการควบคุมระดับของของเหลว

2) ทำการโปรแกรมดังนี้

001 LDX 01

002 BSC 01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

003 STY 01

004 END

3) เป็นแบบ Direct Action

4) ค่า parameter ที่ใช้อย่างเหมาะสมกับขบวนการจำลองแบบควบคุมระดับของของเหลวคือ

$$PB = 23 \%$$

$$Ti = 11s$$

$$Td = 0$$

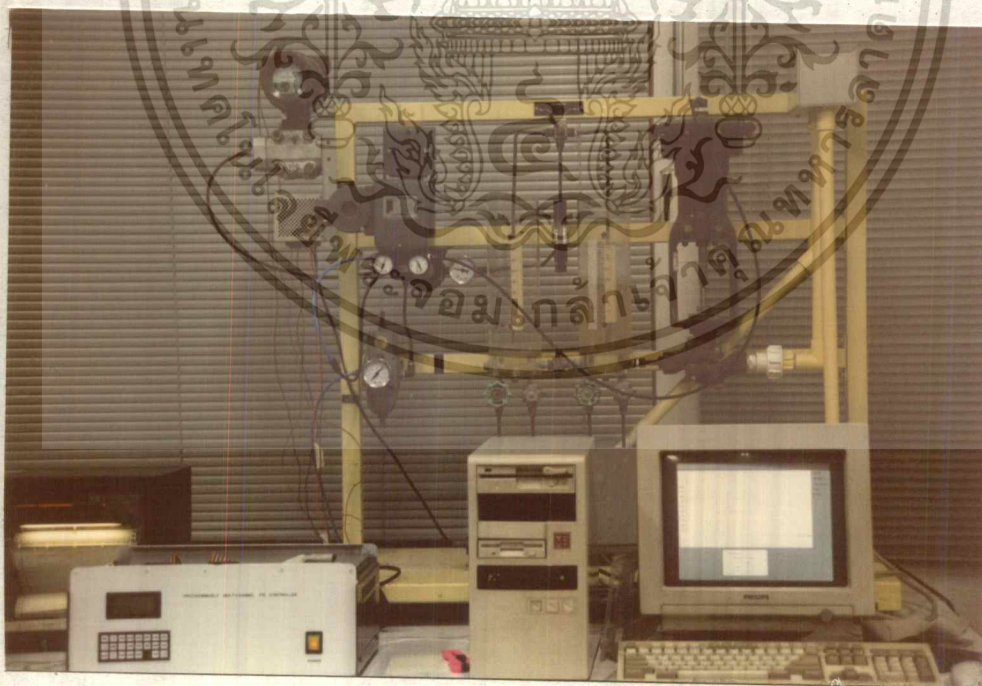
6) โดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย (set point) ทั้งหมด 3 ค่าคือ

$$SP = 40$$

$$SP = 60$$

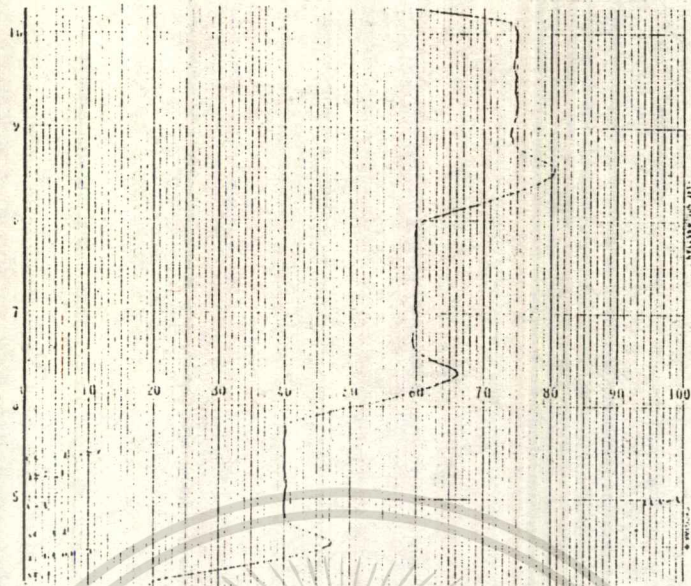
$$SP = 75$$

7) ทำการทดลองตามโปรแกรมโดยใช้ช่องการควบคุมที่ 1 (Channel) และเปลี่ยนค่า PB สังเกตการเปลี่ยนแปลงของรูปกราฟที่ Recorder ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงขบวนการจำลองการควบคุมแบบระดับของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท สยาม อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด และผู้จัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปกราฟที่ได้จาก Recorder

เมื่อค่า PB = 24%

Ti = 11s

Td = 0

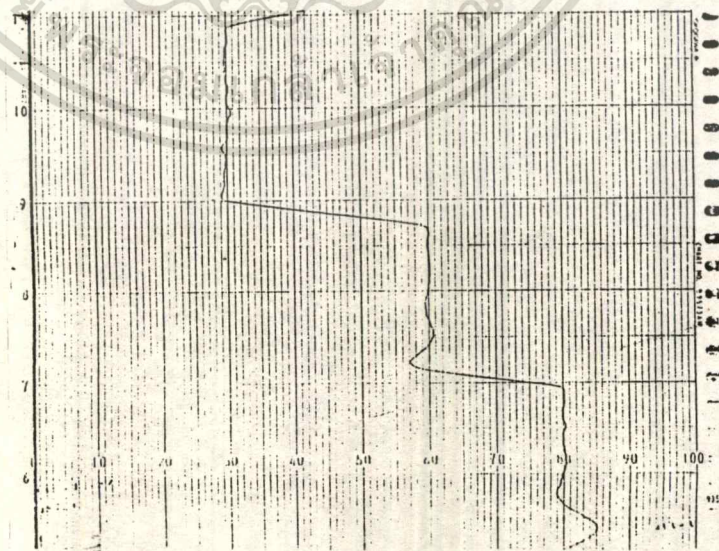
โดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย

SP = 80%

SP = 60%

SP = 30%

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงรูปกราฟที่ Recorder เมื่อ PB = 24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $PB = 25\%$

$T_i = 11s$

$T_d = 0$

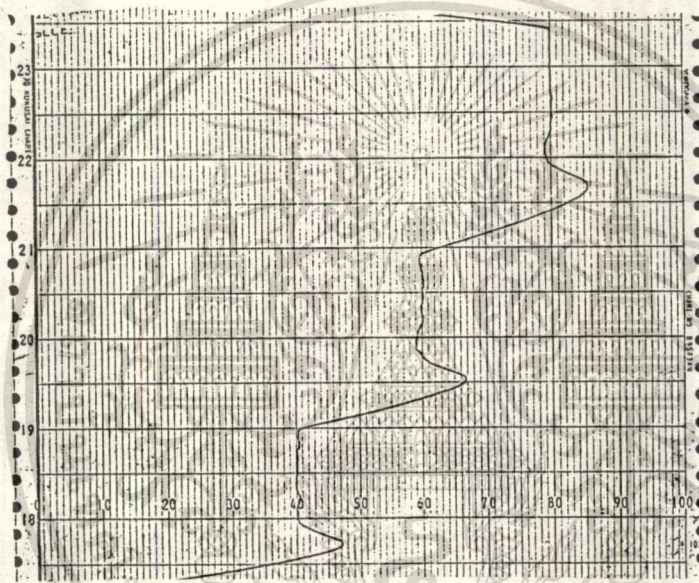
โดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย(set point)

$SP = 40\%$

$SP = 60\%$

$SP = 80\%$

ผลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์แสดงที่ Recorder ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงรูปกราฟที่ Recorder เมื่อเปลี่ยน  $PB = 25\%$

การควบคุมขบวนการไหลของของเหลว (Flow Process)

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ทำการทดลองขบวนการจำลองแบบควบคุมการไหลของของเหลว
- 2) ทำการ โปรแกรมดังต่อไปนี้

001 LDX 06

002 SQR

003 BSC 01

004 STY 02

005 END

3) เป็นแบบ Reverse Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ค่า parameter ที่ใช้เมื่อ

$$PB = 26\%$$

$$Ti = 8s$$

$$Td = 0$$

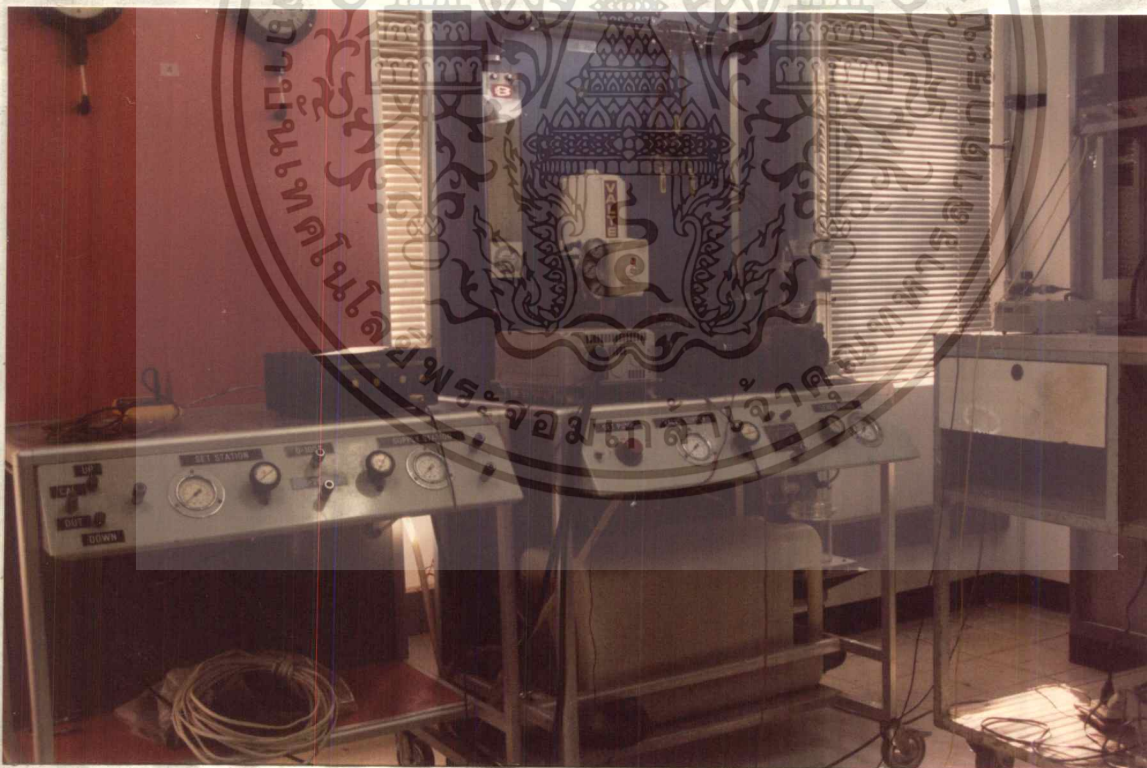
5) โดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายทั้งหมด 3 ค่า คือ

$$SP = 55$$

$$SP = 30$$

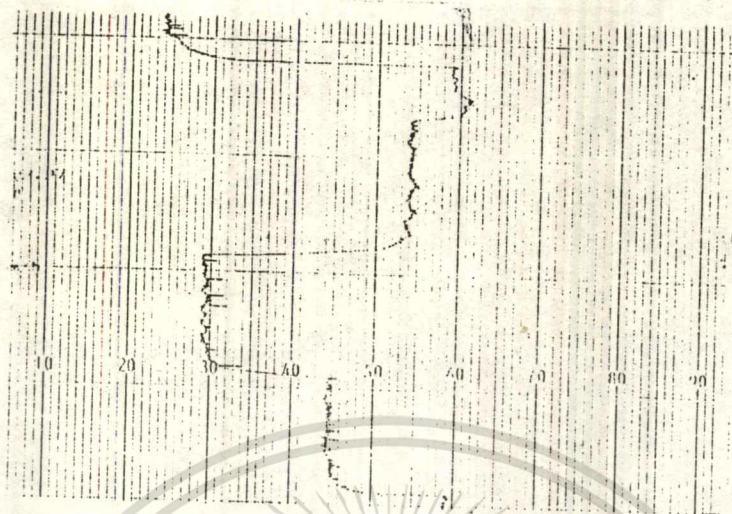
$$SP = 45$$

6) ทำการทดลองตามโปรแกรมโดยให้ channel 6 เป็น input (สัญญาณ PV จาก Process) และที่ Channel 2 เป็น Output (สัญญาณ MV เพื่อไปควบคุม Process)



รูปที่ 4.5 รูปแสดงขบวนการจำลองการควบคุมการไหลของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงรูปภาพของ Flow Process ที่ได้จาก Recorder

เมื่อ PB = 25%

Ti = 6s

Td = 0

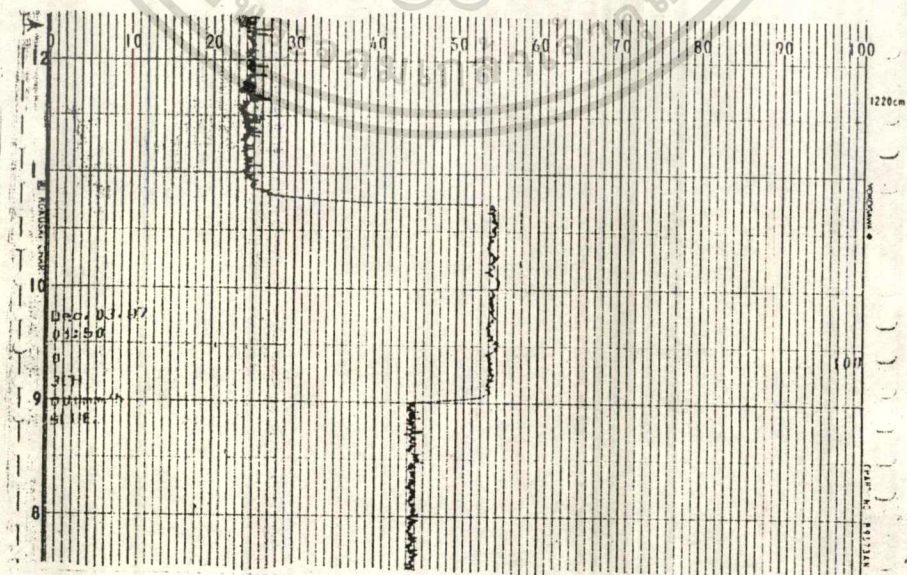
เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายทั้งหมด 3 ค่าคือ

SP = 45%

SP = 55%

SP = 25%

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงรูปภาพที่ Recorder เมื่อ PB = 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองการควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control)

### ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำการทดลองขบวนการจำลองการควบคุมแบบ Cascade

โดยที่ Loop 1 เป็น Level Process

Loop 2 เป็น Flow Process

2) ทำการโปรแกรมดังต่อไปนี้

001 LDX 05

002 BSC 01

003 CSC 02

004 LDX 06

005 SQR

006 BSC 02

007 STY 02

008 END

3) เป็นแบบ Reverse Action

4) ค่า parameter ที่ใช้เมื่อ

Loop 1 PB = 25%

Ti = 37.8s

Td = 0

Loop 2 PB = 25%

Ti = 25s

Td = 0

5) โดยที่เปลี่ยนค่าเป้าหมายทั้งหมด 3 ค่าคือ

SP = 25

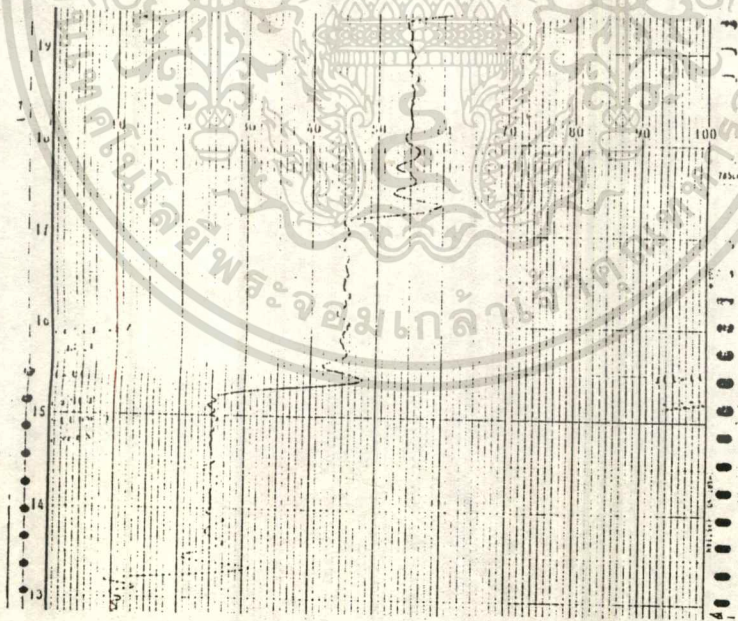
SP = 45

SP = 55

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 รูปแสดงขบวนการจำลองการควบคุมแบบ Cascadeที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.9 แสดงรูปกราฟที่ Recorder ของการควบคุมแบบ Cascade

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

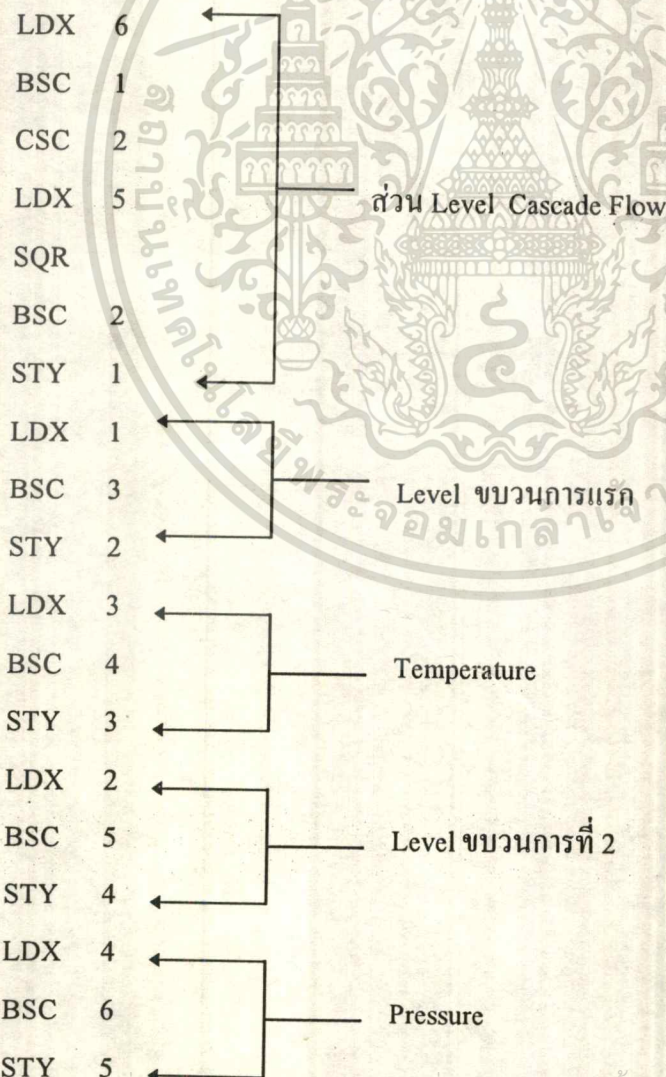
## ตอนที่ 2

ทำการทดลองการควบคุมแบบ PID พร้อมกันทุกขบวนการทั้ง 8 ช่องการควบคุม โดยขบวนการที่ใช้ในการควบคุมมีทั้งหมด 6 ขบวนการมีดังนี้คือ ขบวนการการควบคุมระดับของของเหลว (Level Process) ขบวนการการควบคุมความดัน (Pressure Process) ขบวนการการควบคุมอัตราส่วน(Ratio Process) และขบวนการการควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Process) ซึ่งในการขบวนการการควบคุมระดับของของเหลวมีอยู่ 3 ขบวนการคือ ควบคุมโดยการควบคุม cascade และควบคุมแบบธรรมดา 2 ขบวนการโดยผลการทดลองที่ได้แสดงเป็นกราฟที่จอ monitor PC แทนการแสดงผลที่ Recorder ดังในตอนที่ 1

### ขั้นตอนการทดลอง

1 นำเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller มาต่อสัญญาณ PV จากขบวนการทั้งหมด 8 ขบวนการ ที่ Input ของเครื่อง และนำสัญญาณ Output ของเครื่องไปเข้าสัญญาณ MV ของขบวนการทั้ง 8 ขบวนการ

### 2 ทำการป้อนโปรแกรมดังนี้



LDX	7	←
SQR		
RAT	0.20	
CSC	7	
LDX	8	
SQR		
BSC	7	
STY	6	←
END		

Ratio

3 กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขบวนการให้เหมาะสม

4 สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่จอ monitor PC

ผลการทดลอง

ขบวนการ Level Cascade Floe Control

โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ดังนี้

ที่ BSC 1

PB = 25%

Ti = 10 s

Td = 0 s

ที่ BSC 2

PB = 25%

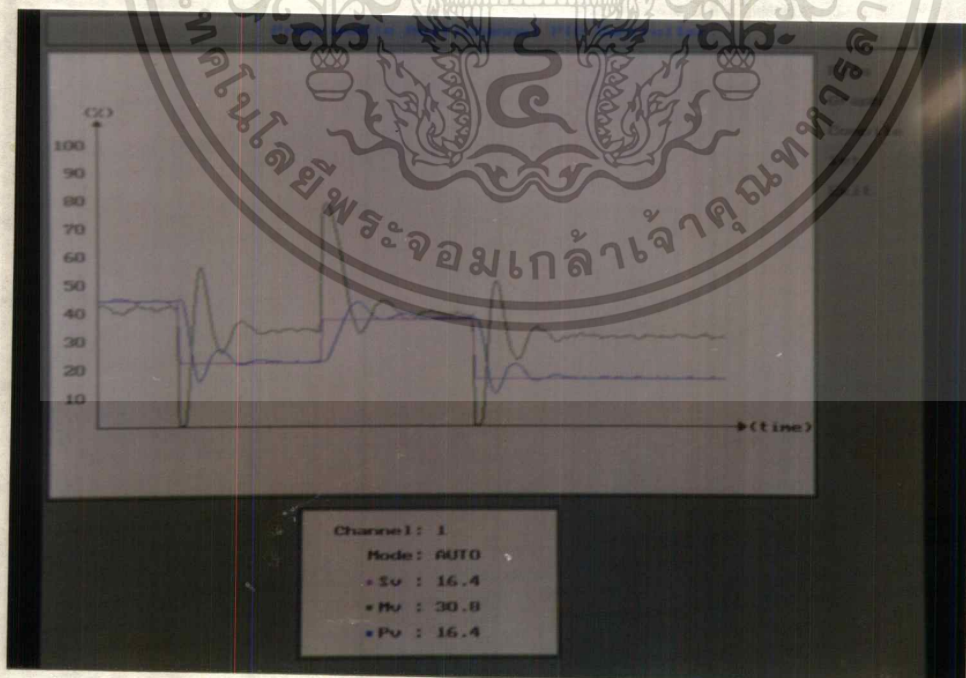
TI = 38.5

Td = 0s

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงขบวนการแบบ Level Cascade Flow Control



รูปที่ 4.12 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการการควบคุมระดับของของเหลวแบบแรก

โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ดังนี้

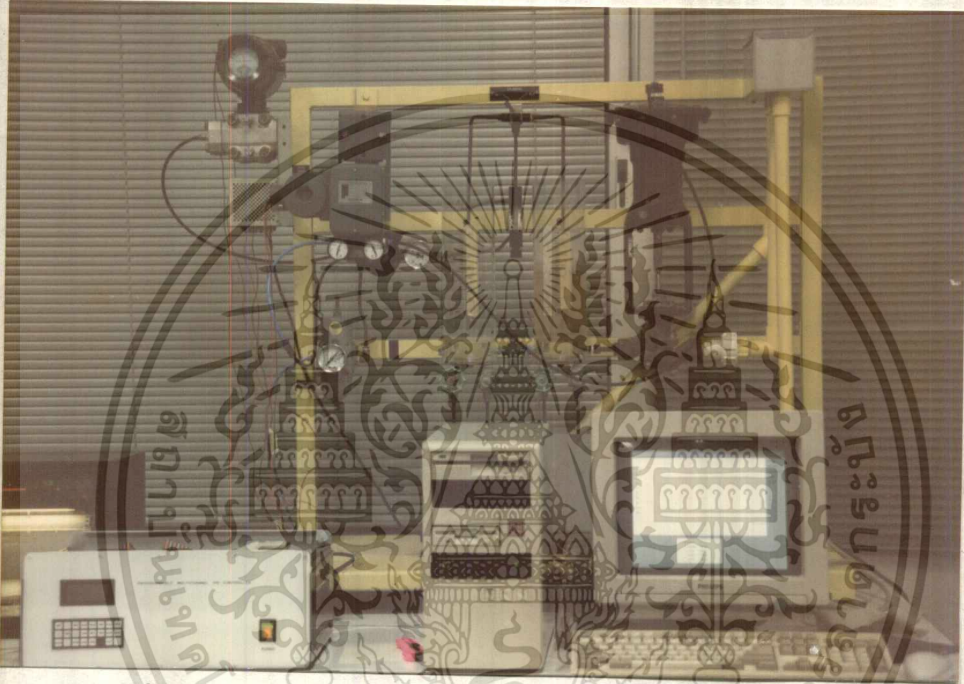
ที่ BSC 3

$$PB = 25\%$$

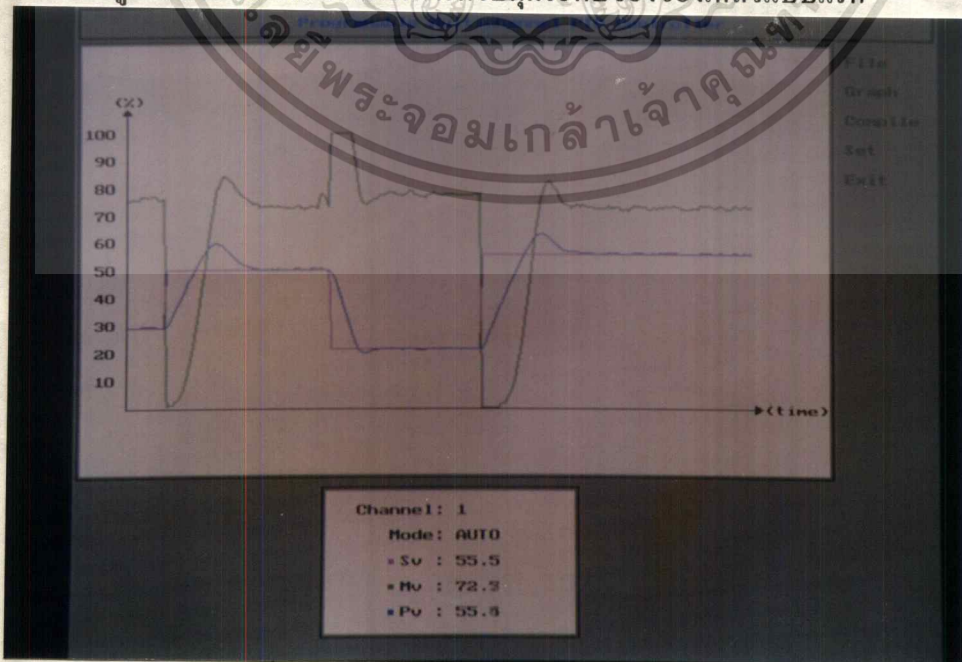
$$Ti = 11s$$

$$Td = 0s$$

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงขบวนการการควบคุมระดับของของเหลวแบบแรก



รูปที่ 4.14 แสดงรูปกราฟที่หน้าจอ monitor PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขบวนการควบคุมอุณหภูมิ

ขบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนั้นมีช่วงในการวัดอุณหภูมิระหว่าง  $0 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  เมื่อเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller ที่ใช้แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์และที่ตัวขบวนการที่ทำการทดลองนั้นให้ค่า output ออกมาเป็น  $1-5\text{ V}$  แต่เครื่อง Programmable Multichannel PID Controller นั้นรับสัญญาณ  $4-20\text{ mA}$  ดังนั้นจึงต้องใช้วงจร V to I ซึ่งวงจรที่ใช้นั้นรับค่า  $0-5\text{ V}$  ดังนั้นค่าที่ได้จึงผิดพลาดไปจากค่าจริง แต่ตามสัดส่วนแล้วค่าที่ได้เท่ากับค่าจริง

โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ดังนี้

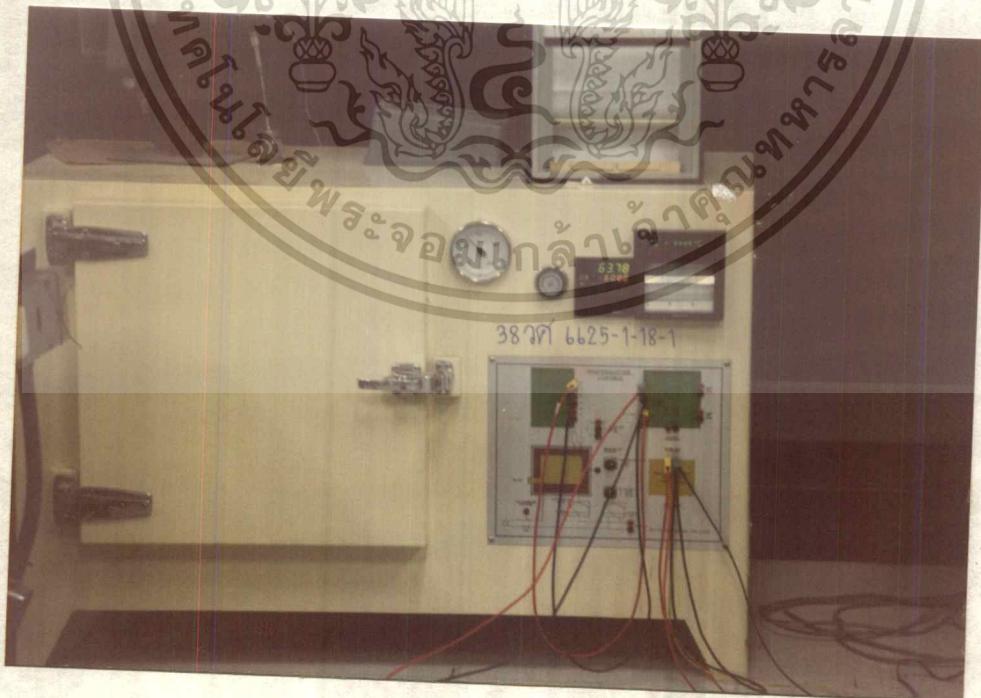
ที่ BSC 4

$$PB = 10\%$$

$$Ti = 300\text{ s}$$

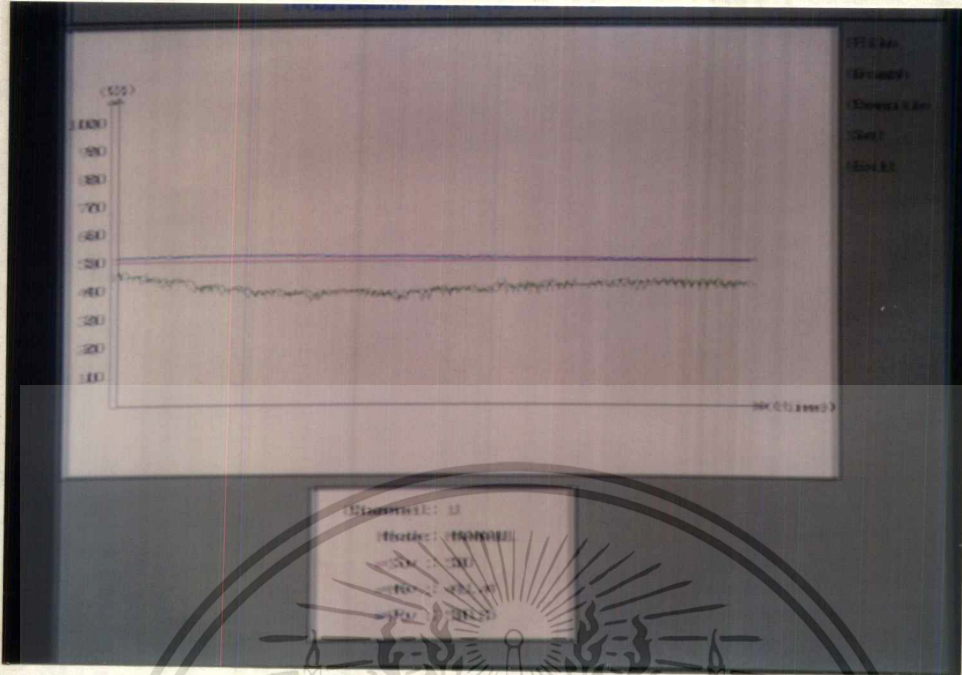
$$Td = 0\text{ s}$$

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 แสดงขบวนการการควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงรูปภาพที่จอ monitor PC

ขบวนการควบคุมระดับของเหลวแบบที่สอง

โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ดังนี้

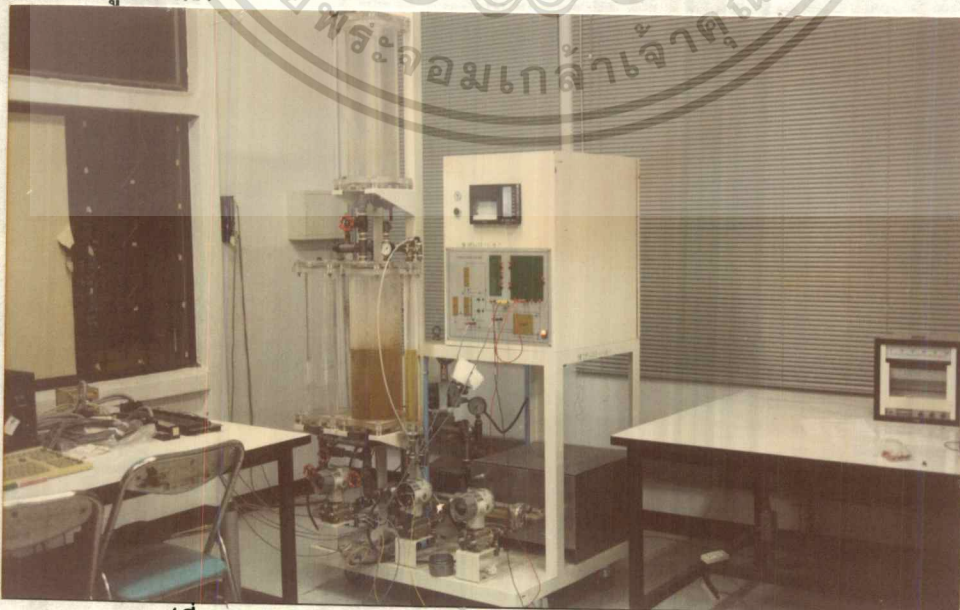
BSC 5

PB = 81

Ti = 30s

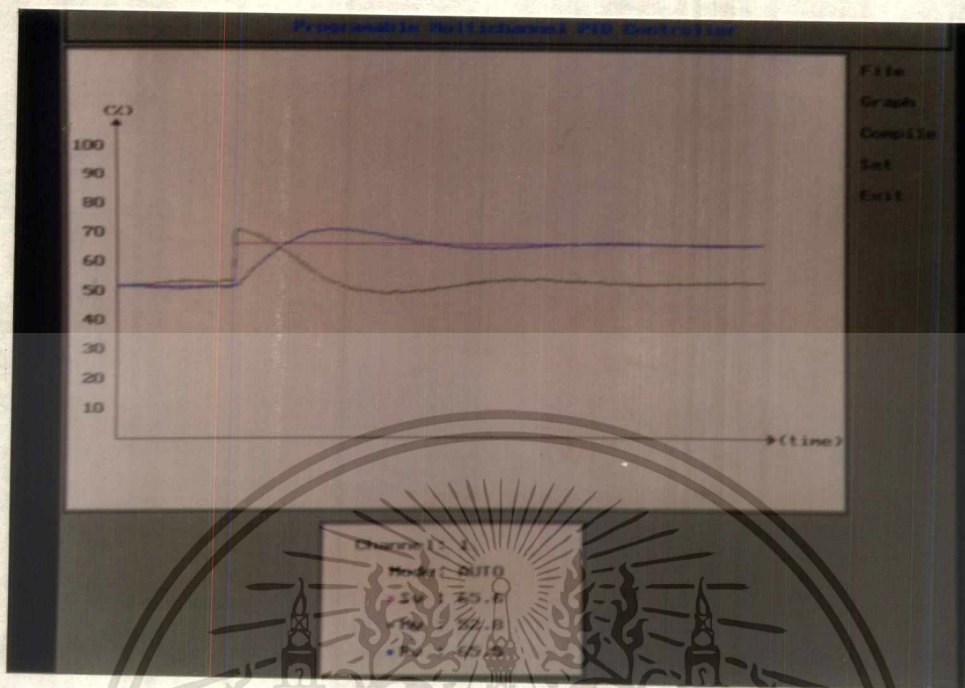
Td = 0s

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 แสดงขบวนการควบคุมระดับของเหลวแบบที่ 2 หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงรูปภาพที่จอ monitor PC

#### ขบวนการควบคุมความดัน

ขบวนการควบคุมความดันของถมนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0-5 Kg ค่าที่วัดได้ก็จะเป็นสัดส่วนกันกับค่า 0-100% ของเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller

โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ดังนี้

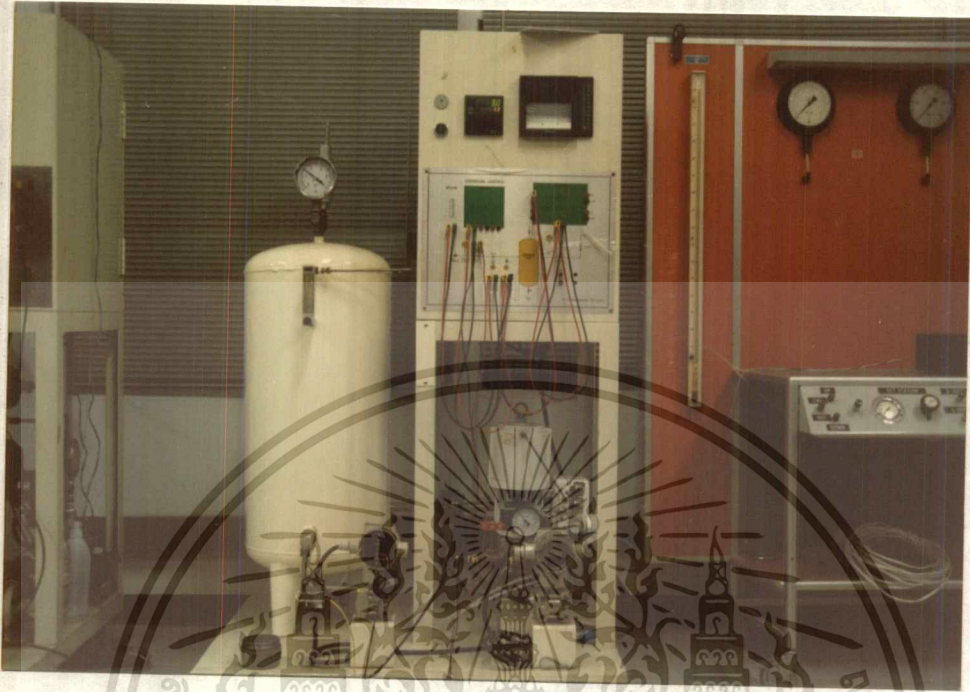
BSC 6

PB = 100

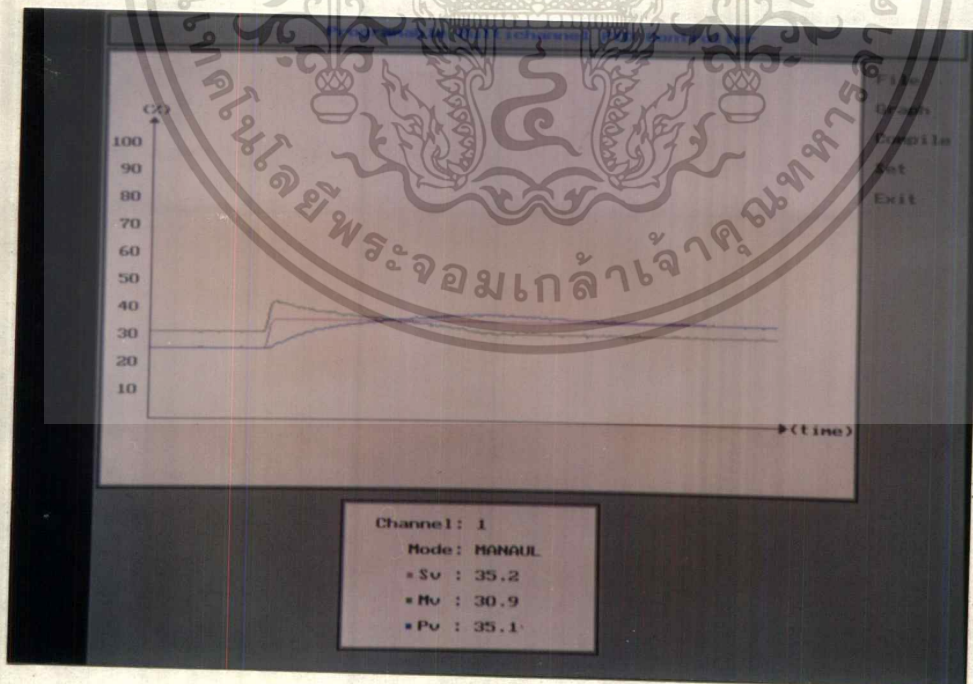
Ti = 150s

Td = 0s

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 แสดงขบวนการควบคุมความชื้น



รูปที่ 4.19 แสดงรูปกราฟที่จอ monitor PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการควบคุมอัตราส่วนของเหลว  
โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ดังนี้

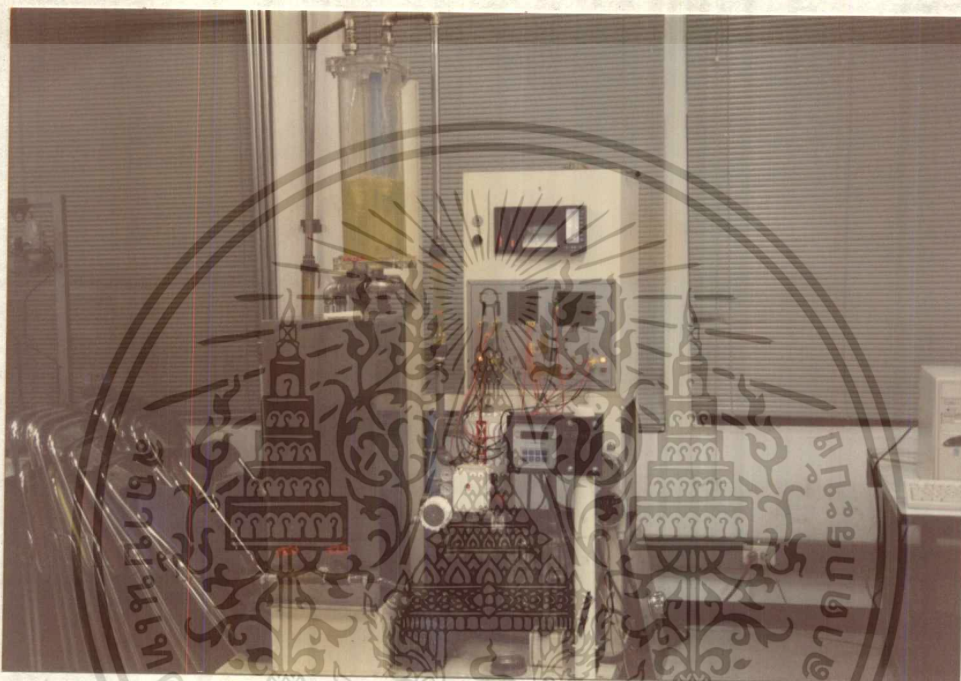
BSC 7

PB = 85%

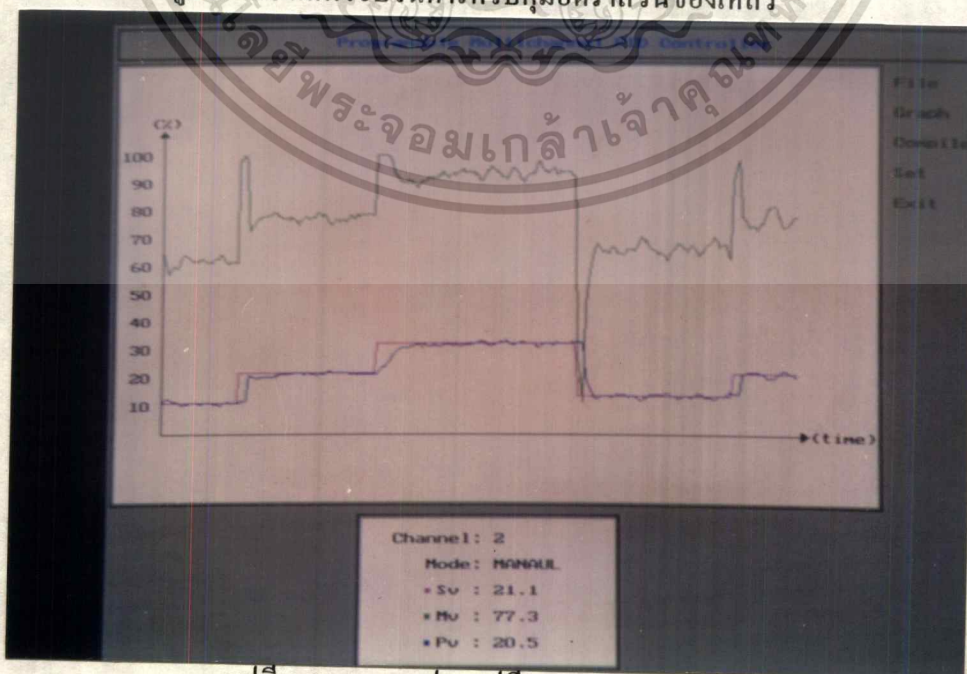
Ti = 30s

Td = 0 s

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 แสดงขบวนการควบคุมอัตราส่วนของเหลว



รูปที่ 4.21 แสดงรูปกราฟที่จอ monitor PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองโดยนำเครื่อง Programmable Multichannel PID Controller มาต่อกับขบวนการต่าง ๆ นั้นพบว่า การควบคุมแบบ PID นั้นสามารถควบคุมค่าตัวแปรของกระบวนการให้เข้าค่าเป้าหมายได้ ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นกราฟ Damping Ratio ได้ที่จอ monitor PC ซึ่งที่ PC นั้นสามารถ set พารามิเตอร์และ save ตัวโปรแกรมผู้ใช้ได้ ซึ่งจากการทดลองกระบวนการทั้งหมด 6 กระบวนการ ใช้วงรอบการควบคุม 8 ช่องการควบคุม ซึ่งจากการทดลองนั้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง

ในส่วนวงจร I to V นั้นค่า output ที่ได้ นั้นไม่ทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณที่ส่งไปเข้ายังวงจร A/D ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 ทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณ MV

**ข้อเสนอแนะในการแก้ไข**

ควรปรับปรุงภาค Input คือ ส่วนวงจร I to V โดยการออกแบบวงจรใหม่และใช้อุปกรณ์ที่ทำให้เกิด offset น้อยที่สุด

**แนวทางการพัฒนา**

อาจมีการเพิ่ม Function การควบคุมเพิ่มขึ้นและสามารถที่ Auto Tuning ในตัวเครื่องเองได้

## บรรณานุกรม

1. J. Michael Jacob, "Industrial Control Electronics", Prentice-Hall International, Inc., 1989.
2. Curtis Johnson, "Process Control Instrumentation Technology", Prentice-Hall Career & Technology, Inc., 1993.
3. รัชนา ศรีประมง, "การเขียนโปรแกรมภาษาซี สำหรับวิศวกรรม", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
4. ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตรวีไล, "เรียนรู้และใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2538.
5. YOKOKAWA Electric Corporation, YS170, Programmable Controller Technical Manual.



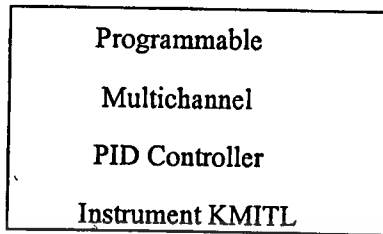
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือ การใช้งาน Programmable Multichannel PID Controller

1 On Power จะปรากฏข้อความที่จอ LCD (monitor) ดังนี้



จากข้อคือ Programmable เพราะฉะนั้นก่อนใช้งานต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อให้เครื่องสามารถ Run Process ได้โดยการกดคีย์

2 Key **PRG** เมื่อเข้าสู่โหมดการเขียน Program ที่หน้าจอ LCD จะปรากฏรูปแบบดังนี้



หมายเลขบรรทัด

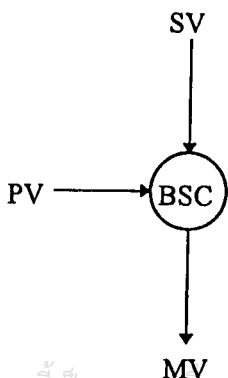
โดยตัวเลขที่ปรากฏทั้งหมดคือ หมายเลขบรรทัด

3 จากนั้นทำการโปรแกรม โดยยกตัวอย่างการควบคุมแบบธรรมดา คือ Basic Control System

โปรแกรมทั่วไปคือ

```
LDX 1
BSC 1
STY 1
END
```

เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 เมื่อทำการ โปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ต้องทำการ RUN โดยการกดปุ่ม RUN ถ้าโปรแกรมถูกต้องจะปรากฏที่ Monitor ดังนี้

```
Success
Press Any Key
```

จากนั้นกด Key ใดๆ เพื่อเข้าสู่อีกขั้นตอนการทำงานต่อไป โดยจะขึ้นที่ Monitor ดังนี้

```
MODE STATUS
BSC 1  MANUAL
BSC 2  MANUAL
BSC 3  MANUAL
```

โดยผู้ใช้งานสามารถเลื่อน cursor ที่มีลักษณะเป็นลูกศรไปทางซ้าย ← เพื่อดู STATUS ของรูปการทำงานแต่ละรูปได้ว่าอยู่ในโหมดใดในการกด KEY ↓ หรือ ↑ ในกรณีที่มี Error คือ การไม่ได้ใส่คำสั่ง END ที่โปรแกรมเมื่อกด KEY RUN จะปรากฏข้อความดังนี้

```
ERROR !
Press Any Key
```

จากนั้นกด Key ใดๆ เพื่อออกไปแก้ไขโปรแกรม

ในกรณีที่อยู่ที่ Mode Status นั้นสามารถที่จะกลับไปแก้ไข Program ได้ โดยการกด Key

**CHG** ตามด้วย **PRG** เมื่อทำการแก้ไขโปรแกรมแล้วทำการ RUN Program ใหม่

เพื่อเข้าสู่โหมด Status

5 การเปลี่ยน parameter ให้กด Key

**CHG** ตามด้วย **PARA** จะมีข้อความปรากฏดังนี้ เมื่อกด **CHG**




```
CHANGE
```





เมื่อกด **PARA**











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CHANGE PARAMETER

BSC XX

จากนั้นกดลูกศรขึ้นลง   เพื่อเลือก Loop ที่จะใช้งานตามโปรแกรมที่เขียนขึ้น แล้วตามด้วย ENTER 

บรรทัดแรกจะเป็น Action สามารถเปลี่ยนได้โดยการกด Key  จะมี cursor ปรากฏที่ Action จากนั้นกด Key  หรือ  เพื่อเลือกที่เป็น REV หรือ DIR จากนั้นกด Key 






เพื่อออกจากการ set จากนั้นกด Key   เพื่อเลือกที่จะ set PB, Ti และ Td โดยในการ set จะกด Key  และออกจากการ set ก็กด Key  เหมือนกัน ในระหว่างการ set การกดลูกศรลงจะเป็นทีละ step เมื่อต้องการความรวดเร็วให้การกด Key  จะมีลักษณะเป็น Toggle เมื่อ set ทุกอย่างเรียบร้อยก็กด Key Enter  ถ้าต้องการยกเลิกกด Key  หมายเหตุต้องกด Key  เมื่อออกจากการ set ทุกครั้งก่อนกด Enter  หรือยกเลิก 

6 การเฝ้าดูขบวนการมี 2 ลักษณะคือ

1 เฝ้าดูอย่างเดียว ไม่มีการเปลี่ยนโหมด Manual หรือ Auto ไม่มีการเปลี่ยน SV, MV

2 มีการเปลี่ยนแปลง Mode, SV และ MV

การเฝ้ามองดูอย่างเดียวให้กด Key  จากนั้นเลือกกดว่าเป็น PARA หรือ Action แล้วเลือกรูปที่ต้องการ แล้วกด Enter

การเฝ้าดูและสามารถกด set MOD, SV และ MV ให้กด Key  จากนั้นเลือกที่จะกด  หรือ  ซึ่งการกดชื่อ PARA นั้นได้อธิบายในข้างต้นแล้ว ดังนั้นจะอธิบาย  Key จากนั้นเลือก Loop ที่ทดลอง BSC X แล้วกด  จะปรากฏ

BSC X MANUAL






PV XXX.X %

SV XXX.X %


MV XXX.X %





เราสามารถกด   เพื่อเลือกที่จะเปลี่ยน Mode, SV หรือ MV

หมายเหตุ MV จะเปลี่ยนได้ใน Mode Manual เท่านั้น

โดยการ set จะต้องเลื่อนลูกศร (cursor)  ไปยังบรรทัดที่ต้องการแล้วกด Key  เพื่อเข้าไป set ค่านั้นๆ เช่น ต้องการเปลี่ยน Mode ให้กด Key  หรือ  เลื่อน cursor  ไปยังบรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่น จากนั้นกด Key  จะปรากฏ \_ ที่ตัว M จากนั้นกด Key MANUAL หรือ Auto ตามต้องการ ก็จะเป็นการเปลี่ยน Mode ทันที

หมายเหตุ page นี้เมื่อ set จะถือเป็นการเปลี่ยนค่าทันทีไม่มีการกด Enter  การออกจาก page นี้ จะต้องกด  หรือ  ก็ได้ แต่ต้องกด Key  ออกจากการ set ค่าใดๆ ก่อนจึงจะสามารถออกจาก page นี้ได้

### พารามิเตอร์ที่ปรับได้

PB 00-250.0 % ค่าเริ่มต้นที่ 250.0% stepทีละ 1

Ti 0.1-500.0s ค่าเริ่มต้นที่ 500.0s stepทีละ 0.1

Td 0.0-500.0s ค่าเริ่มต้นที่ 0.00s step ทีละ 0.1

### คำสั่งที่ใช้งาน

LDX n ;n = 1-8

เป็นการนำค่า PV จากกระบวนการเข้า Loop การทำงาน

STY n ;n = 1-8

เป็นการนำค่า MV ที่ได้จากการคำนวณออกไปควบคุม Final Element

LDM n ;n = 1-8

เป็นการนำค่าลงเก็บใน Memory

STM n ;n = 1-8

เป็นการนำค่าที่เก็บออกจาก Memory

BSC n(Func 01) ;n = 1-8

เป็นการควบคุมแบบ PID

CSC n(Func 02) ;n = 1-8

เป็นการควบคุมแบบ cascade โดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณหรือใน Memory เป็น setpoint ของ Loop ถัด ไปของคำสั่ง ซึ่ง n คือ Loop ที่ต้องการนำค่าไปเก็บไว้ (slave)

RAT n (Func 03) ;n = 1-4

เป็นการนำค่าที่ได้จากการคำนวณหรือใน Memory คูณ ratio ใน Memory (n)

SQR (Func 04)

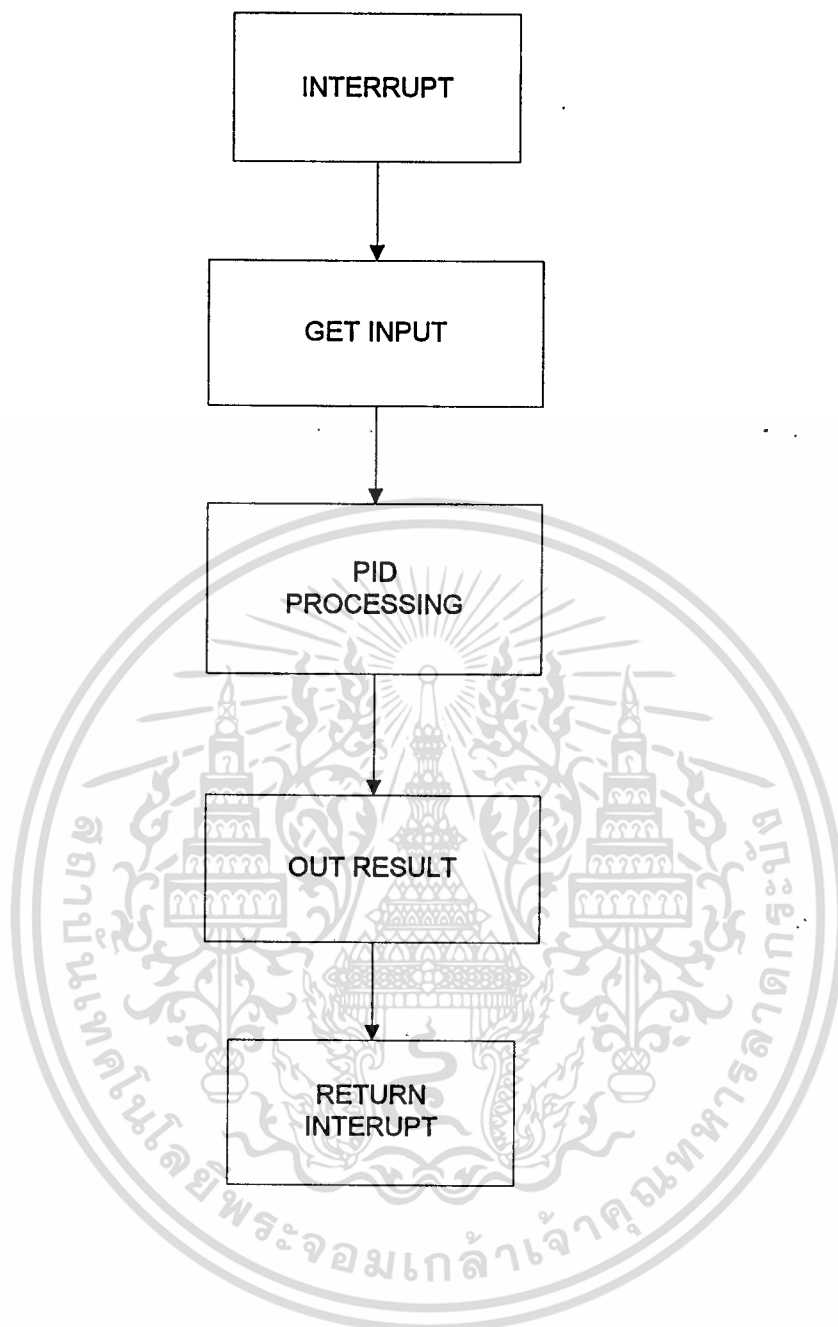
เป็นคำสั่งที่ทำการถอด  $\sqrt{\quad}$  สัญญาณ PV ในการควบคุมแบบ flow

END (Func 05)

สิ้นสุดโปรแกรม

CLEAR MEMORY (Func 06)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



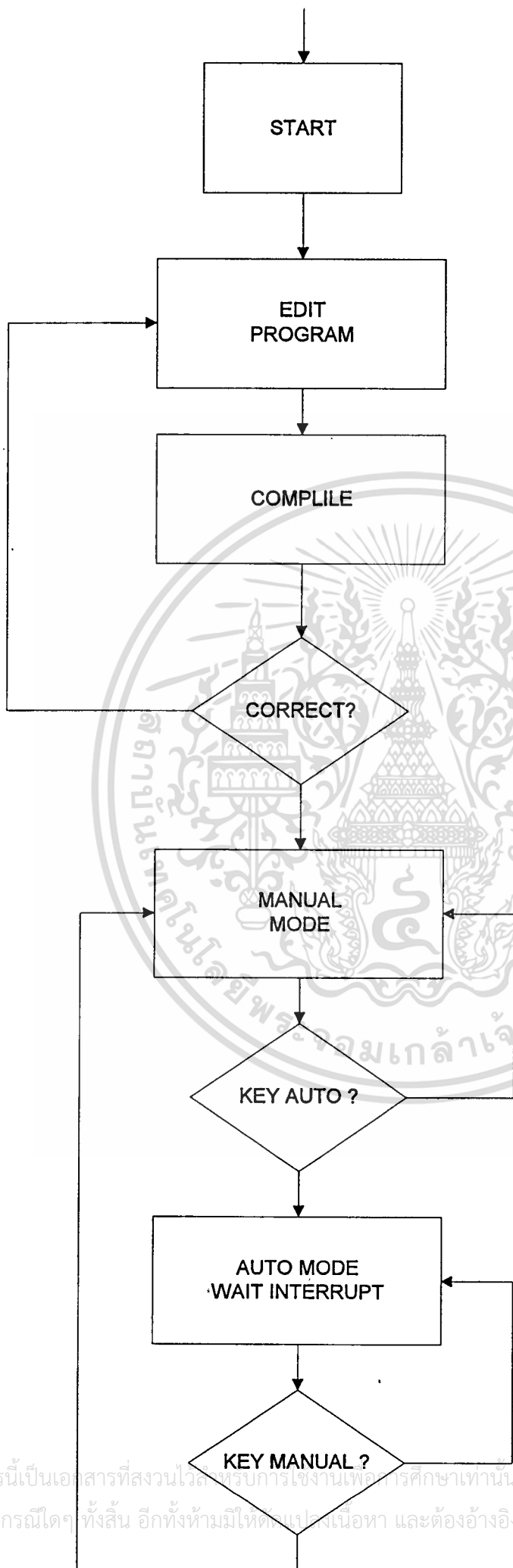
รูปที่ ผ.1 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานในรูป BSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



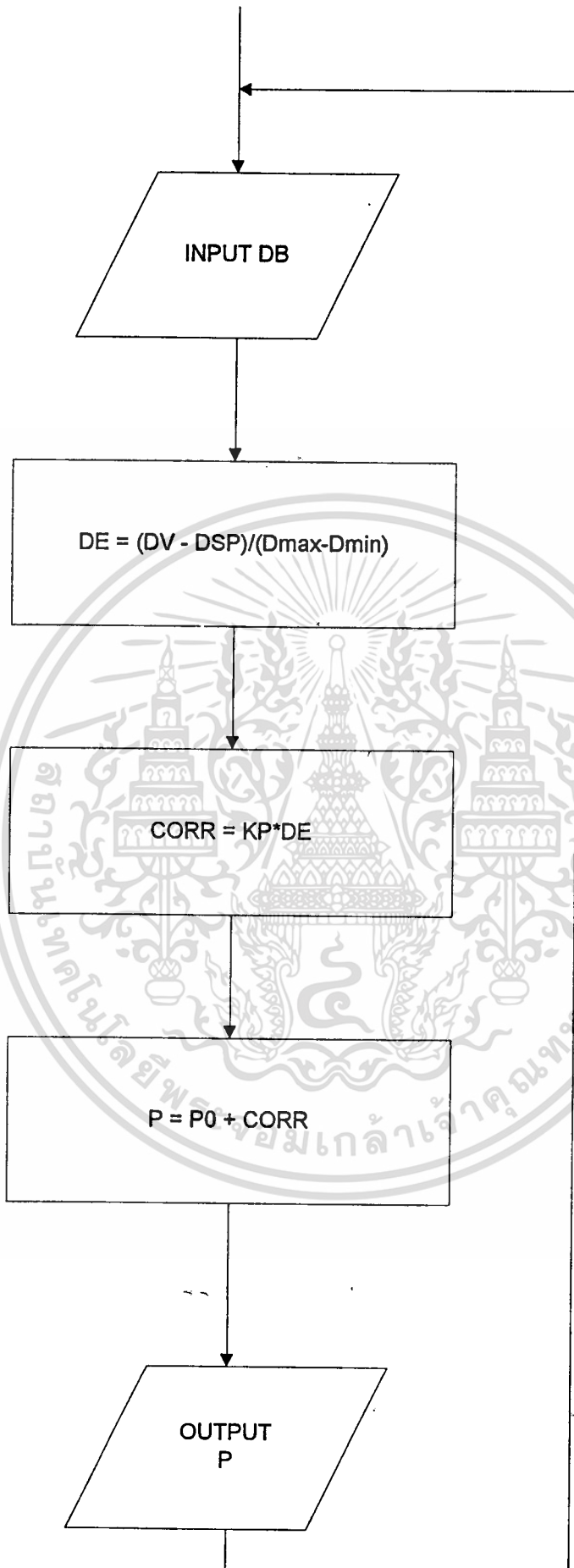
รูปที่ ๗.2 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

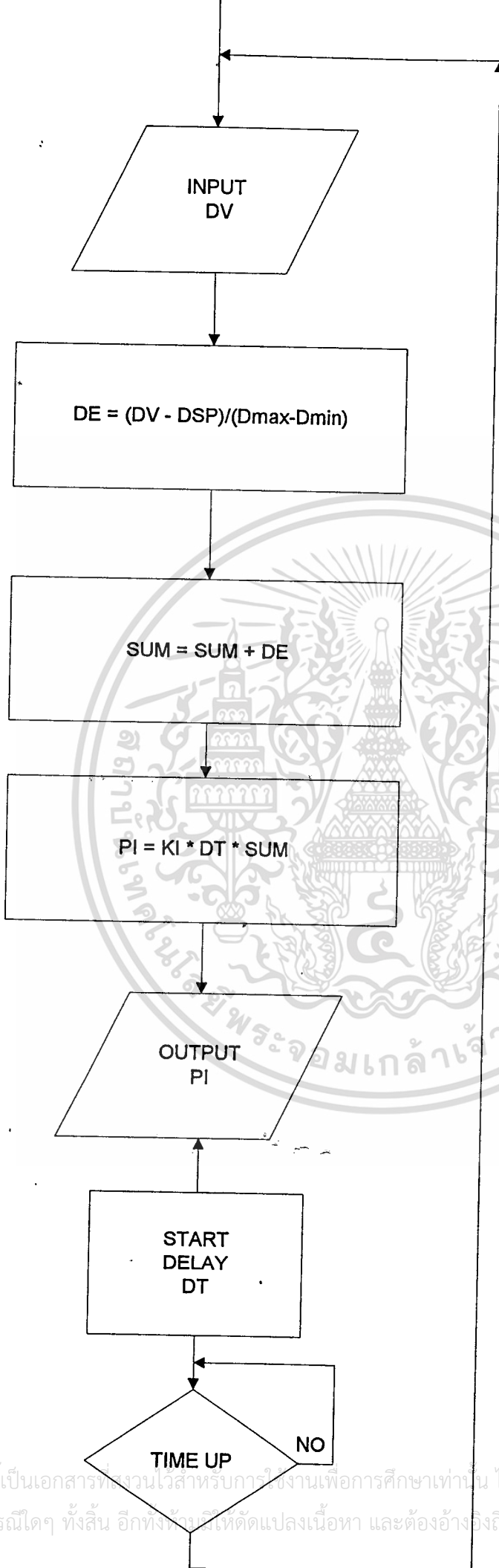


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.4 โฟลวชาร์ตแสดงการคำนวณแบบ Integral

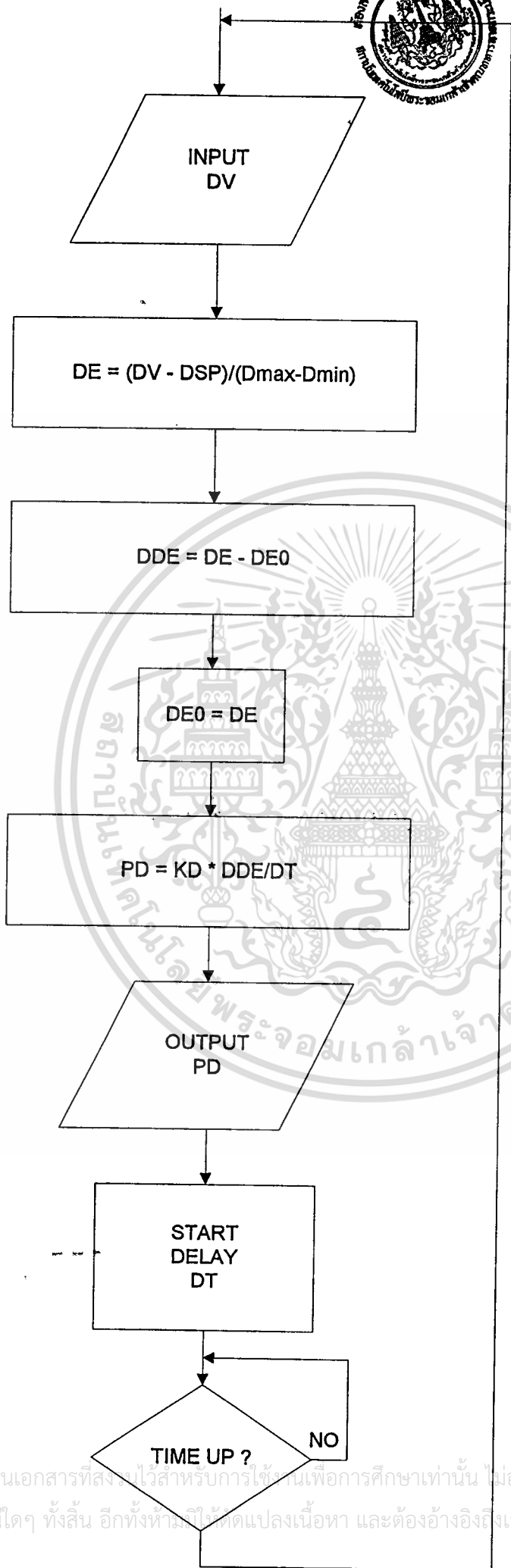
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ผ.5 โพลชาร์ตแสดงการคำนวณแบบ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้