สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

# DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

โดย

นางสาวปาหนัน ปีอาทิตย์

นางสาวเทิดขวัญ นิลจันทร์

นายเจตนพรัตน์ สมผิว

นายศักดิ์นรินทร์ ไชยเสนา

นายอนุฑา ลีลาสันติธรรม

วน.
ส/571 ร
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72143
วัน,เดือน,ปี 11 มิ.ย. 2550

b 11763952
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549**

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน
DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS


ผู้จัดทำ

| | | | |
|---|---|---|---|
| นางสาวปาหนัน | ปีอาทิตย์ | รหัสประจำตัว | 45010463 |
| นางสาวเทิดขวัญ | นิลจันทร์ | รหัสประจำตัว | 46010266 |
| นายเจตนพรัตน์ | สมผิว | รหัสประจำตัว | 47015275 |
| นายศักดิ์นรินทร์ | ไชยเสนา | รหัสประจำตัว | 47015304 |
| นายอนุฑา | ลีลาสันติธรรม | รหัสประจำตัว | 47015309 |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์พรสุข รติโรจน์อนันต์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

นางสาว. ปาหนัน ปีอาทิตย์ 45010463
นางสาว. เทิดขวัญ นิลจันทร์ 46010266
นาย. เจตนพรัตน์ สมผิว 47015275
นาย. ศักดิ์นรินทร์ ไชยเสนา 47015306
นาย. อนุฑา ลีลาสันติธรรม 47015309

ผศ. พรสุข รติโรจน์อนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (Distributed Control Systems DCS) เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตซึ่งเป็นการควบคุมระดับของเหลวและอุณหภูมิ การติดต่อระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับกระบวนการผลิตโดยการติดต่อสื่อสารภายในระบบดีซีเอสซึ่งควบคุมด้วยพีแอลซี(PLC) การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องพีแอลซี(PLC) กับเครื่องคอมพิวเตอร์นี้จะใช้การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมตามมาตรฐานการสื่อสารแบบอาร์เอส 232ซี(RS-232C) กับโปรแกรมวิชวลเบสิค (Visual Basic) เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบควบคุมแบบกระจายส่วนนี้ไปควบคุมระบบการผลิตข้างต้น ได้ผลการควบคุมดีตามทฤษฎีที่นำเสนอ ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

By

Miss. Panan Peeartit 45010463

Miss. Therdkhwan Ninlachan 46010266

Mr. Jathnobparut Somphiw 47015275

Mr. Saknarin Chaisena 47015304

Mr. Anutha Leelasantithum 47015309

Advisor

Asst. Prof. Phornsuk Ratiroch-anant

Academic Year 2006

## ABSTRACT

This thesis is to study the Distributed Control Systems (DCS) and its application to the control of a level and temperature process. The communication between the local process and operator is provided through the DCS which is controlled by a programmable controller (PLC). PLC is connected to the computer by using standard RS-232C interface and Visual Basic to control the given process and display the control results. The control results show the good control performance as presented.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์เล่มนี้ หลายครั้งที่ประสบกับปัญหาต่างๆมากมายที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมต่างและเกี่ยวกับตัวกระบวนการผลิต แต่ก็ได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่านที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาโครงงานโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พรสุข รติโรจน์อนันต์ ที่คอยตรวจสอบงาน ให้แนวคิดและคำแนะนำต่างๆในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานให้ใช้อย่างครบครัน ขอบคุณพี่ๆธุรการที่ให้ความสะดวกในเรื่องต่างๆ

ขอบคุณพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้อุปการะมาอย่างดีเยี่ยม และส่งเสียให้เล่าเรียนจนได้มีวันนี้ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจตลอดเวลา

และสุดท้ายขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆให้คำปรึกษา จนทำให้โครงงานปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

นางสาวปาหนัน ปีอาทิตย์

นางสาวเทิดขวัญ นิลจันทร์

นายเจตนพรัตน์ สมผิว

นายศักดิ์นรินทร์ ไชยเสนา

นายอนุฑา ลีลาสันติธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


หน้า

**บทคัดย่อ** I

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** II

**กิตติกรรมประกาศ** III

**สารบัญ** IV

**สารบัญตาราง** X

**สารบัญภาพ** XI

**บทที่ 1 บทนำ** 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

**บทที่ 2 ทฤษฎี** 2

2.1 ดีซีเอส 2

2.1.1 ประวัติดีซีเอส 2

2.1.2 ความหมายของดีซีเอส 5

2.1.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบดีซีเอส 5

2.1.3.1 หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย 5

2.1.3.2 หน่วยควบคุมกระบวนการ 6

2.1.3.3 หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ 8

2.1.3.4 หน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อย 9

2.1.3.5 หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงาน 10

2.1.3.6 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า 11

2.1.3.7 เครื่องมือสำหรับติดต่อระหว่างดีซีเอสกับพนักงานติดตั้งในบริเวณห้องควบคุมแทนแผงควบคุมแบบเดิม 12

2.2 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ 14

2.2.1 ส่วนประกอบของกระบวนการ 14

2.2.1.1วาล์วควบคุม 14

2.2.1.2 อุปกรณ์วัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล 15

2.2.1.3 อาร์ทีดี 16

2.2.1.4 แหลงจ่ายลูปกระแส 18

2.2.2 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ 19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.3 โครงสร้างและการใช้งานเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ | 20 |
| 2.3.1 ประวัติและความเป็นมาโปรแกรมเมเบิลคอนโทรเลอร์ | 20 |
| 2.3.2 ชนิดของพีแอลซี | 21 |
| 2.3.2.1 พีแอลซีชนิดบล็อก | 21 |
| 2.3.2.2 พีแอลซีชนิดโมดูล | 22 |
| 2.3.3 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซี | 24 |
| 2.3.3.1 Sequential Flow Chart Language | 24 |
| 2.3.3.2 Structure Text Language | 24 |
| 2.3.3.3 Function Block Diagram Language | 25 |
| 2.3.3.4 Instruction List Language | 25 |
| 2.3.3.5 Ladder Diagram | 25 |
| 2.3.4 อุปกรณ์สำหรับการโปรแกรม | 25 |
| 2.3.4.1 ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ | 26 |
| 2.3.4.2 คอมพิวเตอร์ | 26 |
| 2.3.5 โครงสร้างและส่วนประกอบของพีแอลซี | 27 |
| 2.3.5.1 หน่วยประมวลผลกลาง | 28 |
| 2.3.5.2 หน่วยความจำ | 29 |
| 2.3.5.3 หน่วยอินพุท/เอาท์พุต | 30 |
| 2.3.5.4 หน่วยอุปกรณ์ติดต่อภายนอก | 33 |
| 2.4 การติดต่อสื่อสารระหว่างพีแอลซีกับเครื่องคอมพิวเตอร์ | 34 |
| 2.4.1 การสื่อสารแบบอนุกรม | 35 |
| 2.4.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส | 35 |
| 2.4.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส | 35 |
| 2.4.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 | 39 |
| 2.4.2.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการต่อ | 40 |
| 2.4.3 Universal Asynchronous Receiver Transmitter | 42 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.5 การใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิค | 44 |
| 2.5.1 โปรแกรมวิชวลเบสิค | 44 |
| 2.5.2 องค์ประกอบต่างๆของโปรแกรมวิชวลเบสิค | 45 |
| 2.5.2.1 Menu Bar | 45 |
| 2.5.2.2 ToolBar | 46 |
| 2.5.2.3 ToolBox | 46 |
| 2.5.2.4 Project Explorer | 46 |
| 2.5.2.5 Properties Window | 46 |
| 2.5.2.6 Form Layout | 46 |
| 2.5.2.7 Form Designer | 47 |
| 2.5.2.8 Code Window | 47 |
| 2.5.3 ฟอร์ม (Form) | 47 |
| 2.5.3.1 พร็อพเพอร์ตี้ที่สำคัญของฟอร์ม | 48 |
| 2.5.3.2 เมธอดที่สำคัญของฟอร์ม | 48 |
| 2.5.3.3 อีเวนต์ที่สำคัญของฟอร์ม | 48 |
| 2.5.4 การประกาศตัวแปร (Declaration) | 49 |
| 2.5.4.1 การประกาศตัวแปรในวิชวลเบสิค | 50 |
| 2.5.4.2 กฎการตั้งชื่อตัวแปรและค่าคงที่ | 50 |
| 2.5.4.3 ชนิดของข้อมูล | 51 |
| 2.5.5 การใช้งานคอนโทรล | 52 |
| 2.5.5.1 Label: แบบอักษร | 53 |
| 2.5.5.2 Command Button: ปุ่มกด | 53 |
| 2.5.5.3 TextBox: กรอบข้อความ | 54 |
| 2.5.5.4 OptionButton: ตัวเลือกที่เลือกได้เพียงตัวเดียว | 55 |
| 2.5.5.5 CheckBox: ตัวเลือกที่เลือกได้มากกว่า 1 ตัว | 55 |
| 2.5.5.6 Frame: กรอบ | 55 |
| 2.5.5.7 Timer: ตัวจับเวลา | 55 |
| 2.5.5.8 Line: เส้น | 56 |
| 2.5.5.9 Shape: รูปร่าง | 56 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.5.5.10 SYSMAC_C 56

2.5.5.11 Tiger chart 56

2.6 ลูปควบคุมกระบวนการ 56

2.6.1 ลูปควบคุมป้อนกลับ (Single-loop feedback control loop) 56

2.6.2 ลูปควบคุมชั้นสูง (Advance control loop) 57

2.6.2.1 ลูปควบคุมแบบคาสเคด (Cascade control loop) 57

2.6.2.2 ลูปควบคุมแบบสัดส่วน (Ratio control loop) 58

2.6.2.3 ลูปควบคุมแบบส่งผ่าน (Feed forward control loop) 59

2.7 ตัวควบคุม 60

2.7.1 การควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล (Proportional control หรือ P control) 60

2.7.2 การควบคุมแบบรีเซต (Integral control หรือ I control) 62

2.7.3 การควบคุมแบบดี (Derivative control หรือ D control) 64

2.7.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral control หรือ PI control) 65

2.7.5 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative control หรือ PD control) 66

2.7.6 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral and Derivative control หรือ PID control) 67

2.7.7 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแต่ละชนิด 68

2.7.8 การออกแบบตัวควบคุมแบบ PID 70

2.8 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ 71

2.8.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ 71

2.8.2 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์จากเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ (Process Reaction Curve) 73

2.9 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ในการปรับแต่งกระบวนการต่างๆ 79

2.9.1 การควบคุมแบบอัตราส่วนการลดลงหนึ่งส่วนสี่ (Quarter Decay Ratio) 79

2.9.2 การหาพารามิเตอร์โดยวิธีอัลทิเมท (Ultimate Method) 80

2.9.2.1 ขั้นตอนการหาค่าอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมท 81

2.9.3 การหาค่าพารามิเตอร์โดยวิธีเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ (Process Reaction Curve) 82

2.9.4 การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีไอดี ด้วยวิธี Dahlin 83


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 3 การออกแบบและเขียนโปรแกรม** | 87 |
| 3.1 แนวคิดการแสดงผลกระบวนการผลิต | 87 |
| 3.2 ขั้นตอนในการดำเนินงาน | 87 |
| 3.3 สัญลักษณ์สีแสดงสถานะของอุปกรณ์ | 87 |
| 3.4 ภาพกราฟิกที่ใช้สำหรับออกแบบกระบวนการผลิต | 88 |
| 3.4.1 อุปกรณ์ควบคุมทั่วไป (General Item) | 88 |
| 3.4.2 อุปกรณ์เก็บวัตถุดิบ (Storage Item) | 88 |
| 3.4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Exchanger Item) | 89 |
| 3.4.4 ท่อแบบต่างๆ (Pipe Item) | 89 |
| 3.4.5 วาล์วแบบต่างๆ (Valve Item) | 89 |
| 3.5 การเขียนโปรแกรมพีแอลซี | 90 |
| 3.6 หน้าต่างสำหรับติดต่อกับผู้ใช้และการทำงาน | 91 |
| 3.6.1 หน้าต่างหลัก(Main window) | 91 |
| 3.7 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Flow Chart) | 95 |
| 3.7.1 โฟลวชาร์ตการติดต่อกับพีแอลซี | 95 |
| 3.7.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของดิจิตอลเอาท์พุต | 96 |
| 3.7.3 โฟลวชาร์ตการทำงานของอนาลอกอินพุต | 97 |
| 3.7.4 โฟลวชาร์ตการทำงานของอนาลอกเอาท์พุต | 98 |
| 3.7.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของพีไอดีของการควบคุมระดับของเหลว | 99 |
| 3.7.6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของพีไอดีของการควบคุมอุณหภูมิ | 100 |
| 3.8 โครงสร้างฐานข้อมูลของโปรแกรมแสดงผลกระบวนการผลิต | 100 |
| 3.8.1 ทฤษฎีและการออกแบบฐานข้อมูล | 101 |
| 3.8.1.1 ระบบฐานข้อมูล | 101 |
| 3.8.1.2 โครงสร้างของระบบฐานข้อมูล(Structure of Database) | 101 |
| 3.8.1.3 องค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล | 102 |
| 3.8.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซส | 103 |
| 3.8.3 องค์ประกอบแถบวัตถุในฐานข้อมูล | 104 |
| 3.8.4 ชนิดของข้อมูล | 105 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 3.8.5 คุณสมบัติของฟิลด์ | 105 |
| 3.8.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตาราง | 106 |
| **บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง** | 108 |
| 4.1 กล่าวนำ | 108 |
| 4.2 การทดลองควบคุมระดับน้ำ | 108 |
| 4.3 การทดลองควบคุมอุณหภูมิ | 112 |
| **บทที่ 5 บทวิจารย์และสรุป** | 115 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 115 |
| 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข | 115 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา | 116 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ข้อดีข้อเสียของพีแอลซีชนิดโมดูล 23
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของพีแอลซี 23
ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราบอดและอัตราการเร็วในการส่งข้อมูล 37
ตารางที่ 2.4 หน้าที่ของขาต่างๆใน คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ และ DB-9 ตัวผู้ 41
ตารางที่ 2.5 สมการของการคณิตศาสตร์ควบคุมโหมดต่างๆ 69
ตารางที่ 2.6 ค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการอัลทิเมท 81
ตารางที่ 2.7 ค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ 82
ตารางที่ 2.8 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีตามวิธีดาห์ลิน 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 ห้องควบคุมเครื่องมือวัดชนิดนิวแมติกส์ | 3 |
| 2.2 ห้องควบคุมระบบดีซีเอส | 4 |
| 2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย | 6 |
| 2.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยควบคุมกระบวนการ | 7 |
| 2.5 โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ | 8 |
| 2.6 การเชื่อมต่อกับหน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อย | 10 |
| 2.7 การติดตั้งหน่วยติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานระดับบน | 11 |
| 2.8 การติดตั้งหน่วยติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานระดับล่าง | 11 |
| 2.9 โครงสร้างและส่วนประกอบภายในของหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า | 12 |
| 2.10 แสดงส่วนประกอบของวาล์วควบคุม | 14 |
| 2.11 สมบัติการไหลเฉพาะของวาล์ว | 15 |
| 2.12 แสดงดีพีทรานสมิตเตอร์ | 16 |
| 2.13 กราฟแสดงอาร์ทีดี | 17 |
| 2.14 แสดงอาร์ทีดี | 18 |
| 2.15 โครงสร้างของกระบวนการ | 19 |
| 2.16 แสดงชนิดของพีแอลซีแบบชนิดบล็อก (Block Type PLC) | 21 |
| 2.17 แสดงชนิดของพีแอลซีชนิดโมดูลรุ่นซีคิวเอ็มวัน | 22 |
| 2.18 แสดงชนิดของพีแอลซีชนิดโมดูล ที่ใช้คอนเนคเตอร์ในการเชื่อมต่อ | 22 |
| 2.19 แสดงชนิดของพีแอลซีชนิดโมดูล ที่ใช้แผ่นเชื่อมต่อ (Backplane)ในการเชื่อมต่อ | 23 |
| 2.20 ภาษา Sequential Flow Chart | 24 |
| 2.21 ภาษา Function Block Diagram | 25 |
| 2.22 ภาษา Ladder Diagram | 25 |
| 2.23 แสดงตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ ( Hand Held Programmer ) | 26 |
| 2.24 แสดงวิธีการต่อใช้งานคอมพิวเตอร์กับพีแอลซี | 27 |
| 2.25 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ (CX-Programmer) | 27 |
| 2.26 แสดงโครงสร้างของพีแอลซี | 28 |
| 2.27 ไดอะแกรมของหน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบดิจิตอล | 30 |
| 2.28 ไดอะแกรมของหน่วยอินพุตแบบอนาลอก | 32 |
| 2.29 ไดอะแกรมของหน่วยเอาต์พุตแบบอนาลอก | 33 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.30 ส่วนประกอบของพีแอลซี | 34 |
| 2.31 การสื่อสารแบบซิงโครนัส | 35 |
| 2.32 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส | 36 |
| 2.33 การส่งข้อมูลขนาด 8 บิตที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมด้วยอัตราบอด 110 | 37 |
| 2.34 การส่งข้อมูลขนาด 8 บิตที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรม | 37 |
| 2.35 การใช้บิตพาริตี้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม | 38 |
| 2.36 DTE และ DCE | 39 |
| 2.37 แสดงการจัดขาคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมและลักษณะการต่อกับอุปกรณ์ภายนอก | 40 |
| 2.38 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์ | 42 |
| 2.39 แสดงการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ | 43 |
| 2.40 แสดงการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ | 43 |
| 2.41 แสดงองค์ประกอบต่างๆของโปรแกรมวิชวลเบสิค | 45 |
| 2.42 แสดงรูปแบบฟอร์ม | 47 |
| 2.43 แสดงข้อความ Option Explicit | 50 |
| 2.44 แสดงคอนโทรลต่างๆที่ปรากฏในทูลบ็อกซ์ | 55 |
| 2.45 บล็อกไดอะแกรมของลูปควบคุมป้อนกลับ | 57 |
| 2.46 การควบคุมแบบคาสเคด | 58 |
| 2.47 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของลูปควบคุมแบบป้อนกลับล่วงหน้า | 59 |
| 2.48 การตอบสนองต่อค่าผิดพลาดของตัวควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล | 60 |
| 2.49 ผลของการควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ลต่อเอาท์พุทของตัวควบคุม | 61 |
| 2.50 ค่าโพรบโพชันแน็ลออฟเซต | 62 |
| 2.51 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอินทิกรัล | 63 |
| 2.52 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได | 63 |
| 2.53 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ | 64 |
| 2.54 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบเดริเวทีฟต่อค่าสัญญาณผิดพลาด | 65 |
| 2.55 การควบคุมแบบพีไอ | 66 |
| 2.56 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีดี | 67 |
| 2.57 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี | 68 |
| 2.58 ผลตอบสนองต่อกระบวนการของการควบคุม | 68 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.59 การตอบสนองของตัวควบคุมโหมดต่าง ๆ | 70 |
| 2.60 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ | 71 |
| 2.61 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหลังการลดรูป | 72 |
| 2.62 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด | 74 |
| 2.63 ผลตอบสนองจากการทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด | 74 |
| 2.64 ผลตอบสนองขั้นบันไดของระบบ FODPT | 76 |
| 2.65 ค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง FOPDT จากวิธี ฟิต1 | 77 |
| 2.66 ค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง FOPDT จากวิธี ฟิต2 | 77 |
| 2.67 ค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง FOPDT จากวิธี ฟิต3 | 78 |
| 2.68 เส้นโค้งตอบสนองกระบวนการสำหรับอัตราส่วนการลดลงหนึ่งส่วนสี่ | 79 |
| 2.69 การตอบสนองที่แสดงค่าอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมท | 80 |
| 2.70 ระบบควบคุมวงปิด | 83 |
| 2.71 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา $t_O$ | 84 |
| 3.1 สัญลักษณ์สีแสดงสถานะของอุปกรณ์ | 87 |
| 3.2 อุปกรณ์ควบคุมทั่วไป (General Item) | 88 |
| 3.3 อุปกรณ์เก็บวัตถุดิบ (Storage Item) | 88 |
| 3.4 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Exchanger Item) | 89 |
| 3.5 ท่อแบบต่างๆ (Pipe Item) | 89 |
| 3.6 วาล์วแบบต่างๆ (Valve Item) | 89 |
| 3.7 อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor Item) | 90 |
| 3.8 แสดงหน้าต่างหลักการทำงาน | 91 |
| 3.9 แสดงหน้าต่างการทำงานระบบควบคุมกระบวนการ | 92 |
| 3.10 แสดงการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุต | 92 |
| 3.11 แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต | 92 |
| 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต (Advance) | 93 |
| 3.13 แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต | 93 |
| 3.14 แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต (Advance) | 94 |
| 3.15 การกำหนดค่าการทำงานของกระบวนการควบคุม | 94 |
| 3.16 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานการติดต่อกับพีแอลซี | 95 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 3.17 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของดิจิตอลเอาท์พุต | 96 |
| 3.18 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของอนาลอกอินพุต | 97 |
| 31.9 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของอนาลอกเอาท์พุต | 98 |
| 3.20 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของพีไอดีของการควบคุมระดับของเหลว | 99 |
| 3.21 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของพีไอดีของการควบคุมอุณหภูมิ | 100 |
| 3.22 แสดงโครงสร้างของระบบฐานข้อมูล | 101 |
| 3.23 แสดงองค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล | 102 |
| 3.24 แสดงส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซส | 103 |
| 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางแบบหนึ่ง – ต่อ – หนึ่ง | 106 |
| 3.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางแบบหนึ่ง – ต่อ – กลุ่ม | 106 |
| 3.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางแบบกลุ่ม – ต่อ – กลุ่ม | 107 |
| 4.1 รูปตาราง Fit curve ชุดควบคุมระดับน้ำ | 108 |
| 4.2 ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 20 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำเข้า) | 109 |
| 4.3 ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 20 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำออก) | 110 |
| 4.4 ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 50 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำเข้า) | 110 |
| 4.5 ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 50 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำออก) | 111 |
| 4.6 ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 70 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำเข้า) | 111 |
| 4.7 ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 70 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำออก) | 112 |
| 4.8 รูปตาราง Fit curve ชุดควบคุมอุณหภูมิ | 113 |
| 4.9 ผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียล ขอบขาขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียล | 114 |
| 4.10 ผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียล ขอบขาลงจาก 60 องศาเซลเซียล | 115 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันระบบควบคุมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งได้มีการคิดค้นมาตั้งแต่อดีต แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการควบคุม จึงได้พยายามคิดค้นเพื่อพัฒนาระบบควบคุมขึ้นมาใหม่ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของระบบควบคุมแบบเดิม ดีซีเอสจึงเป็นผลที่ได้จากการพัฒนาระบบควบคุมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน โดยการนำข้อดีของระบบควบคุมหนึ่งมาชดเชยข้อบกพร่องของระบบควบคุมอีกระบบหนึ่ง จึงทำให้สามารถแก้ไขปัญหาในการควบคุมกระบวนการและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของพนักงาน ดีซีเอสจึงทำให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้ง่าย โดยผ่านการติดต่อทางคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล ทำให้มีความเชื่อถือสูง การบำรุงรักษาและแก้ไขกระบวนการผลิตก็สามารถทำได้ง่าย ดังนั้นดีซีเอสจึงเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

ในโครงงานปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการสร้างระบบควบคุมดีซีเอสเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการ โดยใช้เครื่องพีแอลซี ในการควบคุม และมีกระบวนการที่ต้องควบคุมอยู่สองกระบวนการด้วยกัน คือ กระบวนการควบคุมระดับน้ำ และกระบวนการควบคุมระดับอุณหภูมิ ระบบดีซีเอสที่สร้างขึ้นมานั้นจะต้องสามารถควบคุมกระบวนการทั้งสองได้ ผู้ใช้สามารถควบคุมหรือสั่งงานกระบวนการได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับกระบวนการจะติดต่อถึงกันด้วยเครือข่ายของคอมพิวเตอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการของดีซีเอสและฟังก์ชันการทำงาน
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์วัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม
3. เพื่อศึกษาโครงสร้างและการใช้งานเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้
4. เพื่อศึกษาการสื่อสารข้อมูลด้วยมาตรฐานอาร์เอส 232ซี (RS-232C)
5. เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิค (Visual Basic)
6. เพื่อศึกษาตัวควบคุม (Controller) แบบต่างๆในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ
7. เพื่อศึกษาลูปควบคุมกระบวนการในระบบควบคุม (Process Control Loop)
8. เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซส (Microsoft Access)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎี

## 2.1 ดีซีเอส(DCS)

### 2.1.1 ประวัติดีซีเอส

ดีซีเอสเป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งได้รับการปรับปรุงและพัฒนาให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน เดิมระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งเครื่องควบคุมชนิดนิวแมติกส์ (Pneumatics)ทั้งหมดรวมไว้ในห้องควบคุมกลาง (Central Control room) ของโรงงานอุตสาหกรรม โดยเชื่อมโยงสายสัญญาณลมมาตรฐาน 3-15 ปอนด์/ตร.นิ้ว ระหว่างเครื่องวัดและส่งสัญญาณทั้งหมดในบริเวณกระบวนการผลิตกับเครื่องควบคุมในห้องควบคุม ทำให้พนักงานสามารถตรวจสอบสภาพของกระบวนผลิตและดูแลระบบควบคุมทั้งหมดจากภายในห้องควบคุมโดยไม่ต้องออกไปตรวจสอบในบริเวณพื้นที่การผลิตนอกห้องควบคุม การตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตจึงสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมเดิมก่อนหน้านั้น ในขณะที่ยังใช้อุปกรณ์ควบคุมชนิดนิวแมติกส์ ยังไม่มีเครื่องวัดและส่งสัญญาณชนิดนิวแมติกส์ไม่มีการกำหนดสัญญาณลมมาตรฐานและไม่มีเครื่องควบคุมชนิดนิวแมติกส์ทำให้จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมไว้ในบริเวณใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตเป็นจุดๆทั่วโรงงานอุตสาหกรรม การควบคุมกระบวนการผลิตทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรมจากเครื่องควบคุมภายในห้องควบคุมกลางเพียงแห่งเดียว เรียกว่า การควบคุมแบบศูนย์กลาง (Centralized control) และการควบคุมกระบวนการผลิตโดยติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมใกล้กับกระบวนการผลิตเป็นจุดๆทั่วโรงงานอุตสาหกรรม เรียกว่า การควบคุมแบบกระจาย(Distributed control) แม้ว่าต่อมาจะมีการใช้เครื่องควบคุมและเครื่องวัดและส่งสัญญาณอิเลกทรอนิกส์แทนอุปกรณ์และเครื่องมือชนิดนิวเมติกส์ซึ่งทำให้ระยะทางในการติดต่อระหว่างเครื่องวัดและส่งสัญญาณในกระบวนการผลิตกับเครื่องควบคุมในห้องจะไกลกันมากขึ้น แต่ระบบควบคุมยังรักษาโครงสร้างของการควบคุมแบบศูนย์กลางไว้เช่นเดิมเพียงแต่การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือชนิดอิเล็กทรอนิกส์และใช้สัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมแปร์ แทนสัญญาณลมเดิมทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับความต้องการในการขยายกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่2.1** ห้องควบคุมเครื่องมือจักรชนิดนิวแมติกส์

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความต้องการจะขยายกำลังผลิตของตนตลอดเวลา ทำให้ห้องควบคุมกลางของโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีขนาดใหญ่มากจึงจะมีพื้นที่เพียงพอสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด ซึ่งเป็นอุปสรรคสำหรับการปฏิบัติงานของพนักงานในสมัยนั้นที่ต้องคอยเดินตรวจสอบเครื่องมือจำนวนมากมายบนแผงควบคุมตลอดเวลา จึงมีความพยายามในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการกระจายหน้าที่ของเครื่องมือสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตออกเป็นส่วนต่างๆแต่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตทั้งหมดแสดงให้พนักงานควบคุมทราบและตรวจสอบได้ตลอดเวลาเพื่อให้ต้องการควบคุมกระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต ทำให้สามารถกำหนดโครงสร้างและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของระบบควบคุมโดยวิธีเขียนและแก้ไขโปรแกรมในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์แทนวิธีการเดินสายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และเครื่องมือควบคุมต่างๆ ความสามารถของระบบควบคุมในการควบคุมกระบวนการผลิตจึงไม่ถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์และเครื่องควบคุมชนิดนิวแมติกส์และอิเลกทรอนิกส์เช่นเดียวกับระบบควบคุมแบบเดิม แต่พนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมยังคงต้องปฏิบัติหน้าที่รวมกันภายในห้องควบคุมกลางเช่นเดียวกับระบบควบคุมที่ติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องควบคุมชนิดนิวแมติกส์และอิเลกทรอนิกส์ โรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์จึงปรากฏจอภาพและแป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นภายในห้องควบคุมของระบบควบคุมแบบเดิมโดยโครงสร้างของระบบควบคุมยังคงมีลักษณะเป็นการควบคุมแบบศูนย์กลางเช่นเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีซีเอสรุ่นแรกเป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตแทนเครื่องควบคุมชนิดนิวแมติกส์และอิเลกทรอนิกส์ ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตติดตั้งในบริเวณพื้นที่การผลิต ทำหน้าที่รับสัญญาณวัดของกระบวนการผลิตจากเครื่องวัดและส่งสัญญาณควบคุมสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตไปยังวาล์วควบคุม และอุปกรณ์สำหรับติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานติดตั้งในบริเวณห้องควบคุมสำหรับพนักงานใช้ตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต โดยระหว่างอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการผลิตกับอุปกรณ์ติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานเชื่อมโยงติดต่อกันโดยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตจะติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆในบริเวณกระบวนการผลิตทั่วโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการกระจายหน้าที่การควบคุมกระบวนการผลิตให้กับเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิต และติดตั้งอุปกรณ์ติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานในบริเวณห้องควบคุมกลาง ทำให้พนักงานสามารถตรวจสอบข้อมูลจากกระบวนการผลิตและควบคุมกระบวนการผลิตของโรงงานอุสาหกรรมทั้งหมดจากภายในห้องควบคุมเพียงอย่างเดียว

**รูปที่2.2** ห้องควบคุมระบบดีซีเอส

ดีซีเอสทำให้วิธีปฏิบัติงานของพนักงานเพื่อตรวจสอบและดูแลกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมแตกต่างจากพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังคงใช้การควบคุมแบบเดิมอย่างสิ้นเชิง จากภายในห้องควบคุมแบบเดิมที่ยังคงติดตั้งมาตรวัดและเครื่องควบคุมอุปกรณ์จำนวนมากมายบนแผงควบคุม และพนักงานต้องเดินตรวจอ่านจากมาตรวัดแล้วจึงตัดสินใจสั่งงานหรือปรับเครื่องควบคุมตลอดเวลา การติดตั้งดีซีเอสนั้นทำให้ไม่จำเป็นต้องมีแผงของอุปกรณ์และเครื่องมือขนาดใหญ่ เป็นการติดตั้งจอภาพและแป้นพิมพ์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานแทน ในจอภาพจะแสดงภาพจำลองของแผงหน้าปัดของเครื่องมือต่างๆในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มความสะดวกต่อพนักงานในการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีปฏิบัติงานของพนักงานก็คือนั่งประจำอยู่หน้าจอภาพและแป้นพิมพ์ แทนการเดินตรวจสอบภายในห้องควบคุม

**2.1.2 ความหมายของดีซีเอส**

ดีซีเอส คือ เครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต โดยเชื่อมโยงสายสัญญาณเครือข่ายระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัดและควบคุมในกระบวนการผลิต เครือข่ายคอมพิวเตอร์ของดีซีเอสอาจจะเป็นเครือข่ายเส้นทางเดียวหรือแบบวงแหวนที่ได้รับการปรับปรุงให้น่าเชื่อถือมากขึ้น

**2.1.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบดีซีเอส**

โครงสร้างเบื้องต้นของดีซีเอส ประกอบด้วย เครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตติดตั้งในบริเวณพื้นที่ผลิต และเครื่องมือสำหรับติดต่อระหว่างดีซีเอสกับพนักงานติดตั้งในบริเวณห้องควบคุมแทนแผงควบคุมเดิม ดีซีเอสของผู้ผลิตแต่ละบริษัทอาจมีโครงสร้างที่ต่างกันตามการออกแบบของผู้ผลิตแต่ละบริษัท แต่ดีซีเอสของทุกบริษัทต้องแบ่งอุปกรณ์ประกอบภายในของดีซีเอสตามหน้าที่การปฏิบัติงาน เป็นหน่วยเครื่องมือเสมอ แม้ว่าอุปกรณ์ประกอบของดีซีเอสแต่ละบริษัทจะมีชื่อเรียกต่างกัน แต่ดีซีเอสต้องประกอบด้วยหน่วยเครื่องมือลักษณะคล้ายคลึงกัน

เครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตจะติดตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่การผลิต ทำหน้าที่รับสัญญาณวัดจากกระบวนการผลิต คำนวณค่าสัญญาณควบคุมและส่งสัญญาณควบคุมกลับไปยังกระบวนการผลิต ภายในตัวดีซีเอสจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ คือ หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ หน่วยควบคุมกระบวนการ หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า และอาจมีหน่วยเชื่อมต่อกับเครื่องมือย่อยต่างๆรายละเอียดของหน่วยต่างๆมีดังต่อไปนี้

**2.1.3.1 หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย**

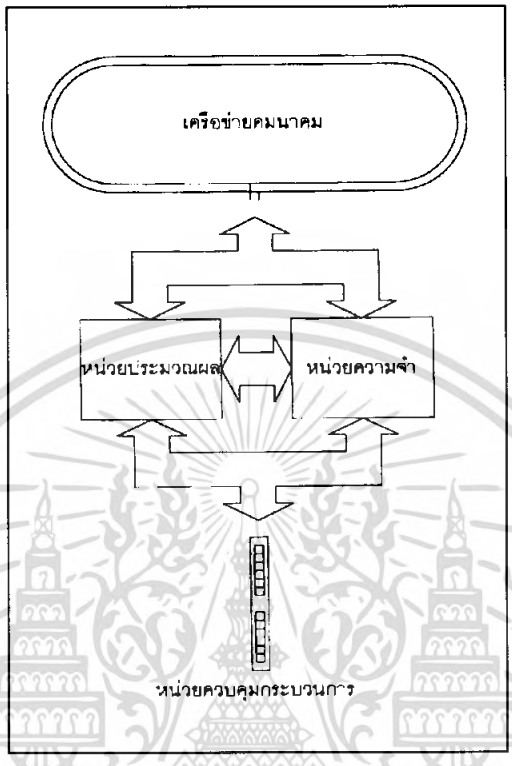
หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย คือ อุปกรณ์สำหรับติดต่อและรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมือต่างๆที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสกับเครือข่ายคมนาคมของระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม

**1. หน่วยประมวลผลของหน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย** ทำหน้าที่ดูแลการติดต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลของหน่วยเชื่อมต่อเครือข่ายกับเครือข่ายคมนาคมของดีซีเอสและควบคุมการปฏิบัติงานทั้งหมดภายในหน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย

**2. หน่วยความจำของหน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย** ประกอบด้วย หน่วยความจำชนิดรอม ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมควบคุมการปฏิบัติงานของหน่วยประมวลผลและหน่วยความจำชนิดแรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวเพื่อรอการติดต่อกับระบบเครือข่ายของหน่วยเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอส




**รูปที่2.3** โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย

**2.1.3.2 หน่วยควบคุมกระบวนการ**

หน่วยควบคุมกระบวนการของดีซีเอส คือ เครื่องมือที่มีหน้าที่ตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยควบคุมกระบวนการคล้ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตทั่วไป คือ

**1. หน่วยประมวลผลหลัก** ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตโดยนำสัญญาณวัดจากกระบวนการผลิตและคำสั่งจากพนักงานควบคุมเป็นข้อมูลสำหรับการประมวลผลเพื่อคำนวณสัญญาณควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส

**2. หน่วยความจำชนิดแรม** ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมและข้อมูลสำหรับการประมวลผลส่วนใหญ่ของหน่วยประมวลผลหลักในการควบคุมกระบวนการผลิตของหน่วยควบคุมกระบวนการของดีซีเอส

**3. หน่วยความจำชนิดรอม** ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมมาตรฐานและข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการประมวลผลหลักของหน่วยควบคุมกระบวนการสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส

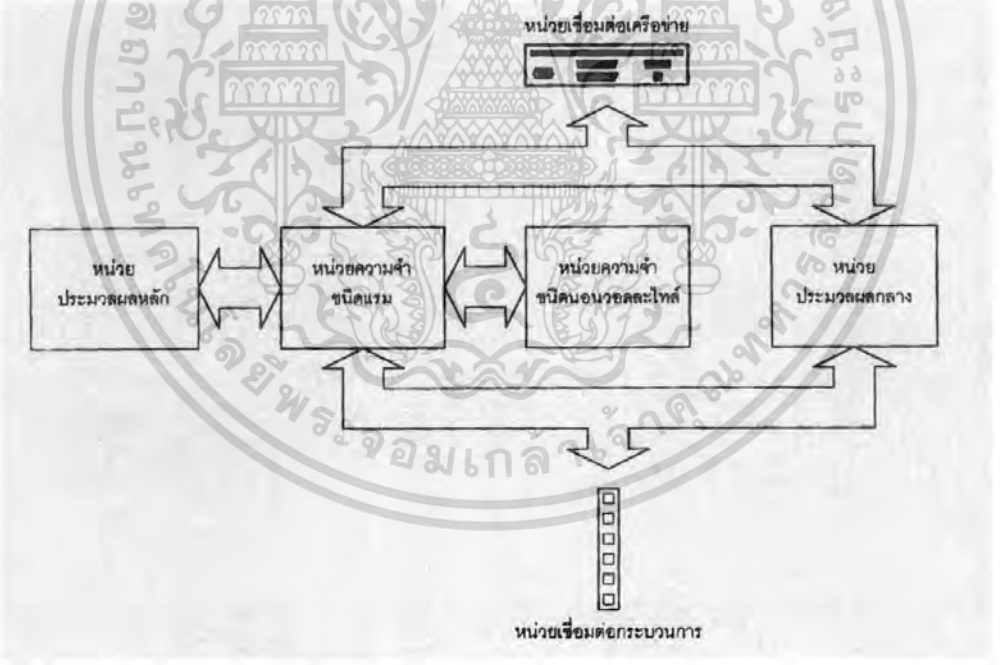
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4. หน่วยความจำชนิดนอนวอลละไทล์** ทำหน้าที่ เก็บโปรแกรมและข้อมูลสำรองระหว่างการประมวลผลหลักคล้ายกับหน่วยเก็บข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป

**5. หน่วยรับสัญญาณ** ทำหน้าที่รับสัญญาณวัดชนิดสัญญาณอนาลอกและสภาวะตรรกชนิดสัญญาณดิจิตอลจากกระบวนการผลิต โดยติดต่อกับหน่วยรับสัญญาณอนาลอกและหน่วยรับสัญญาณดิจิตอลที่เป็นหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการสำหรับเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิตภายนอกหน่วยควบคุมกระบวนการของดีซีเอส

**6. หน่วยส่งสัญญาณ** ทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมชนิดอนาลอกและสภาวะควบคุมชนิดสัญญาณดิจิตอลไปยังกระบวนการผลิต โดยเชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการชนิดหน่วยส่งสัญญาณอนาลอกและหน่วยส่งสัญญาณดิจิตอล

**7. หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย** ทำหน้าที่ติดต่อกับระบบเครือข่ายของดีซีเอสโดยเชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลหลักของหน่วยควบคุมกระบวนการกับอุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของดีซีเอส




**รูปที่2.4** โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

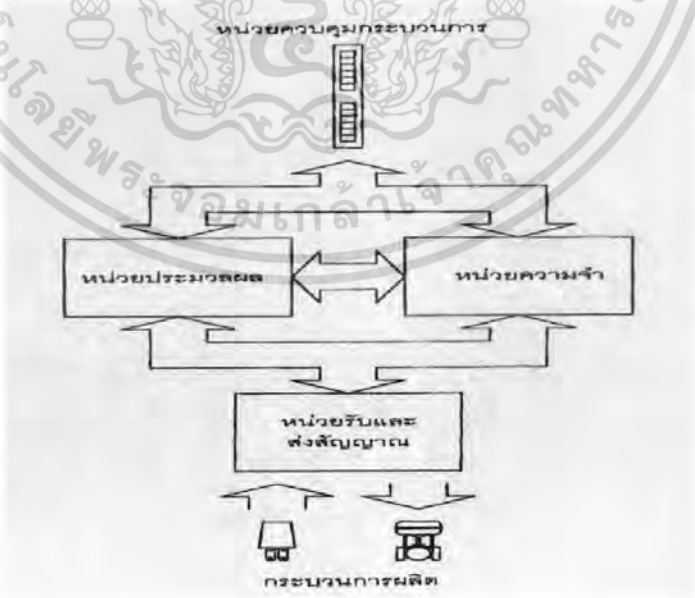
**2.1.3.3 หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ**

หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ เป็นอุปกรณ์สำหรับติดต่อกับการะบวนการผลิตของดีซีเอส โดยรับสัญญาณวัดจากกระบวนการผลิตให้กับดีซีเอสและส่งสัญญาณควบคุมจากดีซีเอสไปยังกระบวนการผลิต

**1. หน่วยประมวลผลของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ** ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งสัญญาณควบคุมระหว่างดีซีเอสกับกระบวนการผลิต และควบคุมการปฏิบัติงานของอุปกรณ์อื่นทั้งหมดภายในหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการของดีซีเอส

**2. หน่วยความจำของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ** ประกอบด้วยหน่วยความจำชนิดรอมและหน่วยความจำชนิดแรมสำหรับเก็บข้อมูลและโปรแกรมสำหรับการปฏิบัติงานรับสัญญาณวัดและส่งสัญญาณควบคุมของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการเช่นเดียวกับหน่วยเชื่อมต่อเครือข่ายหรือหน่วยควบคุมกระบวนการ

**3. หน่วยรับและส่งสัญญาณของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ** เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการกับกระบวนการผลิต ภายในหน่วยรับและส่งสัญญาณประกอบด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์ปรับระดับสัญญาณ อุปกรณ์แปลงระดับสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และอุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก สำหรับรับสัญญาณวัดและส่งสัญญาณควบคุมชนิดสัญญาณอนาลอกและสัญญาณดิจิตอลระหว่างดีซีเอสกับกระบวนการผลิต




**รูปที่2.5** โครงสร้างและส่วนประกอบของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการของดีซีเอสจึงต้องประกอบด้วยหน่วยรับและส่งสัญญาณหลายชนิดเพื่อให้ดีซีเอสสามารถเลือกติดตั้งหน่วยรับและส่งสัญญาณให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิตของดีซีเอส คือ

หน่วยรับสัญญาณอนาลอก คือ อุปกรณ์รับสัญญาณวัดชนิดอนาลอกจากกระบวนการผลิตของดีซีเอส หน่วยรับสัญญาณอนาลอกของดีซีเอสแบ่งออกเป็น หน่วยรับสัญญาณวัดชนิดแรงดันไฟฟ้า และหน่วยรับสัญญาณวัดชนิดแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าชนิดส่งสัญญาณไฟฟ้าระดับค่อนข้างต่ำ

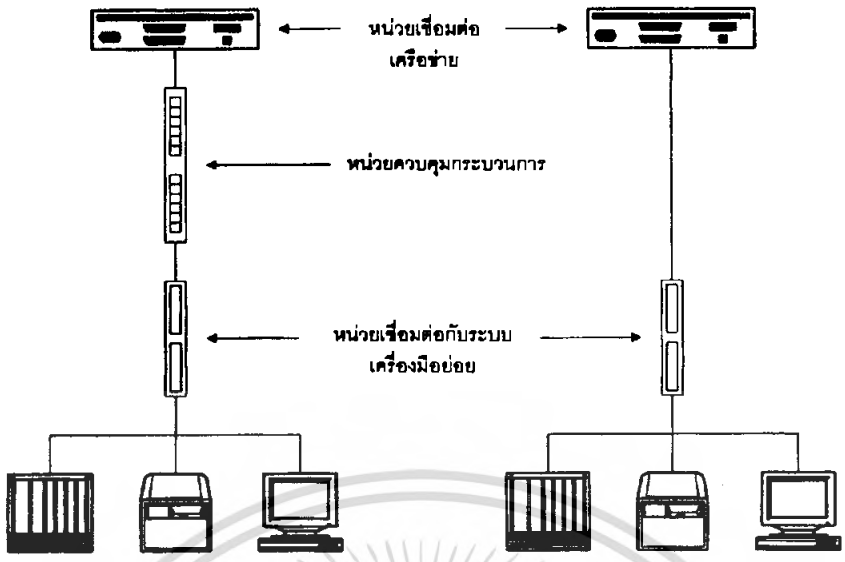
หน่วยส่งสัญญาณอนาลอก คือ อุปกรณ์สำหรับส่งสัญญาณควบคุมชนิดอนาลอกจากดีซีเอสไปยังกระบวนการผลิต เช่น วาล์วควบคุม และมอเตอร์ไฟฟ้า หน่วยส่งสัญญาณอนาลอกของดีซีเอสประกอบด้วย หน่วยส่งสัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้าและหน่วยส่งสัญญาณชนิดกระแสไฟฟ้าเพียง 2 ชนิด

หน่วยรับสัญญาณดิจิตอล คือ อุปกรณ์รับสัญญาณวัดชนิดสภาวะตรรกแสดงสภาวะการปฏิบัติงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิตของดีซีเอส เช่น การเปิดหรือปิดวงจรของสวิตช์ไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน ระดับของเหลว อุณหภูมิ หรืออุปกรณ์ตรวจวัดชนิดอื่นๆ หน่วยรับสัญญาณดิจิตอลของดีซีเอส ประกอบด้วย หน่วยรับสัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ สภาวะตรรกระดับ 0 หรือ 5 โวลต์ จากวงจรชนิดดิจิตอลและการเปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้าของหน้าสัมผัสต่างๆ

**2.1.3.4 หน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อย**

หน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อย เป็นอุปกรณ์สำหรับติดต่อกับเครื่องมือวัดและเครื่องมือควบคุมระบบอื่นโดยวิธีรับและส่งข้อมูลชนิดดิจิตอล และติดต่อกับเครื่องมืออื่นโดยวิธีเชื่อมต่อแบบขนาน วิธีเชื่อมต่อแบบอนุกรม หรือวิธีสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายย่อยของดีซีเอส การติดต่อระหว่างหน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อยของดีซีเอสกับเครื่องมือวัดและเครื่องมือควบคุมระบบอื่นในกระบวนการผลิตของดีซีเอสมีวิธีคล้ายคลึงกับกับหน่วยเชื่อมต่อรหัสแอสกี แต่วัตถุประสงค์ของการเชื่อมต่อระหว่างดีซีเอสกับระบบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ภายนอกแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.6** การเชื่อมต่อกับหน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อย

**2.1.3.5 หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงาน**

หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงาน คือ อุปกรณ์ติดต่อระหว่างดีซีเอสกับผู้ใช้ระดับพนักงานควบคุมและปฏิบัติการ สำหรับผู้ใช้สามารถตรวจสอบสภาพของกระบวนการผลิตและสั่งงานสำหรับการควบคุมการบวนการผลิต หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานของดีซีเอสสามารถแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานระดับบน (high level operator interfaee) และหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานระดับล่าง (low level operator interfaee)

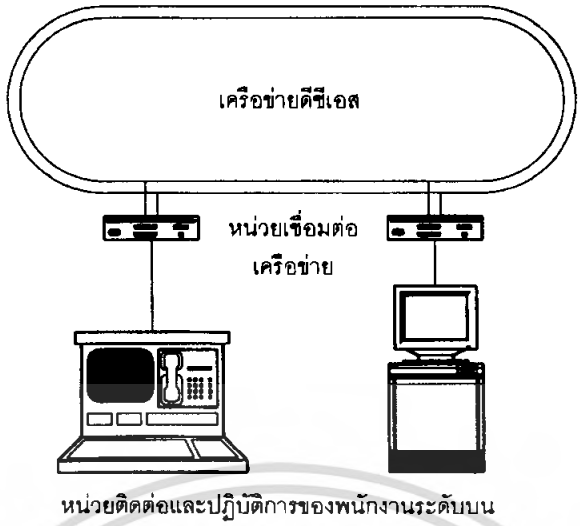
**1. หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานระดับบน**

หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานระดับบนเป็นอุปกรณ์สำหรับติดต่อกับพนักงานควบคุมและปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตโดยเชื่อมต่อกับหน่วยเชื่อมต่อเครือข่ายของดีซีเอส

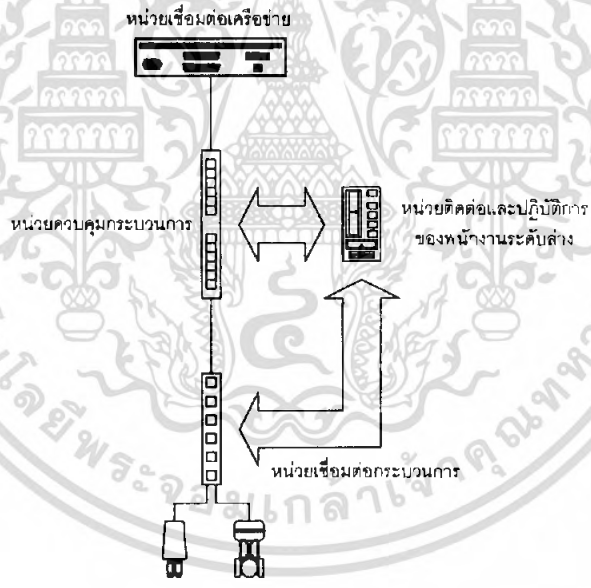
**2. หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานระดับล่าง**

หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานระดับล่างเป็นเครื่องมือติดต่อระหว่างดีซีเอสกับพนักงานควบคุมและปฏิบัติการสำหรับตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต โดยเชื่อมต่อหน่วยติดต่อและปฏิบัติการกับพนักงานระดับล่างกับหน่วยควบคุมกระบวนการและหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการของดีซีเอสในบริเวณกระบวนการผลิตโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.7** การติดตั้งหน่วยติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานระดับบน

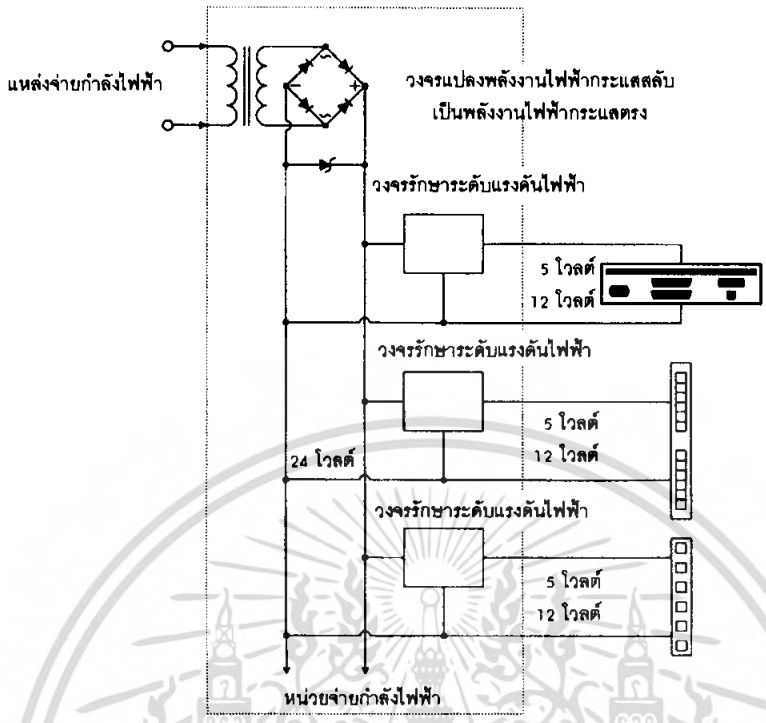



**รูปที่2.8** การติดตั้งหน่วยติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานระดับล่าง

**2.1.3.6 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า**

หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องมือสำหรับเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสในโรงงานอุตสาหกรรม การปฏิบัติงานของเครื่องมือและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสจำเป็นต้องได้รับกำลังไฟฟ้าเฉพาะของดีซีเอส เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้สม่ำเสมอและเหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานของเครื่องมือต่างๆตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.9** โครงสร้างและส่วนประกอบภายในของหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า

**2.1.3.7 เครื่องมือสำหรับติดต่อระหว่างดีซีเอสกับพนักงานติดตั้งในบริเวณห้องควบคุมแทนแผงควบคุมเดิม**

ทำหน้าที่เป็นหน่วยติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงาน คือเครื่องมือสำหรับทำหน้าที่เป็นหน่วยติดต่อระหว่างดีซีเอสกับผู้ใช้ เพื่อให่ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสภาพการปฏิบัติงานของระบบควบคุมและกระบวนการผลิต และป้อนคำสั่งหรือข้อมูลสำหรับให้เครื่องมือและระบบควบคุมนำไปปฏิบัติเพื่อควบคุมและดูแลกระบวนการผลิต ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องและปฏิบัติงานร่วมกับดีซีเอสโดยตรง คือผู้ใช้ระดับวิศวกรและผู้ใช้ระดับพนักงาน ผู้ใช้ระดับวิศวกรของดีซีเอส ทำหน้าที่ออกแบบระบบควบคุม ดูแลการติดตั้งเครื่องมือวัดและเครื่องมือควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมและรับผิดชอบในการดูแลรักษาเครื่องมือต่างๆให้เรียบร้อยตลอดเวลา ผู้ใช้ระดับพนักงาน คือพนักงานควบคุมและปฏิบัติการ ทำหน้าที่ตรวจสอบและควบคุมการผลิตให้เรียบร้อยตลอดเวลา

จอภาพของดีซีเอสสามารถแสดงภาพจำลองกระบวนการผลิตและเครื่องมือต่างๆ ในระบบควบคุมเช่น กระดาษบันทึกสัญญาณ หน้าปัดของเครื่องวัดและเครื่องควบคุม ทำให้พนักงานสามารถตรวจสอบข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆ บนจอภาพของดีซีเอส เช่นเดียวกันกับการตรวจสอบข้อมูลบนแผงควบคุมบนของระบบควบคุมเดิม สำหรับการควบคุมการผลิตพนักงานสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั่งงานได้โดยใช้แป้นพิมพ์เลือกจอแสดงภาพกระบวนการผลิตและเครื่องมือที่ต้องการ และสั่งงานบนจอภาพแทนการปรับเครื่องควบคุมแบบเดิม

จอภาพของดีซีเอสอาจจะมีหลายจอภาพด้วบกันเพื่อให้พนักงานที่ใช้งานได้สามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตและเครื่องมือต่างๆ ในระบบควบคุมจอภาพของ ดีซีเอสดังนี้

**1. ภาพกระบวนการผลิตรวม** คือจอภาพแสดงภาพรวมของกระบวนการผลิต จะแสดงข้อมูลการปฏิบัติงานของเครื่องควบคุมให้กับพนักงานทราบโดย แสดงเพียงข้อมูลความแตกต่างระหว่างเป้าหมายควบคุมกับสภาพกระบวนการ

**2. กลุ่มกระบวนการ** คือจอภาพแสดงข้อมูลของเครื่องมือในกระบวนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน หรือเครื่องมือที่มีความสัมพันธ์กันทางใดทางหนึ่ง ภาพกลุ่มกระบวนการแสดงข้อมูลในกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับแผงหน้าปัดของเครื่องมือวัดที่ติดตั้งเรียงเป็นแถวในห้องควบคุม

**3. หน่วยเครื่องมือ** คือจอภาพแสดงข้อมูลของเครื่องมือวัดหรือเครื่องมือควบคุมในกระบวนการผลิตของดีซีเอส ข้อมูลของหน่วยเครื่องมือประกอบด้วย ชื่อและรหัสของเครื่องมือ รายละเอียดของเครื่องมือ หน้าที่ คุณสมบัติ หน่วยทางวิศวกรรม ระดับช่วงการวัดสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องมือ

**4. ภาพแนวโน้มกระบวนการ** คือ จอภาพแสดงเส้นกราฟของข้อมูลจากตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิต เช่นเดียวกับ กระดาษบันทึกของเครื่องบันทึกสัญญาณ เพื่อแสดงแนวโน้มของกระบวนการ

**5. ภาพจำลองกระบวนการ** คือ จอภาพแสดงกระบวนการผลิตบนจอภาพของดีซีเอส การจำลองภาพกระบวนการของดีซีเอส ประกอบด้วย รูปภาพ สัญลักษณ์ ตัวอักษร และตัวเลข ภาพจำลองกระบวนการแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหว ภาพนิ่งคือภาพจำลองเครื่องมือเครื่องจักร ส่วนที่ไม่ต้องการให้เปลี่ยนแปลงตามสภาพของกระบวนการผลิตภาพ เคลื่อนไหว คือภาพที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาพของกระบวนการผลิตให้เห็นบนจอภาพ เช่น ระดับของเหลว สีของเครื่องมือและอุปกรณ์ ตัวเลขและข้อมูลในกระบวนการผลิต

**6. สัญญาณเตือนเหตุการณ์** คือ จอภาพแสดงเหตุการณ์ผิดปกติ หรือเหตุการณ์สำคัญ เช่น การเตือนเมื่อตัวแปรในกระบวนการผลิตมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปหรือเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าปกติ หรือหน้าสัมผัสของอุปกรณ์วงจรเปิด-ปิดของวงจรไฟฟ้า สัญญาณเตือนของดีซีเอสจะประกอบด้วยสัญญาณเสียงและข้อความบนจอภาพ

การใช้ดีซีเอสในโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีหน้าจอแสดงผลอย่างน้อย 3 ส่วนหลักๆคือ ภาพจำลองกระบวนการ จอภาพแสดงกระบวนการผลิตรวม จอภาพแสดงสัญญาณเตือน การตั้งหน้าจอดีซีเอสควรมีหน้าจอแสดงผลสามหน้าจอหลักนี้ แต่ถ้ากระบวนการผลิตมีขนาดใหญ่อาจมีหน้าจอที่ใหญ่กว่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยเก็บข้อมูลและประวัติกระบวนการ จะอยู่ในหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงาน เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบและสรุปผลของการปฏิบัติงานของพนักงานและระบบควบคุม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับปรับปรุงแก้ไขระบบในภายหลัง

## 2.2 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ

### 2.2.1 ส่วนประกอบของกระบวนการ

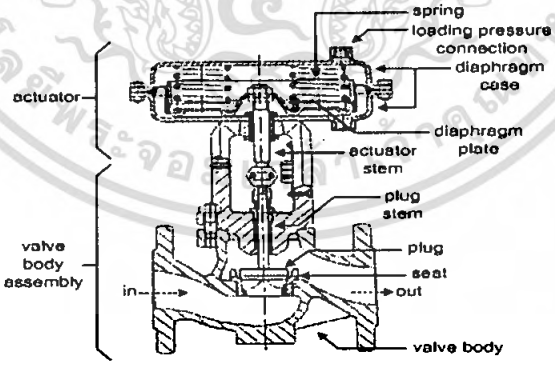
#### 2.2.1.1 วาล์วควบคุม

เป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) ที่เชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุม กับกระบวนการ และยังเป็นตัวชดเชยกระบวนการได้ด้วย วาล์วควบคุมประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

**1. ตัวขับเคลื่อนวาล์วควบคุม (Actuator)** ประกอบด้วย ไดอะแฟรมเคส (Diaphragm Case) ไดอะแฟรมเพลท (Diaphragm) และสปริง (spring)

**2. ตัววาล์ว (Valve body )** ประกอบด้วยซีท (Seat) และปลั๊ก (Plug) ทำหน้าที่บังคับพื้นที่ของเหลวให้ไหลมากหรือน้อยตามการเปิดของวาล์ว โดยตัวขับเคลื่อนวาล์วจะควบคุมการขึ้นลงของปลั๊กให้นั่งที่ซีทตามสัญญาณควบคุม เป็นการบังคับพื้นที่ให้ของเหลวไหลผ่านเพื่อควบคุมการไหล

ทั้งตัวขับเคลื่อนและตัววาล์วสามารถออกแบบให้ทำงานแบบทางตรง(Direct-Normally Open) และแบบกลับทาง (Reverse-Normally Close)




**รูปที่ 2.10** แสดงส่วนประกอบของวาล์วควบคุม

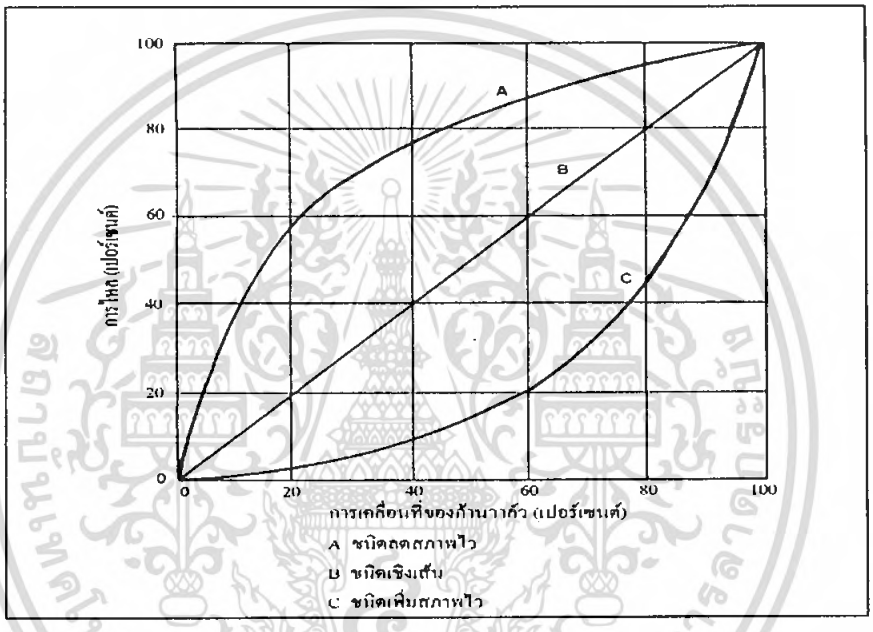
สมบัติการไหลเฉพาะ (Flow characteristics) ของวาล์วแบบก้านวาล์วเคลื่อนที่เชิงเส้นมีสามประเภท ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งวาล์ว การเคลื่อน จังหวะ หรือการเปิดวาล์วเทียบกับผลการไหล ประเภทของวาล์ว มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ควิคโอพะนิง (Quick opening) วาล์วประเภทนี้มีสภาพไว (การเปลี่ยนแปลงการไหลต่อการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งวาล์วที่กำหนด) ลดลงเมื่อเพิ่มการไหล

2 เชิงเส้น (Linear) วาล์วประเภทนี้มีสภาพไวมากหรือน้อยคงที่ตลอดช่วงการไหล

3 อิแคว็ลเปอร์เซ็นต์เทจ (Equal percentage) วาล์วประเภทนี้กำเนิดมาจากว่าสภาพไว ณ อัตราไหลใด ๆ ที่กำหนดจะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เทจคงที่ของอัตราไหลที่กำหนดให้ หรือเมื่อจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการเปิดวาล์วเพิ่มขึ้นเท่าๆ กันทุกครั้ง ทำให้การไหลแต่ละครั้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ สองเท่าโดยประมาณของการไหลก่อนมีการเพิ่มการเปิดวาล์ว




**รูปที่ 2.11 สมบัติการไหลเฉพาะของวาล์ว**

**2.2.1.2 อุปกรณ์วัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure Transmitter)**

ความดันดิฟเฟอเรนเชียลมีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น วัดอัตราการไหล วัดระดับของเหลว วัดค่าความหนาแน่นของของเหลว ในปัจจุบันอุปกรณ์สำหรับวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลพร้อมทรานสมิตเตอร์(Transmitter) ได้รับการออกแบบให้อยู่ในแคปซูลเดียวกัน มีชื่อเรียกย่อๆว่า ดีพีทรานสมิตเตอร์(dP Transmitter) ในส่วนที่เป็นตัววัดค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล อาศัยหลักการหลายอย่าง เช่น สมดุลแรง(Force Balanced) ใช้ไดอะแฟรมเคสเปลี่ยนค่าอินดักแตนซ์(Inductance) ฯลฯ ในส่วนของทรานสมิตเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ให้สัญญาณเอาท์พุตเป็นกระแสหรือในรูปของแรงดัน ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถส่งสัญญาณนี้ไปยังเครื่องบันทึก เครื่องควบคุมหรือชี้บอกค่าได้หลายอย่างพร้อมกันในระยะที่ห่างออกไปจากจุดที่วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มาก ดีพีทรานสมิตเตอร์ ในปัจจุบันนี้ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น เช่น ทนต่อสภาพแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นได้ดี ให้ผลการทำงานที่ดี มีความเที่ยงตรงสูง ลิเนียริตี้(Lincarity)ดี การเปลี่ยนค่าของความดันสถิต(Static Pressure) มีผลน้อยต่อการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลค่าเดียวกัน เอาท์พุตของทรานสมิตเตอร์จะถูกกำหนดให้อยู่มาตรฐานเดียวกันโดยสมาคมผู้ผลิตดังนี้

- เอาท์พุตแบบนิวแมติกส์ 3-15 Psi
- เอาท์พุตแบบกระแส 4-20 mA
- เอาท์พุตแบบโวลเตจ 1-5 Volt

**รูปที่ 2.12** แสดงดีพีทรานสมิตเตอร์

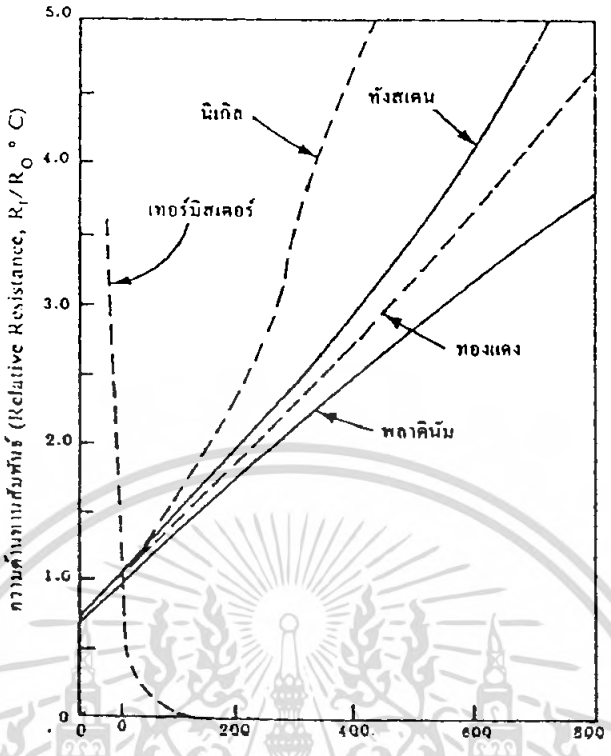
**2.2.1.3 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detectors:RTD)**

อาร์ทีดีทำด้วยลวดโลหะทีมีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานตามที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0° C ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว เช่น อะลูมินาบริสุทธิ์ สิ่งที่ต้องคำนึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิต คือขณะใช้งาน ขดลวดนี้จะต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความสั่นสะเทือนได้ สภาพภายนอกของอาร์ทีดีเหมือนเทอร์โมคัปเปิล (Thermo couple) อาร์ทีดีจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (Sheath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง






**รูปที่2.13** กราฟแสดงอาร์ทีดี

จากรูปเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีดีที่ทำจากโลหะชนิดต่างๆ แกนตั้งจะบอกว่า ความต้านทานที่อุณหภูมิ T ($R_t$) จะมีค่าเป็นกี่เท่าของความต้านทานที่ 0°C อาร์ทีดีแบบพลาตินัม เป็นแบบที่ใช้มากที่สุดในงานอุตสาหกรรม มีค่ามาตรฐาน 100 โอห์ม ที่ 0° C และถูกใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป หรือเรียกว่าแบบ Standard Platinum Resistance-Thermometer (SPRTs) ในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 600° C ควรใช้ อาร์ทีดีพลาตินัมแบบ 10 โอห์ม เพราะให้เสถียรภาพดีกว่าแบบ 100 โอห์ม

นิกเกิล อาร์ทีดี ไม่ใช่แบบมาตรฐานเหมือนพลาตินัม เพราะต่างบริษัทก็กำหนดความต้านทานที่ 0° C ต่างกันไป ทำให้การเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ทรานสมิตเตอร์ เครื่องควบคุมเฉพาะของบริษัทนั้นๆ นิกเกิลอาร์ทีดีวัดอุณหภูมิได้ไม่สูงเท่ากับพลาตินัม ย่านการใช้งานอยู่ในช่วง -195° C ถึง 360° C ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าแบบพลาตินัม แต่ให้ลิเนียริตี้ดีกว่าแบบพลาตินัม

อาร์ทีดีแบบทองแดงเป็นแบบที่ให้ลิเนียริตี้ในการวัดดีที่สุดแต่ย่านการใช้งานแคบประมาณ -200° C ถึง 150° C และความต้านทานจำเพาะต่ำ ปกติจะมีความต้านทาน 10 โอห์ม ที่ 0° C ค่าผิดพลาด ± 0.25° C

อาร์ทีดีแบบทังสเตน ก็มีใช้อยู่บ้าง แต่ไม่แพร่หลาย เพราะมีเสถียรภาพไม่ดี แต่มีข้อดีคือมีความแข็งแรง (Strength) สูงกว่าแบบอื่นๆ ทนอุณหภูมิได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72143

อาร์ทีดีแบบพลาตินัม 100 โอห์ม จะเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์มต่อ 1° C ในการใช้งานปกติมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Current source) 1 mA. เลี้ยงอาร์ทีดีอยู่ทุกๆ 1° C ที่เปลี่ยนจะทำให้เกิดค่าโวลเตจ เปลี่ยน 0.385 mV. ซึ่งมากกว่าเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ถึง 10 เท่า ดังนั้น ที่สัญญาณรบกวนค่าเดียวกันจะมีผลต่ออาร์ทีดีน้อยกว่าเทอร์โมคัปเปิล

อาร์ทีดีจำเป็นต้องมีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงตัวมันอยู่จำนวนหนึ่ง ถ้ามีค่ามากขึ้น แรงดันเอาท์พุตก็จะสูงขึ้น แต่กระแสจำนวนนี้ก็สร้างความร้อนขึ้นในตัวอาร์ทีดีเองด้วย

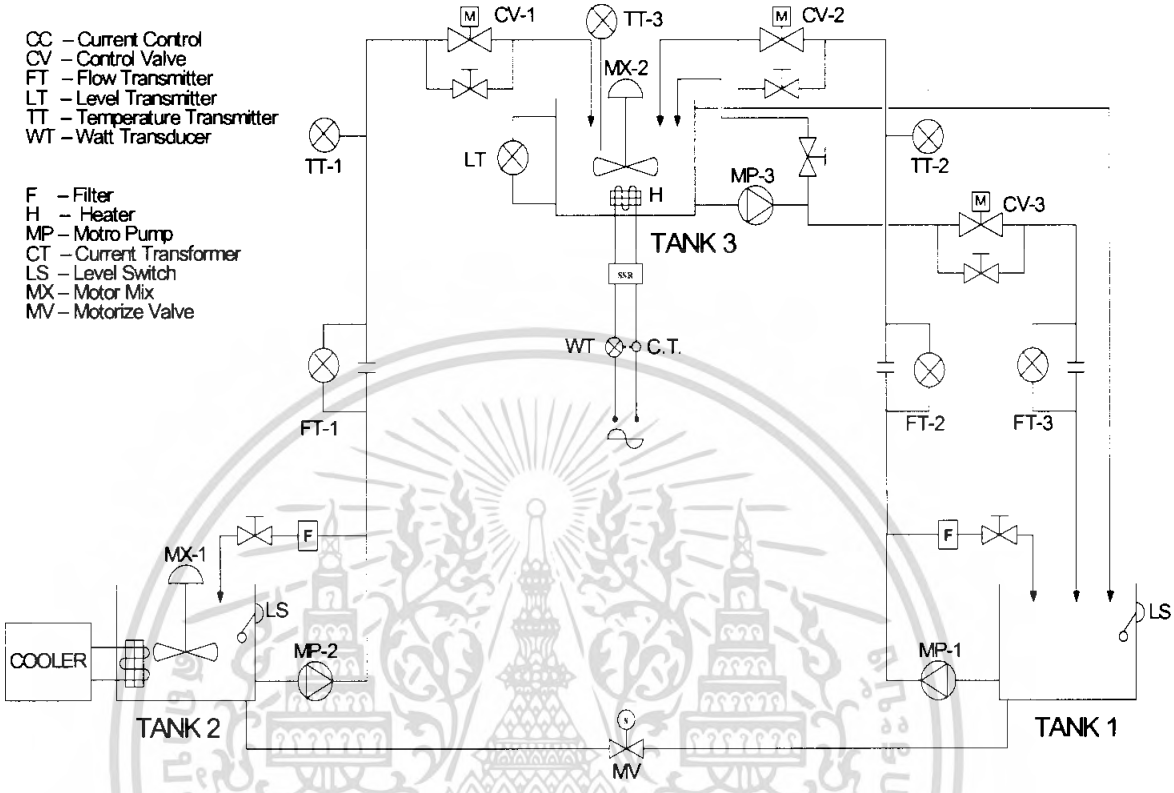
**รูปที่ 2.14** แสดงอาร์ทีดี

**2.2.1.4 แหล่งจ่ายลูปกระแส (Current Loop Supply)**

คือ Supply ตัวหนึ่งที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายแรงดัน 24V ให้กับอุปกรณ์ มีกระแสวนในลูป 4-20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ




**รูปที่2.15** โครงสร้างของกระบวนการ

จากโครงสร้างของกระบวนการ จะทำการควบคุมระดับของเหลวภายในถังน้ำหมายเลข 3 เปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิ ณ ปัจจุบันกับค่าของอุณหภูมิที่กำหนด โดยอุณหภูมิที่กำหนดสูงกว่าค่าจริงจะทำการสั่งให้มอเตอร์ปั๊มหมายเลข 1 ทำการปั๊มน้ำจากถังน้ำหมายเลข 1 ไปยังถังน้ำหมายเลข 3 โดยผ่านโฟลมิเตอร์หมายเลข1 เพื่อทำการวัดอัตราการไหล และควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมหมายเลข 1 เพื่อควบคุมระดับของเหลวภายในถังน้ำหมายเลข 3 ถ้าอุณหภูมิที่กำหนดต่ำกว่าค่าจริงจะทำการสั่งให้มอเตอร์ปั๊มหมายเลข 2 ทำการปั๊มน้ำจากถังน้ำหมายเลข 2 ไปยังถังน้ำหมายเลข 3 โดยผ่านโฟลมิเตอร์หมายเลข2 เพื่อทำการวัดอัตราการไหล และควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมหมายเลข 2 เพื่อควบคุมระดับของเหลวภายในถังน้ำหมายเลข 3 ขณะที่มีการควบคุมระดับของเหลวภายในถังน้ำหมายเลข 3 โดยจะมีการสั่งให้มอเตอร์ปั๊มหมายเลข 3 ทำการปั๊มน้ำจากถังน้ำหมายเลข 3 ไปยังถังน้ำหมายเลข 1 โดยผ่านโฟลมิเตอร์หมายเลข3 เพื่อทำการวัดอัตราการไหล และควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วควบคุมหมายเลข 3 ตลอดเวลา และระดับของถังน้ำหมายเลข 2 จะขึ้นอยู่กับถังน้ำหมายเลข1 ถ้าระดับน้ำในถังน้ำหมายเลข 1 สูงกว่าถังน้ำหมายเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 น้ำจะไหลเข้าสู่ถังน้ำหมายเลข 2 และถ้าระดับน้ำในถังน้ำหมายเลข 2 สูงกว่าถังน้ำหมายเลข 1 น้ำก็จะไหลไปยังถังน้ำหมายเลข 1 เนื่องจากเป็นการควบคุมระดับของเหลว วาล์วเปิดและปิดจะทำการเปิดตลอด เพื่อให้ระดับน้ำในถังน้ำทั้งสองสมดุลกัน

การควบคุมอุณหภูมิภายในถังน้ำหมายเลข 3 ทำได้โดยการสั่งให้ฮีสเตอร์ภายในถังน้ำหมายเลข 3 ทำงานเมื่อต้องการเพิ่มอุณหภูมิภายในถังน้ำหมายเลข 3 และเมื่อต้องการลดอุณหภูมิลงจะใช้น้ำเย็นภายในถังน้ำหมายเลข 2 เพื่อลดอุณหภูมิลง

## 2.3 โครงสร้างและการใช้งานเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้

### 2.3.1 ประวัติความเป็นมาโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Control)

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือชื่อย่อๆที่ใช้เรียกขานทัพศัพท์ กันในเชิงพาณิชย์ทั่วๆไปก็คือพีแอลซี (PLC) ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1968 โดยกลุ่มวิศวกร Hydramatic division ของบริษัท General Motors Corporationsเนื่องจากมีความต้องการที่จะสร้างอุปกรณ์ควบคุมมาทดแทนการใช้รีเลย์ในการ ควบคุมสำหรับโรงงานประกอบรถยนต์ ซึ่งจะต้องสามารถรองรับการประกอบรถยนต์ รุ่นใหม่ๆ ได้ตลอดเวลา

ลักษณะของอุปกรณ์ควบคุมที่สร้างขึ้นมามีจุดเด่นดังนี้

1. ใช้การเขียนโปรแกรมในการสร้างฟังก์ชั่นการทำงานแทนการใช้สายไฟฟ้าในการสร้าง ฟังก์ชั่นเพื่อควบคุมการทำงานของระบบดังนั้นจึงเหมาะกับงานที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือ แก้ไข ฟังก์ชั่นการควบคุม อยู่ตลอดเวลา
2. มีประสิทธิภาพในการควบคุม และมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเทียบกับการใช้ รีเลย์ในการควบคุม
3. การดูแลรักษา และ การซ่อมบำรุง ทำได้ง่าย และค่าใช้จ่ายต่ำ
4. ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รีเลย์

ในระยะแรกได้มีการพัฒนานำเอาอุปกรณ์อีเลคทรอนิคส์เข้ามาใช้ในการสร้าง พีแอลซี หลังจากนั้น ในปี ค.ศ. 1970 จึงได้มีการพัฒนานำเอาไมโครโปรเซสเซอร์ มาใช้ในการประมวลผล ทำให้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มีความสามารถและขอบเขตการใช้งานมากขึ้น เช่น การประมวลผลฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ ซึ่งทำให้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะทำการควบคุมอุปกรณ์ ที่มีลักษณะเป็นสัญญาณแอนะลอก(Analog Signal) และสามารถทำการสื่อสารกับระบบคอมพิวเตอร์ต่างๆ ได้และจากการพัฒนาโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1975 ได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอร์ฟแวร์ มาใช้กับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ทำให้ความสามารถในการทำงานเพิ่มสูงขึ้น เช่น มีหน่วยความจำเพิ่มขึ้น สามารถติดต่อกับอินพุทและเอ้าท์พุทแบบระยะไกล (Remote input/output) สามารถใช้หน่วยประมวลผลจำนวนหลายตัว (Multi-processor) ร่วมกันประมวลผลโปรแกรม สามารถทำการควบคุมโดยใช้โมดูลแบบพิเศษ (Intelligent module) และนอกจากนั้นในปัจจุบัน โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ยังสามารทำการติดต่อสื่อสารข้อมูลเป็นโครงข่ายผ่าน Ethernet Protocol Profibus และ ASI-bus เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่า เราสามารถที่จะนำข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาใช้ในการตัดสินใจ และสามารถที่จะควบคุมการผลิตตามแผนการที่กำหนดโดยผู้บริหารได้อย่างรวดเร็วผ่านการสื่อสารแบบต่างๆและนอกจากนั้นยังทำให้สามารถ ที่จะติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ผลิตมาจากบริษัทต่างๆกันได้

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ตามมาตรฐานของ IEC 1131 PART1 ระบบปฏิบัติการทางด้านดิจิตอลออกแบบมาให้ใช้งานในอุตสาหกรรม ซึ่งใช้หน่วยความจำที่สามารถโปรแกรมได้ในการเก็บคำสั่งที่ผู้ใช้กำหนดขึ้น (User Program) เพื่อเป็นเครื่องมือในการกำหนดฟังก์ชั่นหรือเงื่อนไขในการทำงานเช่น การทำงานแบบลอจิก การทำงานแบบซีเควนซ์ การใช้งานไทม์เมอร์ การใช้งานเคาน์เตอร์ และฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ เพื่อควบคุมอุปกรณ์ดิจิตอลอินพุทและเอ้าท์พุท หรือแอนะลอก อินพุท และเอ้าท์พุท ของเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตต่างๆ นอกจากนั้น ทั้งระบบพีแอลซีและอุปกรณ์ภายนอกที่ใช้งาน จะต้องสามารถเชื่อมต่อหรือสื่อสารกับระบบควบคุมทางอุตสาหกรรม เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ และใช้งานร่วมกันได้ง่าย

**2.3.2 ชนิดของพีแอลซี**

เราสามารถจำแนก PLC ตามโครงสร้างภายนอกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**2.3.2.1 พีแอลซีชนิดบล็อก (Block Type PLCs)**

พีแอลซีประเภทนี้ จะรวมส่วนประกอบทั้งหมดของ พีแอลซีอยู่ในบล็อกเดียวกันไม่ว่าจะเป็นตัวประมวลผล หน่วยความจำ ภาคอินพุต/เอาต์พุต และแหล่งจ่ายไฟ สามารถแสดงตัวอย่างพีแอลซี ชนิดบล็อก

**รูปที่2.16** แสดงชนิดของพีแอลซีแบบชนิดบล็อก (Block Type PLC)

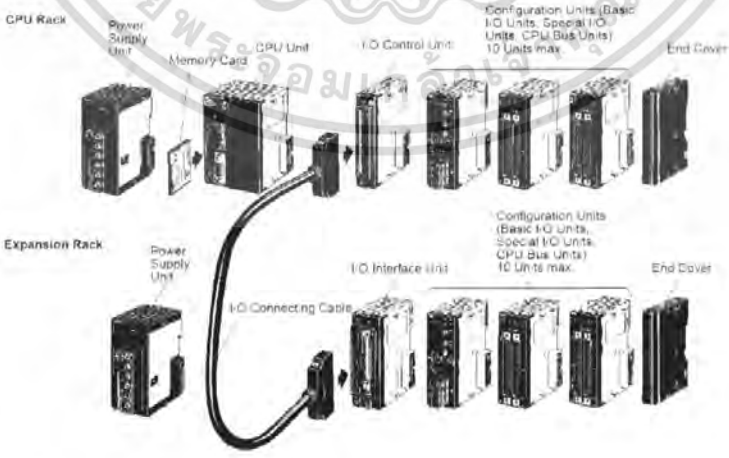
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.2.2 พีแอลซีชนิดโมดูล (Modular Type PLCs) หรือแร็ค (Rack Type PLCs)**

พีแอลซีชนิดนี้ ส่วนประกอบแต่ละส่วนสามารถแยกออกจากกันเป็นโมดูล(Modules) เช่นภาค อินพุต/เอาต์พุต จะอยู่ในส่วนของโมดูลอินพุต/เอาต์พุต(Input/Output Units) ซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ว่าจะใช้โมดูลขนาดกี่อินพุต/เอาต์พุต ซึ่งมีให้เลือกใช้งานหลายรูปแบบ อาจจะใช้เป็นอินพุต อย่างเดียวขนาด 8 /16 จุด หรือ เป็นเอาต์พุตอย่างเดียวขนาด 4/8/12/16 จุด ขึ้นอยู่กับรุ่นของพีแอลซี ด้วยในส่วนของตัวประมวลผลและหน่วยความจำจะรวมอยู่ในซีพียูโมดูล (CPU Unit) สามารถ เปลี่ยนขนาดของซีพียูโมดูล ให้เหมาะสมตามความต้องการใช้งาน เช่น พีแอลซีรุ่น C200H จะมีซีพียูให้เลือกใช้งานหลายรุ่นเช่นรุ่น C200HE-CPU11E จะมีความแตกต่างกับ พีแอลซีรุ่น C200HX-CPU65 (ทั้งสองรุ่นเป็นพีแอลซีตระกูล C200H เหมือนกัน) ตรงขนาดความจุของโปรแกรม การเพิ่มจำนวนอินพุต/เอาต์พุต เป็นต้นส่วนประกอบต่างๆของพีแอลซีชนิดโมดูล ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น เมื่อต้องการใช้งานจะถูกนำมาต่อร่วมกันบางรุ่นใช้เป็นคอนเนคเตอร์ในการเชื่อมต่อกันระหว่างยูนิต เช่นรุ่น CQM1/CQM1H หรือ CJ1M/H/G สามารถยกตัวอย่างพีแอลซีชนิดโมดูล ให้เห็นดังรูป 2.17

**รูปที่2.17** แสดงชนิดของพีแอลซีชนิดโมดูลรุ่นซีคิวเอ็มวัน

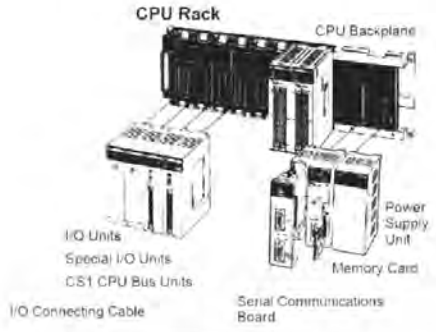
ยกตัวอย่างพีแอลซีรุ่น CJ1M/H/G จะใช้คอนเนคเตอร์ในการเชื่อมต่อแต่ละโมดูลเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้ สามารถแสดงให้เห็นดังรูป 2.18




**รูปที่2.18** แสดงชนิดของพีแอลซีชนิดโมดูล ที่ใช้คอนเนคเตอร์ในการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างพีแอลซี รุ่น C200H และ CS1 จะใช้แผ่นเชื่อมต่อ (Backplane)ในการเชื่อมต่อแต่ละโมดูลเข้าด้วยกัน เพื่อให้ทำงานร่วมกันได้สามารถแสดงให้เห็นดังรูป 2.19




**รูปที่2.19** แสดงชนิดของพีแอลซีชนิดโมดูล ที่ใช้แผ่นเชื่อมต่อ (Backplane)ในการเชื่อมต่อ

**ตารางที่2.1** ข้อดีข้อเสียของพีแอลซีชนิดโมดูล

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. เพิ่มขยายระบบได้ง่ายเพียงแค่ติดตั้งโมดูลต่างๆที่ต้องการใช้งานลงไปบนแผ่นเชื่อมต่อ | 1.ราคาแพงเมื่อเทียบกับพีแอลซี แบบบล็อก |
| 2. สามารถขยายจำนวนอินพุต/เอาต์พุตได้มากกว่าแบบบล็อก | |
| 3. อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตเสียจุดใดจุดหนึ่ง สามารถถอดเฉพาะโมดูลนั้นๆ | |
| 4. มียูนิต และรูปแบบการติดต่อสื่อสารให้เลือกใช้งานมากกว่าแบบบล็อก | |

จะเห็นว่าพีแอลซีแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันพีแอลซีนที่ใหญ่ขึ้น จะมีคุณสมบัติและฟังก์ชันพิเศษอื่นๆ มากกว่าพีแอลซีรุ่นเล็กซึ่งสามารถเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่2.2** เปรียบเทียบคุณสมบัติของพีแอลซี

| คุณสมบัติ | รุ่น | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **CPM1A** | **CPM2A** | **CQM1** | **CS1** |
| **จำนวนอินพุต/เอาต์พุต(Max.)** | 100 จุด | 120 จุด | 512 จุด | 5120จุด |
| **ความจุโปรแกรม(Max.)** | 2 KWords | 4 KWords | 15 KWords | 250 KWords |
| **ความเร็วในการประมวลผล** | 0.72 S | 0.64 S | 0.375 S | 0.04 S |
| **ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์** | 128 | 256 | 512 | 4096/4096 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

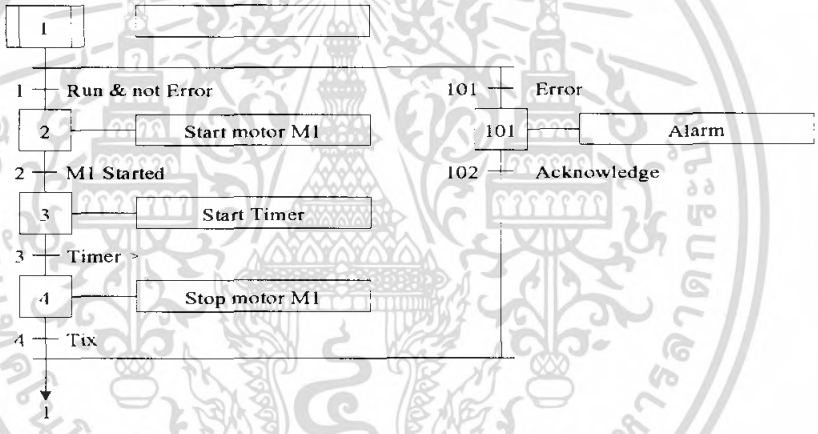
**ตารางที่2.2 (ต่อ)**

| หน่วยความจำในส่วนของ DM | 1024 Words | 2048 Words | 6144 Words | 32768 Words |
|---|---|---|---|---|
| ระบบสื่อสาร | •CompoBus/S<br>•Host Link<br>•NT Link<br>•1:1 Link | •CompoBus/S<br>•Host Link<br>•NT Link<br>•1:1 Link | •Controller Link<br>•CompoBus/D<br>•AS-I<br>•Protocol Macro | •Ethernet<br>•Sysmac Link<br>•Profibus-DP<br>•Modbus |

### 2.3.3 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซี

พีแอลซีแต่ละยี่ห้อจะใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งให้พีแอลซีทำงานตามความต้องการแตกต่างกัน ซึ่งตามมาตรฐาน IEC1131-3 แบ่งมาตรฐานภาษาต่างๆออกเป็น 5 แบบ คือ

#### 2.3.3.1 ภาษา Sequential Flow Chart



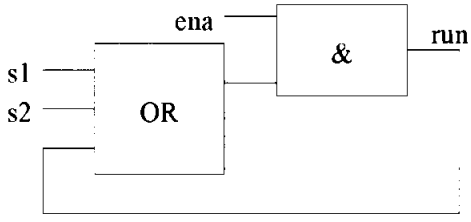

**รูปที่2.20** ภาษา Sequential Flow Chart

#### 2.3.3.2 ภาษา Structure Text

```
D := B*A -4*A*C ;
IF D< 0.0 THEN Nroots := 0 ;
ELSIF D = 0.0 THEN
Nroots := 1 ;
X1 :=  -B/(2.0*A) ;
ELSE Nroots := 2 ;
X1 := (-B+SQRT(D))/(2.0*A) ;
X2 := (-B-Sqrt(D))/(2.0*A) ;
END_IF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.3.3 ภาษา Function Block Diagram**

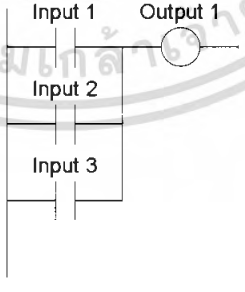



**รูปที่2.21** ภาษา Function Block Diagram

**2.3.3.4 ภาษา Instruction List**

```
Label:   LD      a1      (*result := a1*)
         ADD(    a2      (*delayed ADD result := a2*)
         MUL(    a3      (*delayed MUL result := a3*)
         SUB     a4      (*result := a3 – a4*)
         )               (*execute delayed MUL*)
                         (* result := a1+ (a2*(a3 – a4)*a5)*)
         ADD(    a6      (*a1+ (a2*(a3 – a4)*a5)+ a6*)
         ST      res     (*store current result in res*)
```

**2.3.3.5 ภาษา Ladder Diagram**




**รูปที่2.22** ภาษา Ladder Diagram

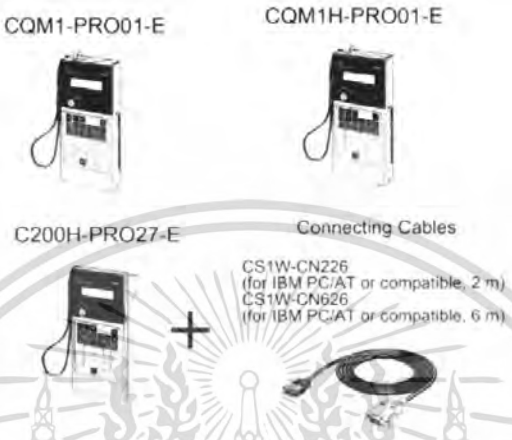
**2.3.4 อุปกรณ์สำหรับการโปรแกรม**

การสั่งให้พีแอลซีทำงาน จะต้องป้อนโปรแกรมให้กับพีแอลซีก่อน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้อนโปรแกรมให้กับพีแอลซีนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.4.1 ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ ( Hand Held Programmer )**

ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือแต่ละยี่ห้อจะมีชื่อเรียกแตกต่างกัน สามารถยกตัวอย่างให้เห็นดังรูป 2.23




**รูปที่2.23** แสดงตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ ( Hand Held Programmer )

การเขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซีโดยการใช้ ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ โดยใช้ภาษา Statement list เช่นคำสั่ง LD AND OR ซึ่งเป็นคำสั่งพื้นฐาน สามารถเรียกใช้งานโดยการกดปุ่มที่อยู่ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือนั้นเมื่อต้องการใช้งานฟังก์ชั่นอื่นๆที่มีอยู่ในพีแอลซีสามารถเรียกใช้งานได้โดยการกดปุ่มเรียกใช้คำสั่งพิเศษ การใช้ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือมีข้อดีตรงที่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้าย สามารถพกพาได้สะดวก เนื่องจากมีขนาดเล็ก แต่ก็มีข้อเสียคือการใช้งานผู้ใช้ต้องศึกษาวิธีการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ว่ามีวิธีการกดอย่างไร

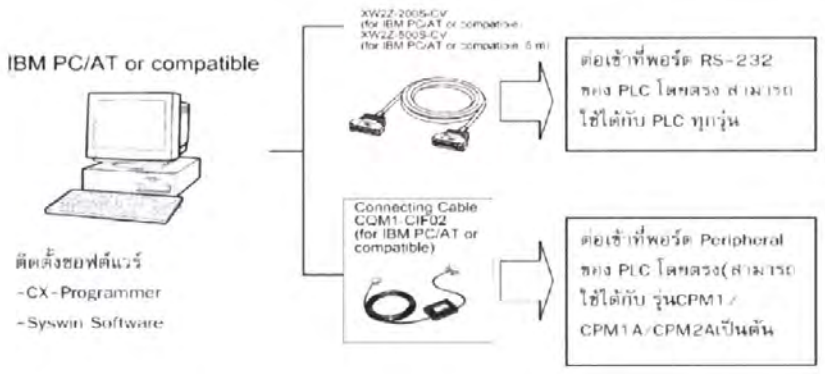
**2.3.4.2 คอมพิวเตอร์**

คอมพิวเตอร์ สามารถใช้ในการขียนโปรแกรมให้กับพีแอลซีได้ โดยใช้ร่วมกับซอฟแวร์ ( Software ) เฉพาะของพีแอลซียี่ห้อนั้นเช่น พีแอลซีของ OMRON จะใช้ซอฟต์แวร์ที่มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป สามารถยกตัวอย่างได้เช่น

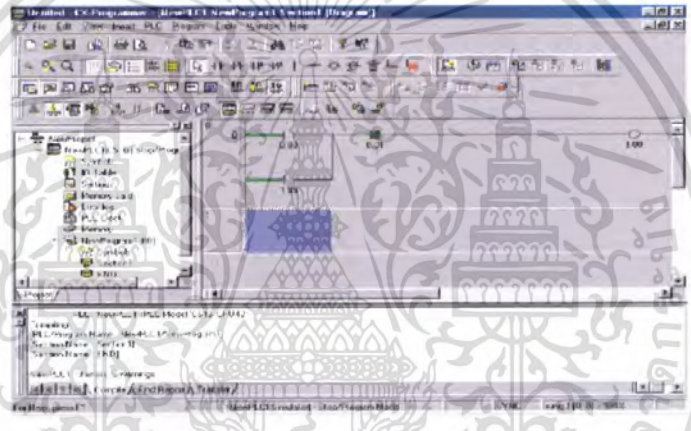
- Sysmac support software ใช้กับระบบปฏิบัติการ DOS

- Syswin support software และ CX-Programmer ใช้ได้กับระบบปฏิบัติการณ์ตั้งแต่ Window 95 ขึ้นไป หรือ Window NT ซึ่งซอฟต์แวร์ต่างๆเหล่านี้ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับพีแอลซีรุ่นใหม่ที่ผลิตขึ้นมา วิธีการต่อคอมพิวเตอร์กับพีแอลซีสามารถแสดงให้เห็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.24** แสดงวิธีการต่อใช้งานคอมพิวเตอร์กับพีแอลซี

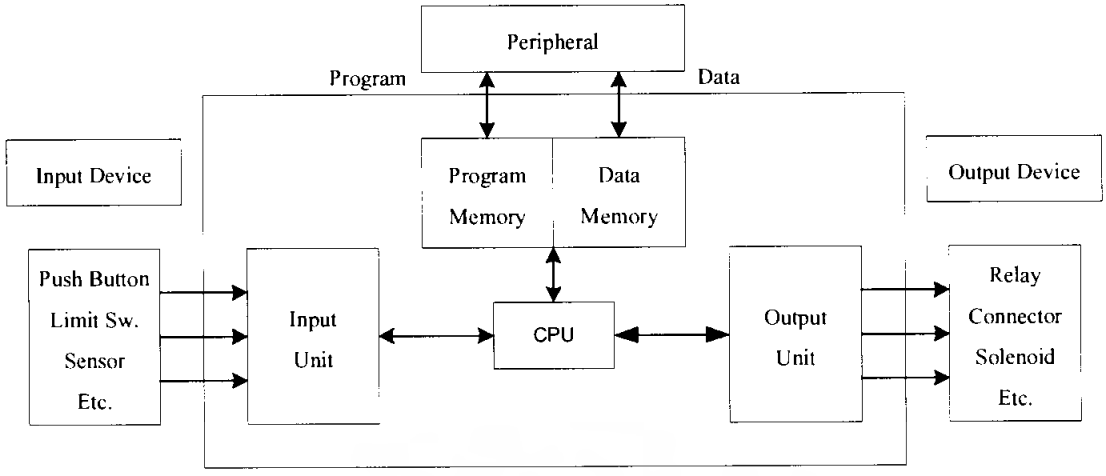


**รูปที่2.25** ตัวอย่างซอฟต์แวร์ (CX-Programmer)

### 2.3.5 โครงสร้างและส่วนประกอบของพีแอลซี

พีแอลซีเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรือระบบกระบวนการให้ทำงาน ตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ และข้อมูลต่างๆที่ได้รับจากหน่วยอินพุท/เอาท์พุตของพีแอลซี การทำงานของพีแอลซี จะเป็นได้ทั้งการทำงานตามช่วงเวลาตามลำดับขั้นตอนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และอื่นๆ โครงสร้างของพีแอลซีมีส่วนประกอบคล้ายกับคอมพิวเตอร์หรืออาจกล่าวได้ว่า พีแอลซีเป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะงานประเภทหนึ่ง ดังนั้น โครงสร้างโดยทั่วๆไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.26** แสดงโครงสร้างของพีแอลซี

โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี ที่สำคัญแบ่งได้เป็น4ส่วนคือ

-หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

-หน่วยความจำ (Memory Unit)

-หน่วยอินพุท/เอาท์พุต (Input/Output Unit)

-หน่วยติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Peripheral Device)

**2.3.5.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit)**

ซีพียูหรือหน่วยประมวลผลกลาง ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานตามคำสั่งของส่วนต่างๆ ตามที่ได้รับมา ผลจากการประมวลผลก็จะถูกส่งออกไปส่วนต่างๆ ตามที่ระบุไว้ด้วยคำสงวนเอง ซีพียูจะใช้เวลาในการประมวลผลช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดของซีพียู และขนาดของโปรแกรม ด้วย

ปกติแล้วซีพยูจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดตั้งแต่ 4 บิต 8 บิต 16 บิต 32 บิต 64 บิต หรือ 120 บิต มาทำงาน โดยที่ซีพียูแต่ละขนาดก็จะมีความสามารถจำกัดไม่เท่ากัน จึงทำให้พีแอลซีในแต่ละรุ่นมีความสามารถต่างกันนั่นเอง หรือแม้กระทั่งภายในพีแอลซี บางรุ่นจะใช้ไมโครโปรเซส เซอร์ถึง 2 ตัวช่วยกันทำงาน เวลาการประมวลผลก็จะเร็วกว่าพีแอลซี ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เพียงแค่ ตัวเดียว

โดยปกติแล้วการเลือกใช้งานพีแอลซี จะเลือกจากการประยุกต์ใช้งานจึงทำให้ผู้ใช้ (User) ไม่รู้ว่าผู้ผลิตใช้ไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นหรือเบอร์อะไรในการสร้างเครื่องพีแอลซี ดังนั้นเวลาพิจารณาเลือก ใช้พีแอลซี ซึ่งไม่มีการระบุเบอร์หรือรุ่นของไมโครโปรเซสเซอร์ผู้ใช้สามารถเลือกคุณสมบัติอื่นเช่น จำนวนอินพุต/เอาต์พต ความเร็วในการประมวลผลของคำสั่ง ขนาดความจุโปรแกรมและข้อมูล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.5.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)**

หน่วยความจำเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของระบบ เพราะใช้เป็นที่เก็บโปรแกรมและข้อมูล ขนาดของหน่วยความจำ จะเป็นตัวกำหนดขีดความสามารถของระบบ ปกติมักจะมีขนาดวัดเป็นจำนวนสเตป (Step) หรือบรรทัดของการโปรแกรม พีแอลซีแบ่งหน่วยความจำออกเป็น2ส่วนที่สำคัญด้วยกันคือ

**1. หน่วยความจำระบบ** (System memory) เก็บโปรแกรมบริหารระบบและข้อมูลของระบบ

**2. หน่วยความจำผู้ใช้** (User memory) เก็บโปรแกรมผู้ใช้ ข้อมูลของหน่วยอินพุต/เอาท์พุต และอุปกรณ์ภายใน

โดยเราสามารถแบ่งหน่วยความจำออกมาได้ดังนี้

**1. ROM (Read Only Memory)** เป็นหน่วยความจำที่ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้เปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขข้อมูลภายใน แต่สามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้แม้ว่าจะไม่มีกระแสไฟฟ้า เหมาะสำหรับเก็บโปรแกรมบริหารระบบหรือโปรแกรมผู้ใช้ที่เสร็จสมบูรณ์ไม่ต้องการแก้ไข

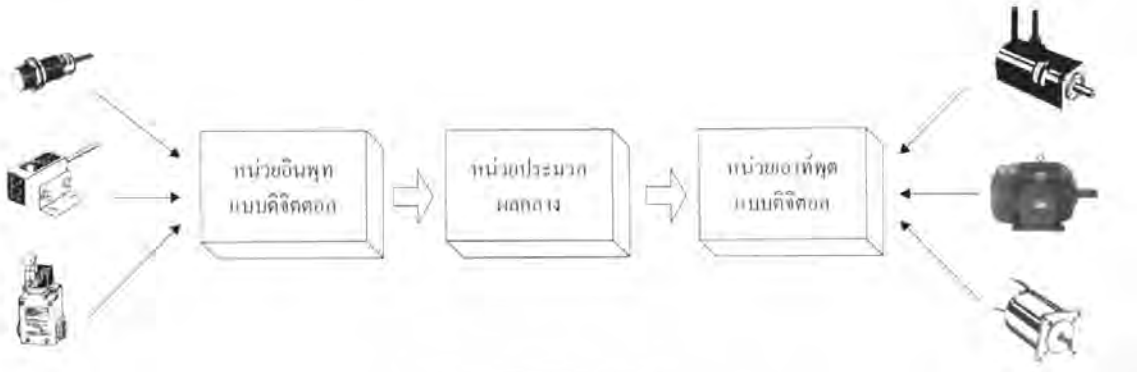
**2. RAM (Random Access Memory)** หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็กๆต่อไว้ เพื่อใช้เลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ การอ่านและเขียนโปรแกรมลงในRAM ทำได้ง่ายมาก จึงเหมาะกับการใช้งานในระยะทดลองเครื่องมือที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมบ่อยๆ

**3. EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)** เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ที่มีการพัฒนาจนใช้งานได้ดีให้เป็นการถาวร และในการอัดโปรแกรมจะทำการถ่ายข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM ลงมาสู่หน่วยความจำ EPROM โดยอาศัยเครื่องอัดชนิดพิเศษ (PROM WRITE) ต่อร่วมกับชุดของพีแอลซี หน่วยความจำประเภทนี้โปรแกรมจะไม่มีการสูญหายเมื่อเกิดไฟดับ แต่ถ้ามีความจำเป็นที่จะลบโปรแกรมภายในก็สามารถทำได้โดยใช้เครื่องล้างโปรแกรม

**4. EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)** หน่วยความจำชนิดนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรม โดยวิธีการทางไฟฟ้าเหมือนกับ RAM นอกจากนั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองเมื่อไฟดับ ราคาจะแพงกว่า แต่จะรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้งRAMและ EPROM เอาไว้ด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.5.3 หน่วยอินพุท/เอาท์พุต (Input/Output Unit)**




**รูปที่2.27** ไดอะแกรมของหน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบดิจิตอล

**1. หน่วยอินพุท**

หน่วยอินพุททำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างซีพียู กับอุปกรณ์ภายนอกโดยรับค่าสภาวะหรือปริมาณทางกายภาพต่างๆจากอุปกรณ์ตรวจเช็ค (Sensor) ของเครื่องจักรหรือกระบวนการ เช่น ลิมิตสวิตซ์ (Limit Switch) พรอกซิมิตี้สวิตซ์ (Proximity Switch) อุณหภูมิ ระดับแรงดันหรือกระแส ส่งไปยังซีพียู เพื่อประมวลผลตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ ปกติหน้าที่ของหน่วยอินพุทคือ

- แปลงระดับสัญญาณเข้าให้เป็นระดับสัญญาณที่เหมาะสมกับระบบการทำงานของซีพียู
- แบ่งสัญญาณภายนอกและภายในออกจากกัน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้หน่วยประมวลผลได้รับความเสียหาย
- แก้ปัญหาการสั่นสะเทือนของหน้าสัมผัส

**2. หน่วยเอาท์พุต**

หน่วยเอาท์พุตทำหน้าที่รับสัญญาณที่ได้จากการประมวลผลไปขยายสัญญาณออกให้มีขนาดใหญ่พอที่จะขับอุปกรณ์ภายนอก เช่น มอเตอร์วาล์วปั๊มและอื่นๆ นอกจากนั้นแล้วหน่วยเอาท์พุตยังทำหน้าที่แบ่งสัญญาณภายในและภายนอกให้ออกจากกัน เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ หน่วยอินพุท/เอาท์พุตของพีแอลซี แบ่งออกเป็น2 ประเภทคือ

- หน่วยอินพุต/เอาท์พุตแบบดิจิตอล
- หน่วยอินพุต/เอาท์พุตแบบอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยอินพุตแบบดิจิตอล ทำหน้าที่รับสัญญาณสภาวะการเปิด/ปิดของอุปกรณ์อินพุตต่างๆ ที่ต่ออยู่กับหน่วยอินพุตชนิดนี้ อุปกรณ์อินพุตดังกล่าว ได้แก่ อุปกรณ์จำพวกสวิตซ์ ลิมิตสวิตซ์ หรือเซนเซอร์ที่ทำงานในลักษณะเปิด/ปิด เข้ามายังหน่วยอินพุต หลังจากนั้นจะนำข้อมูลสถานะของอุปกรณ์อินพุต ส่งไปยังส่วนของหน่วยประมวลผลกลางเพื่อประมวลผลต่อไป

หน่วยเอาท์พุตแบบดิจิตอล ทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้จากการประมวลผลที่หน่วยประมวลผลกลางเพื่อสั่งให้เอาท์พุตแบบดิจิตอลทำงานเปิด/ปิดอุปกรณ์เอาท์พุตต่างๆ ตัวอย่างของอุปกรณ์เอาท์พุตแบบดิจิตอลนี้ ได้แก่ แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic contactor) มอเตอร์หรือโซลินอยล์วาล์ว (Solenoid valve) สามารถแบ่งตามประเภทการใช้งานได้ดังนี้

หน่วยอินพุตแบบดิจิตอล สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

-หน่วยอินพุตที่รับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC Input Units)

-หน่วยอินพุตที่รับสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Input Units)

-หน่วยอินพุตที่รับสัญญาณได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (DC/AC Input Units)

การเลือกใช้งานในแต่ละประเภท จะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งานอุปกรณ์อินพุตด้วยว่าใช้แหล่งจ่ายไฟ เพื่อสั่งให้อุปกรณ์เหล่านั้นทำงานเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับ อุปกรณ์อินพุตที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ได้แก่ สวิตซ์ เซนเซอร์แบบต่างๆ เป็นต้น หรืออุปกรณ์อินพุตที่ใช้แกระแสไฟฟ้าสลับ ได้แก่ พรอกซิมิตี้เซนเซอร์แบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น

หน่วยเอาท์พุตแบบดิจิตอล แบ่งตามวงจรทางภาคเอาท์พุตของหน่วยเอาท์พุตแต่ละแบบ ได้แก่

-หน่วยเอาท์พุตแบบรีเลย์ (Relay Output Unit) หรือแบบคอนแทกต์ (Contact Output Unit) สามารถใช้งานกับอุปกรณ์เอาท์พุตที่รับสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ ตัวอย่างอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ แมกเนติกคอนแทกเตอร์ หรือหลอดไฟแสดงผล เป็นต้น

-หน่วยเอาท์พุตแบบทรานซิสเตอร์ (Transistor Output Unit) มักจะนำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์เอาท์พุตที่ต้องการปิด/เปิดอย่างรวดเร็ว โดยใช้ทรานซิสเตอร์ควบคุมการเปิด/ปิดเหล่านั้น สำหรับหน่วยเอาท์พุตชนิดนี้ต้องใช้งานกับอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น

-หน่วยเอาท์พุตแบบไตรแอก (Triac Output Unit) ใช้กับอุปกรณ์เอาท์พุตที่ใช้งานไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น และสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์เอาท์พุตที่ต้องการกระแสสูงๆ การเลือกใช้หน่วยเอาท์พุตแบบดิจิตอลว่าควรใช้แบบใด ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันสูงสุดของโหลดที่ใช้ หรือจำนวนของอุปกรณ์เอาท์พุตที่ต้องการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยอินพุต/เอาท์พุตแบบอนาลอก ทำหน้าที่นำสัญญาณอนาลอกมาตรฐานต่างๆเช่น กระแส 4-20 มิลลิแอมป์ (mA) หรือแรงดัน 1-5 โวลต์ (V) เป็นต้น เพื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลาง หลังจากที่หน่วยประมวลผลกลางทำการประมวลผลแล้ว จะส่งข้อมูลแบบดิจิตอลให้กับหน่วยเอาท์พุตแบบอนาลอก เพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกขนาดต่างๆ เช่นแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ หรือกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์อนาลอกเอาท์พุต เช่นควบคุมอินเวอร์เตอร์ เซอร์โวไดรเวอร์ เป็นต้น หน่วยอินพุต/เอาท์พุตแบบอนาลอกสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

หน่วยอินพุตแบบอนาลอก ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกมาตรฐาน เช่น กระแส 4-20 มิลลิแอมป์ แรงดัน1-5 โวลต์ หรือแรงดัน 0-10 โวลต์ ให้เป็นข้อมูลดิจิตอล เพื่อส่งต่อให้หน่วยประมวลผลต่อไป สำหรับส่วนประกอบของภาคต่างๆ ภายในหน่วยอินพุตแบบอนาลอก

**รูปที่ 2.28** ไดอะแกรมของหน่วยอินพุตแบบอนาลอก

จากไดอะแกรมตัวปรับขยายสัญญาณทำหน้าที่ปรับขยายสัญญาณอนาลอกที่เข้ามาทางอินพุต ตัวเลือกช่องสัญญาณทำหน้าที่เลือกช่องสัญญาณ ตัวเก็บและคงค่าสัญญาณ ใช้เก็บและคงค่าสัญญาณตามช่วงเวลา ในขณะที่ทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิตอลขนาด n บิต และตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เพื่อส่งให้ซีพียูประมวลผลต่อไป

ความละเอียดของการแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จะขึ้นอยู่กับหน่วยอินพุตแบบอนาลอกที่ใช้มีขนาดกี่บิต ถ้าจำนวนบิตมากยิ่งมีความละเอียดมาก

หน่วยเอาท์พุตแบบอนาลอก ทำหน้าที่แปลงข้อมูลดิจิตอลที่ส่งออกมาจากหน่วยประมวลผล เพื่อนำมาแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก ที่เป็นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขนาดต่างๆ เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ที่รับสัญญาณเป็นอนาลอก เช่น อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เซอร์โวมอเตอร์ไดรเวอร์ (Servo Motor Driver) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.29** ไดอะแกรมของหน่วยเอาต์พุตแบบอนาลอก

จากไดอะแกรมค่าข้อมูลทางดิจิตอลที่ถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์จะเข้ามายังตัวแปลงข้อมูลดิจิตอลเป็นอนาลอก ซึ่งจะทำการแปลงค่าข้อมูลดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก ตัวเก็บและคงค่าสัญญาณตามช่วงเวลา จะเก็บและคงค่าไว้ตามช่วงเวลา ตัวเลือกช่องสัญญาณทำหน้าที่เลือกส่งสัญญาณออกไปยังช่องสัญญาณต่างๆ และตัวปรับขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้เป็นค่าที่เหมาะสม ที่ใช้ในการส่งสัญญาณอนาลอกออกไปยังตัวควบคุม

ความละเอียดของสัญญาณอนาลอกที่ได้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของข้อมูลดิจิตอลที่ถูกส่งออกมาจากหน่วยประมวลผลกลาง เช่น ข้อมูลดิจิตอลขนาด 16 บิตจะมีความละเอียดมากกว่าข้อมูลดิจิตอลขนาด 4 บิต

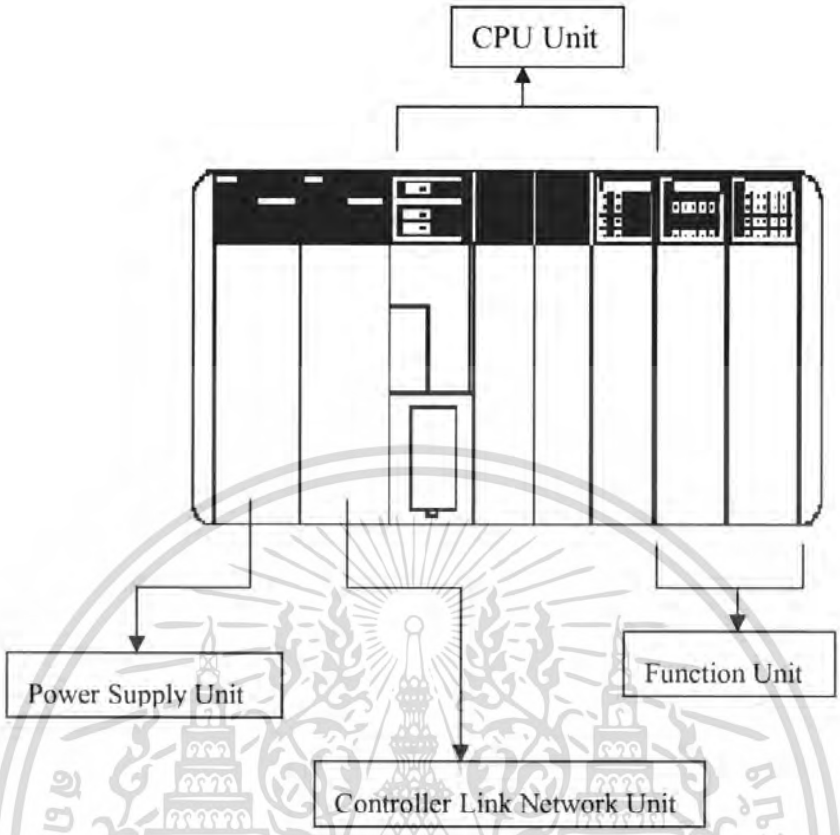
หน่วยอินพุต/เอาท์พุตแบบอนาลอก ทำหน้าที่เหมือนกับการนำเอาหน่วยอินพุตแบบอนาลอก และหน่วยเอาท์พุตแบบอนาลอก มารวมกันอยู่ในหน่วยเดียวกัน การทำงานของหน่วยอินพุต/เอาท์พุตแบบอนาลอก จะนำสัญญาณอนาลอกมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอล หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ทำการแปลงแล้วไปยังหน่วยประมวลผลกลาง หลังจากที่ทำการประมวลผลแล้ว จะส่งข้อมูลดิจิตอลออกไปยังหน่วยเอาท์พุตแบบอนาลอกเพื่อแปลงข้อมูลจากดิจิตอลเป็นอนาลอกอีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์เอาท์พุตแบบอนาลอกต่อไป

**2.3.5.4 หน่วยอุปกรณ์ติดต่อภายนอก (Peripheral Device)**

เป็นอุปกรณ์แบบต่างๆที่อำนวยความสะดวกในการพัฒนาโปรแกรมสามารถใช้ร่วมกับพีแอลซี ชนิดเดียวกันได้หลายๆตัว หน้าที่ของอุปกรณ์ภายนอกได้แก่

- ป้อนโปรแกรมเข้าไปในหน่วยความจำของโปรแกรม
- ใช้ในการแก้ไข (Debug) โปรแกรม
- ใช้ในการรักษาโปรแกรม
- ใช้แสดงสภาวะการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.30** ส่วนประกอบของพีแอลซี

## 2.4 การติดต่อสื่อสารระหว่างพีแอลซีกับคอมพิวเตอร์

การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มีด้วยกัน 2 รูปแบบคือ รับส่งข้อมูลแบบขนานและรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การรับส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิตในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง ทว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดด้วย นอกจากนั้นยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ ส่งผลให้ราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพง อีกข้อจำกัดหนึ่งของการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานคือระยะทางในการถ่ายทอดข้อมูล โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 10-15 ฟุตในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับส่งที่เป็นมาตรฐาน ต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่แปรผันตามจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก โดยปกติถ้าเป็นพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ

เอกสารนี้ใช้เอกสารนี้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

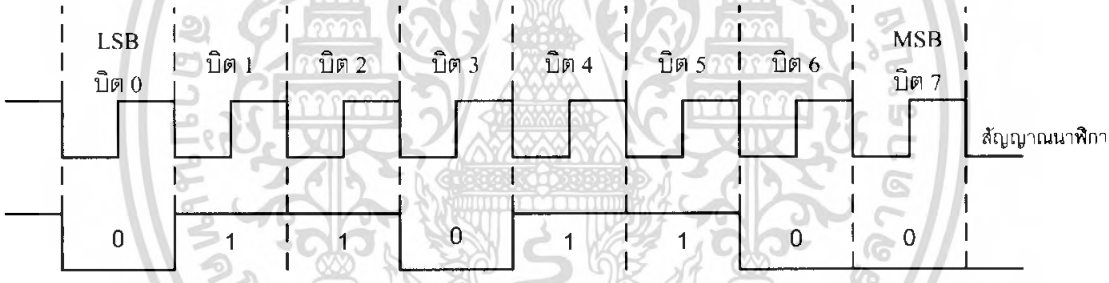
**2.4.1 การสื่อสารแบบอนุกรม**

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส
2. การสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

**2.4.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส**

1. การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูลและกราวด์ รูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นถึงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส




**รูปที่ 2.31** การสื่อสารแบบซิงโครนัส

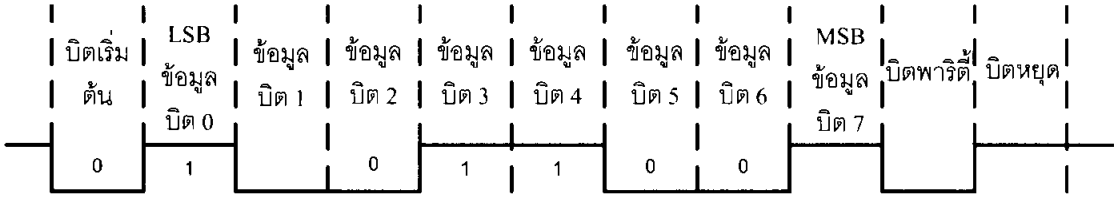
**2.4.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส**

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือบอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 567 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 11.5 หรือ 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.32** การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

รูปที่ 2.32 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก "1" เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 567 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี้ (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ได้แก่ 110 150 300 600 1200 2400 4800 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากบอดเรตคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

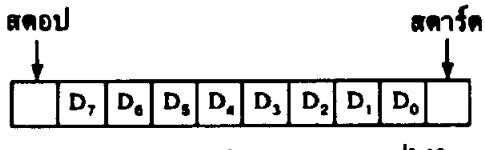
**ตารางที่ 2.3** ค่าอัตราบอดและอัตราการเร็วในการส่งข้อมูล

| Baud Rate | Bytes/Second |
|---|---|
| 110 | 10 |
| 150 | 15 |
| 300 | 30 |
| 600 | 60 |
| 1200 | 120 |
| 2400 | 240 |
| 4800 | 480 |
| 9600 | 960 |
| 19200 | 1920 |
| 38400 | 3840 |

จากตารางจะเห็นว่าในการส่งข้อมูลด้วยอัตรา 110 จะมีรูปแบบต่างจากอัตราอื่น ๆ คือ จะใช้ Stop bit 2 บิต ดังนั้นจึงต้องส่งข้อมูลที่มีขนาด 11 บิต

เวิร์ดข้อมูลขนาด 8 บิต ที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมด้วยอัตรา 110 บอด

**รูปที่ 2.33** การส่งข้อมูลขนาด 8 บิตที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมด้วยอัตราบอด 110




เวิร์ดข้อมูลขนาด 8 บิตกับบิตสตาร์ตและบิตสตอปที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรม

**รูปที่ 2.34** การส่งข้อมูลขนาด 8 บิตที่ใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น "0" แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่ ถ้าข้อมูลมีค่าพาริตี้ ไม่ตรงตามที่ กำหนดบิตพาริตี้ในรีจิเตอร์สถานะของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ก็จะถูกเซตเพื่อแสดงว่าข้อมูลที่รับมาผิดพลาดและโปรแกรมที่ทำการรับข้อมูลนั้นก็จะขอให้มีการส่งข้อมูลมาใหม่

**รูปที่ 2.35** การใช้บิตพาริตี้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

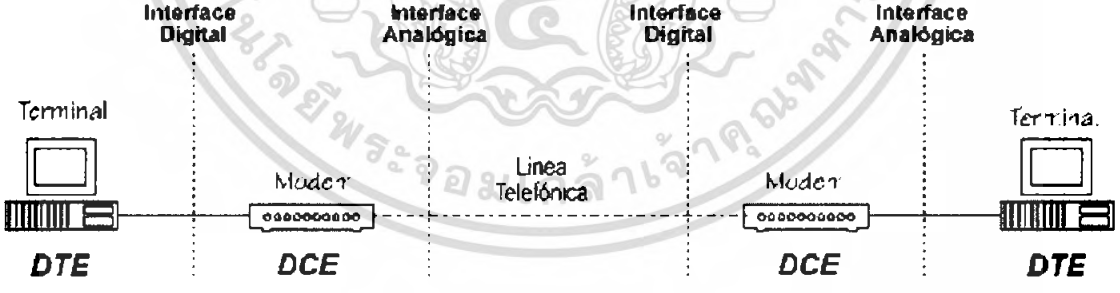
การใช้พาริตี้นี้จะสามารถตรวจสอบความผิดพลาด ได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดทั้งหมดทั้งนี้เนื่องจากมันจะจับความผิดพลาดได้เฉพาะกรณีที่ข้อมูลนั้นเกิดข้อผิดพลาดเป็นจำนวนคี่บิต ถ้าข้อมูลนั้นเกิดความผิดพลาดเป็นจำนวนคู่บิตก็จะไม่ทำให้ค่าพาริตี้เปลี่ยนแปลงความผิดพลาดก็จะไม่ถูกตรวจพบ UART ยังสามารถตรวจสอบ framing error ได้ framing error จะเกิดขึ้นเมื่อ UART ได้รับข้อมูลที่มี Start bit และ Stop bit ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องซึ่ง บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดภายหลัง) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น

### 2.4.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ( Electronic Industries Association : EIA ) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่า มีข้อมูล (mark) และ +3V ถึง +12V แสดงว่าเป็น ช่องว่าง (space) มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูล (เอาต์พุต) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรับข้อมูล (อินพุต)




**รูปที่ 2.36** DTE และ DCE

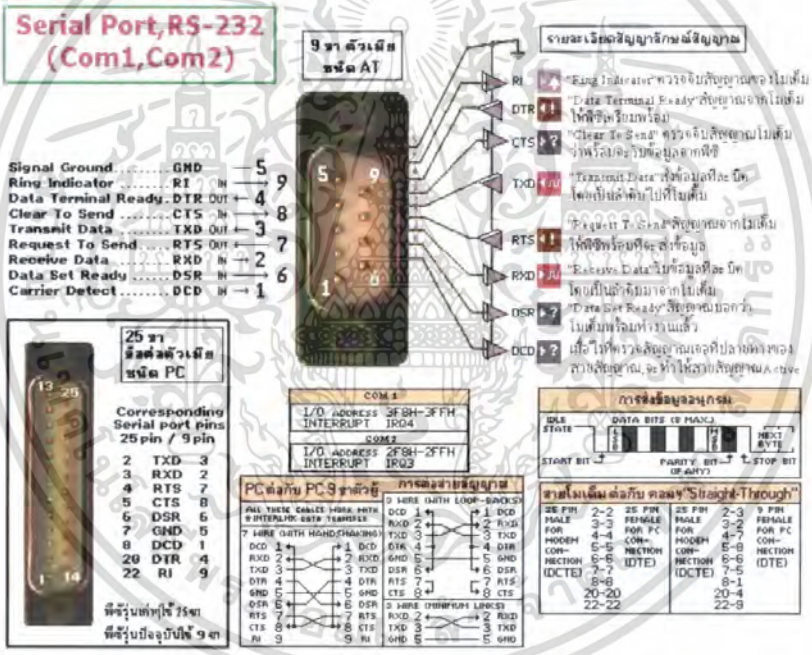
อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE สำหรับการใช้งานในคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อกับโมเด็ม เมาส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อทางพอร์ตอนุกรมได้

### 2.4.3.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งาน เพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยมีการใช้งานมาในอดีตไม่ค่อยสำคัญมากนักจึงถูกยกเลิกไป




**รูปที่ 2.37** แสดงการจัดขาคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมและลักษณะการต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

1. ขา Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกตีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

2. ขา Receive Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขา Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์ โดยการนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

4. ขา Data Terminal Ready : DTR เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ และถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องเชื่อมต่อขา DTR และ DSR ของพอร์ตอนุกรมเข้าด้วยกัน และจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

5. ขา Signal Ground : GND เป็นขากราวด์ของสัญญาณ

6. ขา Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอก

7. ขา Request To Send : RTS เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ซึ่งในกรณีที่มีการเชื่อมต่อแบบ 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

8. ขา Clear To Send : CTS เป็นขาอินพุตทำหน้าที่รอรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้ามาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ขานี้จะใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือยัง

9. ขา Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มแล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์

**ตารางที่ 2.4** หน้าที่ของขาต่างๆใน คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ และ DB-9 ตัวผู้

| D-Type 25 Pin | D-Type 9 Pin | สัญลักษณ์ | ชื่อสัญญาณ |
|---|---|---|---|
| Pin 2 | Pin 3 | TD | Transmit Data |
| Pin 3 | Pin 2 | RD | Receive Data |
| Pin 4 | Pin 7 | RTS | Request To Send |
| Pin 5 | Pin 8 | CTS | Clear To Send |
| Pin 6 | Pin 6 | DSR | Data Set Ready |
| Pin 7 | Pin 5 | SG | Signal Ground |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.4 (ต่อ)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pin 8 | Pin 1 | CD | Carrier Detect |
| Pin 20 | Pin 4 | DTR | Data Terminal Ready |
| Pin 22 | Pin 9 | RI | Ring Indicator |

### 2.4.3 Universal Asynchronous Receiver Transmitter

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากซีพียูให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส แล้วทำการส่งออกไป และแปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่ซีพียู ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังซีพียูแล้ว ยังแจ้งรายละเอียดอื่นๆ ของข้อมูล ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย อาทิ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลหรือบอดเรต รูปแบบการส่งข้อมูล ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูล เช่น ผิดพลาดจากพาริตี้ เฟรมข้อมูล โอเวอร์รัน เป็นต้น

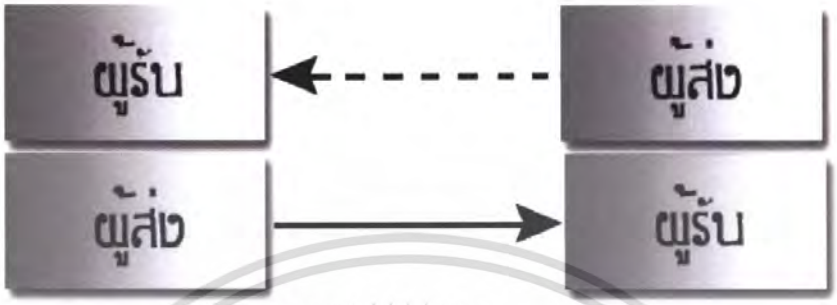
ภายใน UART จะมีวงจรสร้างบอดเรตโปรแกรมได้ (programmable baudrate generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้จะมีขนาด 16 บิต ดังนั้นจะสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1- 65535 ซึ่งมี รูปแบบในการส่งสัญญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กับเครื่อง คอมพิวเตอร์ในเครือข่ายมีลักษณะของรูปแบบการส่งสัญญาณเป็น 3 รูปแบบดังนี้คือ

**1. ซิมเพล็กซ์ (Simplex)** การส่งข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์มีรูปแบบคือสัญญาณข้อมูลถูกส่งในทิศทางเดียว โดยฝ่ายส่งทำหน้าที่ส่งและฝ่ายรับทำหน้าที่รับ ซึ่งทั้งสองฝ่ายจะทำหน้าที่เพียงส่ง และรับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ตัวอย่างของการส่งข้อมูลนี้คือการดูโทรทัศน์

**รูปที่ 2.38** แสดงการส่งข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)** การส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ซึ่งมีรูปแบบการส่งสัญญาณข้อมูลที่สวนทางกันได้โดยการสลับกัน จะส่งหรือรับสัญญาณในเวลาเดียวกันไม่ได้ เช่น การสื่อสารของระบบวิทยุมือถือ




**รูปที่ 2.39** แสดงการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

**3. ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)** การส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ ซึ่งมีรูปแบบการส่งข้อมูลสองทิศทางได้ในเวลาเดียวกันหรือส่งข้อมูลได้พร้อมกันสองทาง เช่น การสื่อสารโดยใช้โทรศัพท์

**รูปที่ 2.40** แสดงการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิค

### 2.5.1 โปรแกรมวิชวลเบสิค

วิชวลเบสิคนับได้ว่าเป็นตัวแปลภาษาตัวแรกของวงการคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูง สำหรับงานด้านการสร้างแอปพลิเคชัน(Application) ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เพราะเป็นตัวแปลภาษาที่ถูกออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยเน้นด้านการใช้กราฟิก (Graphics) เป็นสื่อแทนเมนูหรือคำสั่งต่างๆ วิชวลเบสิคสามารถออกแบบหน้าตาของโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งานแบบกราฟิก หรือที่เรียกว่า กราฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟส (GUI) ได้ทันที โดยใช้เครื่องมือที่เตรียมไว้แล้ว ทำให้มีโอกาสเห็นหน้าตาของแอปพลิเคชันตั้งแต่ตอนพัฒนาซึ่งจะง่ายต่อการจัดรูปแบบ และการแก้ไขหากความต้องการของผู้ใช้งานเปลี่ยนไป

วิชวลเบสิคสนับสนุนการเขียนโปรแกรมแบบOOP (Object Oriented Programming) ซึ่งมีหลักสำคัญในการเขียนคือ การได้แบ่งส่วนต่างๆของโปรแกรมออกเป็นส่วนย่อยที่สุดเท่าที่จะสามารถทำงานเสร็จได้ภายในตัวเอง ไม่สามารถแบ่งย่อยได้อีก ที่เรียกว่าออบเจ็กต์ (Object) แล้วกำหนดการทำงานให้กับออบเจ็กต์เหล่านั้นด้วยพรอพเพอร์ตี้ (Properties) หรือเมธอด (Method) มีข้อดีคือสามารถกำหนดการทำงานและแก้ไขออบเจ็กต์ได้ง่าย เพราะโดยออบเจ็กต์เองแล้วการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะไม่กระทบส่วนอื่น ทำให้สะดวกในการตรวจสอบการทำงาน และความน่าเชื่อถือมากอีกด้วย คำศัพท์ที่ควรรู้เกี่ยวกับการใช้งานวิชวลเบสิค ได้แก่

**1. กราฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟส(GUI)** คือ รูปแบบการทำงานกับผู้ใช้คอมพิวเตอร์โดยการใช้รูปภาพ ทำให้ง่ายในการสื่อความหมาย ซึ่งจำเป็นต้องมีออบเจ็กต์เช่นปุ่ม (Botton) กรอบความ (Textbox) สกรอลบาร์ (ScrollBar) ซึ่งคอยรับคำสั่งจากผู้ใช้และตอบสนองการทำงานคำสั่งเหล่านั้นในรูปแบบต่างๆเช่น เสียง สีสัน ข้อความ เป็นต้น

**2. ออบเจ็กต์** คือหน่วยย่อยที่สุดของโปรแกรม ซึ่งเป็นพื้นฐานของแอปพลิเคชัน โดยเราจะใช้งาน หรือติดต่อกับออบเจ็กต์ผ่านทางพรอพเพอร์ตี้และเมธอดและเขียนโปรแกรมเพื่อให้เกิดการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างออบเจ็กต์

**3. คอนโทรล (Control or ActiveX Control)** คือออบเจ็กต์ที่เตรียมไว้สำหรับใช้งานวิชวลเบสิค ซึ่งจะกำหนดการทำงานให้กับคอนโทรลด้วยพรอพเพอร์ตี้และเมธอด

**4. พรอพเพอร์ตี้** คือคุณสมบัติหรือลักษณะของออบเจ็กต์ ได้แก่ ชื่อออบเจ็กต์ ความสูง ความกว้าง การแสดงรูปแบบตัวชี้บนออบเจ็กต์ การซ่อนออบเจ็กต์ เป็นต้น

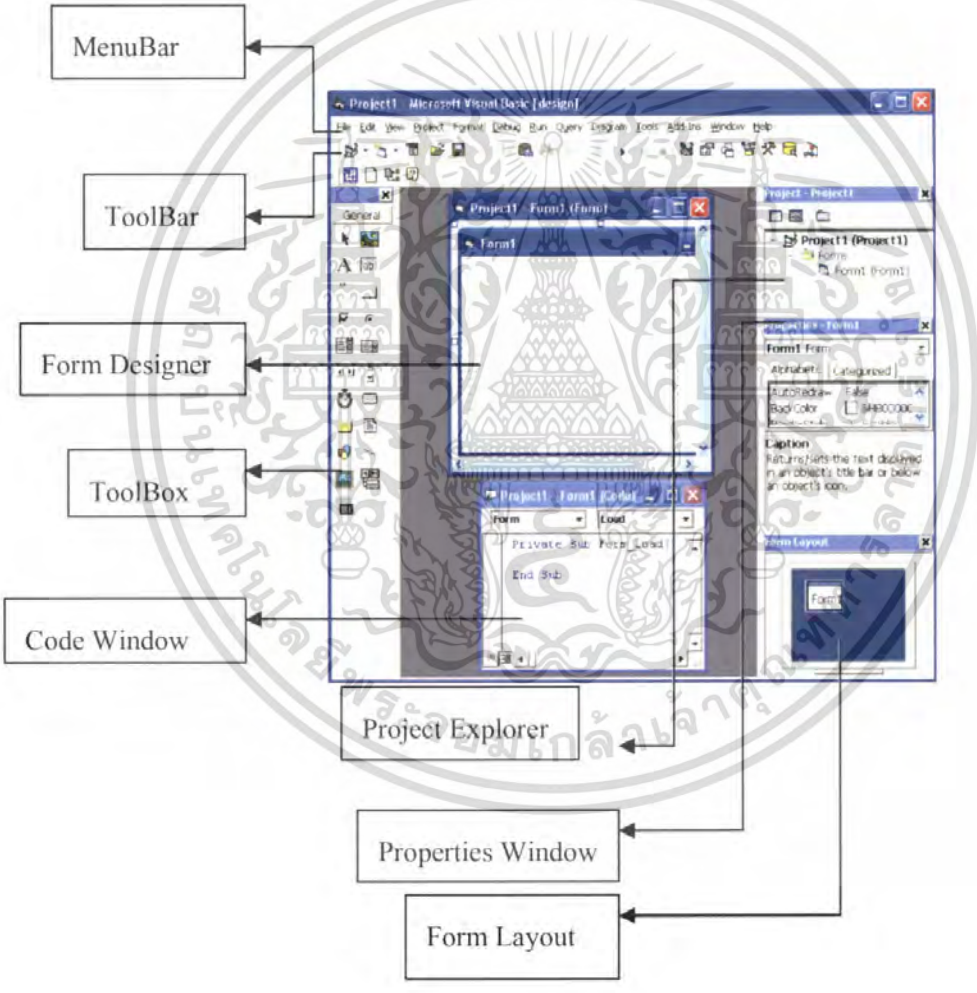
**5. เมธอด** คือความสามารถในการทำงานของออบเจ็กต์ เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละออบเจ็กต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6. เหตุการณ์(Event)** คือสิ่งที่เกิดขึ้น ซึ่งเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอาจมาจากผู้ใช้งานหรืออาจมาจากระบบปฏิบัติการ เมื่อมีเหตุการณ์ต่างๆเกิดขึ้นเราจะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อรับรองกับเหตุการณ์ที่กำลังจะเกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนค่าพรอพเพอร์ตี้ของออบเจ็กต์หรือเรียกใช้เมธอดของออบเจ็กต์ที่มีอยู่

**7. โพรซิเยอร์(Procedure)** คือโปรแกรมย่อยที่ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันเขียนขึ้นสำหรับทำงานชิ้นหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกเรียกใช้งานจากส่วนต่างๆของแอปพลิเคชัน

### 2.5.2 องค์ประกอบต่างๆของโปรแกรมวิชวลเบสิค




**รูปที่2.41** แสดงองค์ประกอบต่างๆของโปรแกรมวิชวลเบสิค

#### 2.5.2.1 Menu Bar

เมนูบาร์ เป็นส่วนที่รับคำสั่งในแบบเมนู เมื่อทำการสร้างแอปพลิเคชันด้วยวิชวลเบสิคเป็นเหมือนจุดศูนย์กลางที่ควบคุมการสร้างแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.2.2 ToolBar**

ในการใช้งานเมนูบาร์สั่งงานบางครั้งอาจจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก เพื่อลดขั้นตอนลง เราจะคลิกที่ทูลบาร์เพียงครั้งเดียว ก็สามารถสั่งงานที่เราต้องการได้ โดยแต่ละไอคอนเปรียบเสมือนคำสั่งหนึ่งๆของเมนู ดังนั้นไอคอนในส่วนนี้จึงถูกออกแบบมาเพื่อให้การเลือกใช้คำสั่งของเมนูรวดเร็วและมีลักษณะที่สื่อความหมายกับผู้ใช้มากขึ้น

**2.5.2.3 ToolBox**

เป็นหน้าต่างที่มีไว้สำหรับบรรจุคอนโทรลต่างๆ(ActiveX Control) ซึ่งคอนโทรลที่อยู่ในแถบกล่องเครื่องมือนี้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งานทำให้เกิดความสะดวกในการทำงาน ผู้ใช้สามารถทำได้โดยคลิกที่คอนโทรลนั้น เพื่อเลือกแล้วนำมาวางลงในฟอร์ม โดยวิธีการลากแล้ววางหรือวิธีการดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอนคอนโทรล

**2.5.2.4 Project Explorer**

เป็นหน้าต่างที่แสดงรายการโปรเจ็กต์ และส่วนของไฟล์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในวิชวลเบสิคซึ่งกำลังเปิดใช้งานอยู่ในขณะนั้น ซึ่งรวมเอาไฟล์ต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อสร้างแอปพลิเคชันภายใต้วิชวลเบสิค เรียกว่าโปรเจ็กต์

**2.5.2.5 Properties Window**

เป็นหน้าต่างที่รวบรวมคุณสมบัติทั้งหมดของฟอร์มหรือคอนโทรลเอาไว้ ซึ่งคุณสมบัติทั้งหมดที่ปรากฏในหน้าต่างนี้ เป็นคุณสมบัติที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าได้ในขณะที่กำลังออกแบบ เมื่อผู้ใช้งานทำการแก้ไขคุณสมบัติต่างๆในหน้าต่างคุณสมบัตินี้ ก็จะส่งผลต่อคอนโทรลตัวนั้นทันที ซึ่งบางคุณสมบัติสามารถแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะได้ทันที ส่วนคุณสมบัติบางอย่างจะแสดงผลให้เห็นก็ต่อเมื่อผู้ใช้งานมีการรันแอปพลิเคชัน

**2.5.2.6 Form Layout**

เป็นหน้าต่างที่ใช้สำหรับแสดงรูปแบบตำแหน่งของการวางฟอร์มทั้งหมดที่อยู่ในโปรแกรม เราสามารถใช้ฟอร์มเลย์เอาท์เพื่อบอกตำแหน่งของฟอร์มต่างๆในหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยสามารถเคลื่อนย้ายฟอร์มภายในฟอร์มเลย์เอาท์ได้โดยการคลิกฟอร์มที่ต้องการค้างไว้แล้วจัดวางไว้ที่ตำแหน่งอื่นๆ ทำให้สามารถจัดวางตำแหน่งของฟอร์มต่างๆ ให้สัมพันธ์กันกับฟอร์มหลักได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.2.7 Form Designer**

เป็นส่วนที่เรามองเห็นในขณะออกแบบแอปพลิเคชันของวิชวลเบสิค ซึ่งเราจะออกแบบหน้าตาของแอปพลิเคชันผ่านฟอร์มดีไซเนอร์

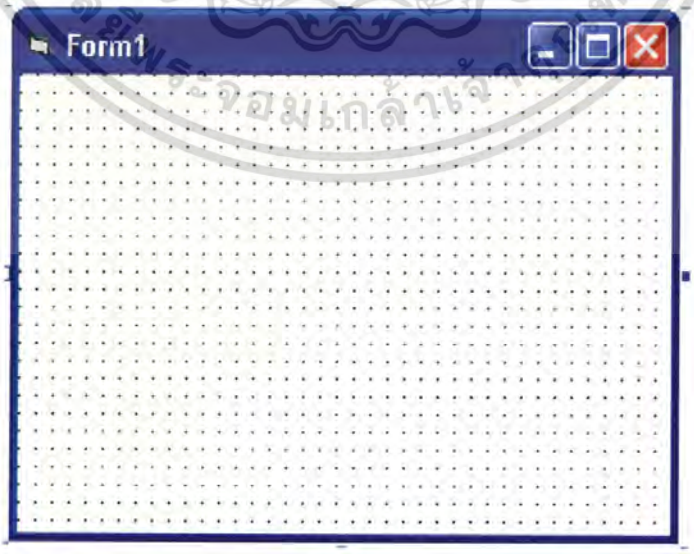
**2.5.2.8 Code Window**

โค้ดวินโดว์ เป็นส่วนที่เราเขียนโปรแกรม เพื่อควบคุมการทำงานของแอปพลิเคชัน

**2.5.3 ฟอร์ม (Form)**

ฟอร์ม เป็นออบเจ็กต์พื้นฐานของวิชวลเบสิค ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นหน้าต่าง (Window) หรือไดอะล็อกบ็อกซ์ (Dialog Box) สำหรับการสื่อสารการใช้งานหรือการทำงานกับผู้ใช้ ซึ่งอาจจะเป็นแบบทางเดียวหรือโต้ตอบสองทางก็ได้ ดังนั้นเพื่อให้โปรแกรมเมอร์สามารถที่จะควบคุมพฤติกรรมการแสดงผลหรือการตอบสนองต่อการกระทำใดๆกับออบเจ็กต์ฟอร์ม วิชวลเบสิคจึงได้กำหนดคุณสมบัติโพรซีเยอร์เหตุการณ์และวิธีสำหรับออบเจ็กต์ฟอร์ม นอกจากออบเจ็กต์ฟอร์มแล้ว ยังมีฟอร์มอีกประเภทหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุออบเจ็กต์ฟอร์ม นั่นคือ MDI Form ซึ่งออบเจ็กต์ฟอร์มที่จะสามารถบรรจุภายใน MDI Form ได้นั้นจะต้องถูกกำหนดคุณสมบัติ MDIChild ให้เท่ากับ True เสมอ

ฟอร์มมีคุณสมบัติหลายๆอย่าง สามารถมีผลลักษณะและพฤติกรรมของฟอร์มในเวลาที่แสดงแบบฟอร์มนั้นออกมา ในที่นี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติบางคุณสมบัติที่น่าสนใจ และมีการนำมาใช้ในการออกแบบโปรแกรมแสดงผลกระบวนการผลิตนี้




**รูปที่2.42** แสดงรูปแบบฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.3.1 พร็อพเพอร์ตี้ที่สำคัญของฟอร์ม**ได้แก่

| | |
|---|---|
| -Name | เป็นชื่อของฟอร์มที่เราจะต้องกำหนดเพื่อแยกความแตกต่างของแต่ละฟอร์มที่มีการใช้งาน(เพราะฉะนั้นในแอปพลิเคชันเดียวกันจะมีชื่อฟอร์มซ้ำกันไม่ได้) |
| -Caption | เป็นข้อความที่แสดงไตเติ้ลของแต่ละฟอร์ม |
| -ControlBox | เป็นการกำหนดว่า ขณะรันจะแสดงคอนโทรลบ็อกซ์หรือไม่ |
| -LeftTop | เป็นพรอพเพอร์ตี้ที่แสดงตำแหน่งของฟอร์มโดยระบุพิกัดมุมซ้ายบน |
| -WidthHeight | เป็นความกว้างและความสูงของฟอร์ม |
| -BorderStyle | เป็นพรอพเพอร์ตี้ที่กำหนดลักษณะขอบของฟอร์ม |
| -BackColor | เป็นสีของพื้นฟอร์ม |
| -ForeColor | เป็นสีตัวอักษรที่อยู่บนฟอร์ม |
| -MinBottonMaxBotton | เป็นการกำหนดว่า ฟอร์มจะมีปุ่มย่อ (Minimize) หรือขยายฟอร์ม (Maximize) หรือไม่ |
| -Icon | เป็นการระบุไอคอนของฟอร์มเมื่อกดปุ่มย่อฟอร์ม |
| -WindowState | เป็นสถานะของฟอร์มเมื่อเริ่มทำงาน |

**2.5.3.2 เมธอดที่สำคัญของฟอร์ม**ได้แก่

| | |
|---|---|
| -Show | เป็นเมธอดที่เรียกฟอร์มขึ้นมาแสดง |
| -Hide | เป็นเมธอดที่สั่งให้ซ่อนฟอร์มที่กำลังแสดงผล |
| -Unload | เป็นเมธอดที่สั่งจบการทำงาน |
| -Move | เป็นเมธอดที่สั่งให้ฟอร์มเคลื่อนที่ไปยังที่ต่างๆบนหน้าจอ |
| -Print | เป็นเมธอดที่สั่งให้พิมพ์หน้าตาของฟอร์ม |
| -Line | เป็นเมธอดที่สั่งให้วาดเส้นลงบนพื้นของฟอร์ม |

**2.5.3.3 อีเวนต์ที่สำคัญของฟอร์ม** ได้แก่

| | |
|---|---|
| -Initialize | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มเรียกมาใช้งานแล้วถูกโหลดเข้ามาในหน่วยความจำ |
| -Load | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มถูกเรียกขึ้นมาใช้งาน ซึ่งจะเกิดภายหลังอีเวนต์ Initialize |
| -Resize | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มถูกปรับขนาดให้เปลี่ยนไป |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| -Activate | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มนั้นกลายเป็น active form (สำหรับ active form คือ ฟอร์มที่กำลังถูกใช้งานอยู่ ซึ่งอาจมีหลายๆฟอร์มถูกเปิดอยู่พร้อมกัน) |
| -QueryUnload | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มถูกปิด |
| -Unload | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มเลิกใช้งานโดยจะเกิดขึ้นภายหลังอีเวนต์ QueryUnload |
| -Terminate | จะเกิดขึ้นเมื่อฟอร์มถูกลบออกจากหน่วยความจำ จะเกิดขึ้นภายหลังอีเวนต์Unload |

**2.5.4 การประกาศตัวแปร (Declarations)**

ก่อนที่คุณจะใช้งานตัวแปร หรือค่าคงที่ทุกครั้ง คุณควรที่จะประกาศตัวแปร (declare) ก่อน เพื่อบอกให้ VB รู้ว่า ตัวแปรชื่อนี้ คุณต้องการใช้งาน และตัวแปรดังกล่าว ใช้แทนข้อมูลชนิดใด เหตุที่ผู้เขียนใช้คำว่า ควรที่จะ เนื่องจากว่า VB จะอนุญาตให้คุณใช้งานตัวแปรได้ โดยที่คุณไม่จำเป็นต้องประกาศตัวแปร แต่ตัวแปรที่คุณได้ มันจะกินทรัพยากรระบบ มากเกินความจำเป็น รวมถึงประมวลผลได้ช้าอีกด้วย เพราะจะเป็นตัวแปรที่สามารถแทนข้อมูลได้ทุกชนิด ซึ่ง VB เรียกว่า ตัวแปรชนิด Variant คุณอาจคิดว่า ตัวแปรชนิด Variant ก็ดีอยู่แล้ว ไม่ต้องยุ่งยาก ในการกำหนดรายละเอียดต่างๆ ให้วุ่นวาย แต่โปรแกรมเมอร์จะไม่นิยมใช้ และหลีกเลี่ยงที่จะใช้งานตัวแปรชนิดVariant อีกด้วย จะใช้ในกรณีที่จำเป็นเท่านั้น เนื่องจากว่ามีผลเสียมากกว่าผลดีที่คุณจะได้รับ

เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ตัวแปรต่างๆ ที่คุณนำมาใช้งาน ในโปรเจ็กต์ของคุณ ตัวคุณเองย่อมรู้ดีว่า จะใช้ตัวแปรใดบ้าง และจะให้ตัวแปรตัวใด แทนข้อมูลชนิดไหน ซึ่งคุณเองเป็นผู้กำหนดทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลใด ที่คุณจะใช้ตัวแปรชนิด Variant จากเหตุผลข้างต้น คุณควรที่จะประกาศตัวแปรทุกครั้ง ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ใน VB มีรูปแบบการประกาศดังนี้

Dim varname As datatypes

ความหมายของแต่ละส่วน มีดังนี้

**Dim** คือ คำสั่ง (statements) ที่บอกให้ VB รู้ว่า คุณต้องการประกาศตัวแปร

**varname** คือ ชื่อของตัวแปร คุณสามารถตั้งชื่อตัวแปรได้อย่างอิสระ แต่ต้องไม่ผิดกฎการตั้งชื่อของ VB คุณควรจะตั้งชื่อตัวแปร ให้สื่อกับข้อมูลที่ตัวมันเก็บอยู่ จะทำให้คุณอ่านโค้ดได้ง่าย

**As** คือ คำสงวน (keywords) ที่บอกให้ VB รู้ว่า คุณต้องการกำหนดให้ตัวแปรชื่อดังกล่าว แทนข้อมูลชนิดใด

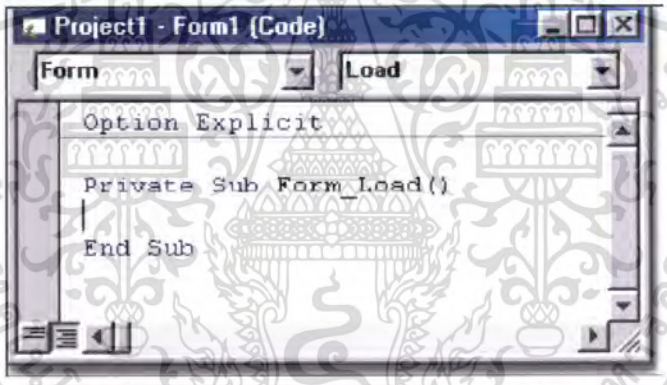
**datatypes** คือ ชนิดของข้อมูลที่ VB สนับสนุนอยู่ ซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น ตัวเลขจำนวนเต็ม (intcger), ตัวอักษร (string) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.4 .1 การประกาศตัวแปรในวิชวลเบสิค** สามารถแยกได้ 2 แบบคือ

1.การประกาศตัวแปรแบบ Implicit Declaration หมายถึง VB ยอมให้คุณใช้งานตัวแปรได้ โดยไม่ต้องมีการประกาศตัวแปร ชนิดของข้อมูลที่ได้จะเป็นแบบ Variant ซึ่งไม่ควรนำมาใช้งานด้วยเหตุผลข้างต้น แต่ถ้าคุณต้องการใช้งานตัวแปรชนิดอื่นๆ โดยการประกาศแบบนี้ คุณสามารถใช้สัญลักษณ์พิเศษที่ VB กำหนดไว้ เพื่อเปลี่ยนชนิดของข้อมูล เป็นชนิดอื่นๆ ได้ ให้ดูหัวข้อ ชนิดของข้อมูลเพิ่มเติม

2.การประการตัวแปรแบบ Explicit Declaration หมายถึง คุณจะต้องมีการประกาศตัวแปรก่อนการใช้งานทุกครั้ง แล้วจึงสามารถนำตัวแปรนั้นๆ ไปใช้งานได้ การประกาศตัวแปรแบบ Explicit ให้คุณใส่คำสั่ง Option Explicit ไว้ในส่วนบนสุด ก่อนการสร้างโพรซีเดอร์ จะเป็นการบังคับให้คุณ ต้องประกาศตัวแปรก่อน ที่จะนำไปใช้งานทุกครั้ง ถ้าคุณไม่ต้องการพิมพ์ข้อความดังกล่าวทุกครั้ง ให้คุณเลือกเมนู Tools/Option เลือกหัวข้อ Require Variable Declaration VBจะใส่ข้อความดังกล่าว ให้คุณโดยอัตโนมัติทุกครั้ง ดังรูป 2.43




**รูปที่ 2.43** แสดงข้อความ Option Explicit

**2.5.4.2 กฎการตั้งชื่อตัวแปรและค่าคงที่**

1. ให้ขึ้นต้นด้วยพยัญชนะเท่านั้น
2. ความยาวของชื่อที่ตั้งสูงสุดไม่เกิน 255 ตัวอักษร ในทางปฏิบัติ การตั้งชื่อที่ยาวจนเกินไป จะไม่เกิดประโยชน์ใดๆ กลับก่อให้เกิดผลเสียคือ คุณต้องเสียเวลาพิมพ์โดยเปล่าประโยชน์
3. ชื่อที่คุณตั้ง จะต้องไม่ซ้ำกับคำสงวน (keywords) คำสั่ง(statements) ฟังก์ชัน (functions)หรืออื่นๆ ที่ VB กำหนดไว้
4. ห้ามตั้งชื่อซ้ำกันในโพรซีเดอร์เดียวกัน หรือในขอบเขตเดียวกัน
5. ห้ามใช้เครื่องหมายทางคณิตศาสร์ ตัวดำเนินการ (Operators) หรือเครื่องหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษ เช่น@,# มาตั้งชื่อ

6. ห้ามมีช่องว่างในชื่อของตัวแปร ถ้าต้องการเว้นว่าง ให้ใช้เครื่องหมาย ( _) (underscore)เท่านั้น เช่นend_salary เป็นต้น

**2.5.4.3 ชนิดของข้อมูล**

VB มีชนิดของข้อมูลที่เป็นพื้นฐาน ให้คุณเลือกใช้ได้เหมาะสมตามที่คุณต้องการมากมาย ไม่ว่าจะเป็นจำนวนเต็ม (Integer) เศษส่วน (Single, Double) ที่คุณยังสามารถ เลือกความละเอียดจำนวนตัวเลขได้อีกด้วย เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่คุณต้องการเก็บ ข้อความ (string) ตัวเลขทางการเงิน (Currency), ค่าทางตรรก (boolean) เป็นต้น ข้อมูลแต่ละชนิดที่กล่าวมา จะใช้พื้นที่ในการเก็บไม่เท่ากัน รวมถึงความเร็วในการประมวลผลก็แตกต่างกันด้วย เช่น ถ้าเป็นตัวเลข ให้คุณพยายามใช้ข้อมูลชนิด Integer หรือ Long ให้มากที่สุด เพราะว่าใช้ทรัพยากรน้อย และประมวลผลได้เร็ว แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับข้อมูลที่จะเก็บด้วย เนื่องจากข้อมูลชนิด Integer สามารถเก็บค่าที่อยู่ระหว่าง -32768 ถึง 32767 เท่านั้นให้คุณเลือกใช้ชนิดของข้อมูลที่ใช้ทรัพยากรระบบให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ก่อน โดยที่ยังสามารถรองรับความต้องการของคุณได้ตารางต่อไปนี้ เป็นชนิดของข้อมูลเบื้องต้นที่ VB สนับสนุน สิ่งที่คุณควรสนใจก็คือ ชนิดของข้อมูลที่สามารถเก็บได้ ขอบเขตของข้อมูล ใช้หน่วยความจำระบบเท่าใด และสัญลักษณ์พิเศษที่ใช้แทนชนิดของข้อมูล ใช้ในกรณีที่คุณต้องการใช้งานตัวแปรแบบ Implicit ซึ่งรูปแบบการประกาศตัวแปรมีดังนี้

Dim x As Integer หมายถึง ให้ตัวแปร x เก็บข้อมูลที่เป็นตัวเลขจำนวนเต็มเท่านั้น (มีค่าอยู่ระหว่าง 32768 ถึง 32767)

Dim y As String หมายถึง ให้ตัวแปร y เก็บข้อมูลที่เป็นข้อความ หรือตัวอักษรเท่านั้น รายละเอียดของข้อมูล แต่ละชนิด มีดังนี้

**1. Boolean** เป็นข้อมูลชนิดบูลีน (Boolean) ใช้หน่วยความจำ 2 bytes สามารถมีค่า True (จริง) หรือFalse (เท็จ) เท่านั้น ถ้าคุณกำหนดเป็นตัวเลข โดยที่ 0 หมายถึง False และตัวเลขจำนวนเต็มใดๆที่ไม่เท่ากับ 0 หมายถึง True

**2. Byte** เป็นข้อมูลชนิดเลขจำนวนเต็ม มีค่าระหว่าง 0-255 โดยใช้หน่วยความจำ 1 byte มักใช้เก็บรหัสโค้ดแอสกี้ ที่มีจำนวน 256 ตัวอักษร

**3. Currency** เป็นข้อมูลชนิดที่มีค่าตั้งแต่ -922,337,203,685,477.5808 ถึง 922,337,203,685,477.5807 ใช้หน่วยความจำ 8 bytes ใช้สำหรับเก็บตัวเลขทางการเงินโดยเฉพาะ เพราะมีความละเอียดสูง มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง

**4. Date** เป็นข้อมูลสำหรับใช้เก็บวันที่ ซึ่งสามารถเก็บได้ตั้งแต่วันที่ 1 January 100 ถึงวันที่ 31December 9999 และเก็บเวลาได้ตั้งแต่ 0:00:00 ถึง 23:59:59 ในการใช้ข้อมูลชนิดนี้ คุณต้องใช้เครื่องหมาย #...# ล้อมรอบค่าของตัวแปรด้วย ใช้หน่วยความจำ 8 bytes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5. Double**ใช้เก็บตัวเลขจำนวนจริง แยกเป็น 2 กรณี คือ ค่าบวกอยู่ระหว่าง 4.94065645841247E-324ถึง 1.79769313486232E308 ค่าลบอยู่ระหว่าง -1.79769313486232E308 ถึง -4.94065645841247E-324 ใช้หน่วยความจำ 8 bytes

**6. Integer** ใช้เก็บเลขจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ -32768 ถึง 32767 ใช้หน่วยความจำ 2 byte

**7. Long** ใช้เก็บเลขจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง -2,147,483,648 ถึง 2,147,483,647 ใช้หน่วยความจำ 4 byte

**8. Single**ใช้เก็บตัวเลขจำนวนจริง แยกเป็น 2 กรณี คือ ค่าบวกอยู่ระหว่าง 1.401298E-45 ถึง3.402823E38 และค่าลบอยู่ระหว่าง -3.402823E38 ถึง -1.401298E-45 ใช้หน่วยความจำ 4byte

**9. String** เป็นข้อมูลชนิดข้อความ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งตัวอักษร หรือตัวเลขก็ได้ ขนาดหน่วยความจำที่ใช้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเก็บ คือ ถ้าตัวอักษรที่เก็บอยู่ในรูปแบบ ASCII จะใช้พื้นที่ 1 ตัวต่อ 1 byteแต่ถ้าเก็บในรูปแบบ Unicode อักษรแต่ละตัวจะใช้พื้นที่ 1 ตัวต่อ 2 bytes ข้อมูลชนิด String สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

Variable-length string หมายถึง เป็นตัวแปร String ที่คุณไม่ได้กำหนดขนาดของตัวอักษรไว้ คุณสามารถใส่ตัวอักษรได้ 65526 ตัวอักษร (ascii) และ 32763 ตัวอักษร(unicode)

Fixed-length string หมายถึง เป็นตัวแปร String ที่คุณจำกัดขนาดตัวอักษรไว้ คุณจะต้องใช้เลขจำนวนเต็มเท่านั้น ในการจำกัดขนาดตัวอักษร เช่น Dim a As String *99 หมายถึง ตัวแปร a สามารถเก็บตัวอักษร รวมช่องว่างได้ไม่เกิน 99 ตัวอักษร สูงสุดที่98 ตัวอักษร ตัวสุดท้ายใช้เก็บตัวอักษรพิเศษ null กำกับไว้เพื่อบอกให้รู้ว่า จบข้อความแล้ว ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์ที่คุณควรทราบไว้สำหรับในการใช้ตัวแปรชนิด Stringสำหรับในการใช้งานตัวแปร String แบบจำกัดขนาดนี้ ให้คุณระวังในเรื่อง ขนาดของข้อความที่จัดเก็บ ถ้าข้อความมีจำนวนตัวอักษร เกินกว่าที่คุณกำหนดไว้ ข้อความส่วนที่เกินจะถูกตัดออกไป

### 2.5.5. การใช้งานคอนโทรล

ในทูลบ็อกซ์นั้น เราจะเห็นไอคอนของคอนโทรลชนิดต่างๆ พื้นฐานที่เราพบเห็นเสมอในการใช้งานแอปพลิเคชัน มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่2.44** แสดงคอนโทรลต่างๆที่ปรากฏในทูลบ็อกซ์

A

**2.5.5.1 Label: แบบอักษร**

เป็นแถบอักษรหรือป้ายตัวอักษรที่ผู้ใช้กำหนดข้อความลงไปได้ ในขณะที่ใช้งานผู้ใช้งานจะแก้ไขข้อความนี้ไม่ได้ พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

-Caption เป็นข้อความที่แสดงในแถบตัวอักษร

-Alignment เป็นการจัดวางแนวของข้อความ

-BackStyle เป็นการกำหนดรูปแบบของพื้นหลังว่าเป็นทึบหรือโปร่งใส

-BorderStyle รูปแบบของเส้นขอบ ปกติจะไม่มีแต่สามารถกำหนดได้

-Font เป็นรูปแบบฟอนต์ที่ใช้แสดงข้อความ

-ForeColor BackColor เป็นสีของตัวอักษรและสีพื้นหลัง

**2.5.5.2 Command Button: ปุ่มกด**

Command Button หรือเรียกสั้นๆว่าButtonเป็นActiveX Controlที่เราพบได้มากที่สุด เป็นปุ่มที่ให้เรากด Enter หรือคลิกเมาส์ เพื่อเลือกตัวเลือกนั้น ซึ่งเราจะใช้Command Buttonแทนคำสั่ง 1 คำสั่ง พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

-Caption เป็นข้อความที่จะแสดงบนButton

-Picture เป็นรูปที่สามารถกำหนดให้กับปุ่มนั้นๆโดยเราจะกำหนดให้พรอพเพอร์ตี้ Style=Graphicalก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| -Default | ในกรณีที่ฟอร์มมีหลายปุ่ม เราสามารถให้ปุ่มใดปุ่มหนึ่งเป็นดีฟอลต์ (Default) (โดยปริยาย) ได้โดยกำหนดให้มีค่าเป็น True (ซึ่งทั้งฟอร์มจะมีเพียงปุ่มเดียวเท่านั้นเท่านั้นที่มีค่าเป็นTrue) เมื่อผู้ใช้งานกด Enter จะมีค่าเท่ากับการคลิกที่ปุ่มซึ่งกำหนดเป็นดีฟอลต์ |
| -Style | เป็นรูปแบบของปุ่มกด แบบทั่วไปมีเฉพาะข้อความหรือกราฟิก |
| -ToolTipText | เป็นการแสดงข้อความแนะนำเมื่อเมาส์พอยเตอร์ (Pointer) ลอยอยู่เหนือ ActiveX Control นั้นๆ |
| -Click | เป็นอีเวนต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเราคลิกที่ปุ่มกดนั้น |

**2.5.5.3 TextBox: กรอบข้อความ**

TextBox เป็นคอนโทรลที่พบบ่อยเช่นกัน ซึ่งเราจะยอมให้เพิ่มเติม/แก้ไขข้อความที่อยู่ในคอนโทรล ได้ พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

| | |
|---|---|
| -Text | เป็นข้อความที่เราจะกำหนดให้แสดง |
| -Locked | จะกำหนดว่าTextBoxนั้นสามารถแก้ไขข้อความข้างในได้หรือไม่ ปกติจะเป็นการกำหนด Falseคือยอมให้แก้ไขได้ |
| -MultiLine | เป็นการกำหนดว่า ถ้าข้อความที่จะแสดงผลมีความยาวเกิน 1 บรรทัด จะยอมให้ขึ้นบรรทัดใหม่หรือไม่ ปกติจะกำหนดเป็น False คือไม่ยอม แต่ถ้าเราต้องการให้แสดงข้อความได้หลายบรรทัดก็กำหนดให้เป็น True |
| -SelText | เป็นข้อความที่ได้จากการคลิกลากแถบเลือกข้อความ |
| -SelLength | เป็นความยาวของตัวอักษรที่ได้จากการคลิกลากแถบเลือกข้อความ |
| -SelStart | เป็นตำแหน่งเริ่มต้นที่ได้จากการคลิกลากแถบเลือกข้อความ |
| -ScrollBar | จะเป็นการกำหนดให้มี ScrollBarหรือไม่ เมื่อความยาวข้อความที่กรอกเข้าไปยาวกว่าขนาดของTextBox ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะเอา ScrollBar ในแนวนอนหรือแนวตั้ง หรือทั้งคู่ |
| -MaxLength | กำหนดความยาวตัวอักษรมากที่สุดที่ยอมให้กรอกได้ในTextBox |
| -PasswordChar | เป็นการกำหนดรูปแบบตัวอักษรที่จะแสดงผลออกมา เมื่อเรากำหนดให้TextBoxนั้นทำหน้าที่รับการป้อนรหัสผ่าน |
| -Font | เป็นรูปแบบฟอนต์ที่ใช้แสดงในข้อความในTextBox |
| -ForeColorBackColor | เป็นสีของตัวอักษรและสีของพื้นฐาน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.5.4 OptionButton: ตัวเลือกที่เลือกได้เพียงตัวเดียว**

OptionButton เป็นตัวเลือกที่เลือกได้ตัวเดียวเท่านั้น พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

-Caption เป็นข้อความที่เราจะกำหนดให้OptionButton

-Alignment เป็นแนวของข้อความที่แสดงว่าจะอยู่ซ้าย/ขวาของช่องที่ใช้เลือก

-Value เป็นค่าที่ได้จากการคลิกเพื่อเลือก (True) หรือไม่เลือก (False)

-Picture เป็นรูปที่สามารถกำหนดให้กับปุ่มนั้นๆโดยเราจะกำหนดให้พรอพเพอร์ตี้ Style=Graphicalก่อน

-Style เป็นรูปแบบของการแสดงผลว่าจะเป็นแบบมาตรฐานหรือแบบกราฟิก

-Click เป็นอีเวนต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเราคลิกที่OptionButtonนั้น

**2.5.5.5 CheckBox: ตัวเลือกที่เลือกได้มากกว่า1ตัว**

เป็นตัวเลือกที่เลือกได้มากกว่า1ตัว โดยการคลิกเลือกตัวเลือกที่ต้องการหรือไม่เลือกก็ได้ พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

-Caption เป็นข้อความที่เราจะกำหนดให้ CheckBox

-Alignment เป็นแนวของข้อความที่แสดงว่าจะอยู่ซ้าย/ขวาของช่องที่ใช้เลือก

-Value เป็นค่าที่ได้จากการคลิกเพื่อเลือก (Checked) หรือไม่เลือก (UnChecked) นอกจากนี้ยังกำหนดให้ไม่อนุญาตให้เลือก (Grayed)

-Picture เป็นรูปที่สามารถกำหนดให้กับปุ่มนั้นๆโดยเราจะกำหนดให้พรอพเพอร์ตี้ Style=Graphicalก่อน

-Style เป็นรูปแบบของการแสดงผลว่าจะเป็นแบบมาตรฐานหรือแบบกราฟิก

-Click เป็นอีเวนต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเราคลิกที่ CheckBox

**2.5.5.6 Frame: กรอบ**

กรอบจะทำหน้าที่แยกกลุ่มของคอนโทรลออกเป็นกลุ่มๆแต่ยังอยู่ในฟอร์มเดียวกัน การที่กรอบสามารถบรรจุเอาคอนโทรลต่างๆอยู่ภายในได้ เราเรียกความสามารถนี้ว่า คอนเทนเนอร์ (Container) ซึ่งฟอร์มเองก็มีความสามารถนี้อยู่แล้ว พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

-Caption ใช้กำหนดข้อความที่อยู่ที่มุมซ้ายบนของกรอบ

**2.5.5.7 Timer: ตัวจับเวลา**

เป็นคอนโทรลที่ใช้ในการควบคุมและจัดการเหตุการณ์ด้านเวลา และสามารถควบคุมการทำงานด้วยตัวมันเอง เพราะว่าเป็นนาฬิกาของระบบ พรอพเพอร์ตี้ที่สำคัญ คือ

-Interval ใช้กำหนดเวลาช่วงการจับเวลาให้ Timer ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Enabled ใช้สั่งให้ Timer เริ่มทำงานหรือหยุดทำงาน

**2.5.5.8 Line: เส้น**

เป็นการสร้างเส้นตรงในแนวตั้ง แนวนอน หรือแนวทแยง หรืออาจใช้แทนการใช้คำสั่งวาดเส้นตรงได้

**2.5.5.9Shape: รูปร่าง**

ใช้แสดงรูปทรงต่างๆซึ่งมีด้วยกัน 6 แบบคือสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส วงกลม วงรี สี่เหลี่ยมผืนผ้ามุมบนและสี่เหลี่ยมจัตุรัสมุมบน โดยสามารถควบคุมสี รูปแบบของเส้น การระบายสีในรูปและขนาดได้

**2.5.5.10 SYSMAC_C**

ใช้เป็นการรับ-ส่งค่าจากคอมพิวเตอร์ให้เครื่องพีแอลซี

**2.5.5.11 Tiger chart**

ใช้ในการพล็อตกราฟ ซึ่งกราฟที่ได้จะเป็นกราฟที่เวลาจริง

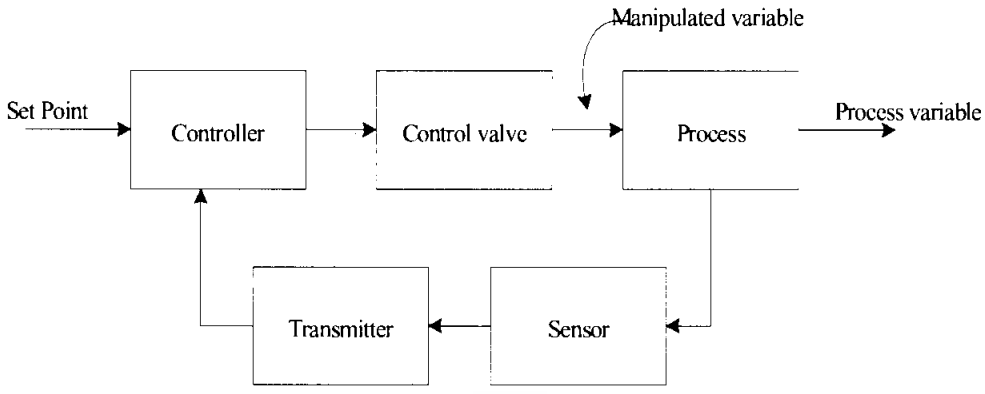
## 2.6 ลูปควบคุมกระบวนการ

ในระบบควบคุมที่มีอยู่เราสามารถแบ่งแยกระบบควบคุมนั้นๆออกตามลักษณะการทำงานได้ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

### 2.6.1 ลูปควบคุมป้อนกลับ (Single-loop feedback control loop)

ลูปควบคุมป้อนกลับเป็นรูปแบบการควบคุมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จากรูปที่2.45 เป็นบล็อกไดอะแกรมซึ่งอธิบายรูปแบบการทำงานของลูปควบคุมป้อนกลับ สภาพกระบวนการ (Process variablePV) จะถูกตรวจสอบด้วยเซ็นเซอร์และส่งกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าปรับตั้งไว้ (Set point SP) เพื่อทำให้เกิดเป็นสัญญาณคลาดเคลื่อน (e = PV – SP ) ของกระบวนการขึ้น ตราบใดที่ยังคงมีสัญญาณคลาดเคลื่อนปรากฏอยู่ อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการ ( Controller )ก็จะสั่งการให้วาล์วควบคุม ( Control valve ) ทำการสร้างสัญญาณที่เหมาะสม เพื่อปรับแต่งให้การทำงานของกระบวนการมีสภาพกระบวนการเป็นไปตามที่ต้องการหรือจนกว่าที่สภาพกระบวนการจะมีค่าเข้าสู่ค่าปรับตั้งไว้ คือ นั่นคือ PV =SP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.45** บล็อกไดอะแกรมของลูปควบคุมป้อนกลับ

แต่ในขณะที่กระบวนการกำลังทำงานอยู่นั้น สัญญาณรบกวนจากภายนอกสามารถทำให้กระบวนการมีการทำงานเบี่ยงเบนไปจากที่ต้องการได้เสมอ ดังนั้นหน้าที่ของลูปควบคุมคือ ต้องสร้างสัญญาณปรับแต่ง (Manipulated variable) เพื่อชดเชยสภาพการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการอันเนื่องมาจากผลของสัญญาณรบกวน นอกจากนี้แล้วหากเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับเปลี่ยนค่าปรับตั้งไว้ ลูปควบคุมก็จำเป็นต้องสร้างสัญญาณปรับแต่งให้สอดคล้องกับกระบวนการ ณ ค่าใหม่ตามความต้องการของกระบวนการด้วย

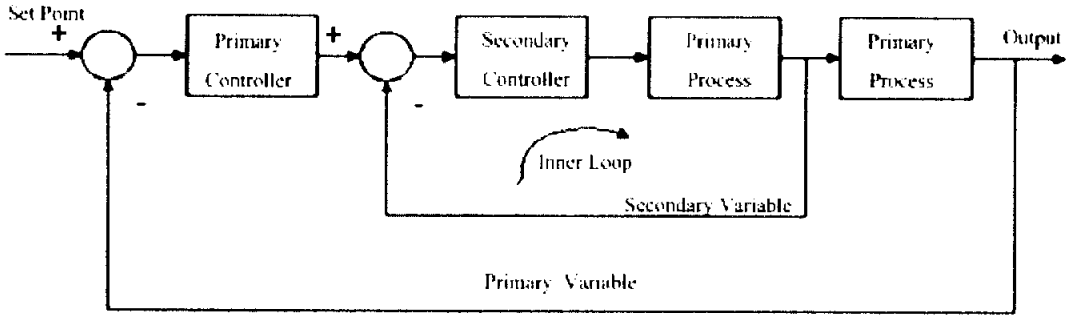
### 2.6.2 ลูปควบคุมชั้นสูง (Advanced control loop)

นอกเหนือจากรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยใช้ลูปควบคุมแบบป้อนกลับแล้ว ยังมีรูปแบบอีกลักษณะหนึ่ง คือลูปควบคุมชั้นสูงซึ่งมีด้วยกัน 3 แบบ คือ

#### 2.6.2.1 ลูปควบคุมแบบคาสเคด (Cascade control loop)

ลูปควบคุมนี้ดัดแปลงมาจากลูปควบคุมป้อนกลับ โดยเพิ่มลูปป้อนกลับอีกหนึ่งลูปเข้าไปในกระบวนการเพื่อช่วยในการตรวจสอบสภาพกระบวนการรอง (Intermediate controlled variable) ซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงหรือค่าปรับตั้งไว้ สำหรับลูปป้อนกลับหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.46** การควบคุมแบบคาสเคด

จากรูปที่2.46 เป็นบล็อกไดอะแกรมอธิบายการควบคุมแบบคาสเคด โดยที่ตัวควบคุมปฐมภูมิ (Primary controller) เป็นตัวควบคุมหลักที่ต้องมี ตัวควบคุมทุติยภูมิ (Secondary controller) เป็นตัวควบคุมรองซึ่งไม่จำเป็นต้องมีก็สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ด้วย primary controller

ลูปควบคุมแบบคาสเคดเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการที่มีผลตอบสนองช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการประเภทนี้มักเกิดค่าคลาดเคลื่อนเมื่อเวลาผ่านไปนานมาก และหากมีสัญญาณรบกวนภายนอกเข้ามากระทำกับกระบวนการผลิตทำให้สภาพการทำงานเปลี่ยนไป ด้วยเหตุที่กระบวนการผลิตมีผลตอบสนองช้ามากจึงทำให้ลูปควบคุมจำเป็นต้องรอเวลานานมากเช่นกัน ในการที่จะนำผลที่ได้ไปสร้างสัญญาณปรับแต่ง เพื่อปรับสภาพการทำงานของกระบวนการผลิตต่อไป ดังนั้นลูปควบคุมป้อนกลับเพียงลูปเดียวไม่สามารถตอบสนองการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงใช้ลูปควบคุมแบบคาสเคดตรวจสอบกระบวนการผลิต แล้วนำมาใช้เป็นข้อมูลในการปรับแต่งสภาพการทำงานของกระบวนการผลิตให้มีผลตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่มากระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น ข้อดีของการใช้ลูปควบคุมแบบคาสเคดคือเนื่องจากลูปวงในมีผลตอบสนองที่เร็วกว่าลูปวงนอกจึงทำให้สามารถแก้ไขค่าความผิดพลาดได้เร็วกว่า ทำให้การควบคุมระบบมีเสถียรภาพเร็วขึ้น

#### 2.6.2.2 ลูปควบคุมแบบสัดส่วน (Ratio control loop)

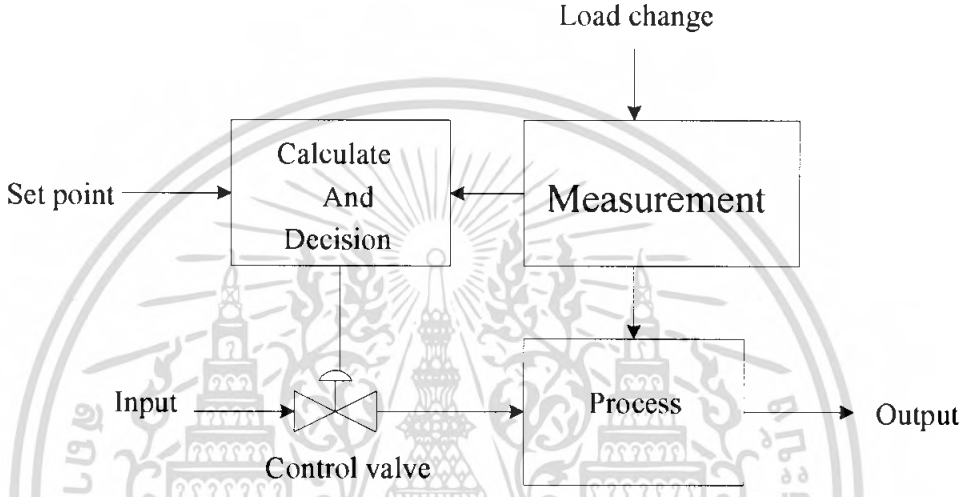
หากพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่า โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ระหว่างลูปควบคุมแบบคาสเคดกับลูปควบคุมแบบสัดส่วนนั้นมีความคล้ายคลึงกันมากแต่เมื่อพิจารณาหลักการทำงานพื้นฐานพบว่า ทั้งสองรูปแบบนั้นมีความแตกต่างกันมาก โดยทั่วไปหลักการควบคุมกระบวนการโดยการใช้ลูปควบคุมแบบสัดส่วน จะนิยมใช้กันมากในกระบวนการที่ต้องการนำเอาปริมาณทางฟิสิกส์สองชุดหรือมากกว่ามาผสมกัน แล้วทำการรักษาสถานะของส่วนผสมที่ได้นั้นไว้ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการไหล (Conventional flow controller) ชุดแรกกับปริมาณตัวแรก และนำมาควบคุมปริมาณอีกตัวหนึ่งด้วยอุปกรณ์ควบคุมอัตราส่วน (Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

controller) ภายใต้สัดส่วนที่เหมาะสม อัตราส่วนที่ได้จากอุปกรณ์ทั้งสองตัว จะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการปรับแต่งสภาพกระบวนการ

**2.6.2.3 ลูปควบคุมแบบป้อนกลับล่วงหน้า (Feedforward control loop)**

การควบคุมลักษณะนี้จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโหลดของกระบวนการโดยตรง บล็อกไดอะแกรมของลูปควบคุมแบบส่งผ่านแสดงได้ดังรูปที่2.47




**รูปที่2.47** บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของลูปควบคุมแบบป้อนกลับล่วงหน้า

ระบบการวัดซึ่งภายในประกอบด้วยเซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์สำคัญจะทำหน้าที่ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าโหลดของกระบวนการหรือสัญญาณรบกวนจากภายนอกที่เข้ามาทำกับกระบวนการ จากนั้นสัญญาณการตรวจวัดที่ได้จะถูกส่งให้กับหน่วยประมวลผลของระบบซึ่งคือคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณ ประมวลผล และตัดสินใจ สร้างสัญญาณควบคุมเอาท์พุทที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพการทำงานของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไป ข้อดีของลูปควบคุมแบบป้อนกลับล่วงหน้านี้คือช่วยปรับสภาพของกระบวนการผลิตให้กลับเข้าสู่เป้าหมายเร็วขึ้น การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้าสามารถช่วยให้การควบคุมกระบวนการผลิตของระบบควบคุมแบบป้อนกลับดีขึ้น เนื่องจากสัญญาณการควบคุมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะสามารถส่งสัญญาณควบคุมให้สภาพของกระบวนการผลิตกลับเข้าสู่เป้าหมายการควบคุมภายหลังการตรวจสอบของความแตกต่างระหว่างค่าปรับตั้งกับสภาพกระบวนการ การควบคุมแบบป้อนล่วงหน้าสามารถปรับเสถียรภาพของระบบควบคุมก่อนที่กระบวนการจะเสถียรภาพ แต่ระบบควบคุมแบบป้อนล่วงหน้าไม่สามารถควบคุมกระบวนการผลิตเพียงลำพังโดยปราศจากการควบคุมแบบป้อนกลับเนื่องจากค่าการรบกวนและค่าผิดผลาดที่ไม่ได้รันโดยลูปควบคุมแบบป้อนกลับล่วงหน้ายังต้องใช้ระบบควบคุมป้อนกลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดการแก้ไข ลูปควบคุมแบบป้อนกลับล่วงหน้านี้ค่อนข้างมีความซับซ้อน และราคาแพง เมื่อเทียบกับลูปควบคุมแบบอื่นๆ รวมทั้งยังต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของกระบวนการเป็นอย่างดี

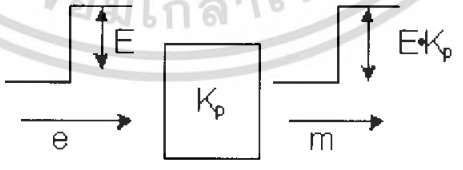
## 2.7 ตัวควบคุม

ตัวควบคุม เป็นตัวคำนวณพิเศษเฉพาะที่ใช้สัญญาณค่าผิดพลาดจากตัวเปรียบเทียบเป็นอินพุทหรือเรียกว่าฟังก์ชันบังคับ (Forcing function) และไปคำนวณค่าที่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงจากตัวแปรจัดการ

ตัวควบคุมทางฮาร์ดแวร์จะรวมหน้าที่อย่างอื่นที่อยู่ภายในวงป้อนกลับ เช่น อุปกรณ์อินพุท ตัวเปรียบเทียบ เครื่องรับจากระบบการส่งถ่ายป้อนกลับ ชนิดของตัวควบคุมแบ่งตามแหล่งจ่ายพลังงานได้ดังนี้ ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ นิวเมติก แมคคานิค ซึ่งทั้งหมดมีอัตราการตอบสนองที่เร็วพอสำหรับความต้องการของกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม แต่ในปัจจุบันการควบคุมกระบวนการส่วนใหญ่จะใช้พื้นฐานการควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์หรือนิวเมติก การควบคุมป้อนกลับพื้นฐานที่ใช้งานกันทั่วไปคือ

### 2.7.1 การควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ลหรือแบบพี (Proportional control หรือ P control)

การควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล เป็นโหมดควบคุมที่ง่ายมีใช้อยู่ทั่วไปในโหมดควบคุมต่อเนื่องมาก โหมดนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทและอินพุทของตัวควบคุมเป็นเชิงเส้น เอาท์พุทของตัวควบคุมเป็นสัดส่วนทางพีชคณิตกับค่าสัญญาณผิดพลาด ที่เป็นอินพุทของตัวควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2.48




**รูปที่2.48** การตอบสนองต่อค่าผิดพลาดของตัวควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล

สัญญาณอินพุทเป็นค่าผิดพลาด $e(t)$ ที่เป็นขั้นบันไดมีขนาดเท่ากับ $E$ ในโหมดนี้ค่าเอาท์พุทของตัวควบคุม $m(t)$ คำนวณได้จาก

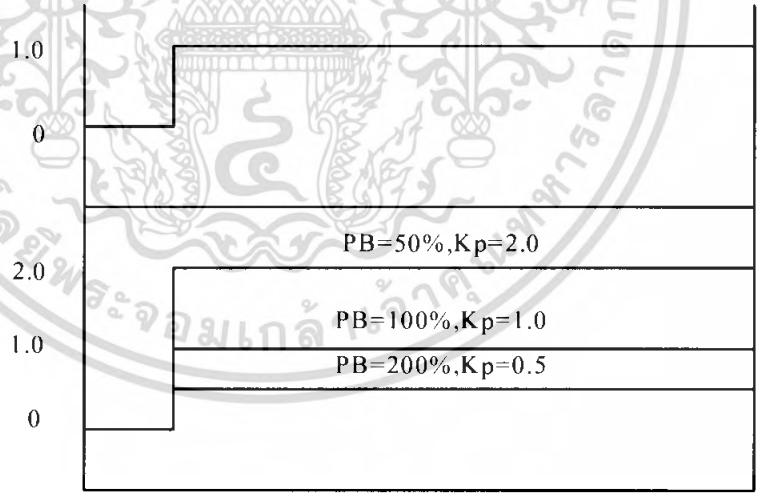
$$m(t) = K_p e(t) \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $K_p$ เป็นเกน( Gain ) ของตัวควบคุมหรือสภาพไวตามสัดส่วน ( Proportional sensitivity ) ของตัวควบคุม $K_p$ บอกค่าของสัญญาณจัดการที่เปลี่ยนไปต่อหน่วยการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณผิดพลาด ในตัวควบคุมระดับอุตสาหกรรมการปรับค่าเกนไม่แสดงเป็นค่าเกน แต่จะแสดงเป็นค่าโพรบโพชันแน็ลแบนด์ (Proportional Band PB) เนื่องจากค่าเกนแสดงเป็นจำนวนเท่าที่ไม่มีหน่วยยากแก่การคาดคะเน $PB$ แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดหรืออินพุทที่เกิดขึ้นที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนเอาท์พุทของตัวควบคุมไปหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์หรือเปลี่ยนไปค่าเต็มสเกล จึงมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ $PB$ สัมพันธ์กับโพรบโพชันแน็ลเกนดังนี้

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \tag{2.2}$$

เนื่องจากตัวควบคุมส่วนมากมีสเกลบอกค่าสุดท้ายของตัวแปรถูกควบคุม ดังนั้นค่า PB สามารถแสดงเป็นช่วงค่าของตัวแปรถูกควบคุมที่สัมพันธ์กับช่วงทำงานเต็มสเกลของวาล์วควบคุมสุดท้าย ช่วงทำงานเต็มของวาล์วควบคุมสุดท้าย หมายถึง ตัววาล์วทำงานเต็มระยะชัก

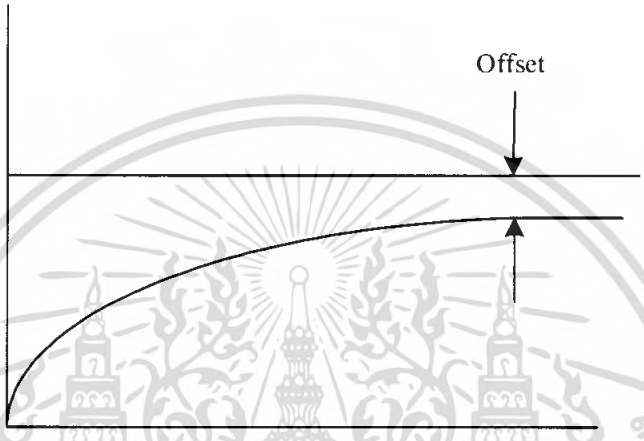



**รูปที่2.49** ผลของการควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ลต่อเอาท์พุทของตัวควบคุม

จากรูปในการปฏิบัติจะเห็นว่า $PB$ กว้าง (% ของ $PB$ สูง) สัมพันธ์กับการตอบสนองที่มีสภาพไวต่ำ แต่ $PB$ แคบ (% ของ $PB$ ต่ำ) สัมพันธ์กับการตอบสนองที่มีสภาพไวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ลเป็นการควบคุมต่อเนื่องที่ง่ายต่อการปรับแต่ง (Tune) เพราะมีพารามิเตอร์ปรับค่าเพียงตัวเดียว อีกทั้งยังมีเสถียรภาพดี การตอบสนองเร็ว และมีเสถียรภาพสัมพัทธ์ทางไดนามิค ข้อเสียหลักของการควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล คือ ที่ค่าสภาวะคงตัวมีออฟเซตอยู่เสมอคือ ที่สภาวะคงตัวมีความแตกต่างระหว่างค่าที่ต้องการควบคุมหรือค่าปรับตั้งกับค่าจริงของตัวแปรถูกควบคุม ดังแสดงในรูปที่2.50




**รูปที่2.50** ค่าโพรบโพชันแน็ลออฟเซต

**2.7.2 การควบคุมแบบอินทิกรัลหรือแบบไอ ( Integral control หรือ I control )**

การควบคุมแบบรีเซต คือ การอินทิเกรทสัญญาณผิดพลาด โดยการควบคุมจะพิจารณาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งการหาค่าความผิดพลาดจะต้องหาพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟ ของค่าความผิดพลาดต่อจากนั้นนำไปคูณกับค่าคงที่ โดยจะมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุทของตัวควบคุม $m(t)$ และค่าความผิดพลาด $e(t)$ ดังนี้

$$m(t) = K_I \cdot \int_0^t e(t)dt \tag{2.3}$$

หรือ

$$\frac{dm(t)}{E(s)} = K_I \cdot e(t) \tag{2.4}$$

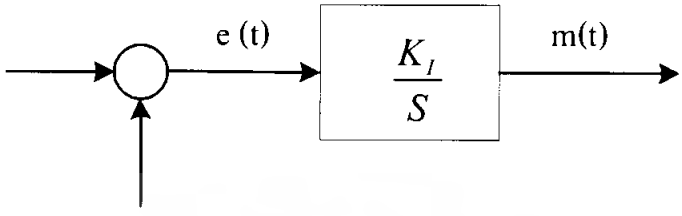
โดยที่ $K_I$ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบไอ (Integral gain)

$e(t)$ เป็นค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของตัวแปรควบคุมแบบอินทิกรัลคือ $\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_I}{S}$

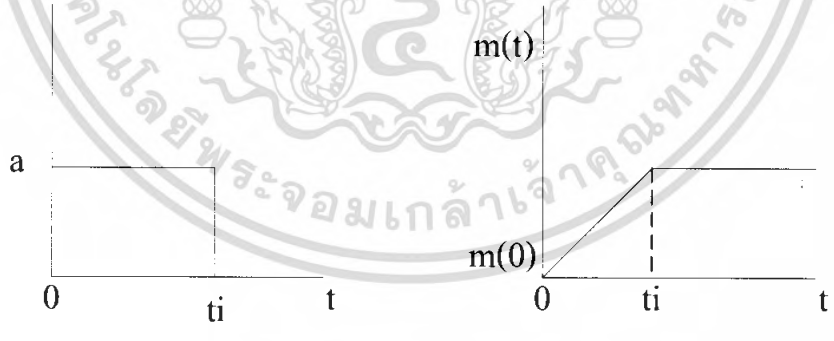
โดยสามารถแสดงในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่2.51




**รูปที่2.51** บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบอินทิกรัล

ในการควบคุมแบบอินทิกรัลนั้นค่าเอาท์พุทของตัวควบคุม $m(t)$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด e(t) ดังนั้นถ้าค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น ทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไปจากค่าที่ต้องการแล้ว อุปกรณ์จะจัดการกับค่าผิดพลาดโดยเร็ว (โดยลดค่าความผิดพลาดนี้หมดไป ) เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายจะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอยู่ในสภาวะที่แล้วนั่นเอง

ดังนั้น ในการควบคุมแบบอินทิกรัลจะทำให้ไม่เกิดค่าออฟเซตขึ้นมา ดังรูปที่ 2.52




**รูปที่ 2.52** ผลตอบสนองของการควบคุมแบบอินทิกรัลจากสัญญาณขั้นบันได

วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมแบบอินทิกรัลคือการกำจัดออฟเซต แต่การควบคุมแบบอินทิกรัลจะไม่นิยมใช้งานเพียงตัวเดียว เพราะจะให้ผลในการควบคุมน้อยมาก กล่าวคืออาจเกิดการแกว่งเกิดขึ้นพร้อมกับการตอบสนองของกระบวนการที่รวดเร็วดังนั้นจึงมีการนำการควบคุมแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิกรัลมาใช้กับการควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล หรือที่เรียกว่าการควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล-อินทิกรัล ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

### 2.7.3 การควบคุมแบบเดริเวทีฟหรือแบบดี ( Derivative control หรือ D control )

การควบคุมแบบเดริเวทีฟหรือแบบดีหรือเรียกว่าการควบคุมแบบเรท(Rate) การควบคุมแบบนี้ค่าสัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดต่อเวลา จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดมีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาท์พุทนี้สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าที่สูงได้ เมื่อค่าความผิดพลาดเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

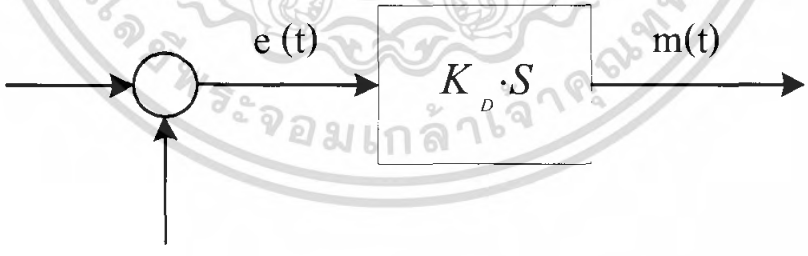
$$m(t) = K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \tag{2.5}$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_D \cdot S \tag{2.6}$$

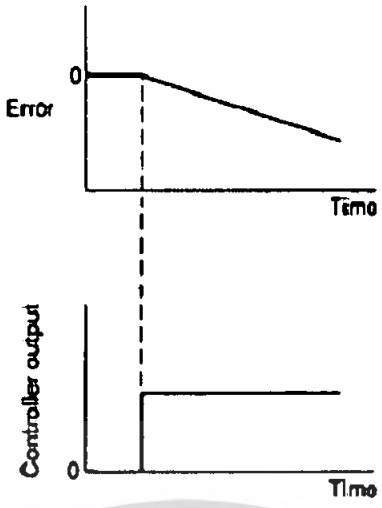
โดยที่ $K_D$ เป็นเดริเวทีฟเกนที่ปรับค่าได้

$e(t)$ เป็นค่าความผิดพลาดของกระบวนการ




**รูปที่2.53** บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบเดริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.54** ผลตอบสนองของการควบคุมแบบเดริเวทีฟต่อค่าสัญญาณผิดพลาด

ในการควบคุมลักษณะนี้ เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีเวลาหน่วงมากๆ เพราะสามารถแก้ความผิดพลาดด้วยการกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีการกระทำเกิดขึ้นได้จึงช่วยให้ผลตอบสนองเร็วขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ การควบคุมแบบนี้จะมีความไวต่อสัญญาณ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการควบคุมกระบวนการที่มีค่าเวลาหน่วงน้อยๆและกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหลหรือระบบควบคุมแรงดัน

### 2.7.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral control หรือ PI control)

การควบคุมแบบพีไอเป็นการควบคุมที่มีค่าเอาท์พุท เป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นกับผลรวมของค่าอินพุทและค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุท โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$m(t) = (K_P \cdot e(t)) + \left(\frac{K_P}{T_I}\right)\int_0^1 e(t)dt \qquad (2.7)$$

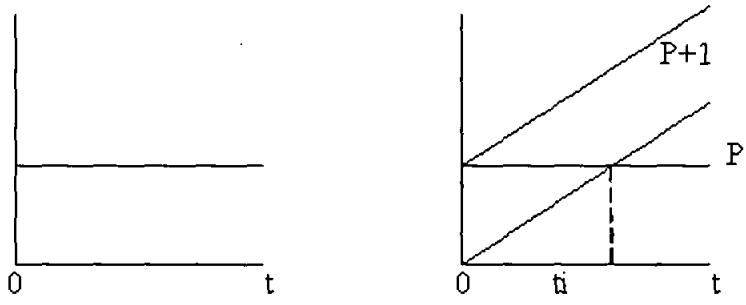
หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I s}\right) \qquad (2.8)$$

โดยที่ $K_P$ เป็นค่าของความไว

$T_I$ เป็นค่าของเวลาอินทรีกรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.55** การควบคุมแบบพีไอ

ประโยชน์ของการรวมโหมดอินทิกรัลเข้ากับโหมดโพรบโพชันแนล คือ สามารถขจัดออฟเซตจากโหมดโพรบโพชันแนลและโหมดอินทิกรัล แต่เสถียรภาพจะลดลงเล็กน้อยจากการเพิ่มอินทิกรัลโหมด การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอจะมีความยุ่งยากกว่าการปรับแต่งตัวควบคุมพี เพราะมีพารามิเตอร์สองตัว คือ $K_P$ และ $T_I$ และแต่ละตัวจะมีผลกระทบต่ออีกตัวหนึ่งเสมอ ความยากจะเพิ่มขึ้นมากตามจำนวนครั้งของการปรับแต่งค่า

### 2.7.5 การควบคุมพีดี (Proportional and Derivative control หรือ PD control)

การควบคุมแบบพีดีเป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาท์พุทเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของอินพุท กับผลคูณคาบเวลากับอัตราการเปลี่ยนแปลงอินพุท โดยสามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

$$m(t) = (K_P \cdot e(t)) + \left( K_P \cdot T_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \right) \tag{2.9}$$

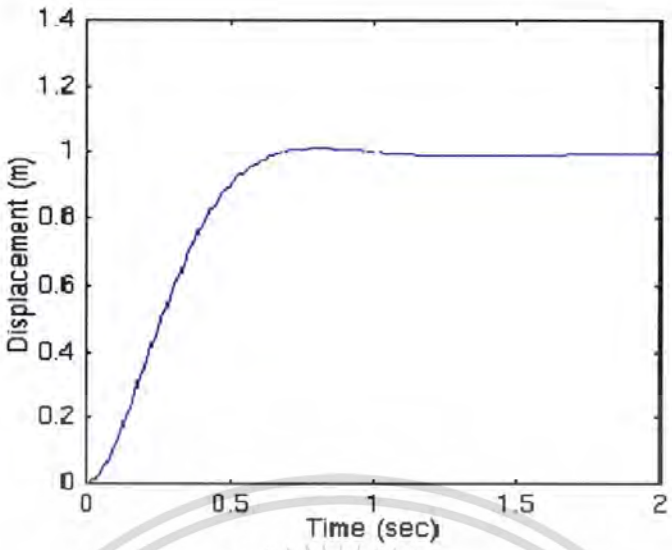
หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_P \cdot (1 + T_D s) \tag{2.10}$$

โดยที่ $K_P$ เป็นค่าของความไว

$T_D$ เป็นค่าของเวลาเดริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.56** ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีดี

ประโยชน์ของการใส่เดริเวทีฟโหมดเหมือนกับการใส่วงจรนำหน้า (Lead) เพิ่มเข้าไปในตัวควบคุมเพื่อชดเชยการล้าหลัง (Lag) ในวงควบคุม และเมื่อมีการปรับแต่งที่เหมาะสมจะทำให้วงควบคุมมีเสถียรภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มค่าโพรบโพชันแน็ลเกนให้สูงขึ้นได้ เพื่อลดค่าออฟเซตให้น้อยลงกว่ากรณีโหมดโพรบโพชันแน็ลเพียงอย่างเดียว แต่ออฟเซตยังคงไม่หมดไป

### 2.7.6 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional integral and derivative control หรือ PID control)

การควบคุมแบบโพรบโพชันแน็ล-บวกอินทิกรัล-บวกเดริเวทีฟ หรือเรียกสั้นๆว่า การควบคุมแบบสามโหมด เป็นการควบคุมต่อเนื่องที่ทำงานสลับซับซ้อนมากที่สุด ที่มีใช้ในวงควบคุมป้อนกลับ จากการควบคุมข้างต้น การควบคุมแบบพีดีทำให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพเร็วแต่ไม่สามารถทำให้ค่าออฟเซตหมดลงไปได้ ส่วนการควบคุมแบบพีไอนั้นทำให้ค่าออฟเซต ณ สภาวะคงที่หมดไป แต่ต้องใช้เวลานานในการเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นการควบคุมแบบพีไอดีจึงเป็นการทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

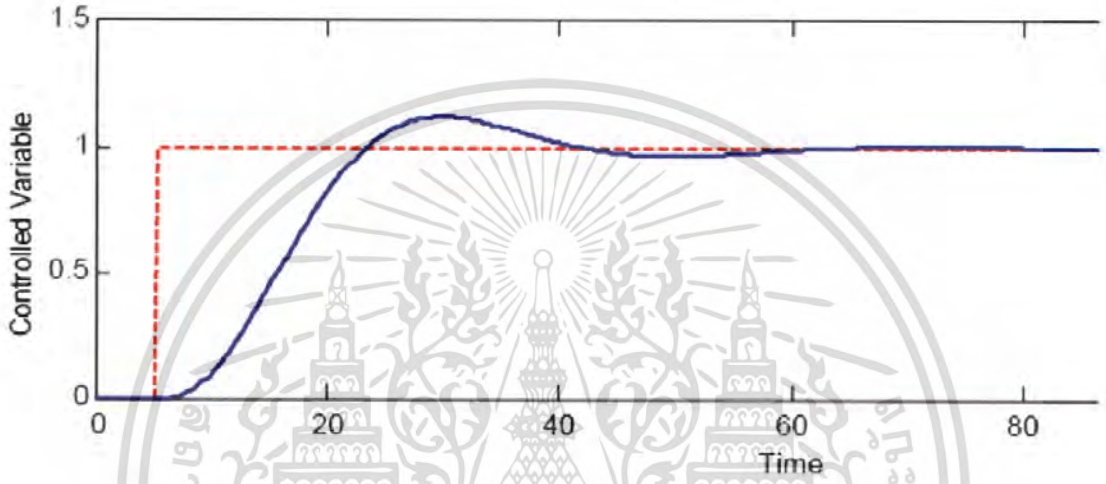
$$m(t) = (K_P \cdot e(t)) + \left( K_P \cdot T_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \right) + \left( \frac{K_P}{T_I} \right) \int_0^t e(t)dt \qquad (2.11)$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

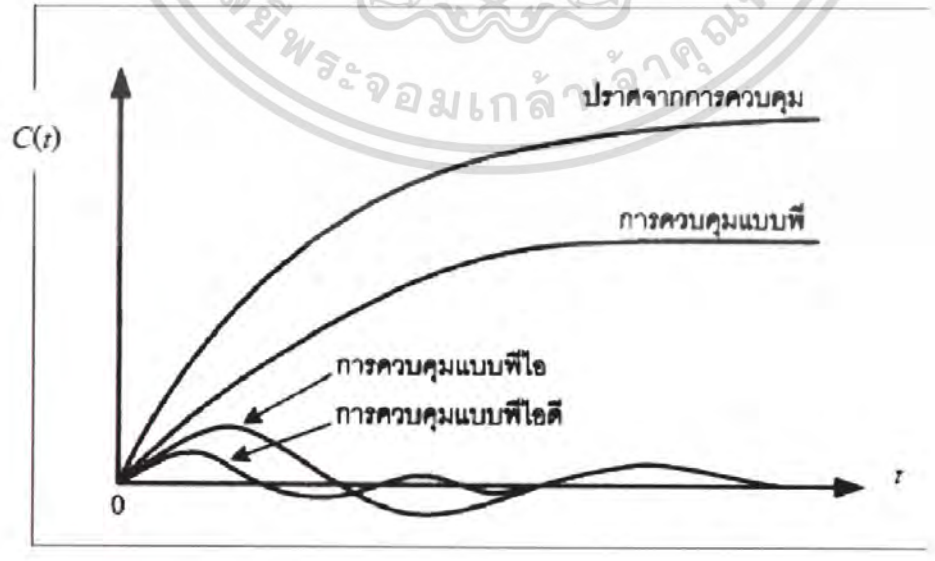
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_P \cdot \left(1 + T_D s + \frac{1}{T_I s}\right) \tag{2.12}$$

การควบคุมแบบสามโหมดให้การตอบสนองเร็วและไม่มีออฟเซต แต่การปรับแต่งพารามิเตอร์มีความยุ่งยากเพราะมีค่าที่ต้องปรับถึงสามค่า จึงมีการใช้งานในปริมาณไม่มากและในการใช้งานต้องการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่อเนื่องเพื่อรักษาค่าให้เหมาะสม




**รูปที่2.57** ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

### 2.7.7 ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมแต่ละชนิด




**รูปที่2.58** ผลตอบสนองต่อกระบวนการของการควบคุม

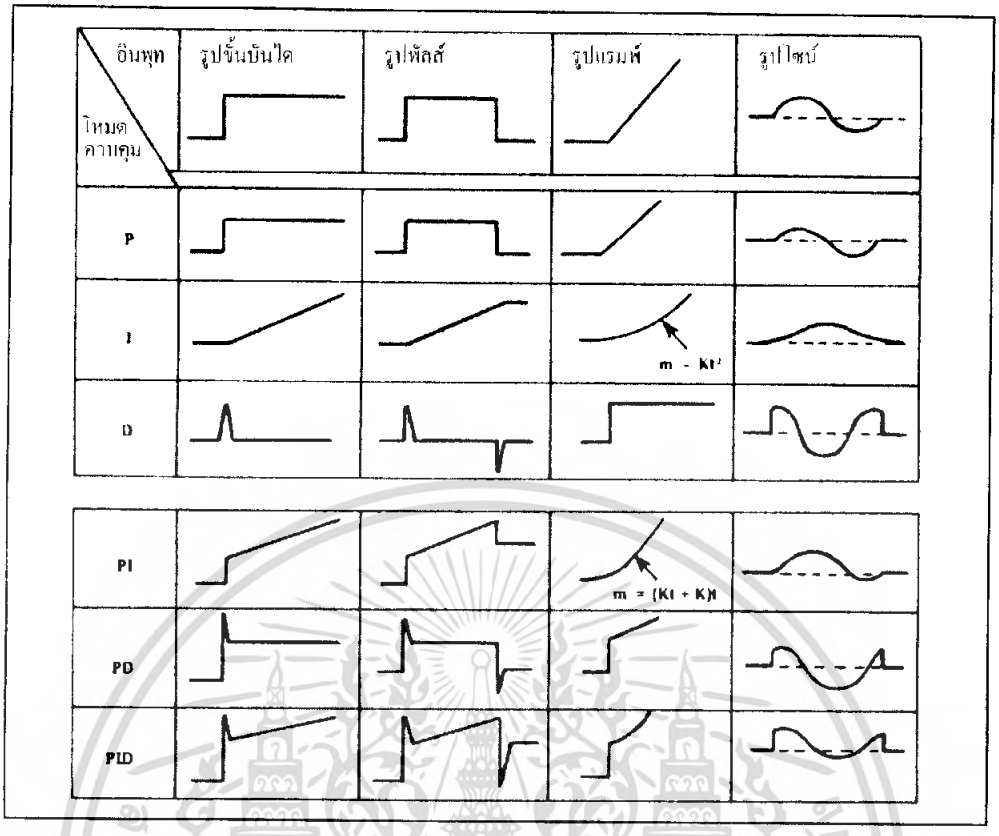
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่2.58 แสดงผลตอบสนองต่อการควบคุมซึ่งผลตอบสนองของกระบวนการแทนด้วย C (t) หากไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ กระบวนการจะต้องใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงที่ การควบคุมแบบพีจะเร่งการตอบสนองต่อกระบวนการและลดค่าออฟเซต การควบคุมแบบพีไอจะกำจัดค่าออฟเซตแต่ทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่ง ส่วนการควบคุมแบบพีไอดีจะลดองศาการแกว่งและลดเวลาในการตอบสนองลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้การควบคุมแบบพี พีไอ พีไอดี จะไม่มีผลตอบสนองของกระบวนการที่มีการแกว่งเสมอไป แต่จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแต่ละตัวและส่วนประกอบอื่นๆของกระบวนการ

**ตารางที่ 2.5** สมการของการคณิตศาสตร์ควบคุมโหมดต่างๆ

| สัญลักษณ์ | ชนิด | สมการคณิตศาสตร์ |
|---|---|---|
| P | proportional mode | $m = K_c e$ |
| I | Integral mode | $m = \frac{1}{T_i}\int e dt$ |
| PI | proportional mode -Integral | $m = K_c\left[e + \frac{1}{T_i}\int e dt\right]$ |
| PD | proportional mode - derivative | $m = K_c\left[e + T_d\frac{de}{dt}\right]$ |
| PID | proportional mode - Integral - Derivative | $m = K_c\left[e + \frac{1}{T_i}\int e dt + T_d\frac{de}{dt}\right]$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.59** การตอบสนองของตัวควบคุมโหมดต่าง ๆ

### 2.7.8 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี

ในการวิเคราะห์และออกแบบตัวควบคุมนั้น จำเป็นต้องศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะของกระบวนการ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทั้งหมด เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบ ที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการเมื่อถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอกหรือได้รับการควบคุมจากเครื่องควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้เลือกการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ในอันที่จะได้รับการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไป การศึกษาธรรมชาติ และคุณลักษณะ หรือคุณสมบัติต่างๆของกระบวนการที่ใช้กันอยู่ มี 2 วิธี คือ

1. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยใช้วิธีการทดสอบ วิธีนี้การวิเคราะห์กระบวนการสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดและเครื่องควบคุมทดลองป้อนสัญญาณอินพุท และสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาท์พุทนี้จะนำไปพยากรณ์ หรือประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ เพื่ออธิบายคุณลักษณะกระบวนการต่อไป

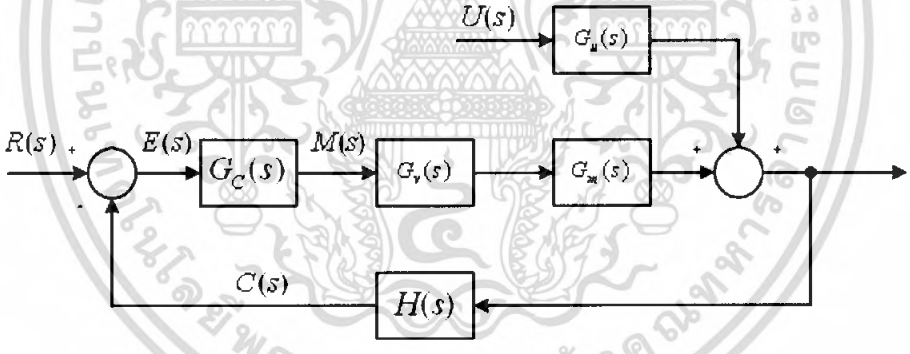
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ วิธีนี้การวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์และกระบวนการจะถูกแสดงในลักษณะของสมการคณิตศาสตร์ต่างๆ และวิเคราะห์คุณสมบัติของกระบวนการจากการหาคำตอบของสมการเหล่านี้การศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีที่ยุ่งยาก และต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ และฟิสิกส์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยผู้มีความรู้ และความชำนาญ

อุตสาหกรรมโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยวิธีการทดลองป้อนสัญญาณขั้นบันไดให้กระบวนการ เพื่อสังเกตผลที่จะเกิดขึ้นในสภาพความเป็นจริง และนำค่าพารามิเตอร์ หรือ ค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป

## 2.8 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ

### 2.8.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการ




**รูปที่ 2.60** บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป แสดงโดยรูปที่ 2.60

เมื่อ $R(s)$ = การแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ของค่าอินพุทอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย

$E(s)$ = การแปลงลาปลาซของค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

$M(s)$ = การแปลงลาปลาซของสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม

$C(s)$ = การแปลงลาปลาซของสัญญาณเอาท์พุทของทรานสมิตเตอร์ (Transmitter)

$U(s)$ = การแปลงลาปลาซของสัญญาณรบกวน (Disturbance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G_c(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม

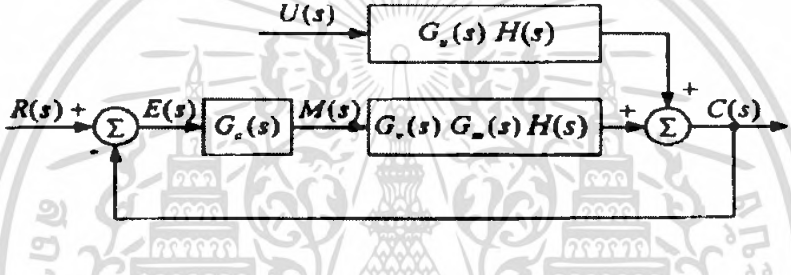
$G_v(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของวาล์วควบคุม(หรืออุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย)

$G_m(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการซึ่งอยู่ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการควบคุม และสัญญาณการทำงาน

$G_u(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการซึ่งอยู่ระหว่างสัญญาณที่ได้จากการควบคุม และสัญญาณรบกวน

$H(s)$ = ฟังก์ชันถ่ายโอนของเซนเซอร์-ทรานสมิตเตอร์ (Sensor – Transmitter)

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในรูป สามารถลดรูปเพื่อให้เข้าใจง่ายดังรูปที่ 2.61




**รูปที่ 2.61** บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหลังการลดรูป

กำหนดให้ การรวมกันของ $G_v(s)G_m(s)H(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการดังนั้น

$$G(s) = G_v(s)G_m(s)H(s) \tag{2.13}$$

ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ แสดงตามสมการของเวลาไร้ผลตอบสนอง (First-Order-Plus-Dead-Time (FOPDT) )

$$G(S) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau S + 1} \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ เวลาไร้ผลตอบสนองอันดับสอง (Second-Order-Plus-Dead-Time (SOPDT) )

$$G_1(S) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \tag{2.15}$$

หรือ

$$G_1(S) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau^2 + 2\zeta\tau s + 1} \tag{2.16}$$

โดยที่ $K$ = อัตราการขยายของกระบวนการ (Process Gain)

$t_0$ = ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ (Process Dead Time)

$\tau, \tau_1, \tau_2$ = ค่าคงตัวของเวลาของกระบวนการ (Process Time Constant)

$\zeta$ = อัตราการหน่วง (damping ratio)

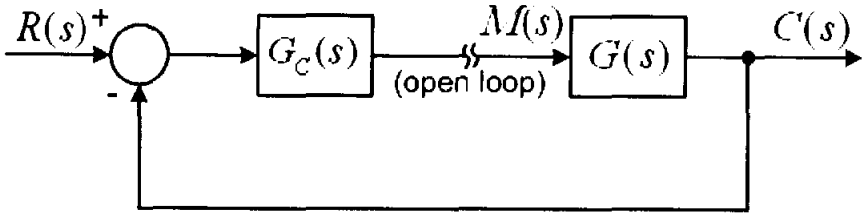
โดยทั่วไป ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการจะถูกประมาณการให้เป็นรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีเวลาไร้ผลตอบสนอง เนื่องจากเป็นการประมาณการที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยจากสมการคุณลักษณะของระบบการที่เราจะหาค่าพารามิเตอร์ของพีไอดี เราจะต้องรู้ค่าตัวแปร 3 ค่าด้วยกันคือ ค่าอัตราขยายของกระบวนการ $(K)$ ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ $(t_0)$ และค่าคงตัวเวลาของกระบวนการ $(\tau)$ จากสมการจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะของกระบวนการอยู่ในรูปของตัวแปร 3 ตัว ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบกระบวนการ (Process Step Testing หรือ การหาค่า Process Reaction Curve)

### 2.8.2 วิธีการหาพารามิเตอร์จากเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ (Process ReactionCurve)

วิธีการหาพารามิเตอร์โดยวิธีเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ ขั้นตอนการหาเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการมีขั้นตอนดังนี้

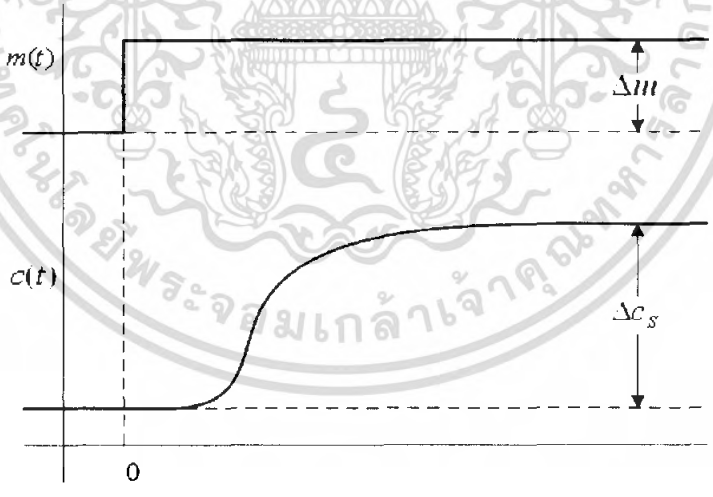
1. เลือกตัวควบคุมให้ทำงานแบบควบคุมด้วยมือ (Manual) หรือเป็นการเปิดวงของกระบวนการดังรูปที่ 2.62 แล้วทำการป้อนสัญญาณขั้นบันได $m(t)$ เข้าไปยังระบบ โดยที่ขนาดสัญญาณขั้นบันไดที่ป้อนเข้าไปนั้นจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำให้เครื่องมือวัดตรวจจับและวัดค่าได้ แต่ขนาดไม่ใหญ่จนทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.62** บล็อกไดอะแกรมสำหรับการทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด

2. บันทึกค่าผลตอบสนองที่ออกมาจากกระบวนการ $C(t)$ จากอุปกรณ์บันทึกสัญญาณที่สามารถมั่นใจได้ว่าค่าที่ได้จะเหมาะสมทั้งสองค่าทั้งขนาดและระยะเวลาการทำงานของกระบวนการ ในการบันทึกค่านั้นต้องบันทึกค่าตั้งแต่แรกจนกระทั่งผลตอบสนองที่ออกจากกระบวนการคงที่ ซึ่งระยะเวลาในการบันทึกขึ้นอยู่กับความไวของผลตอบสนองในกระบวนการ บางกระบวนการอาจจะใช้เวลา 2-3 นาที แต่บางกระบวนการอาจใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง ซึ่งตลอดเวลาในการวัดค่าต้องไม่ให้มีสัญญาณอื่นมารบกวนระบบ จากการทดสอบเราจะได้ผลตอบสนองกระบวนการเป็นรูปร่างเป็นตัวเอส (S) ดังรูปที่ 2.63 ซึ่งผลตอบสนองจะครอบคลุมถึงกระบวนการอันดับสองและกระบวนการอันดับสูง ที่มีหรือไม่มีเวลาไร้ผลตอบสนองก็ได้




**รูปที่ 2.63** ผลตอบสนองจากการทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด

จากการทดสอบกระบวนการจะได้สมการดังนี้

$$C(s) = G(s)M(s) \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุม $\Delta m$ และการกระบวนการตามรูปแบบของ เวลาไร้ผลตอบสนอง ในรูปของลาปลาซ ได้ว่า

$$C(s)=\frac{Ke^{-t0s}}{\varpi+1}\bullet\frac{\Delta m}{s} \tag{2.18}$$

ทำการกระจายเศษส่วนย่อยได้สมการดังนี้

$$C(s)=K\Delta me^{-t_0s}\left[\frac{1}{s}-\frac{\tau}{\tau s+1}\right] \tag{2.19}$$

แปลงลาปลาซผกผันเพื่อให้อยู่ในโดเมนของเวลา

$$C(t)=K\Delta mu(t-t_0)\left[1-e^{-(t-t_0)\tau}\right] \tag{2.20}$$

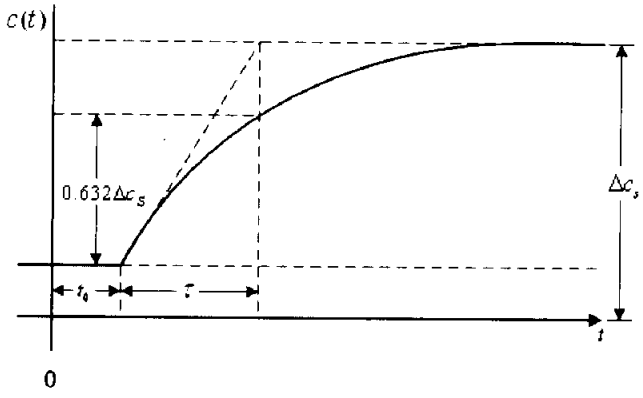
เมื่อสัญญาณขั้นบันไดในพจน์ของ $u(t-t_0)$ กำหนดให้ $C(t)=t\le t_0$ โดย $\Delta c(t)=c(t)-c(0)$ เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาท์พุทของกระบวนการจากค่าสภาวะ (Initial Valve) ดังนั้นเมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) $\Delta c(t)$ จะเขียนแทนด้วย $\Delta c_s$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\Delta c_s=\lim_{x\to\infty}\Delta c(t)=K\Delta m \tag{2.21}$$

ดังนั้นค่าของอัตราขยายของระบบจะมีค่าเท่ากับ

$$K=\frac{\Delta c_s}{\Delta m} \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.64** ผลตอบสนองขั้นบันไดของระบบ FODPT

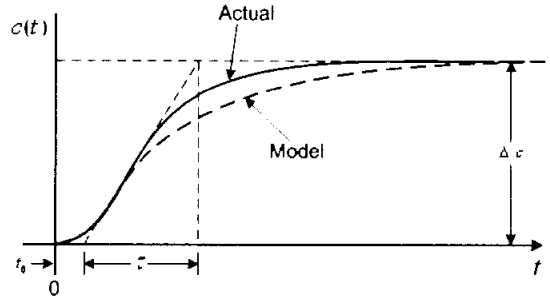
โดยจากรูปที่ 2.64 จะได้ว่า $t_0$ คือเวลาไร้ผลตอบสนอง (dead time) และ $\tau$ คือ ค่าเวลาคงตัว (time constant)

เมื่อเราได้เส้นโค้งผลตอบสนองกระบวนการแล้วเราสามารถหาค่า อัตราขยายของกระบวนการ( $K$ ) ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ ( $t_0$ ) และค่าเวลาคงตัวของกระบวนการ ( $\tau$ ) เพื่อนำพารามิเตอร์ต่างๆ ไปใช้ในการหาค่าปรับแต่งพีไอดี ตามวิธีของ ซีเกลอร์และนิโคลส์ และวิธีของดาลินห์มีวิธีการหาได้ 3 วิธีคือ

วิธีที่ 1 ฟิต 1 (Fit 1) มีวิธีการคือ การใช้เส้นสัมผัสไปสัมผัสกับเส้นโค้งของผลตอบสนอง โดยลากเส้นเฉียงจากจุดที่มีการเริ่มการเปลี่ยนแปลงไปถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยเส้นที่ลากนั้นต้องสัมผัสกับเส้นโค้งของผลตอบสนองมากที่สุดสำหรับรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีเวลาไร้ผลตอบสนอง จะเริ่มลากเส้นสัมผัสที่เส้นเวลา จากการตรวจสอบอย่างละเอียดพบว่าผลตอบสนองดังรูป 2.65 จะได้สมการที่เริ่มต้นของอัตราการเปลี่ยนแปลงคือ

$$\left.\frac{dC}{dt}\right|_{t_0} = K\Delta m\left[\frac{1}{\tau}\right] = \frac{\Delta c_s}{\tau} \qquad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

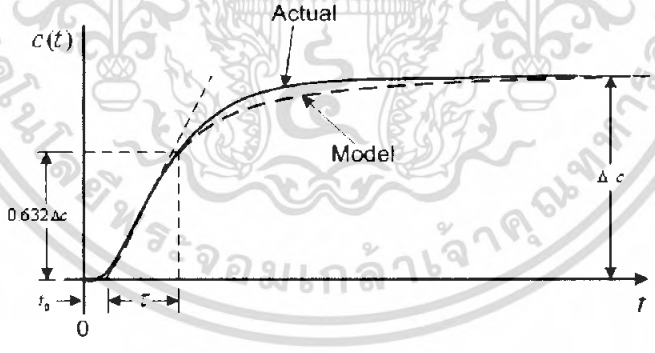



**รูปที่ 2.65** ค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง FOPDT จากวิธี ฟิต1

จากรูปที่ 2.65 เห็นว่าการลากเส้นสัมผัสจะเริ่มต้นที่เวลา $t = t_0$ และไปสิ้นสุดที่เวลา $t_0 + \tau$ ซึ่งจากกราฟเราจะได้ค่าของ $t_0$ และ $\tau$ และจากรูปจะพบว่าค่าของเวลาคงตัวสูงกว่าความเป็นจริง

วิธีที่ ฟิต 2 (Fit 2)ในวิธีการนี้ ค่าเวลาไร้ผลตอบสนองของกระบวนการ $t_0$ จะเหมือนกับวิธีที่ 1 แต่ค่าเวลาคงตัวของกระบวนการ $\tau$ ที่ได้มาจากวิธี 1 เป็นค่าที่ได้รับอิทธิพลจากรูปแบบของผลตอบสนองที่เวลา $t = t_0 + \tau$ จากสมการ $\left[C(t) = K\Delta mu(t - t_0)\left[1 - e^{-(t-t_0)\cdot\tau}\right]\right]$ แทนค่า $t = t_0 + \tau$ จะได้

$$C(t_0 + t) = K\Delta m\left[1 - e^{-1}\right] = 0.632\Delta C_s \qquad (2.24)$$




**รูปที่ 2.66** ค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง FOPDT จากวิธี ฟิต2

จากรูปที่ 2.66 เป็นการแสดงรูปแบบจำลองของการใช้วิธีที่ 2 จะเห็นผลตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีที่ 1 โดยค่า $\tau$ ของวิธีที่ 2 ปกติจะมีค่าน้อยกว่าวิธี ฟิต1 และค่า $t_0$ มีค่าเท่ากัน

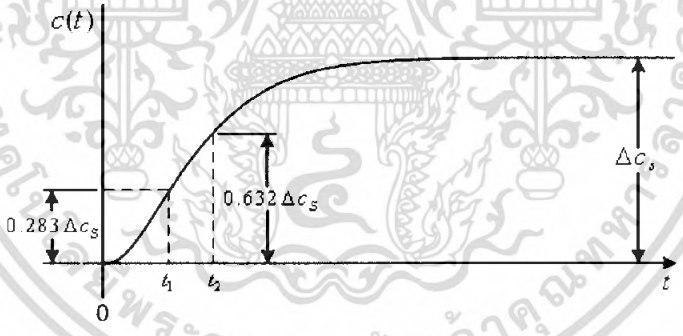
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ ฟิต 3 (Fit 3)เป็นการปรับปรุงจากวิธี ฟิต2 วิธีแรกเพราะการกำหนดค่า $t_0$ และ $\tau$ ของ 2 วิธีการแรกมีความถูกต้องน้อย เพราะการลากเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งผลตอบสนองของกระบวนการ ณ จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ค่า $(t_0+\tau)$ จะขึ้นอยู่กับผู้ที่ลากเส้น ในการประมาณค่าทั้งสอง เพื่อกำจัดการลากเส้นโดยใช้เส้นสัมผัส ดอกเตอร์ ซีซิล แอล สมิทธ์ (Dr. Cecil L. Smith) ได้นำเสนอวิธีการเลือกค่า $t_0$ และ $\tau$ โดยเลือกจากแบบจำลองและแบบความเป็นจริงในจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด โดยได้เลือกจุดที่เวลา $(t_0+\tau/3)$ และ $(t_0+\tau)$ ตามลำดับซึ่งการหาจุดแรกได้จาก

$$C\left(t_0+\frac{\tau}{3}\right)=K\Delta m\left(1-e^{\frac{-1}{3}}\right)=0.283\Delta c_s \tag{2.25}$$

และจุดสองหาได้จาก

$$\Delta C(t_0+\tau)=K\Delta m\left(1-e^{-1}\right)=0.632\Delta c_s \tag{2.26}$$




**รูปที่ 2.67** ค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง FOPDT จากวิธี ฟิต3

กำหนดให้เวลาที่

$$t_1=\left(t_0+\tau/3\right) \tag{2.27}$$

$$t_2=\left(t_0+\tau\right) \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$t_0 = t_2 - \tau \tag{2.29}$$

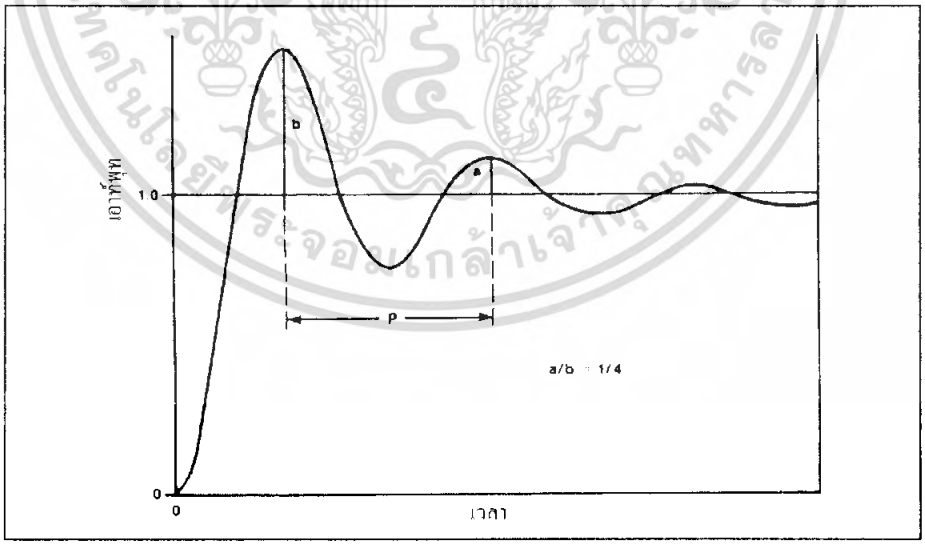
$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) \tag{2.30}$$

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการทั้ง 3 ค่าคือ $K$ $\tau$ และ $t_0$ นี้จะนำไปใช้ในการหาสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี

## 2.9 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ในการปรับแต่งกระบวนการแบบต่างๆ

### 2.9.1 การควบคุมแบบอัตราส่วนการลดลงหนึ่งส่วนสี่ (Quarter Decay Ratio)

เนื่องจากเกิดปัญหาที่ว่าอะไรคือการควบคุมที่ดี ซึ่งในแต่ละกระบวนการอาจแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีเกณฑ์ปกติที่ใช้กำหนดการควบคุมที่ดี คือการปรับตัวควบคุมจนกระทั่งเส้นโค้งตอบสนองมีอัตราส่วนของแอมพลิจูด (amplitude) หรืออัตราส่วนการลดทอน (decay ratio) เท่ากับหนึ่งส่วนสี่ อัตราส่วนการลดลงหนึ่งส่วนสี่คืออัตราส่วนยอดพุ่งเกิน (overshoot) สูงสุดยอดแรกของเส้นโค้งตอบสนองกระบวนการต่อยอดพุ่งเกินยอดที่สองเท่ากับสี่ต่อหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.68




**รูปที่ 2.68** เส้นโค้งตอบสนองกระบวนการสำหรับอัตราส่วนการลดลงหนึ่งส่วนสี่

ซึ่งอัตราส่วนการลดลงเท่ากับหนึ่งส่วนสี่ แต่เป็นการแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของช่วงสภาวะชั่วคราว (Transient) กับช่วงสภาวะคงตัว (Steady-State) ในบางกรณีมีความสำคัญที่ต้อง

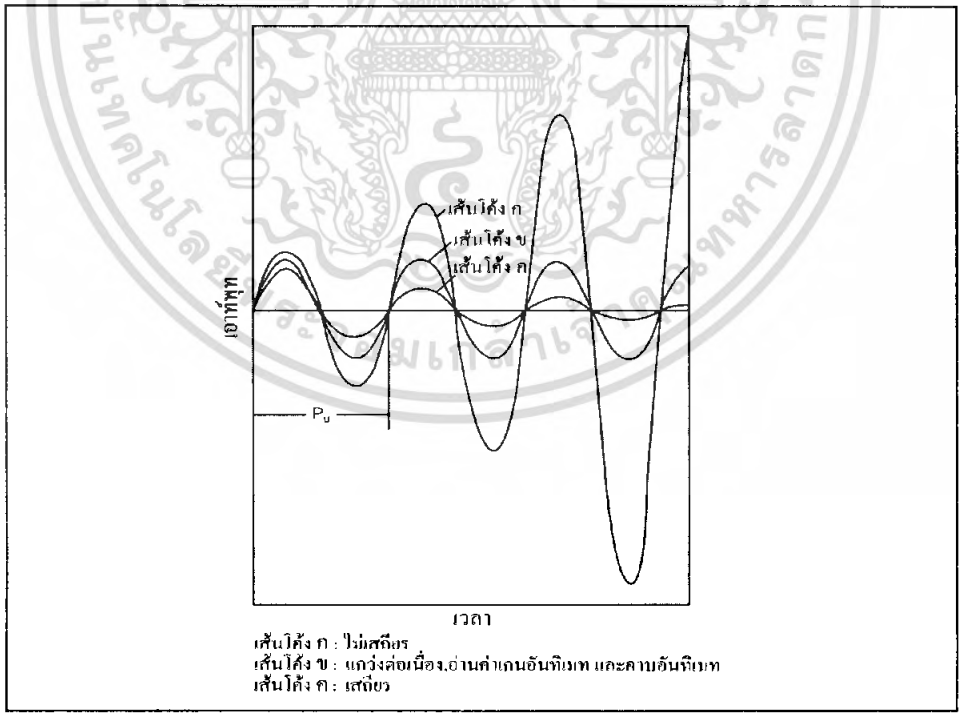
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับแต่งวงจรควบคุมไม่ให้มีค่าพุ่งเกิน ในบางกรณีอาจต้องการการตอบสนองที่เรียบ (smooth) และช้า ในบางวงจรควบคุมต้องการการตอบสนองเร็วและไม่สนใจปัญหาการแกว่ง (oscillation) และอะไรอื่นๆอีกปัญหาคือต้องกำหนดว่าอะไรคือการควบคุมที่ดีสำหรับแต่ละระบบ

### 2.9.2 การหาพารามิเตอร์โดยวิธีอัลทิเมท (Ultimate Method)

วิธีอัลทิเมทนำเสนอโดย ซีเกลอร์ (Ziegler) และ นิโคลส์ (Nichols) ในปี 1942 การนำคำว่าอัลทิเมทมาใช้ในวิธีนี้เนื่องจากต้องหาค่าเกนอัลทิเมท (ultimate gain) และคาบอัลทิเมท (ultimate period) ค่าเกนอัลทิเมทคือค่าเกนสูงสุดที่สามารถทำให้ระบบมีเสถียรภาพในที่ตัวควบคุมทำงานด้วยโหมดโพรบโพชันแน็ลเพียงอย่างเดียว

ในระบบควบคุมป้อนกลับใด ๆ หากมีการปิดวงควบคุม(ตัวควบคุมถูกตั้งอยู่ที่ตำแหน่งอัตโนมัติ) ท่านสามารถเพิ่มเกนของตัวควบคุมไปเรื่อยๆ วงควบคุมจะเข้าสู่การแกว่งมากขึ้นๆ และต้องเพิ่มค่าเกนต่อไปอีกจะปรากฏการแกว่งต่อเนื่องที่ตัวแปรถูกควบคุม นี่คือค่าเกนสูงสุดที่ระบบสามารถทำงานได้ก่อนกลายเป็นระบบไม่เสถียร ค่าเกนนี้เรียกว่าอัลทิเมทเกน และคาบ ณ เวลาที่เกิดการแกว่งต่อเนื่องคือคาบอัลทิเมท ณ จุดนี้หากมีการเพิ่มค่าเกนอีกระบบจะกลายเป็นไม่เสถียรทันที ค่าอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมทแสดงในรูปที่ 2.69




**รูปที่ 2.69** การตอบสนองที่แสดงค่าอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.9.2.1 ขั้นตอนการหาค่าอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมท**

1. ปรับค่าเวลาอินทิเกรต(Integral time) และเวลาเดริเวทิฟ (Derivative time) ให้หยุดปฏิบัติการ ปล่อยให้ตัวควบคุมทำงาน เฉพาะ Proportional mode นั่นคือปรับค่า $T_i$ เท่ากับอนันต์ และ $T_d$ เท่ากับศูนย์ หรือเข้าใกล้ค่าดังกล่าวให้มากที่สุดเท่าที่ตัวควบคุมจะทำได้

2. รักษาตัวควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งอัตโนมัติ นั่นคือปล่อยให้วงควบคุมปิด

3. ตั้งค่าโพรบโพชันแน็ลเกนที่ค่าต่ำๆ ให้ทดลองดูว่าค่าเกนต่ำพอหรือยังโดยการขยับค่าปรับตั้งไปมาเป็นเวลาสอง-สามวินาทีและตั้งกลับมาไว้ที่ค่าเดิม แล้วสังเกตเส้นโค้งการตอบสนอง

4. หากเส้นโค้งการตอบสนองไม่มีการยุบตัวลงดังเส้นโค้ง A ในรูปที่ 2.69 แสดงว่าค่าเกนยังสูงเกินไปต้องลดค่าเกนลงและทำซ้ำขั้นตอนที่ 3

5. หากเส้นโค้งการตอบสนองมีการยุบตัวดังเส้นโค้ง C ในรูปที่ 2.69 แสดงว่าค่าเกนต่ำเกินไปต้องเพิ่มค่าเกนหรือ และทำซ้ำขั้นตอนที่ 3

6. เมื่อได้เส้นโค้งการตอบสนอง ดังเส้นโค้ง B ในรูปที่ 2.69 แสดงว่าได้ค่าอัลทิเมทเกนแล้วให้จดค่าทั้งอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมทไว้ นี่คือค่าเกนที่ระบบอยู่ในสภาวะการแกว่งต่อเนื่อง ให้ค่าอัลทิเมทเกนเป็น $K_u$ และคาบอัลทิเมทเป็น $P_u$

ด้วยเหตุผลและการทดสอบที่คล้ายกันจะได้สมการที่เป็นกฎเกณฑ์ง่ายๆและดีสำหรับการปรับตั้งตัวควบคุมที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นดังนี้

**ตารางที่ 2.6** ค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการอัลทิเมท

| Controller Type | Proportional Gain $K_c'$ | Integral Time $\tau_i'$ | Derivative Time $\tau_D'$ |
|---|---|---|---|
| Proportional-only P | $\frac{K_{cu}}{2}$ | - | - |
| Proportional-Integral PI | $\frac{K_{cu}}{2.2}$ | $\frac{T_{cu}}{1.2}$ | - |
| Proportional-Integral-Derivative PID | $\frac{K_{cu}}{1.7}$ | $\frac{T_{cu}}{2}$ | $\frac{T_{cu}}{8}$ |

วิธีอัลทิเมทที่ได้นำเสนอใช้กับระบบวงปิดไม่เหมาะกับกระบวนการที่ทำงานช้า (slow process) เช่นเตาเผาอิฐปูน กระบวนการที่แยกลำดับส่วน หรือหม้อ ไอน้ำทั้งนี้เนื่องจาก มันอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องใช้เวลาเป็นวันจึงจะเห็นรูปแบบการควบคุมและ ไม่เป็นการปลอดภัยและประหยัดที่จะปล่อยให้ระบบเกิดการแกว่ง

**2.9.3 การหาค่าพารามิเตอร์โดยวิธีเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ(Process Reaction Curve)**

ปัญหาหนึ่งของวิธีอัลทิเมทที่ใช้กับวงควบคุมปิดคือต้องทำให้วงควบคุมเกิดการแกว่งเพื่อหาค่าอัลทิเมทเกนและคาบอัลทิเมท ห้องควบคุมบางแห่งมีปัญหากับเรื่องนี้มาก วิธีการวงเปิดต้องการเฉพาะที่จะทำให้กระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุมไม่ได้ (เกิดการแกว่งต่อเนื่อง) แต่วิธีเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับทางไดนามิคของระบบควบคุมป้อนกลับได้แน่นอนกว่า และใช้ได้กับ ทุกกระบวนการ

เส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการคือปฏิกิริยาของกระบวนการต่อสัญญาณอินพุทแบบขั้นบันได เส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการคือปฏิกิริยาของอุปกรณ์อื่นทั้งหมด ดังที่ได้เสนอในการ fit curve โดยในที่นี้ซีเกลอร์และนิโคลส์ ได้ใช้วิธีการ ฟิต1 ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ดังนี้

**ตารางที่ 2.7** ค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ

| Controller Type | Proportional Gain $K'_C$ | Integral Time $T'_I$ | Derivative Time $T'_D$ |
|---|---|---|---|
| Proportional-only P | $\frac{1}{K}\left(\frac{t_0}{\tau}\right)^{-1}$ | – | – |
| Proportional- Integral PI | $\frac{0.9}{K}\left(\frac{t_0}{\tau}\right)^{-1}$ | $3.33t_0$ | – |
| Proportional- Integral- Derivative PID | $\frac{1.2}{K}\left(\frac{t_0}{\tau}\right)^{-1}$ | $2.0t_0$ | $\frac{1}{2}t_0$ |

ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถใช้กับกระบวนการที่ไม่มีตำแหน่งโพลอยู่ที่จุดกำเนิดหรือตำแหน่งของโพลเชิงซ้อน ซึ่งจะไม่มีผลตอบสนองเป็นรูปตัว S และอัตราส่วนของ $\frac{t_0}{\tau}$ จะต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.9.4 การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีไอดี ด้วยวิธี Dahlin**

การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการโดยการทดสอบดังที่กล่าวมา จะพิจารณาในลักษณะวงเปิดซึ่งต่างจากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ที่ทำการพิจารณาในลักษณะการควบคุมแบบวงเปิด เนื่องจากต้องพิจารณารวมไปถึงตับควบคุมด้วย

จากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิด(Closed loop) คือ

$$\frac{C(s)}{M(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)} \tag{2.31}$$

**รูปที่ 2.70** ระบบควบคุมวงปิด

จัดสมการให้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ คือ

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} * \frac{C(s)/R(s)}{1-\left[C(s)/R(s)\right]} \tag{2.32}$$

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนนี้จะใช้สำหรับสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป พิจารณาผลตอบสนองแบบวงปิดเป็นผลตอบสนองแบบอันดับหนึ่งที่มีค่าหน่วงเวลาเท่ากับที่มีฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s+1} \tag{2.33}$$

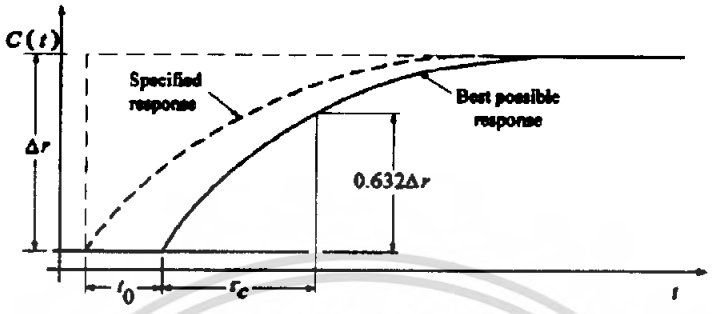
ฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมตามกระบวนการแบบ FOPDT คือ

$$G_c = \frac{\tau s+1}{Ke^{-t_0 s}} * \frac{e^{-t_0 s}}{\tau_c s+1-e^{-t_0 s}} \tag{2.34}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$G_c = \frac{\varpi + 1}{K} * \frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \tag{2.35}$$




**รูปที่ 2.71** แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา $t_O$

ถึงแม้ว่าตัวควบคุมชนิดนี้มีความเป็นไปได้ในทางทฤษฎี แต่อย่างไรก็ตามการทำให้เกิดผลในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปได้ยาก สาเหตุที่สำคัญที่สุดคือตัวควบคุมพีไอดี แบบดั้งเดิมนั้นมีการทำงานในแบบอนาลอกและพจน์ $e^{-t_O s}$ ไม่สามารถทำให้เกิดผลได้จริงในทางปฏิบัติด้วยอุปกรณ์ทางอนาลอก แต่ตัวควบคุมพีไอดี ในปัจจุบันประกอบขึ้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และดิจิตอลคอมพิวเตอร์จึงทำให้พจน์ของการหน่วงเวลาเกิดผลได้จริง ซึ่งเมื่อมีการทำงานในพจน์นี้เรียกว่าพจน์นี้จะเรียกว่า พจน์การชดเชยการหน่วงเวลา (Dead-time compensation)

เทอมเอ็กซ์โพเนนเชียล $\left(e^{-t_O s}\right)$ สามารถประมาณค่าได้โดย Pade approximation คือ

$$e^{-t_O s} = 1 - t_O s + \frac{1}{2!}(t_O s)^2 - \frac{1}{3!}(t_O s)^3 + \ldots \tag{2.36}$$

ใช้เฉพาะ 2 เทอมแรก คือ $1 - t_O s$ (สำหรับกระบวนการอันดับหนึ่ง) แทนในสมการจะได้

$$G_c = \frac{\varpi + 1}{K} * \frac{1}{(\tau_c + t_0)s} \tag{2.37}$$

หรือ

$$G_c = \frac{\tau}{(\tau_c + t_0)K} * \left[1 + \frac{1}{\varpi s}\right] \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ แสดงให้เห็นว่า จากกระบวนการที่เป็นแบบ FOPDT เมื่อนำมาหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะได้เป็นตัวควบคุมแบบ PI เท่านั้น โดยมีค่าพารามิเตอร์ คือ

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_O + t_O)} \qquad \text{และ} \quad T_i = \tau \tag{2.39}$$

แต่จากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี แบบวงปิดของดาห์ลิน ตามกระบวนการ FOPDT สามารถทำเป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่มีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมคือ

$$K_c = \frac{\tau}{K(\tau_O + t_O)} \quad T_i = \tau \quad \text{และ} \quad T_d = \frac{t_O}{2} \tag{2.40}$$

**ตารางที่ 2.8** แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีตามวิธีดาห์ลิน

| Process | Controller | Tuning Parameter |
|---|---|---|
| $G(s) = K$ | $I$ | $K_c = \frac{1}{K\tau_c}$ |
| $G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$ | $PI$ | $K_c = \frac{\tau}{K\tau_c}$<br>$\tau_i = \tau$ |
| $G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}, \tau_1 > \tau_2$ | $PID$ | $K_c' = \frac{\tau_1}{K\tau_c}$<br>$\tau_i' = \tau_1$<br>$\tau_D' = \tau_2$ |
| $G(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1}$ | $PID^a$ | $K_c' = \frac{\tau}{K(t_0 + \tau_c)}$<br>$\tau_i' = \tau$<br>$\tau_D' = \frac{\tau_0}{2}$ |
| $G(s) = \frac{K}{s}$ | $P$ | $K_c = \frac{1}{K\tau_c}$ |

($^a$) ใช้ได้ทั้งตัวควบคุมแบบ PID และ PI $(T_d = 0)$ โดยแบบ PID ใช้ได้เมื่อค่า $t_O$ มากกว่า $\tau/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำ สูตรสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของดาลินห์ ในโหมดพีไอดี ควรใช้ เมื่อค่า $t_O$ มากกว่า $\tau/4$ กรณีนอกเหนือจากนี้ ควรใช้การควบคุมแบบพีไอ และสำหรับความต้องการควบคุมให้ค่าพุ่งเกินมีค่าไม่เกิน 5% สำหรับการเปลี่ยนค่าเป้าหมายแนะนำให้ใช้ $\tau_c = t_O$ ดังนั้นที่ความต้องการค่าพุ่งเกิน (Overshoot) 5%

$$K_c = \frac{\tau}{K(t_O + t_o)} = \frac{0.5}{K}\left[\frac{\tau}{t_O}\right] \tag{2.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# การออกแบบและเขียนโปรแกรม

## 3.1 แนวความคิดการแสดงผลกระบวนการผลิต

การแสดงผลกระบวนการผลิตนี้ จะใช้โปรแกรมวิชวลเบสิคในการออกแบบกระบวนการผลิต โดยหน้าต่างการใช้งานจะทำการเชื่อมต่อกับเครื่องพีแอลซีตลอดเวลาเพื่อทำการ แลกเปลี่ยนข้อมูล โดยการออกแบบหน้าต่างจะใช้สัญลักษณ์และรูปแบบที่ใกล้เคียงกับของจริง และมีเมนูที่อำนวยความสะดวกในการทำงานให้กับผู้ใช้ตามมาตรฐานที่ทำงานบนวินโดวส์ทั่วๆไป

## 3.2 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

หลังจากที่ทราบความต้องการต่างๆ ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนในการแสดงผลกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิคประกอบด้วย

1. **การสร้างจอแสดงผลของโปรแกรม** เป็นขั้นตอนในการออกแบบและสร้างจอภาพที่ใช้สื่อสารกับผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการวาดคอนโทรลต่างๆลงบนฟอร์ม
2. **การสร้างฐานข้อมูล** ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซส ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการสร้างฐานข้อมูล
3. **การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของแต่ละออบเจ็กต์** เป็นขั้นตอนที่สำคัญและยากที่สุดในการที่จะออกแบบให้ทำงานได้ตามความประสงค์ นอกจากนี้ยังจะต้องมีความสัมพันธ์กับฟอร์มอื่นๆในโปรเจคอีกด้วย ซึ่งต้องอาศัยการศึกษาและประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมอย่างมาก เพื่อให้มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

## 3.3 สัญลักษณ์สีแสดงสถานะของอุปกรณ์

**รูปที่ 3.1** สัญลักษณ์สีแสดงสถานะของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแสดงสถานะต่างๆของอุปกรณ์ที่หน้าต่างควบคุมนั้นจะทำการกำหนดสีกับสถานะของอุปกรณ์ดังนี้

**สีเขียว** คือสัญลักษณ์ของอุปกรณ์อยู่ในสภาะปกติพร้อมทำงาน

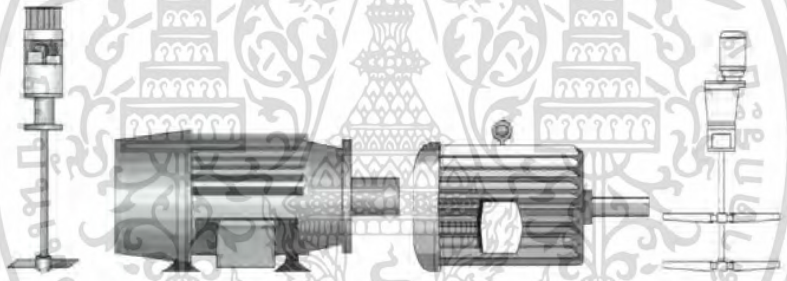
**สีแดง** คือสัญลักษณ์ของอุปกรณ์อยู่ในสภาะทำงาน

**สีเหลือง** คือสัญลักษณ์ของอุปกรณ์อยู่ในสภาะผิดปกติไม่พร้อมทำงาน

## 3.4 ภาพกราฟิกที่ใช้สำหรับออกแบบกระบวนการผลิต

ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของภาพกราฟิกที่ใช้จำลองกระบวนการผลิต คือรูปภาพอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เป็นภาพจำลองกระบวนการผลิต ผู้เขียนได้ใช้โปรแกรม CIMPLICITY สร้างอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 6 ประเภท คือ

### 3.4.1 อุปกรณ์ควบคุมทั่วไป (General Item)



**รูปที่ 3.2** อุปกรณ์ควบคุมทั่วไป (General Item)

เป็นรูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ที่มีการใช้งานในระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถทำการปิด เปิด ได้ตามการออกแบบ หรือตามคำสั่งจากเครื่องพีแอลซี เช่น มอเตอร์ ปั๊ม เป็นต้น

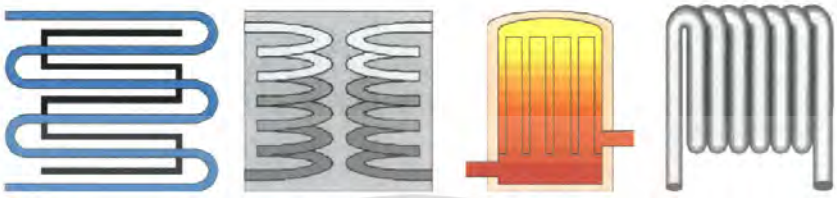
### 3.4.2 อุปกรณ์เก็บวัตถุดิบ (Storage Item)

**รูปที่ 3.3** อุปกรณ์เก็บวัตถุดิบ (Storage Item)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์เก็บของเหลวที่ใช้ในกระบวนการผลิต อุปกรณ์เหล่านี้ไม่ได้ถูกให้ควบคุมด้วยพีแอลซี

**3.4.3.อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Exchanger Item)**



**รูปที่ 3.4** อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Exchanger Item)

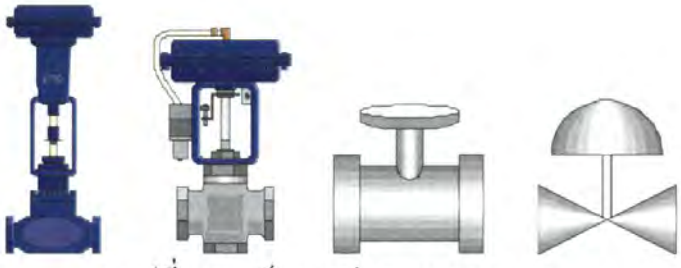
เป็นรูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ส่วนหล่อเย็น

**3.4.4 ท่อแบบต่างๆ (Pipe Item)**

**รูปที่ 3.5** ท่อแบบต่างๆ (Pipe Item)

เป็นรูปที่ 3.5 แสดงท่อแบบต่างๆ ที่ใช้ในการวาดรูปจำลองกระบวนการผลิต

**3.4.5 วาล์วแบบต่างๆ (Valve Item)**

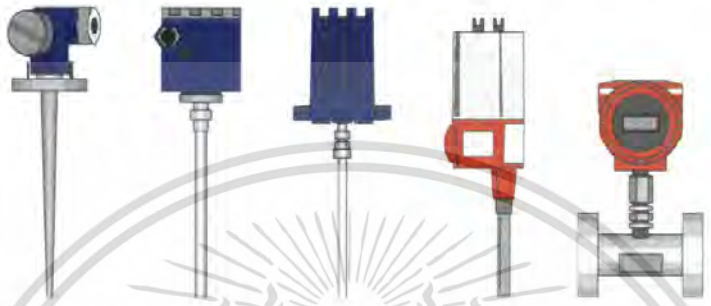


**รูปที่ 3.6** วาล์วแบบต่างๆ (Valve Item)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรูปแสดงวาล์วต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น คอนโทรลวาล์ว ซึ่งสามารถควบคุมการเปิดปิดได้จากเครื่องพีแอลซี นอกจากนี้ยังมีรูปภาพที่ใช้แสดงวาล์วที่เปิดปิดด้วยมือ (Manual Valve)

### 3.4.6 อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor Item)



**รูปที่ 3.7** อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor Item)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณของกระบวนการ เช่น อาร์ทีดี เป็นต้น

## 3.4 การเขียนโปรแกรมพีแอลซี

ในการควบคุมกระบวนการผลิต เราจะทำการสั่งงานทางหน้าต่างของโปรแกรมวิชวลเบสิค และโปรแกรมวิชวลเบสิคจะทำการเชื่อมต่อกับเครื่องพีแอลซี เพื่อควบคุมกระบวนการผลิต โดยการติดต่อกันผ่านทางพอร์ตอนุกรมอาร์เอส 232 ซีขั้นตอนการเขียนโปรแกรมพีแอลซี มีดังนี้

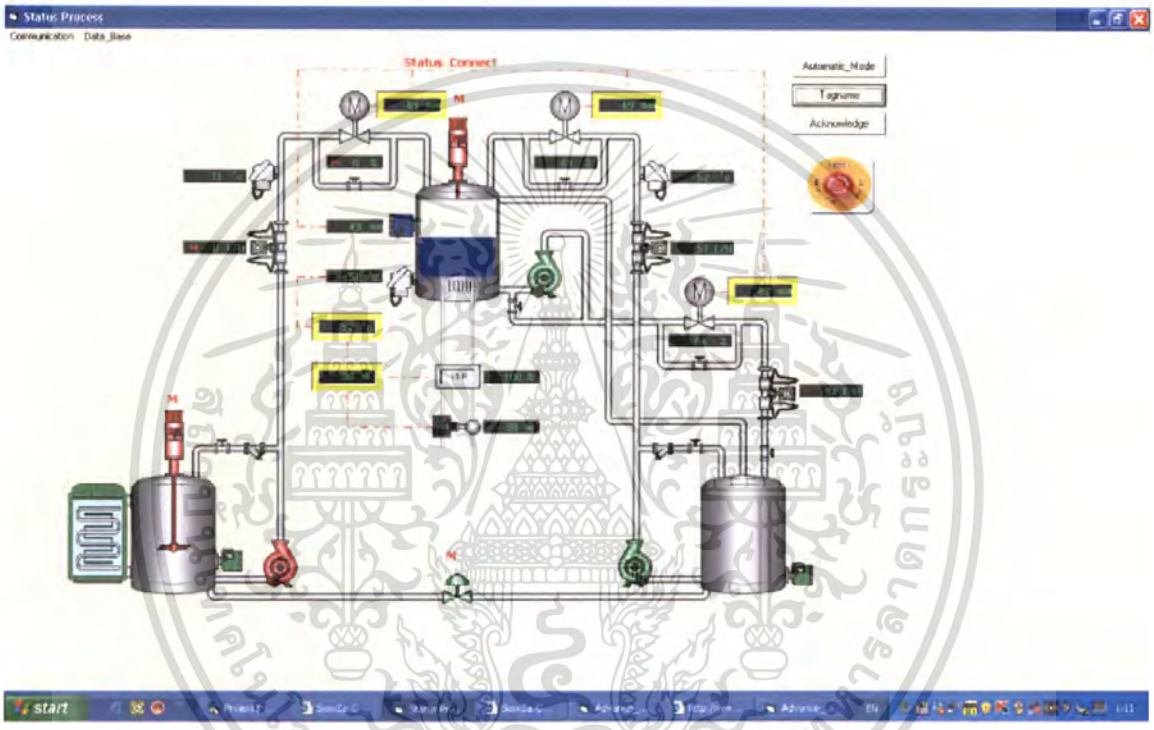
- ทำการกำหนดตำแหน่งของอินพุตและเอาท์พุตที่ใช้งานจริงของเครื่องพีแอลซี
- การเขียนโปรแกรมสัญญาณดิจิตอลอินพุตและสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุต ซึ่งเป็นการเขียนฟังก์ชันทางสัญญาณดิจิตอลอินพุตและสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุต เพื่อสั่งเครื่องพีแอลซีทำงานในส่วนของดิจิตอล
- การเขียนโปรแกรมสัญญาณอนาลอกอินพุตและสัญญาณอนาลอกเอาท์พุต ซึ่งเป็นการเขียนฟังก์ชันทางสัญญาณอนาลอกอินพุตและสัญญาณอนาลอกเอาท์พุต เพื่อสั่งเครื่องพีแอลซีทำงานในส่วนของอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 หน้าต่างสำหรับติดต่อกับผู้ใช้และการทำงาน

ในการออกแบบการแสดงผลกระบวนการผลิต ได้ทำการออกแบบหน้าต่างการใช้งานสำหรับติดต่อกับผู้ใช้และได้ยกตัวอย่างมา5 หน้า ซึ่งแต่ละหน้าต่างมีหน้าที่และความสัมพันธ์กันดังนี้

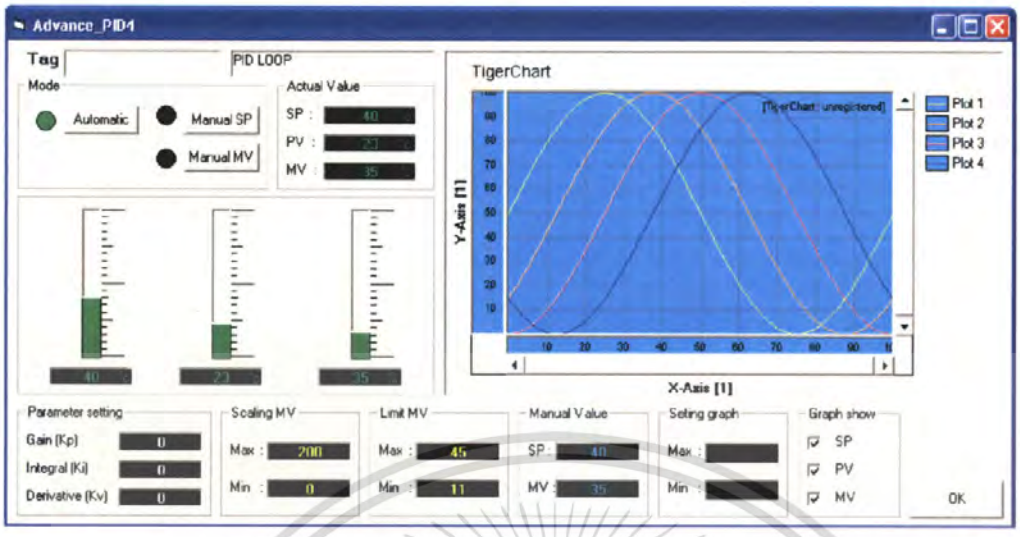
### 3.5.1 หน้าต่างหลัก(Main window)




**รูปที่ 3.8** แสดงหน้าต่างหลักการทำงาน

เป็นหน้าต่างหลักของการติดต่อกับผู้ใช้งาน ซึ่งจะแสดงสถานการณ์ทำงานต่างๆของอุปกรณ์แต่ละตัว จากด้านมุมซ้ายของหน้าต่าง เราสามารถจะเริ่มต้นการติดต่อโดยการคลิกที่ การเชื่อมต่อ (Communication) แล้วเลือก การเชื่อมต่อกับพีแอลซี (Connect PLC) เพื่อเริ่มต้นการติดต่อ และสามารถเลือกยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnect PLC) เพื่อหยุดการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับพีแอซี ปุ่มฐานข้อมูล (Database) เป็นปุ่มที่คลิกแล้วจะแสดงฐานข้อมูลของกระบวนการ และมุมขวาของหน้าต่าง จะมีปุ่มสั่งการทำงานคือ ปุ่มออโตเมติกโหมด (Automatic Mode) ซึ่งเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโหมดอัตโนมัติ ปุ่มชื่ออุปกรณ์ (Tag name) เป็นปุ่มที่แสดงชื่อของอุปกรณ์แต่ละตัว ปุ่มยอมรับสัญญาณเตือน (Acknowledge) เป็นปุ่มที่แสดงการตอบรับเมื่อมีสัญญาณเตือน และปุ่มฉุกเฉิน (Emergency) เป็นปุ่มที่สั่งให้กระบวนการหยุดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่3.9** แสดงหน้าต่างการทำงานระบบควบคุมกระบวนการ

เป็นหน้าต่างแสดงการทำงานของระบบควบคุมโหมดพีไอดีและสามารถใส่ค่าพารามิเตอร์และกำหนดค่าของกระบวนการเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพ และกราฟแสดงสภาวะของระบบซึ่งแสดงได้ทั้งกราฟแท่งและกราฟเส้น

ค่าพารามิเตอร์

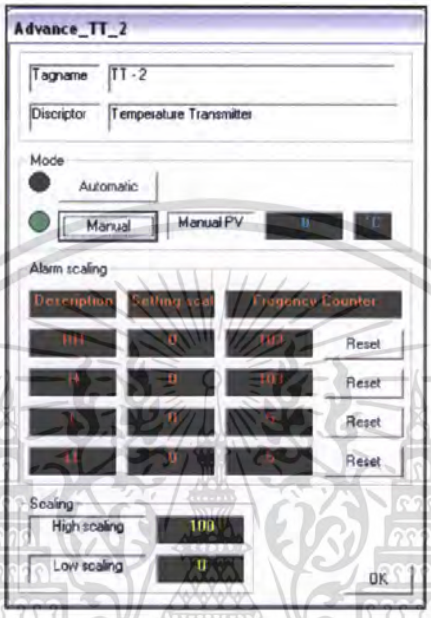
**รูปที่3.10** แสดงการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุต

เป็นหน้าต่างที่แสดงสถานะและสภาวะการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุต และเลือกโหมดการทำงานของอุปกรณ์ สามารถสั่งให้อุปกรณ์นั้นทำงานหรือหยุดทำงาน และชื่อของอุปกรณ์เอาต์พุต

**รูปที่3.11** แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต

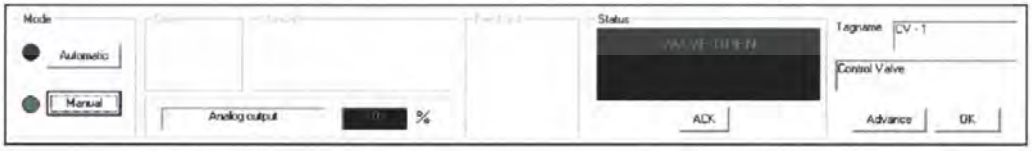
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหน้าต่างที่แสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต และเลือกโหมดการทำงานของอุปกรณ์ สามารถกำหนดให้อุปกรณ์อนาลอกอินพุตอ่านค่าสัญญาณเท่าไรก็ได้ รวมทั้งแสดงจำนวนครั้งของสัญญาณเตือนในการวัดสัญญาณ และชื่อของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต




**รูปที่ 3.12** แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต (Advance)

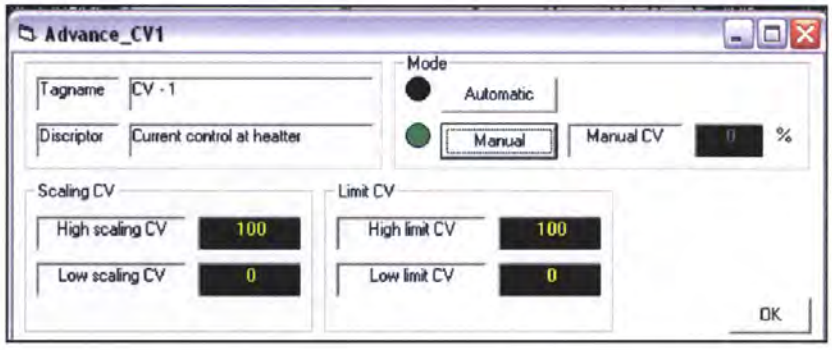
เป็นหน้าต่างที่แสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต และเลือกโหมดการทำงานของอุปกรณ์ สามารถกำหนดให้อุปกรณ์อนาลอกอินพุตอ่านค่าสัญญาณเท่าไรก็ได้ รวมทั้งแสดงจำนวนครั้งของสัญญาณเตือนในการวัดสัญญาณและสามารถกำหนดช่วงค่าสัญญาณเตือนในการวัดสัญญาณ และชื่อของอุปกรณ์อนาลอกอินพุต




**รูปที่ 3.13** แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต

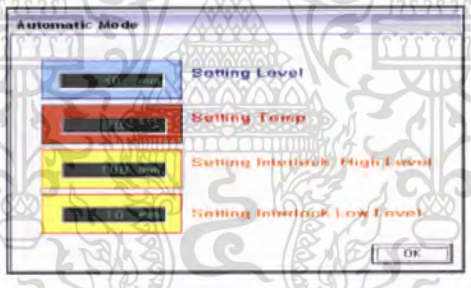
เป็นหน้าต่างที่แสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต และเลือกโหมดการทำงานของอุปกรณ์ สามารถกำหนดสัญญาณให้อุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุตเท่าไรก็ได้ และชื่อของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.14** แสดงการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต (Advance)

เป็นหน้าต่างที่แสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต และเลือกโหมดการทำงานของอุปกรณ์ สามารถกำหนดสัญญาณให้อุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุตเท่าไรก็ได้ และสามารถกำหนดสเกลสัญญาณค่าของของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต และกำหนดลิมิตสัญญาณอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต และชื่อของอุปกรณ์อนาลอกเอาต์พุต



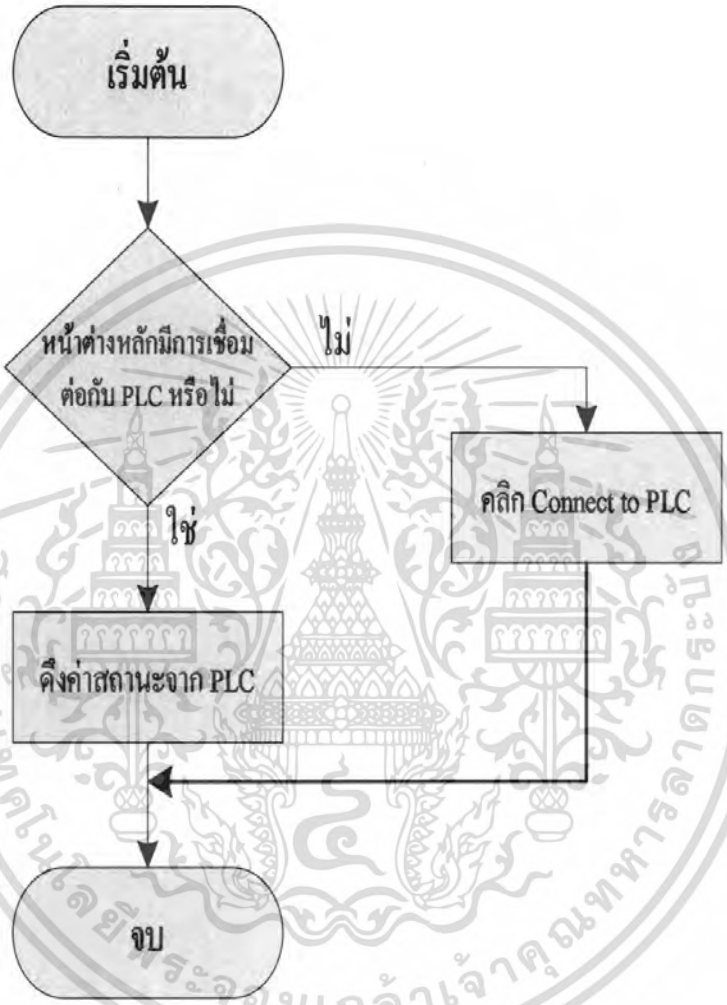

**รูปที่ 3.15** การกำหนดค่าการทำงานของกระบวนการควบคุม

เป็นหน้าต่างที่แสดงการกำหนดค่าการทำงานของกระบวนการควบคุม โดยการกำหนดค่าระดับน้ำและอุณหภูมิของกระบวนการควบคุม และสามารถกำหนดค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดของกระบวนการควบคุมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.6 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Flow Chart)

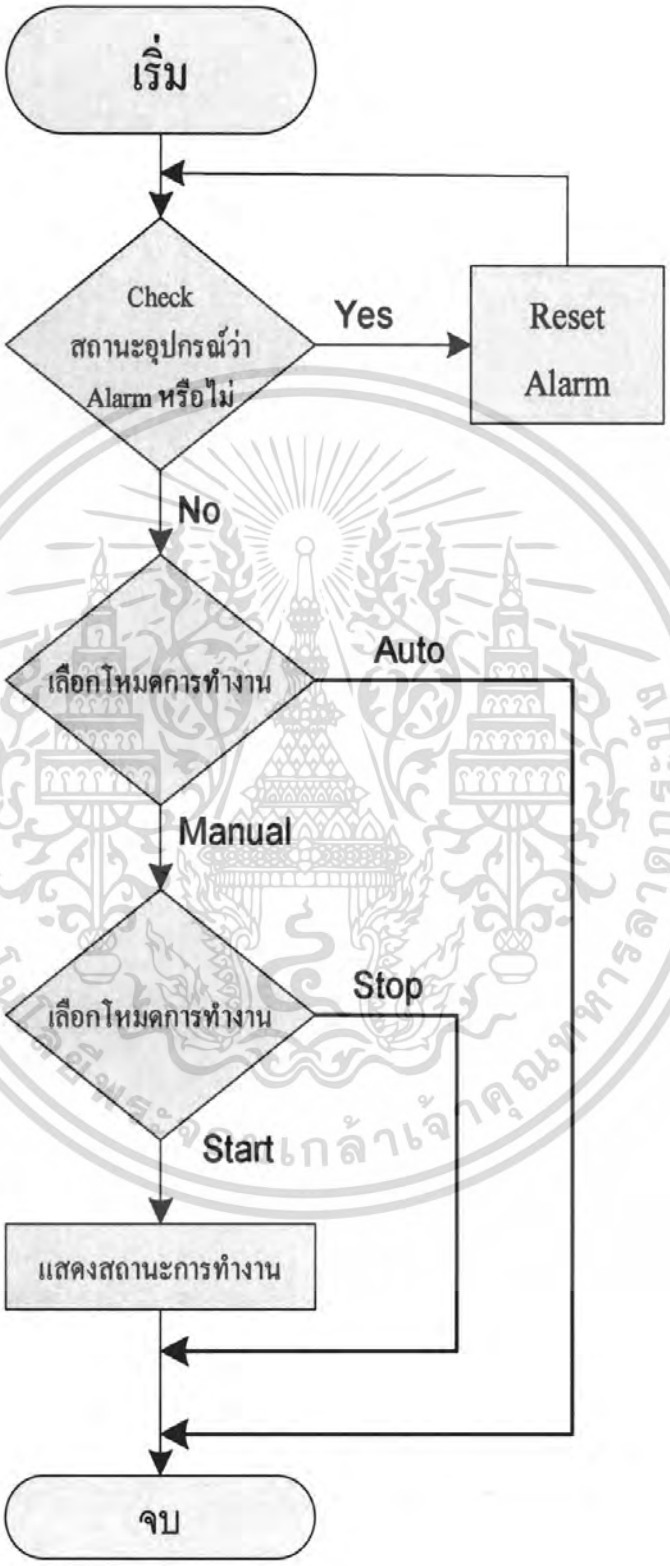
### 3.6.1 โฟลวชาร์ตการติดต่อกับพีแอลซี




**รูปที่ 3.16** โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานการติดต่อกับพีแอลซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

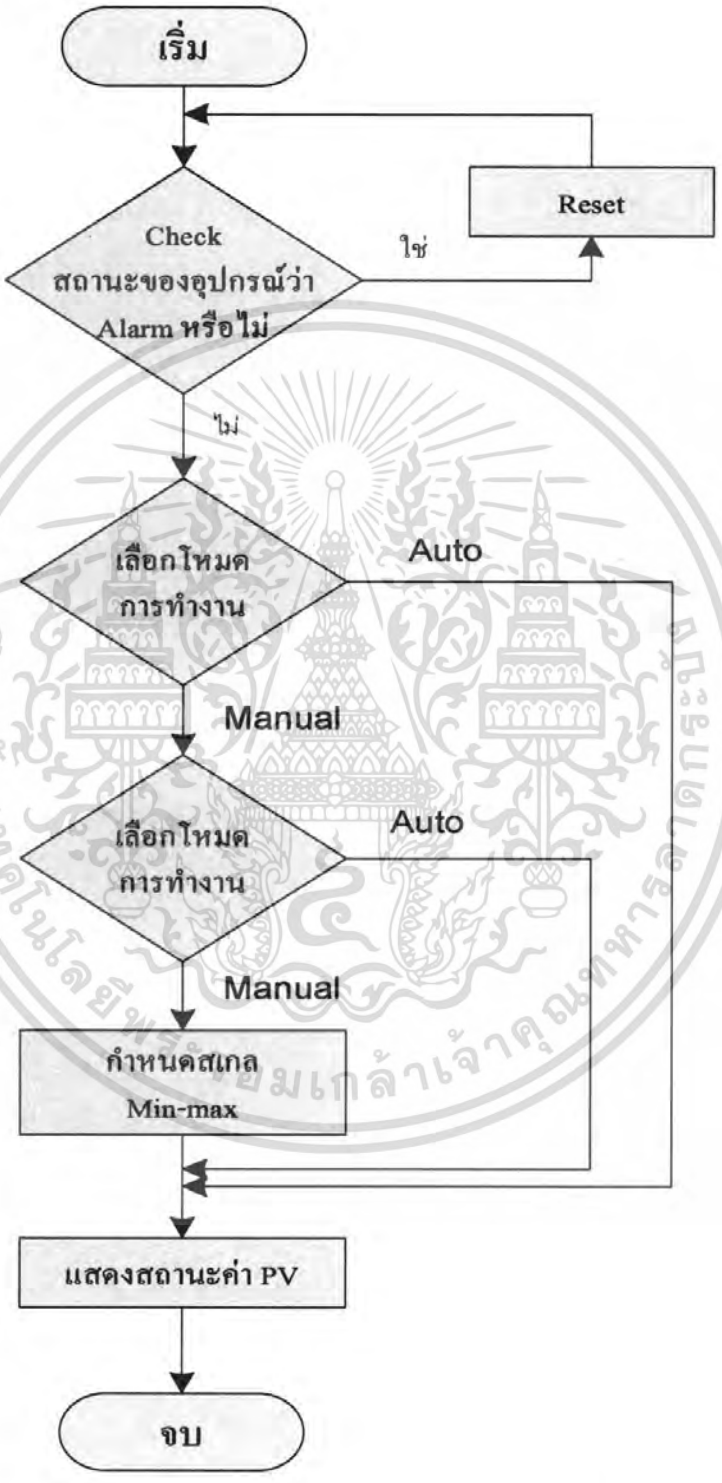
### 3.6.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของดิจิตอลเอาท์พุต




**รูปที่ 3.17** โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของดิจิตอลเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

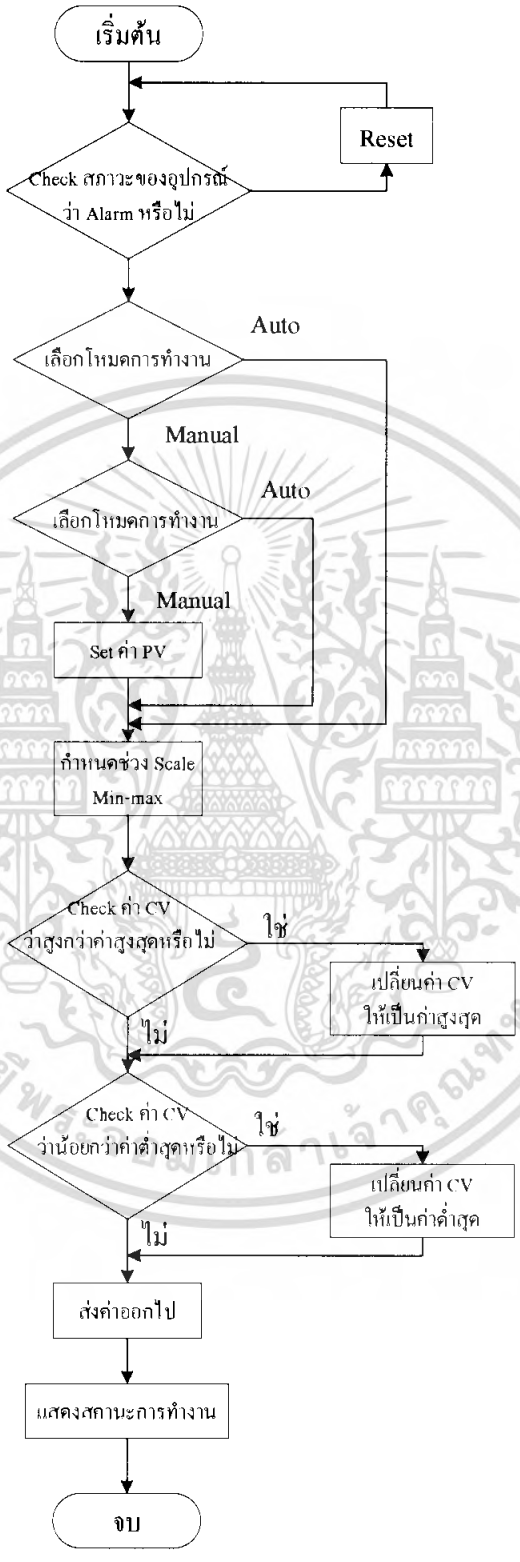
### 3.6.3 โฟลวชาร์ตการทำงานของอนาลอกอินพุต




**รูปที่ 3.18** โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของอนาลอกอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

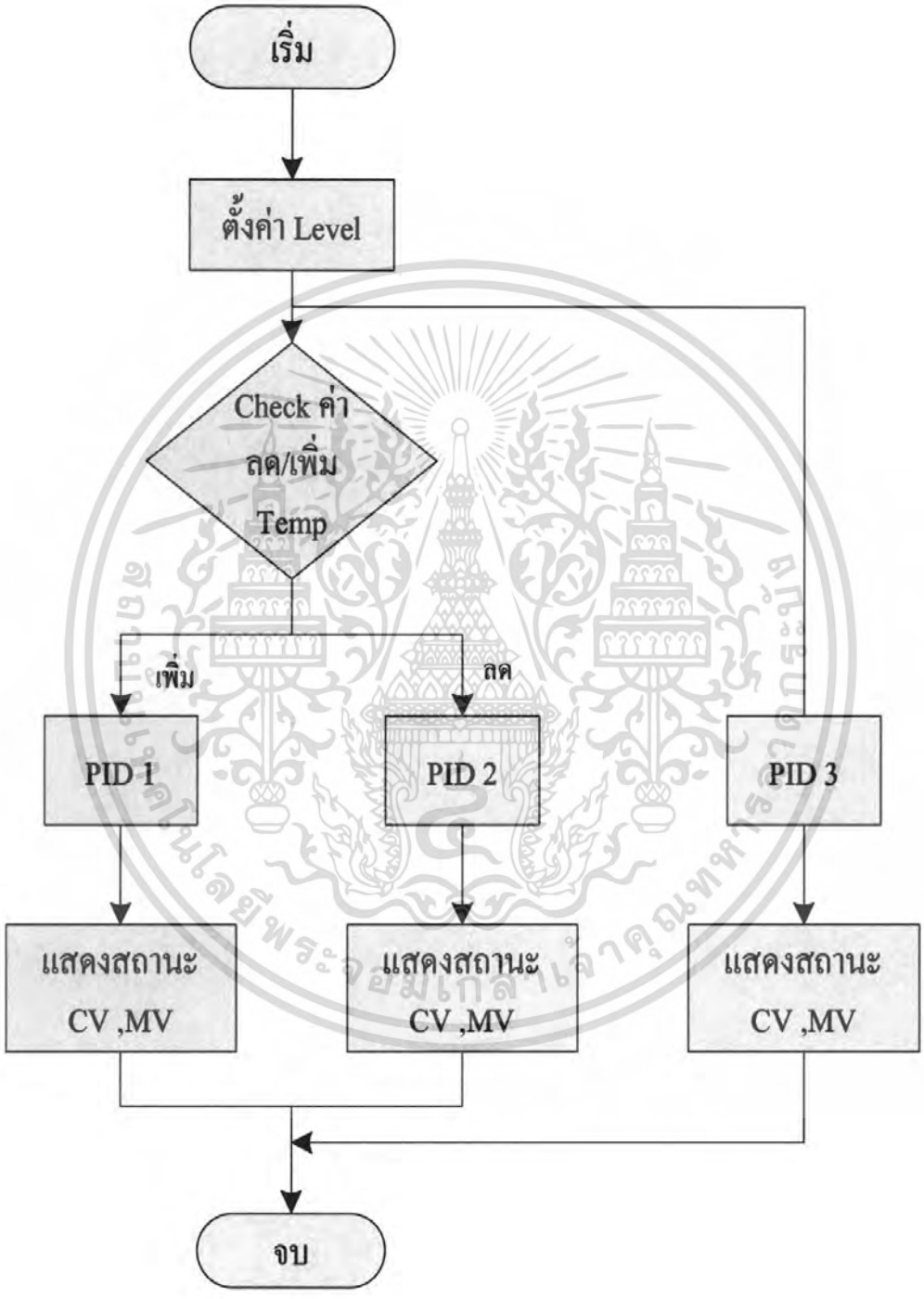
### 3.6.4 โฟลวชาร์ตการทำงานของอนาลอกเอาท์พุต




**รูปที่ 31.9** โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของอนาลอกเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

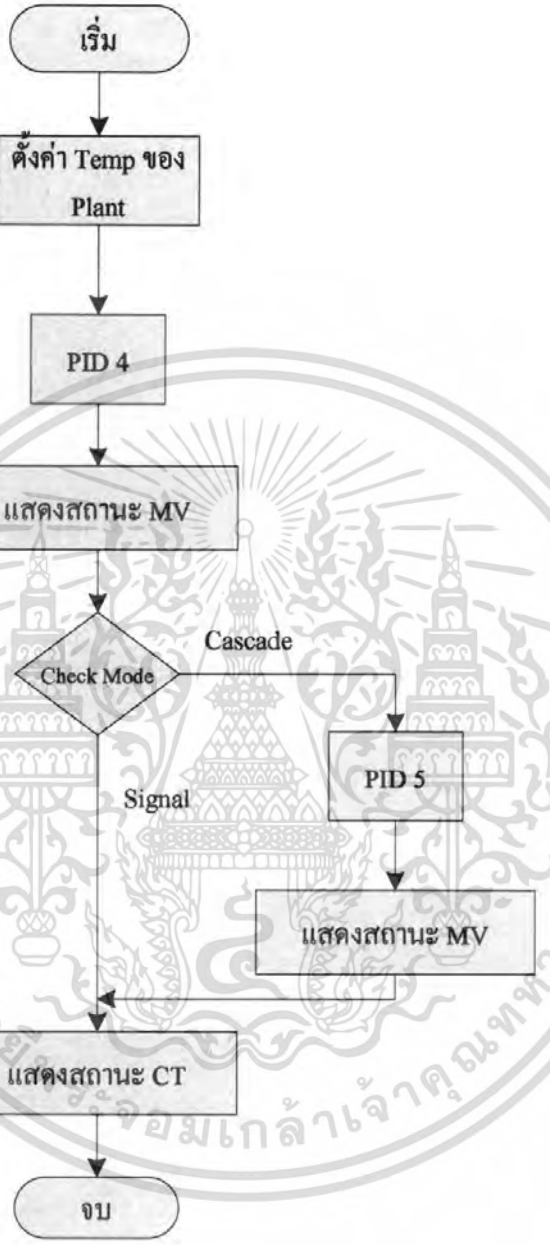
### 3.6.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของพีไอดีของการควบคุมระดับของเหลว




**รูปที่ 3.20** โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของพีไอดีของการควบคุมระดับของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของพีไอดีของการควบคุมอุณหภูมิ




**รูปที่ 3.21** โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของพีไอดีของการควบคุมอุณหภูมิ

## 3.7 โครงสร้างฐานข้อมูลของโปรแกรมแสดงผลกระบวนการผลิต

ในการสร้างฐานข้อมูลสำหรับแสดงผลกระบวนการผลิตนี้ ได้ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซส ในการสร้างฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลของผลการทดลอง ใช้วิเคราะห์ค่าคะเนแนวโน้มของกระบวนการ

เอกสารนี้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

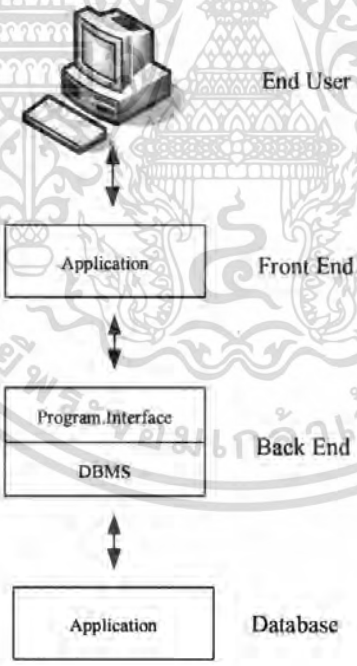
### 3.7.1 ทฤษฎีและการออกแบบฐานข้อมูล

#### 3.7.1.1 ระบบฐานข้อมูล

ปัจจุบันการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการจัดการเกี่ยวกับฐานข้อมูล(Database) ได้รับความนิยมมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในองค์กรที่มีขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการสามารถทำได้รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมในการดำเนินการขององค์กรสูงขึ้นด้วยระบบฐานข้อมูล (Database System) คือ การจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ ซึ่งผู้ใช้สามารถเรียกใช้ข้อมูลดังกล่าวได้ในลักษณะต่างๆ เช่น การเพิ่มข้อมูล (Add Data) การแทรกข้อมูล (Insert Data) การเรียกใช้ข้อมูล (Retrieve Data) การแก้ไขและการลบข้อมูล (Update & Delete Data) ตลอดจนการเคลื่อนย้ายข้อมูล (Move Data)

#### 3.7.1.2 โครงสร้างของระบบฐานข้อมูล(Structure of Database)

ระบบฐานข้อมูลสามารถแบ่งออกตามโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ส่วน Front End และ Back End



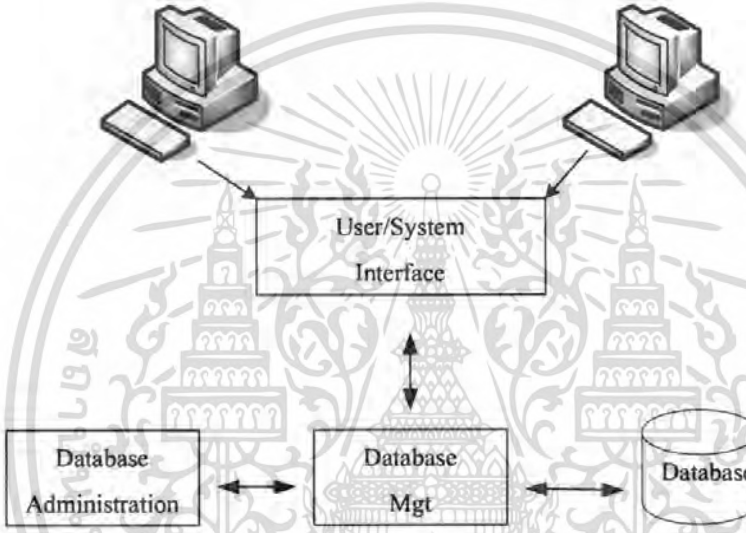

**รูปที่3.22** แสดงโครงสร้างของระบบฐานข้อมูล

**1. Front End** เป็นโปรแกรมประยุกต์ (Application) ที่อาจจะสร้างจากภาษาต่างๆ เช่น ภาษาระดับสูง CASE หรือภาษาอื่นๆ ส่วนนี้โดยปกติจะรองรับการทำงานของผู้ใช้ (End User) เพื่อทำหน้าที่ติดต่อกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. Back End** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการจัดการกับระบบฐานข้อมูลทั้งหมด ในแง่ของการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลจริง ได้แก่ การปฏิบัติการต่างๆกับข้อมูล การควบคุมความถูกต้องในการใช้ข้อมูลพร้อมกัน รวมไปถึงการควบคุมความปลอดภัยของระบบ เป็นต้น

### 3.7.1.3 องค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล




**รูปที่ 3.23** แสดงองค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล

**1. ข้อมูล** เนื่องจากฐานข้อมูลเป็นการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลให้มีลักษณะเป็นศูนย์กลางข้อมูลอย่างเป็นระบบ ในกรณีที่มีผู้ใช้ร่วมกันหลายคน (Multi-User) ข้อมูลจะต้องสามารถเรียกใช้ร่วมกันได้ ซึ่งทางปฏิบัติผู้ใช้จะมองภาพของข้อมูลที่แตกต่างไปตามระดับของการออกแบบระบบ

**2. ฮาร์ดแวร์** ในส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบจะพิจารณาถึงส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ประการ ส่วนแรกคือ สื่อในการเก็บข้อมูล (Secondary Storage) ได้แก่ การเก็บข้อมูลด้วยแมกเนติก ดิส (Magnetic Disk) รวมไปถึง การติดต่อระหว่างอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น I/O Device ต่างๆ ส่วนที่สองจะเกี่ยวข้องกับความเร็วในการทำงานของโปรเซสเซอร์ (Processor) และเมมโมรี (Memory) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลในระบบ และจำนวนของผู้ใช้เป็นตัวกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. User** ในระบบฐานข้อมูลจะมีบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

**3.1 Programmer** เป็นบุคลากรที่ทำหน้าที่เขียนโปรแกรมประยุกต์ใช้งานเพื่อการจัดเก็บ และการเรียกใช้งานเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้

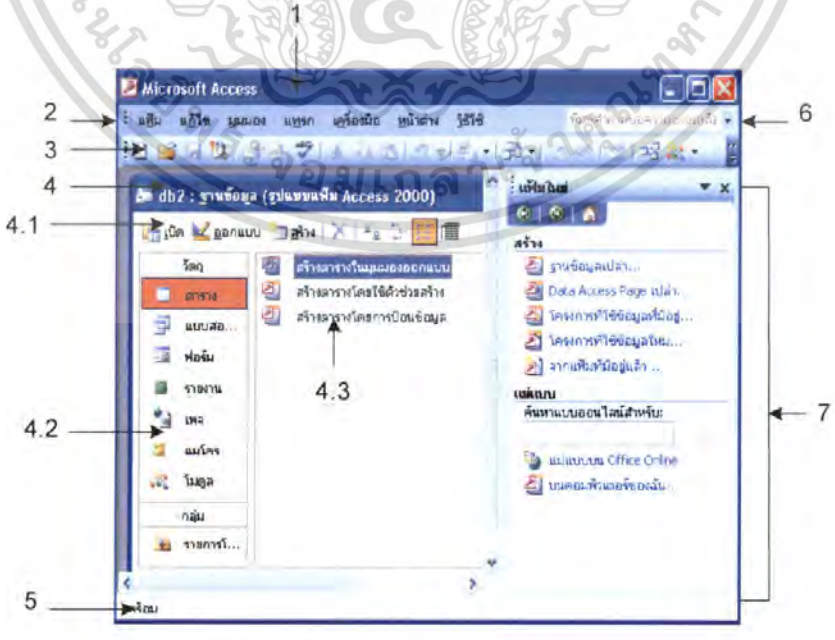
**3.2 End User** เป็นบุคลากรที่ทำการใช้ข้อมูลจากระบบ ซึ่งโดยปกติจะทำงานใน 3 ลักษณะ คือ การอ่านค่า (Read Only) การเพิ่มหรือลบข้อมูล (Add/Delete) และการแก้ไขข้อมูล (Modify Data) เป็นต้น

**3.3 DBA (Database Administrator)** เป็นบุคลากรที่ทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุม และบริหารงานของระบบฐานข้อมูลทั้งหมด นั่นคือ จะต้องเป็นผู้ที่ต้องตัดสินใจว่าข้อมูลใดที่จะรวบรวมเข้าสู่ระบบ รวมไปถึงเป็นผู้กำหนดกฎเกณฑ์ที่ใช้ภายในระบบ เช่น วิธีการในการจัดเก็บข้อมูล การเรียกใช้ข้อมูล ตลอดจนการกำหนดการรักษาความปลอดภัยในระบบ เป็นต้น

**4. Software** ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างผู้ใช้ และข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในสื่อต่างๆ ซอฟแวร์ในส่วนนี้เรียกว่า Database Management System (DBMS) นั่นคือ ความต้องการใช้ข้อมูลจากผู้ใช้จะถูกจัดการ โดย DBMS เพื่อที่จะทำงานในลักษณะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูล จัดทำรายงาน และการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขในรูปแบบต่างๆ

### 3.7.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซส

เมื่อสร้างฐานข้อมูล หรือเปิดฐานข้อมูลที่มีอยู่เรียบร้อยแล้ว จะปรากฏหน้าจอของ ไมโครซอฟเอ็กเซสแสดงขึ้นมา ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆที่ควรทราบดังนี้




**รูปที่3.24** แสดงส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1. แถบไตเติ้ล (Title Bar)** จะบอกชื่อของแฟ้มฐานข้อมูลที่กำลังเปิดใช้งานอยู่ในขณะนั้น

**2. แถบเมนู (Menu Bar)** จะโชว์เมนูสำหรับการใช้งานในโปรแกรม ซึ่งแถบเมนูนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้

**3. แถบเครื่องมือ (Toolbars)** เป็นแถบเครื่องมือซึ่งบรรจุด้วยปุ่มคำสั่งต่างๆซึ่งเมื่อคลิกแล้วปุ่มจะทำงานให้ทันที

**4. วินโดว์ฐานข้อมูล (Database Window)** ประกอบด้วย

แถบเครื่องมือ (Database Window Toolbar) เป็นปุ่มคำสั่งที่ใช้กับฐานข้อมูล

แถบวัตถุ (Object Bar) สำหรับแสดงวัตถุ หรือออบเจ็กต์ทั้งหมดในฐานข้อมูล

แถบกลุ่ม (Group Bar) เป็นกลุ่มคำสั่งที่ช่วยในการสร้างฐานข้อมูล

**5. แถบสถานะ (Status Bar)** เป็นการแสดงรายละเอียด หรือสถานะเกี่ยวกับรายการที่เลือก

**6. กล่องพิมพ์คำถามเพื่อขอความช่วยเหลือ (type a question for help)** เป็นกล่องคำถามสำหรับข้อความช่วยเหลือจากเมนู วิธีใช้ (Help) สามารถป้อนคำถามลงในกล่อง แล้วกดปุ่ม Enter โปรแกรมจะให้ความช่วยเหลือทันที

**7. บานหน้าต่างงาน (Task Pane)** เป็นกรอบบานหน้าต่างงานที่รวบรวมเมนูคำสั่งต่างๆ เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างรวดเร็ว สามารถใช้คำสั่งเมนูเหล่านี้ด้วยการคลิก แล้วเลือกเมนูคำสั่งตามที่ต้องการ

### 3.7.3 องค์ประกอบแถบวัตถุ ในฐานข้อมูล

เมื่อเราสร้างฐานข้อมูลใหม่ขึ้นมาแล้วส่วนประกอบต่างๆ ของแฟ้มฐานข้อมูลดังนี้

- ตาราง (Table) จะเป็นส่วนที่เก็บข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ โดยจะเก็บข้อมูลในรูปแบบแถวและคอลัมน์ โดยข้อมูลในแต่ละแถวเราเรียกว่า เรคคอร์ด (Record) และฐานข้อมูลในแต่ละคอลัมน์เราเรียกว่า ฟิลด์ (Field)
- แบบสอบถาม (Query) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสอบถามค้นหาข้อมูลที่ต้องการจากตารางได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะทำใช้ลดเวลาในการทำงานได้อย่างมาก
- ฟอร์ม (Form) เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างส่วนที่ติดต่อกับฐานข้อมูลให้ผู้ใช้ใช้งานได้ง่ายขึ้น ซึ่งการสร้างฟอร์มนั้นสามารถสร้างให้ทำงานได้หลายๆอย่าง ทั้งค้นหาข้อมูล เพิ่มข้อมูล ลบข้อมูล และแก้ไขข้อมูล สามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบต่างๆได้หลายอย่าง และยังสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้งานอยู่ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.4 ชนิดของข้อมูล

ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนชนิดของข้อมูล ไมโครซอฟเอ็กเซสยินยอมให้เปลี่ยนได้ ซึ่งจะมีผลกระทบกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปแล้ว และอาจทำให้เสียข้อมูลบางส่วน หรือทั้งหมดของฟิลด์นั้นไปเลย โดยชนิดของข้อมูลมีดังนี้

- Text (Default) ข้อความ ชุดของข้อความ และตัวเลขที่ไม่ต้องการใช้ในการคำนวณ ข้อมูลยาวได้ถึง 255 ตัวอักษร
- Memo ข้อความ หรือชุดของข้อความ และตัวเลขที่มีความยาวมาก ข้อมูลมีความยาวได้ถึง 64000 ตัวอักษร
- Number ข้อมูลที่เป็นตัวเลข และใช้ในการคำนวณต่างๆ
- Date/Time ข้อมูลที่เป็นวันที่ และเวลา
- Currency ค่าเงินหรือค่าตัวเลขต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เก็บค่าได้ละเอียดถึงทศนิยมตั้งแต่ 1-4 ตำแหน่ง และค่าตัวเลขสามารถใช้ได้สูงถึง 15 หลัก เฉพาะทางด้านซ้ายของจุดทศนิยม
- AutoNumber ตัวเลขที่เรียงกันและไม่ซ้ำกัน (จะเพิ่มขึ้นครั้งละ 1) หรือค่าที่สุ่มขึ้นมาโดยที่ไมโครซอฟเอ็กเซสจะกำหนดให้เอง เมื่อเพิ่มเรคคอร์ดลงไปในตาราง และฟิลด์แบบ AutoNumber นี้จะไม่สามารถแก้ไขได้
- Yes/No เป็นฟิลด์ที่ต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งจากข้อมูล เพียง 2 อย่าง
- OLE Object ออบเจ็กต์ที่ลิงค์หรือ Embeds เข้ามาในตารางไมโครซอฟเอ็กเซส
- Hyperlink เป็นลิงค์ที่เมื่อคลิกแล้วจะเชื่อมโยงไปยังแฟ้มอื่นๆ หรือตำแหน่งอื่นในแฟ้ม หรือแม้แต่เว็บไซต์ต่างๆ บนอินเตอร์เน็ต
- Lookup Wizard เป็นวิซาร์ตที่ช่วยสร้างฟิลด์ที่นำค่ามาจากตารางอื่นๆ คิวรี่ หรือแม้แต่ลิสต์ (List) ของค่าต่างๆ

### 3.7.5 คุณสมบัติของฟิลด์

การกำหนดคุณสมบัติของฟิลด์จะเป็นค่าแอตทริบิวต์ (Attribute) ที่ใช้กำหนดรูปแบบการแสดงผล และติดต่อกับฐานข้อมูล คุณสมบัติของฟิลด์มีดังนี้

| | |
|---|---|
| **Field Size** | กำหนดขนาดของข้อมูลโดยคิดจากขนาดของข้อมูลที่มากที่สุด ที่สามารถใส่เข้ามาในฟิลด์ได้ |
| **Format** | กำหนดรูปแบบการแสดงผลของข้อมูลในฟิลด์บนจอภาพ Input Mask (รูปแบบการป้อนข้อมูล) กำหนดรูปแบบของข้อมูลที่ต้องใส่ |
| **Caption** | ใช้เป็นเลเบลของฟิลด์ ซึ่งจะนำมาแสดงบนฟอร์ม ถ้าเว้นว่างเอาไว้ไมโครซอฟเอ็กเซสจะนำไปใส่ให้อัตโนมัติ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Default Value** | กำหนดค่าที่ไมโครซอฟเอ็กเซสจะนำไปใส่ให้อัตโนมัติ |
| **Validation Rule** | ใส่เอ็กเพรสชันเพื่อจำกัดค่าที่นำไปใส่ในฟิลด์ให้มีช่วงที่ต้องการเท่านั้น |
| **Validation Text** | ใส่ข้อความเตือนที่จะปรากฏเมื่อใส่ค่าที่ผิดจากที่กำหนดลงไปในฟิลด์ |
| **Required** | บังคับให้ผู้ใช้ต้องใส่ค่ามาให้ฟิลด์ข้อมูลนี้ |
| **Allow Zero Length** | กำหนดให้ฟิลด์ไม่มีข้อความอยู่ได้ (ยอมให้ความยาวเป็นศูนย์) |
| **Indexed** | กำหนดให้ไมโครซอฟเอ็กเซสเก็บค่าในฟิลด์เอาไว้เป็นดัชนี |
| **Unicode Compression** | กำหนดสภาวะว่าต้องการให้ไมโครซอฟเอ็กเซสประหยัดพื้นที่ใช้งาน ถ้ามีเพียงตัวอักษรปกติเท่านั้น |

### 3.7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตาราง

ความสัมพันธ์ระหว่างตารางมีความจำเป็น เมื่อนำข้อมูลในแต่ละตารางมาใช้ร่วมกันเพื่อใช้กับฟอร์มและรายงาน หรือเพื่อให้การบันทึกของข้อมูลมีความรวดเร็วมากขึ้น

ชนิดความสัมพันธ์ของตาราง มีอยู่ 3 แบบ คือ

**หนึ่ง – ต่อ – หนึ่ง** แต่ละเรคคอร์ดในตารางที่หนึ่งเข้าคู่เฉพาะหนึ่งเรคคอร์ดในตารางที่สอง และในทำนองกลับกัน เช่น

**รูปที่3.25** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางแบบหนึ่ง – ต่อ – หนึ่ง

**หนึ่ง – ต่อ – กลุ่ม** แต่ละเรคคอร์ดในตารางที่หนึ่งเข้าคู่กับเรคคอร์ดในตารางที่สองได้มากกว่า หนึ่งเรคคอร์ด แต่เรคคอร์ดในตารางที่สองเข้าคู่กับเรคคอร์ดในตารางแรก ได้เพียงเรคคอร์ดเดียวเท่านั้น เช่น

**รูปที่3.26** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางแบบหนึ่ง – ต่อ – กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กลุ่ม – ต่อ – กลุ่ม** แต่ละเรคคอร์ดในตารางที่หนึ่งสามารถเข้าคู่กับหลายเรคคอร์ดในอีกตารางหนึ่งได้ และในทำนองกลับกัน เช่น

**รูปที่3.27** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางแบบกลุ่ม – ต่อ – กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การทดลองและผลการทดลอง

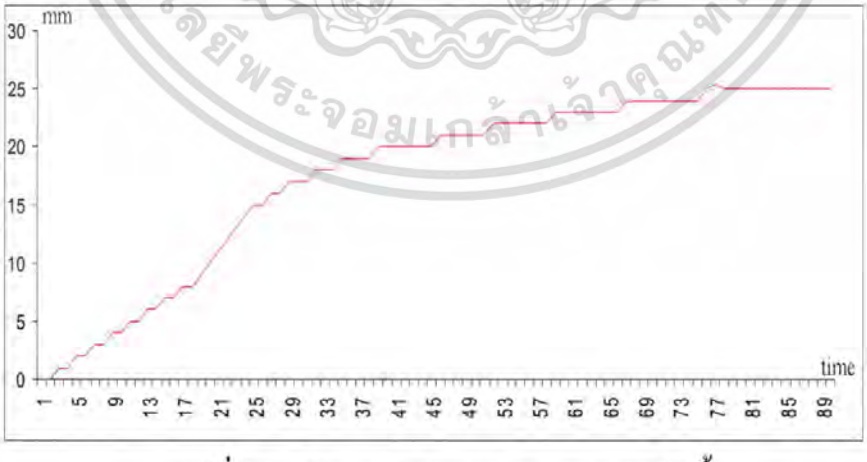
## 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการทดลองการใช้ระบบดีซีเอสที่สร้างขึ้นมาทดลองเพื่อทดสอบว่าสามารถควบคุมกระบวนระดับน้ำและอุณหภูมิได้หรือไม่ โดยผู้ใช้งานสามารถทำการควบคุมกระบวนการด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ และทำการทดลองรับส่งค่าพารามิเตอร์ สถานะของอุปกรณ์ภายในกระบวนการควบคุม ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับกระบวนการ และหาค่าพารามิเตอร์โดยการนำข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลมาพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมโดยการใช้วิธีของดาห์ลิน

## 4.2 การทดลองควบคุมระดับน้ำ

จากการควบคุมระดับน้ำภายในกระบวนการนั้นจำเป็นต้องทำการหาค่าของพารามิเตอร์ก่อนที่จะเริ่มทำการควบคุมกระบวนการ ในการปรับหาค่าพารามิเตอร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันเช่น วิธีวงเปิด วิธีวงปิด วิธีลองผิดลองถูก

ในการทดลองนี้จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีวงเปิดด้วยการป้อนค่าสัญญาณขั้นบันไดให้กับกระบวนการควบคุม จากนั้นทำการบันทึกค่ากราฟผลการตอบสนองแล้วนำมาหาค่าพารามิเตอร์ด้วยการทำวิธีการกำหนดเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ




**รูปที่ 4.1** รูปตาราง Fit curve ชุดควบคุมระดับน้ำ

ในการหาค่า $K, \tau, t_0$ ได้เลือกวิธีการกำหนดเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการแล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางของดาห์ลินจะได้ค่าพารามิเตอร์คือ

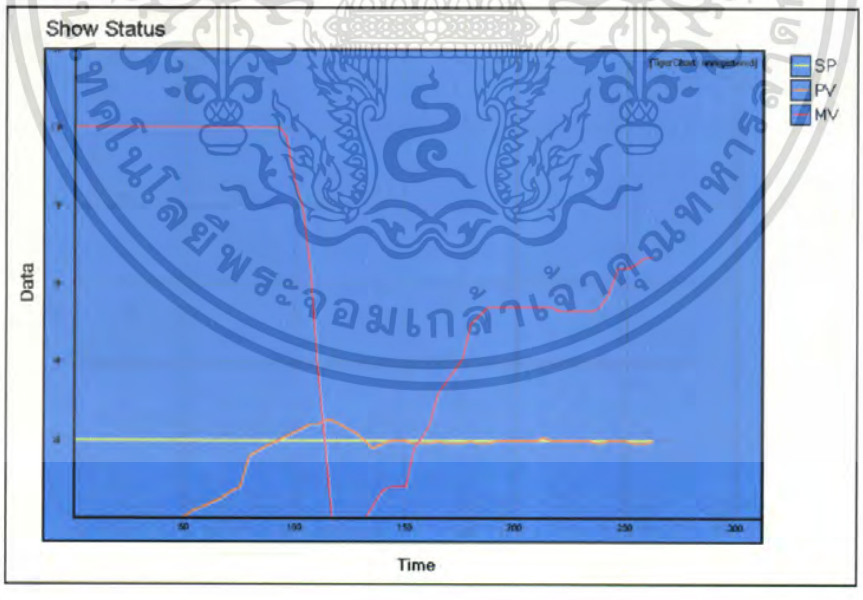
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K = 1.0$$
$$\tau = 18$$
$$t_0 = 9$$
$$\frac{t_0}{\tau} = 0.5$$

การตรวจสอบว่าค่า $K, \tau, t_0$ ที่หาได้จากกราฟกำหนดเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการสามารถตรวจสอบได้จากค่าของ $\frac{t_0}{\tau}$ อยู่ในระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 หรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วง สามารถนำค่า $K, \tau, t_0$ หาค่าพารามิเตอร์ ของพีไอดี โดยนำค่า $K, \tau, t_0$ ไปใช้กับตารางของดาห์ลิน จะได้ค่าพารามิเตอร์พีไอดีดังนี้

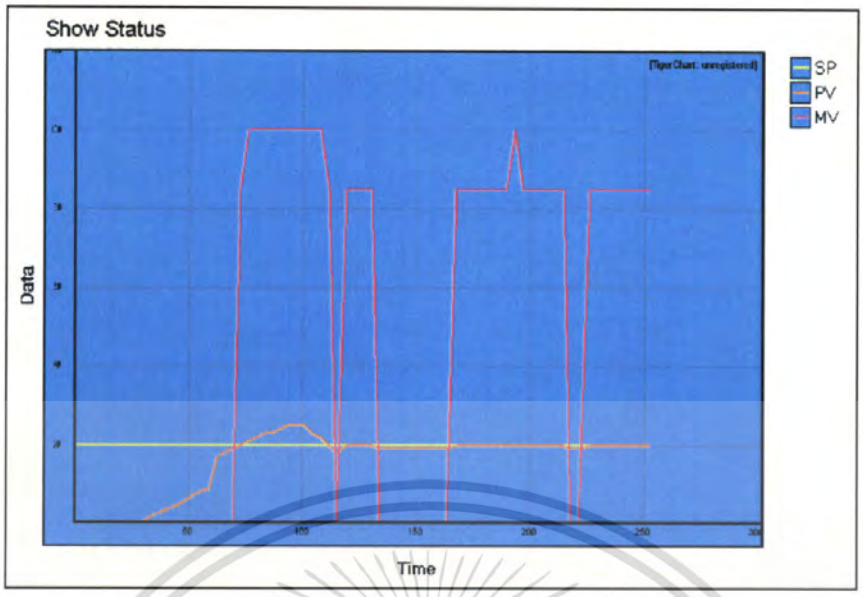
$$K_c = 8.333, T_I = 15, T_d = 27$$

นำค่าที่ได้จากการใช้ตารางของดาห์ลิน กำหนดลงในค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการควบคุมระดับน้ำ ซึ่งจะเป็นการควบคุมแบบพีไอดี ทางด้านน้ำเข้าและน้ำออก โดยทำการควบคุมระดับน้ำที่ 3 ระดับคือ 20 มิลลิเมตร 50 มิลลิเมตร 70 มิลลิเมตร



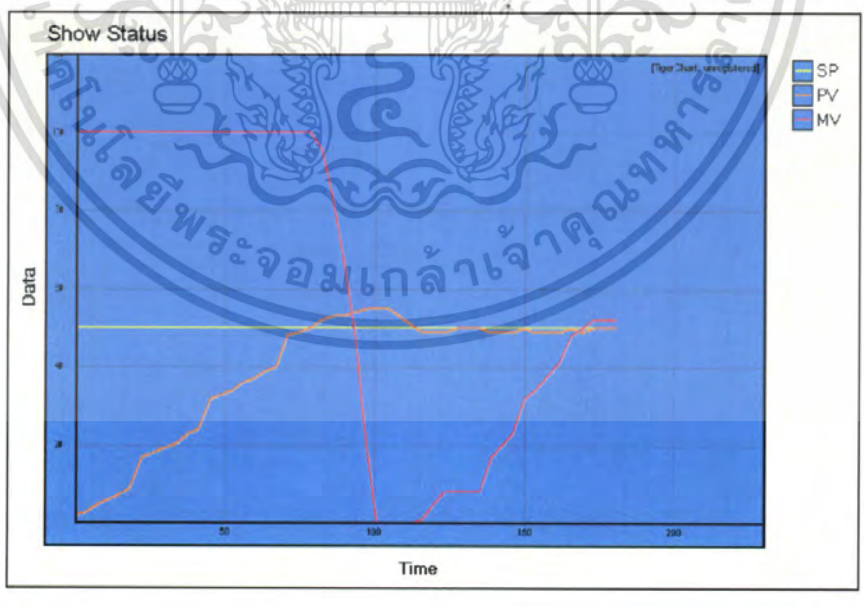

**รูปที่ 4.2** ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 20 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำเข้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



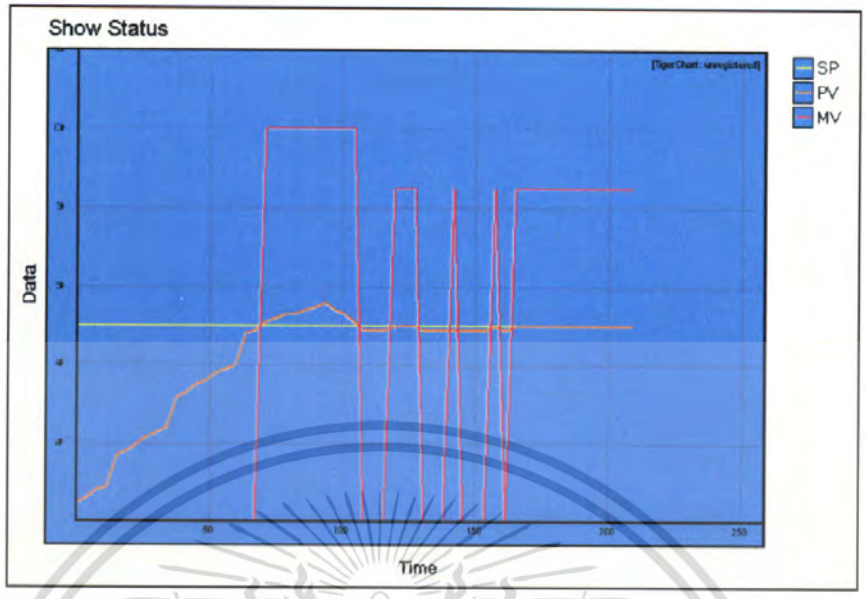

**รูปที่ 4.3** ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 20 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำออก)

จากกราฟพบว่า เมื่อทำการควบคุมระดับน้ำที่ระดับ 20 มิลลิเมตร ผลตอบสนองที่ได้จะเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ที่ 25เปอร์เซ็นต์ ก่อนเข้าสู่ค่าปรับตั้ง (Set point) และรักษาระดับน้ำคงที่ตลอดเวลา



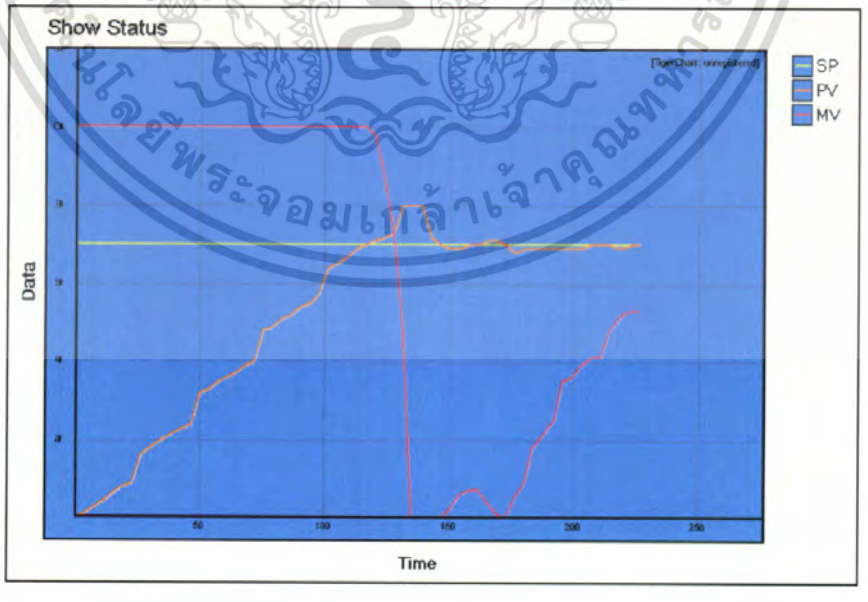

**รูปที่ 4.4** ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 50 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำเข้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



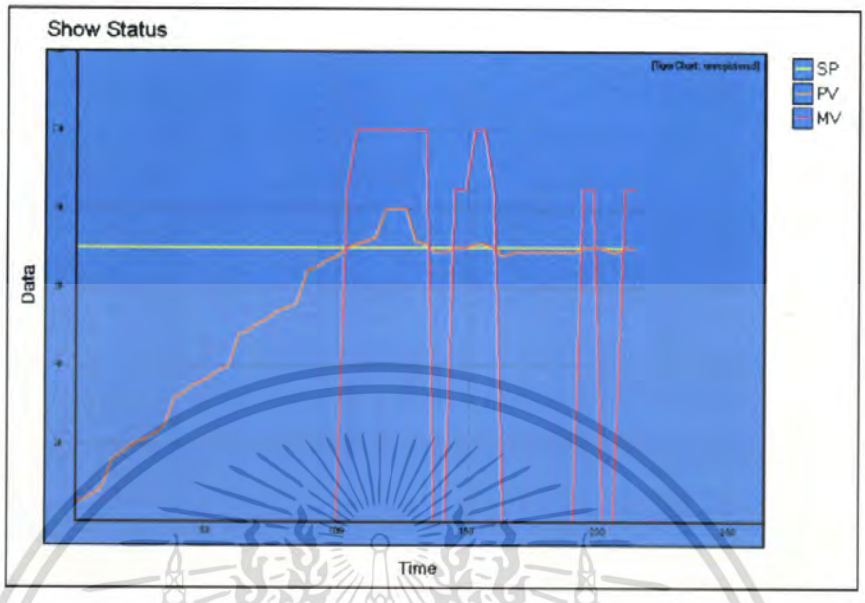

**รูปที่ 4.5** ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 50 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำออก)

จากกราฟพบว่า เมื่อทำการควบคุมระดับน้ำที่ระดับ 50 มิลลิเมตร ผลตอบสนองที่ได้จะเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ก่อนเข้าสู่ค่าปรับตั้ง (Set point) และรักษาระดับน้ำคงที่ตลอดเวลา




**รูปที่ 4.6** ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 70 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำเข้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.7** ผลตอบสนองการควบคุมระดับน้ำที่ระดับความสูง 70 มิลลิเมตร (ทางด้านน้ำออก)

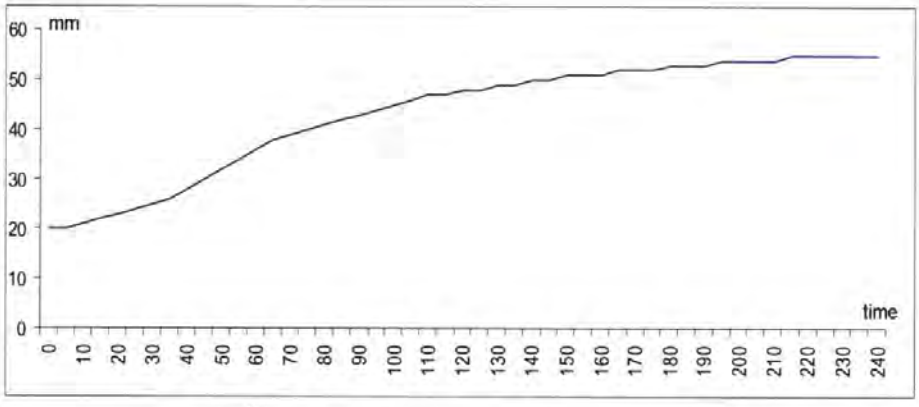
จากกราฟพบว่า เมื่อทำการควบคุมระดับน้ำที่ระดับ 20 มิลลิเมตร ผลตอบสนองที่ได้จะเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ที่ 17 เปอร์เซ็นต์ ก่อนเข้าสู่ค่าปรับตั้ง (Set point) และรักษาระดับน้ำคงที่ตลอดเวลา

## 4.3 การทดลองควบคุมอุณหภูมิ

จากการควบคุมอุณหภูมิภายในกระบวนการนั้นจำเป็นต้องทำการหาค่าของพารามิเตอร์ก่อนที่จะเริ่มทำการควบคุมกระบวนการ ในการปรับหาค่าพารามิเตอร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันเช่น วิธีวงเปิด วิธีวงปิด วิธีลองผิดลองถูก

ในการทดลองนี้จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีวงเปิดด้วยการป้อนค่าสัญญาณขั้นบันไดให้กับกระบวนการควบคุม จากนั้นทำการบันทึกค่ากราฟผลการตอบสนองแล้วนำมาหาค่าพารามิเตอร์ด้วยการทำวิธีการกำหนดเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.8** รูปตาราง Fit curve ชุดควบคุมอุณหภูมิ

ในการหาค่า $K, \tau, t_0$ ได้เลือกวิธีการกำหนดเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการแล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางของดาห์ลินจะได้ค่าพารามิเตอร์คือ

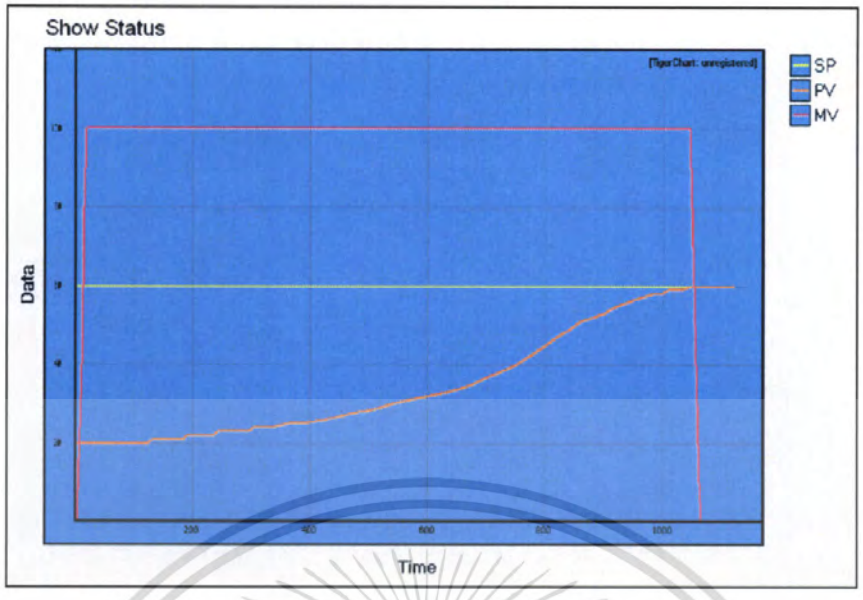
$$K = 0.5$$
$$\tau = 60$$
$$t_0 = 25$$
$$\frac{t_0}{\tau} = 0.41667$$

การตรวจสอบว่าค่า $K, \tau, t_0$ ที่หาได้จากกราฟกำหนดเส้นโค้งปฏิกิริยากระบวนการสามารถตรวจสอบได้จากค่าของ $\frac{t_0}{\tau}$ อยู่ในระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 หรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วง สามารถนำค่า $K, \tau, t_0$ หาค่าพารามิเตอร์ ของพีไอดี โดยนำค่า $K, \tau, t_0$ ไปใช้กับตารางของดาห์ลิน จะได้ค่าพารามิเตอร์พีไอดีดังนี้

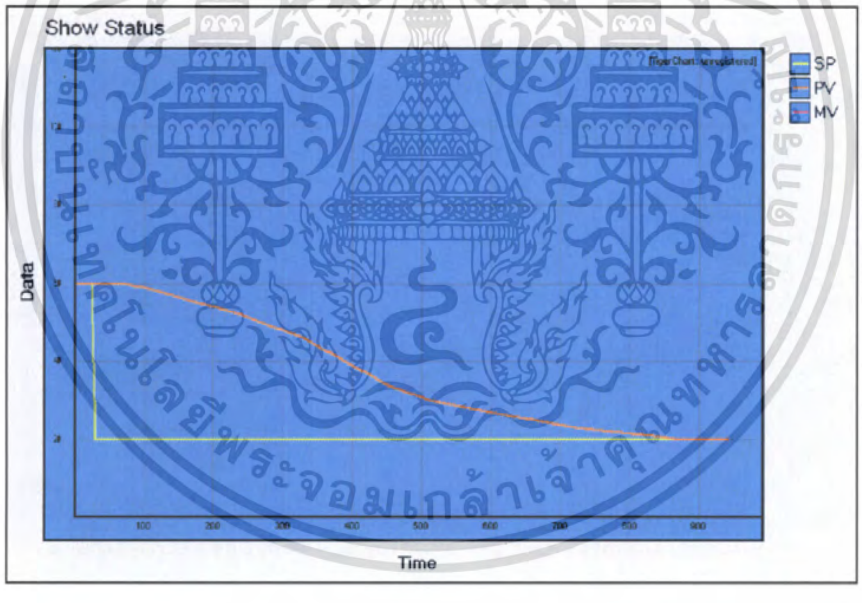
$$K_c = 18, T_i = 45, T_d = 85$$

นำค่าที่ได้จากการทำการใช้ตารางของดาห์ลิน กำหนดลงในค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นการควบคุมแบบพีไอดี โดยทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียล ในขอบขาขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียลและโดยทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียล ในขอบขาลงจาก 60 องศาเซลเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.9** ผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียล ขอบขาขึ้นจาก 20 องศาเซลเซียล




**รูปที่ 4.10** ผลตอบสนองการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียล ขอบขาลงจาก 60 องศาเซลเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทวิจารณ์และสรุป

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการควบคุม พบว่ามีการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์ตลอดเวลา เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนข้อมูล ระหว่างคอมพิวเตอร์กับพีแอลซีของกระบวนการตลอดเวลา และยังสามารถใช้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับกระบวนการได้มากกว่า 1 เครื่อง โดยความสามารถในการแสดงผลและควบคุมกระบวนการเท่าเทียมกัน

ในส่วนการทดลองควบคุมระดับน้ำและอุณหภูมิของกระบวนการ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด พบว่าการหาค่าพารามิเตอร์ควบคุมในการควบคุมกระบวนการมีความสำคัญ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนจะสามารถควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าปรับตั้ง แต่เมื่อหาค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการไม่ได้จะทำให้ไม่สามารถควบคุมกระบวนให้เข้าสู่ค่าปรับตั้ง การปรับหาค่าพารามิเตอร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันเช่น วิธีวงเปิด วิธีวงปิด วิธีลองผิดลองถูก เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ได้มาควบคุมกระบวนการต้องทำการปรับแต่งละเอียด เพื่อให้การควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงงานนี้ในช่วงแรกพบปัญหาหลายอย่าง เนื่องจากโครงงานนี้มีการใช้โปรแกรมหลายโปรแกรม เช่น โปรแกรวิชวลเบสิค (Visual basic) ใช้ในการแสดงผลและเชื่อมต่อโปรแกรมต่างๆ โปรแกรมซีเอ็กโปรแกรมเมอร์ (CX-Programmer) ใช้ในการเขียนโปรแกรมพีแอลซี โปรแกรมคอมโปเลท (Compolet) ใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณโปรโตคอลระหว่างพีแอลซีกับคอมพิวเตอร์ โปรแกรมซิมพิซิตี้ (CIMPLICITY) ใช้ในการเขียนกราฟฟิคของอุปกรณ์ต่างๆ โปรแกรมไมโครซอฟร์แอคเซ็ท (Microsoft access) ใช้ในการเก็บฐานข้อมูล ทำให้ต้องใช้เวลาในการศึกษาโปรแกรมต่างๆเป็นเวลานาน และกระบวนการที่จะทำการควบคุมไม่ได้ถูกใช้งานมาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอและเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในกระบวนการต้องใช้เวลาในการบำรุงรักษากระบวนการเป็นเวลานาน ส่วนการออกแบบกระบวนการที่มีอยู่เดิมนไม่เหมาะสม เนื่องจากประเภทของอุปกรณ์บางชนิดไม่เหมาะสมกับกระบวนการ เช่น วาล์วควบคุมเป็นชนิดเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ทำให้การควบคุมระดับเป็นลักษณะเปิดและปิด ส่งผลให้การควบคุมระดับน้ำยากและไม่ได้ประสิทธิภาพ รวมทั้งฮีทเตอร์มีขนาดเล็กเกินไปทำให้การควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำได้ช้า และวาล์วเปิดปิด มีขนาดที่เล็กเกินไปทำให้การถ่ายเทน้ำจากถังหมายเลข 1 มายังหมายเลข 2 ช้าเกินไปส่งผลให้การควบคุมกระบวนการมีปัญหา

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมพีแอลซี พบว่าพื้นที่หน่วยความจำภายใน พีแอลซีรุ่นซีคิวเอ็ม วันเอชซีพียู 21 ไม่เพียงพอ เนื่องจากโปรแกรมพีแอลซีและโปรแกรมวิชวลเบสิคมีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนพีแอลซีรุ่นซีคิวเอ็มวันเอชซีพียู 21 เป็นพีแอลซีรุ่นซีคิวเอ็มวันซีพียู 42ทำให้เมื่อทำการแก้ไข หรือเปลี่ยนฟังก์ชั่นการทำงานต้องใช้เวลานานในการแก้ไข

## 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนปัจจุบันมีการใช้อย่างงานอย่างแพร่หลายภายในระบบอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีการพัฒนาระบบควบคุมแบบกระจายส่วนอย่างต่อเนื่องโดยการเพิ่มขีดความสามารถในการติดต่อสื่อสารให้มีความหลากหลายมากขึ้น เช่นการติดต่อสื่อสารผ่านระบบเคลือข่าย (Network) หรือ อีเตอร์เน็ท (Ethernet) รวมทั้งการแสดงผลและกราฟิกของคอมพิวเตอร์ และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือกระบวนการควบคุมอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

[1] ผศ.พรสุข รติโรจน์อนันต์.**พื้นฐานการควบคุมกระบวนการ (Fundamentals of Process Control Theory)**.กรุงเทพมหานคร: แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2549.

[2] รศ.สุเธียร เกียรติสุนทร.**ดีซีเอส (Distributed Control System,DCS)**.กรุงเทพมหานคร:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).2543.

[3] ธาริน สิทธิธรรมชารี.ประชา พฤกษ์ประเสริฐ.**Microsoft Visual Basic 6.0**.กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซัคเซส มีเดีย จำกัด.2548.

[4] มนตรี ไล้สมบูรณ์. "Process Control (ตอนที่3)" **Industrial Technology Review 149**,มกราคม 2549.หน้า 108-113.

[5] อนรรฆนงค์ คุณมณี.**Microsoft Access 2003**.กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส.พี.ซี. พรินติ้ง จำกัด. 2547.

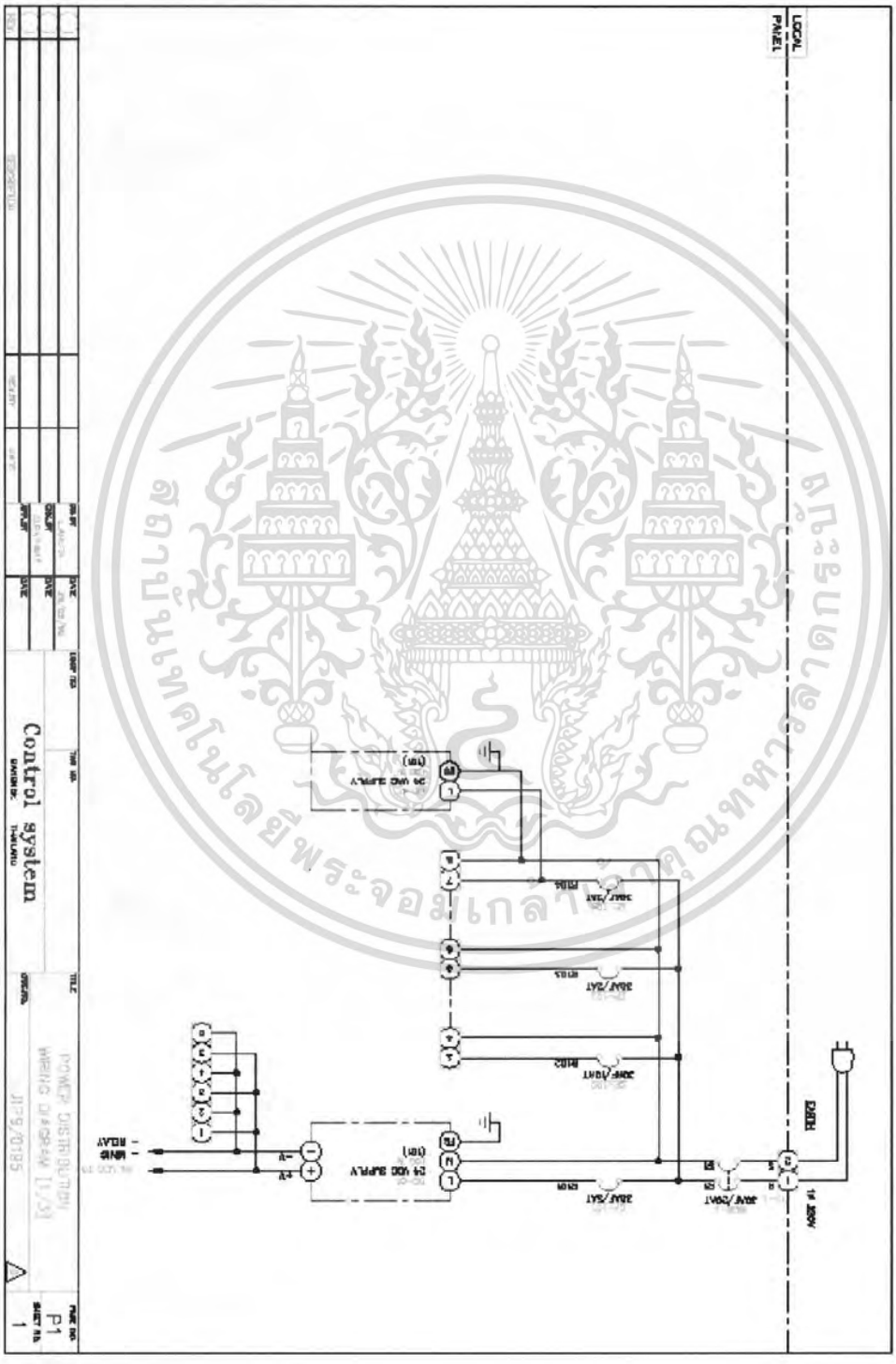
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

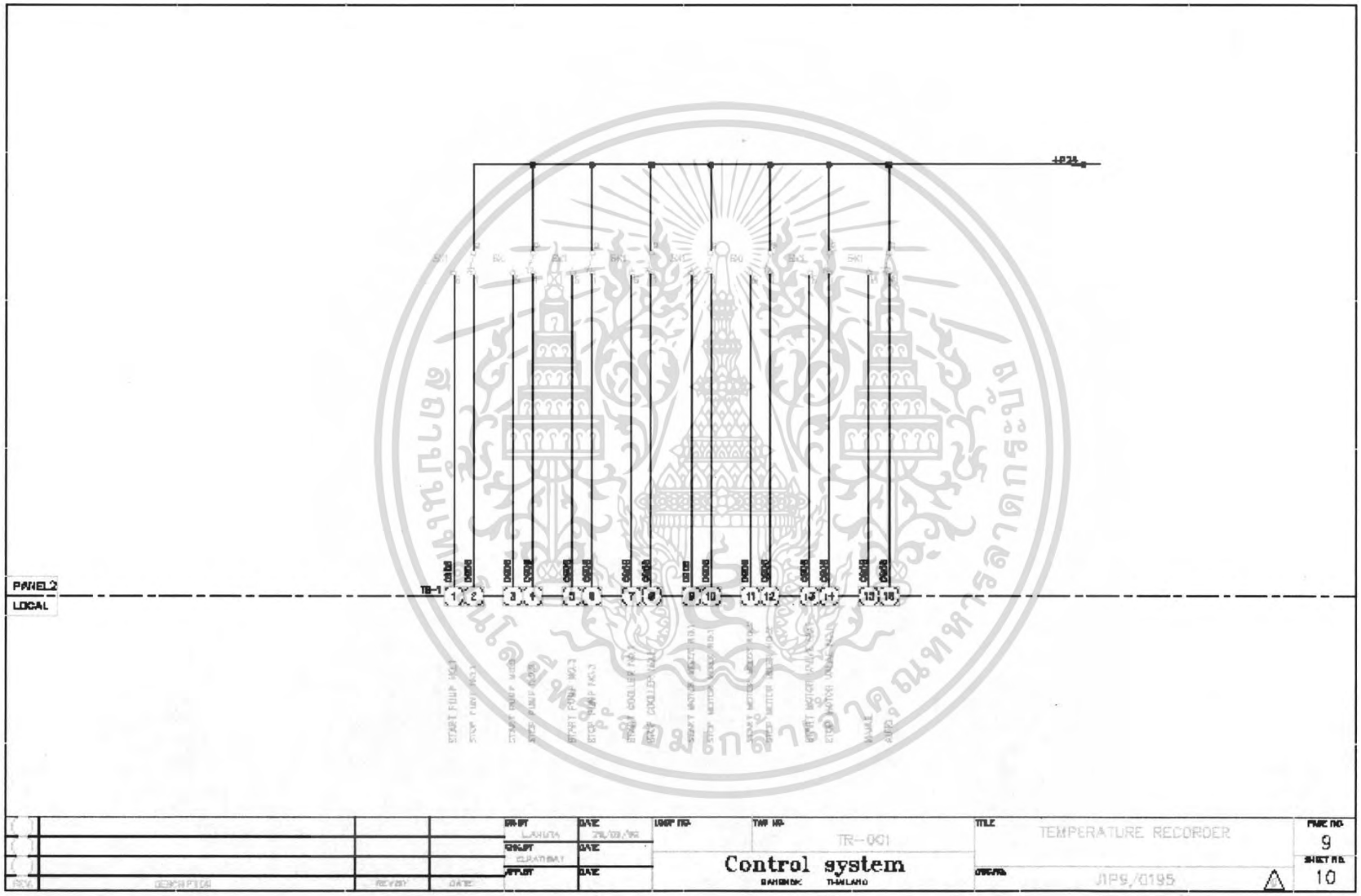
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

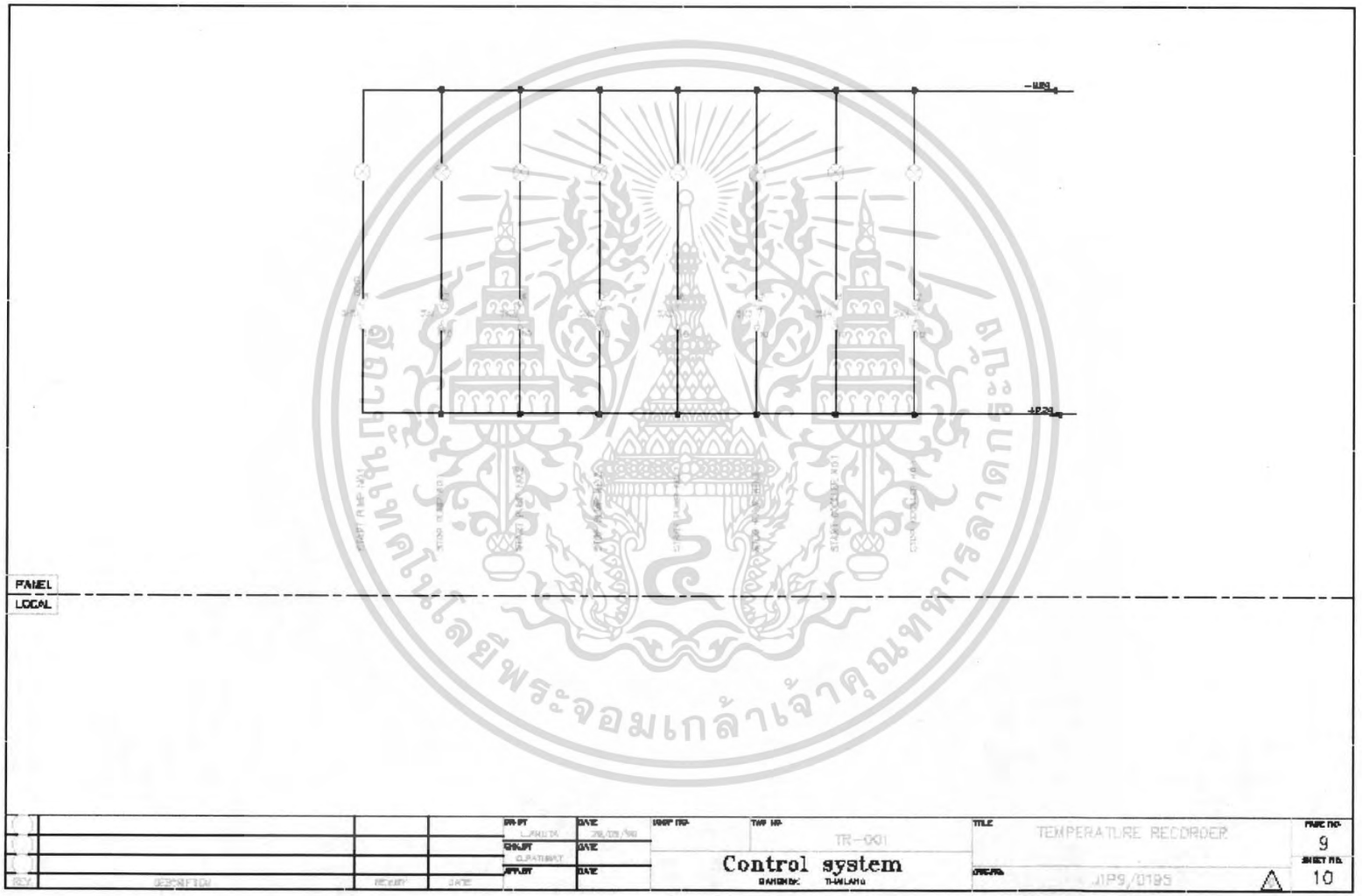
# แบบระบบไฟฟ้าภายในกระบวนการควบคุม

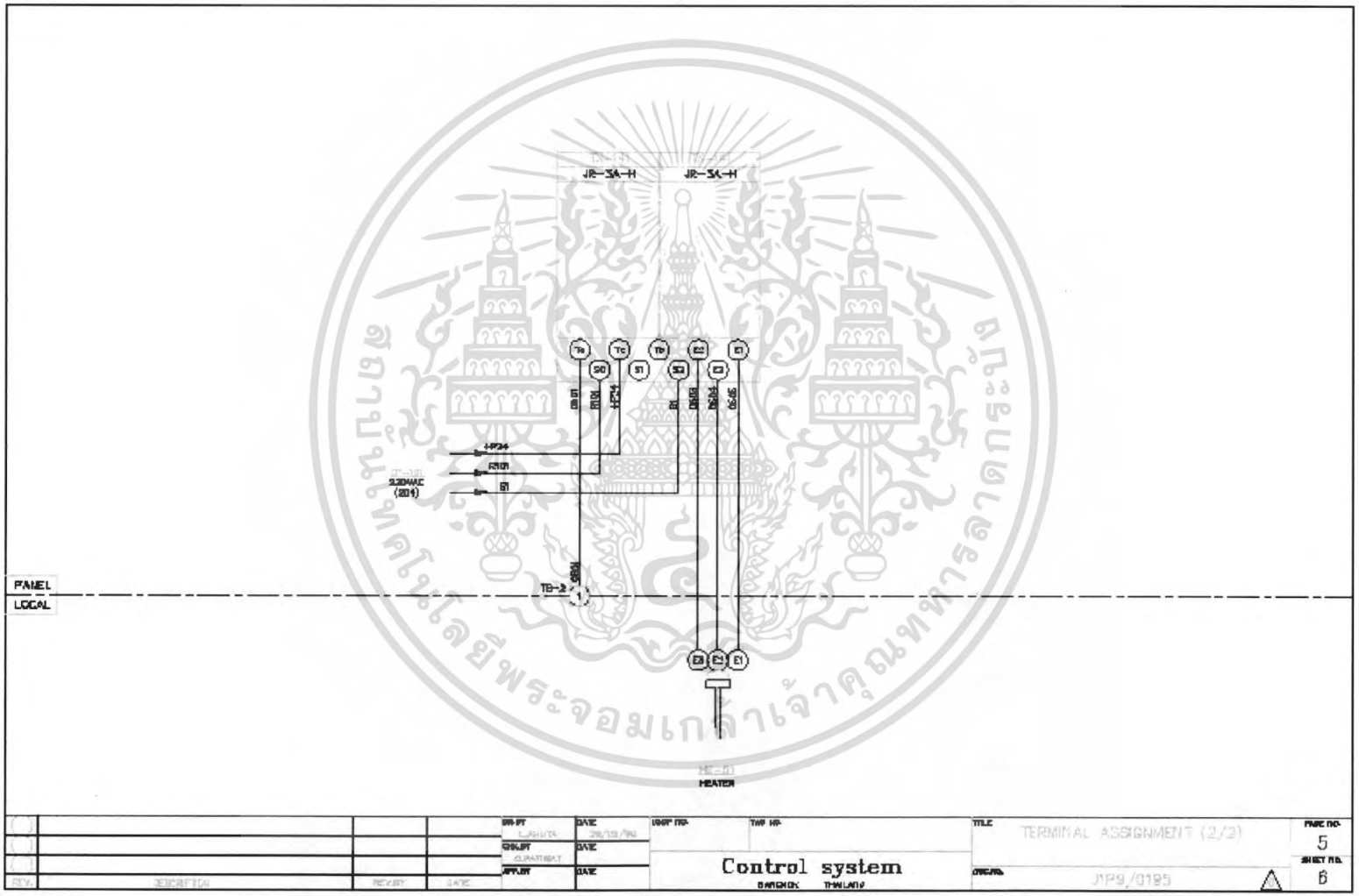


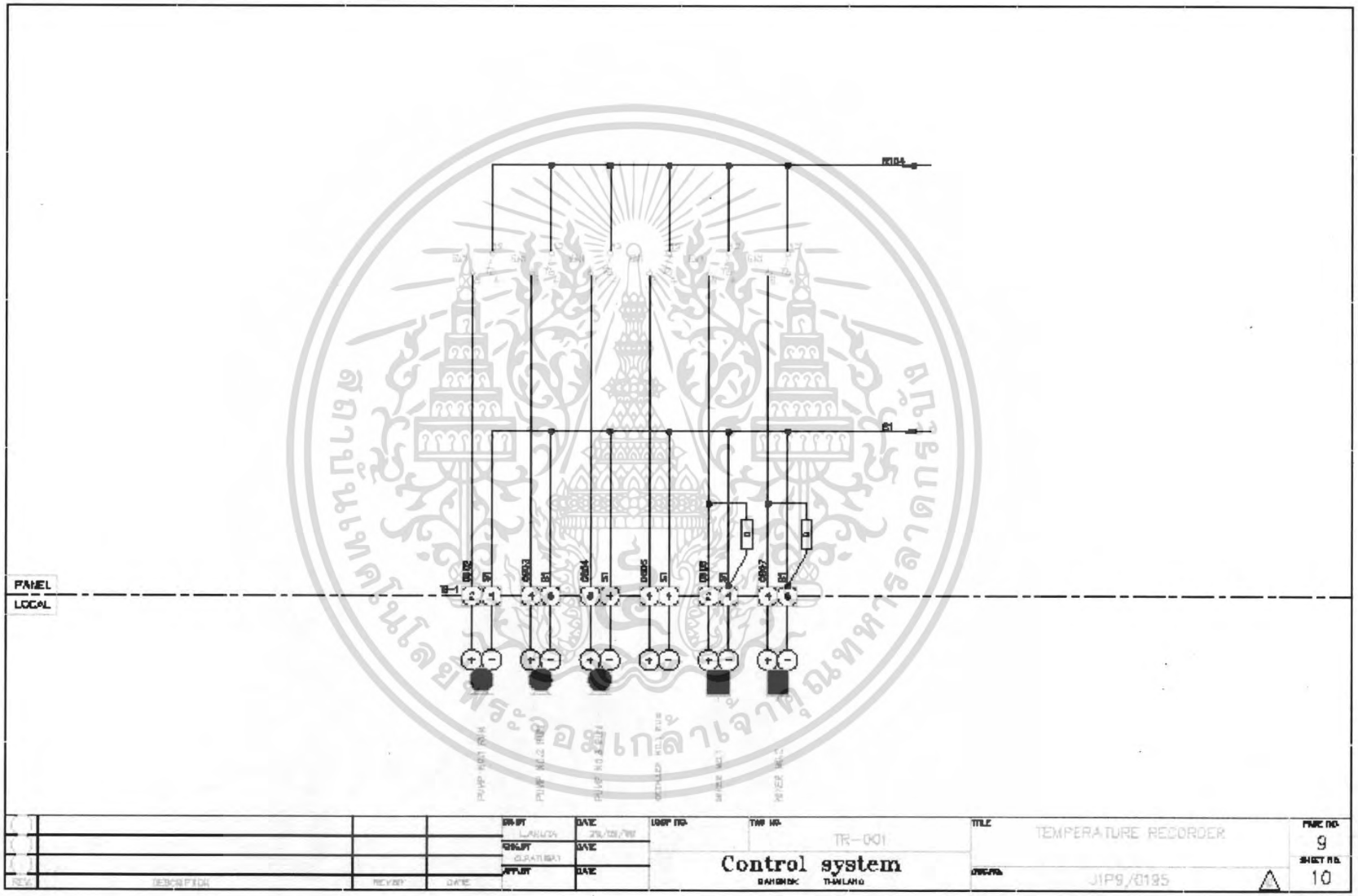

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

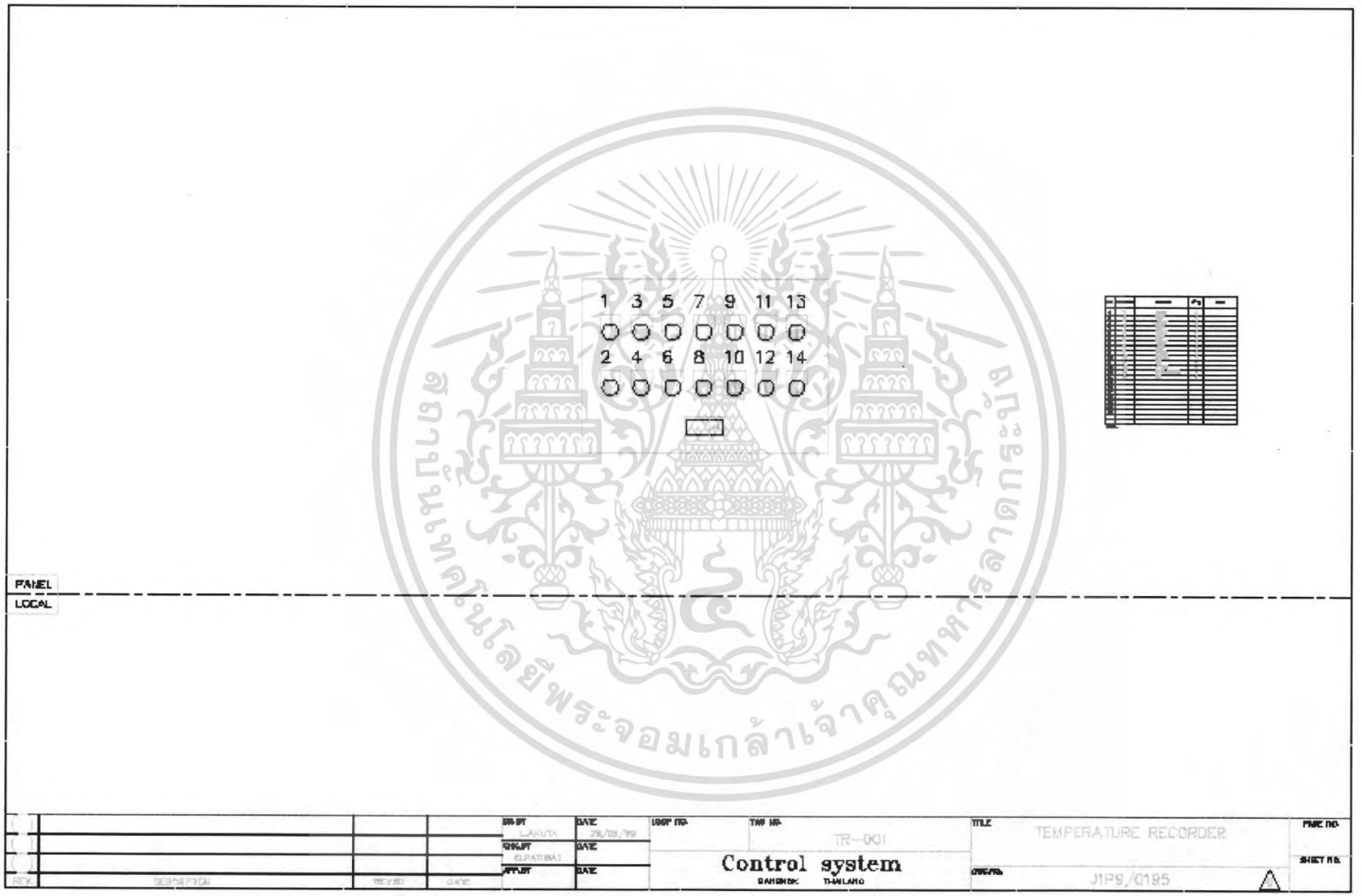


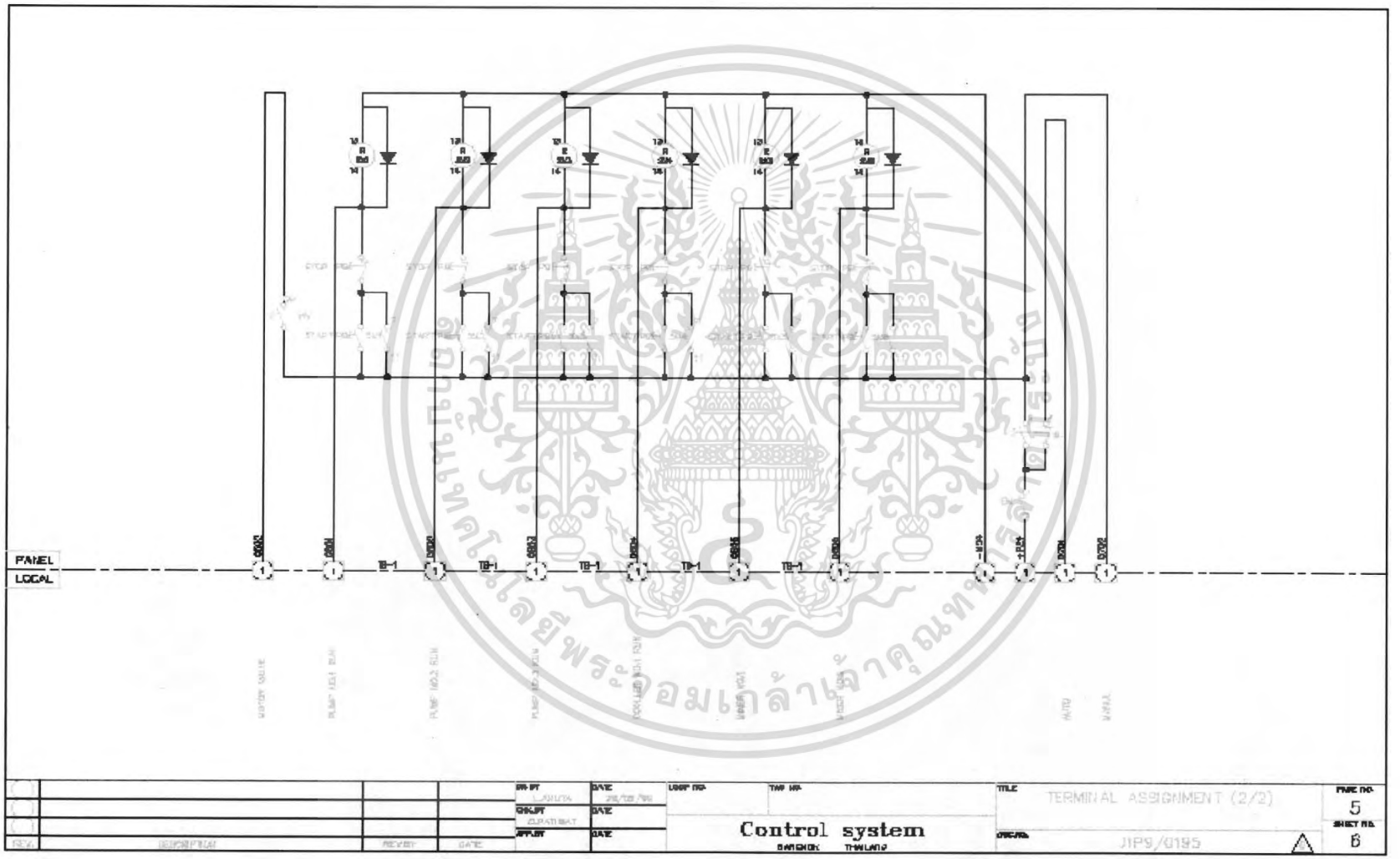

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | DRAFT LAHUTA | DATE 26/08/92 | USER NO. | TAG NO. TR-001 | TITLE TEMPERATURE RECORDER | PAGE NO. 9 |
| | | | | CHKD BY CHAITAWAT | DATE | | Control system BANGKOK THAILAND | | SHEET NO. 10 |
| REV. | DESCRIPTION | REVISED | DATE | APPD BY | DATE | | | DRG. NO. J1P9/0195 | |

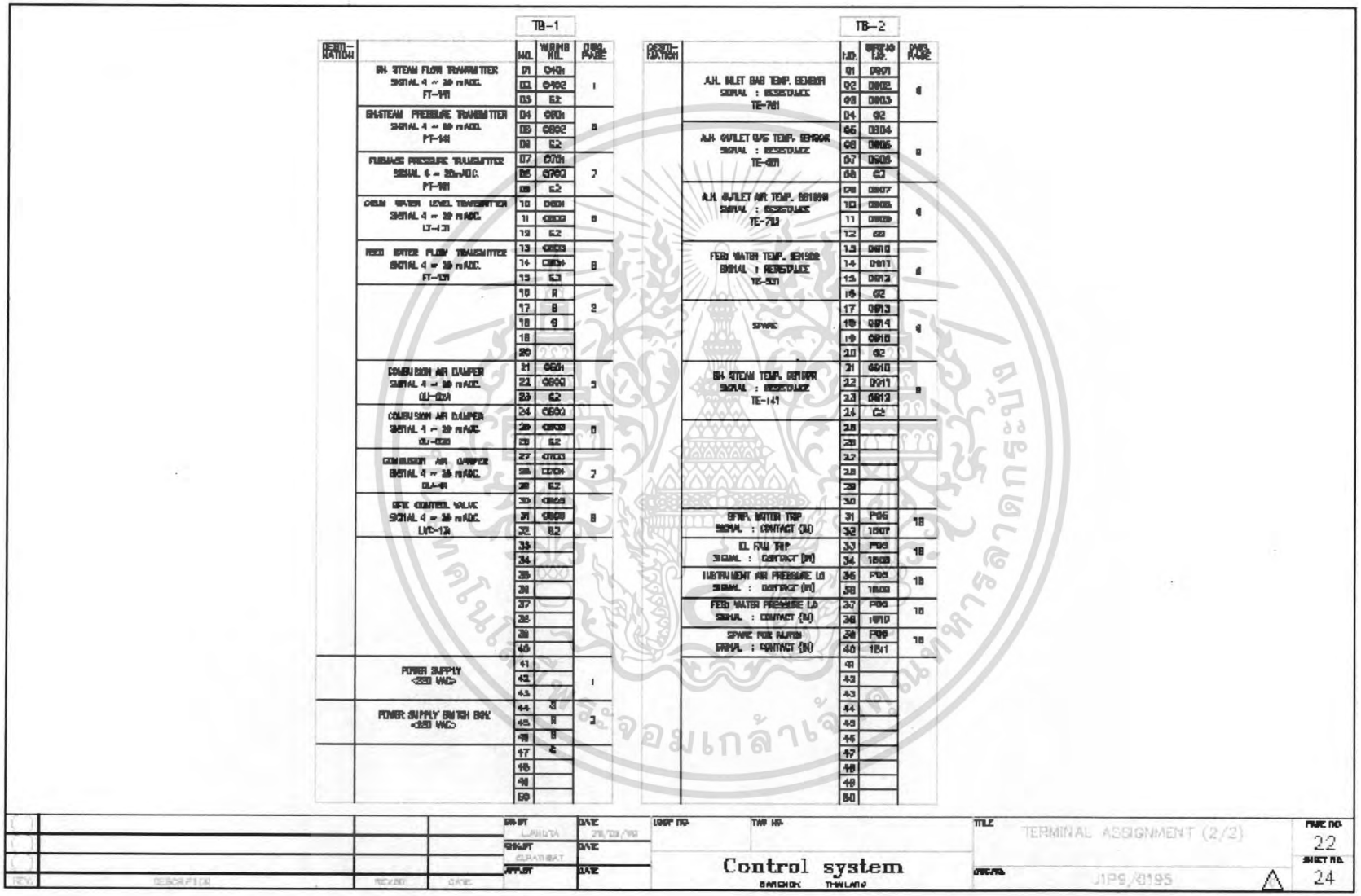

PANEL
LOCAL
Control system
TR-001
TEMPERATURE RECORDER
JIPS/0195
9
10

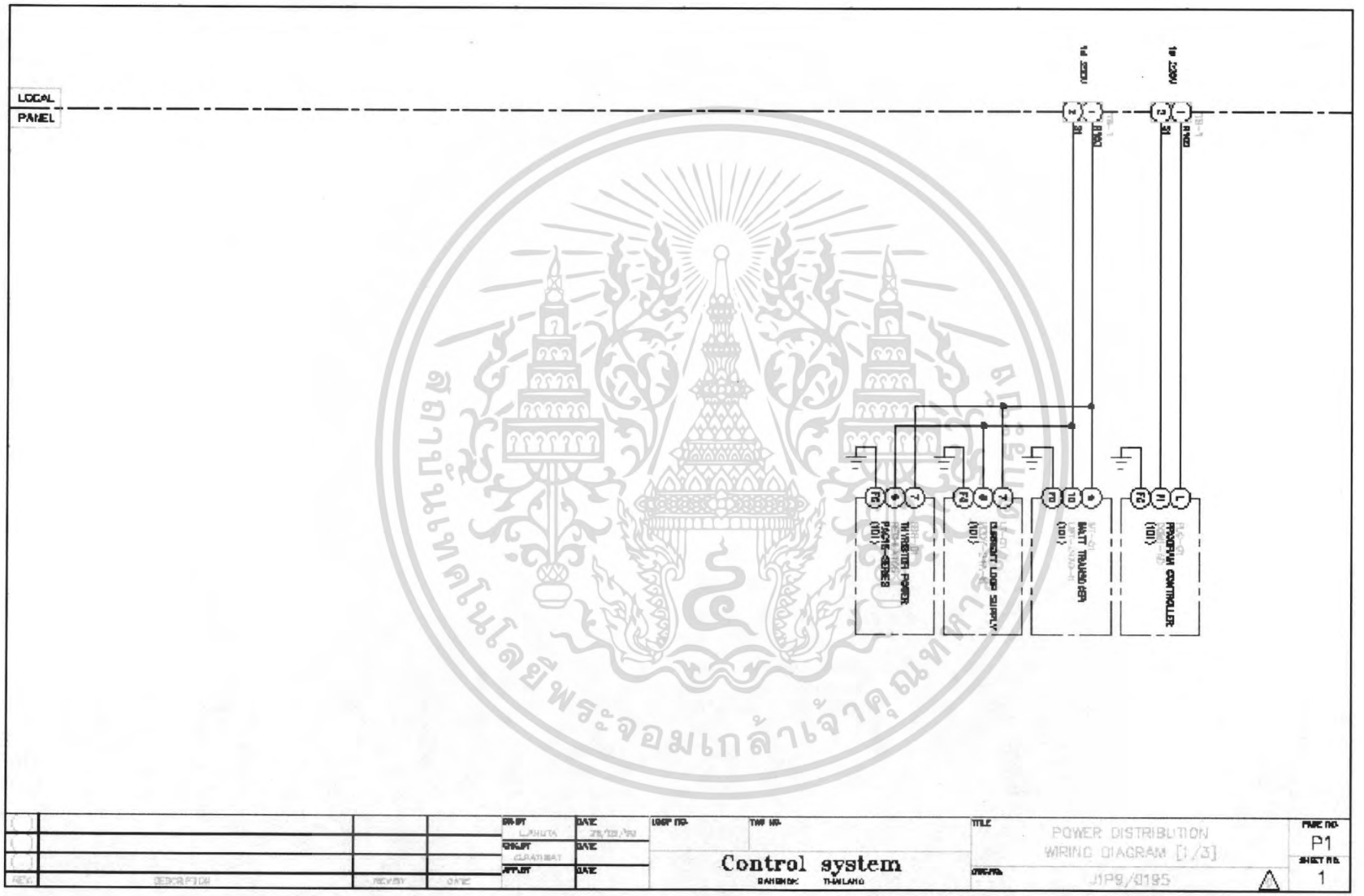

JR-3A-H
JR-3A-H
Ta
Tc
Tb
S0
S1
S3
S2
E2
E1
E3
E4
E5
1HP24
FR01
SI
SLEMAVE
(204)
PANEL
LOCAL
TB-2
HEATER
Control system
TERMINAL ASSIGNMENT (2/2)
JIP9/0195
5
6

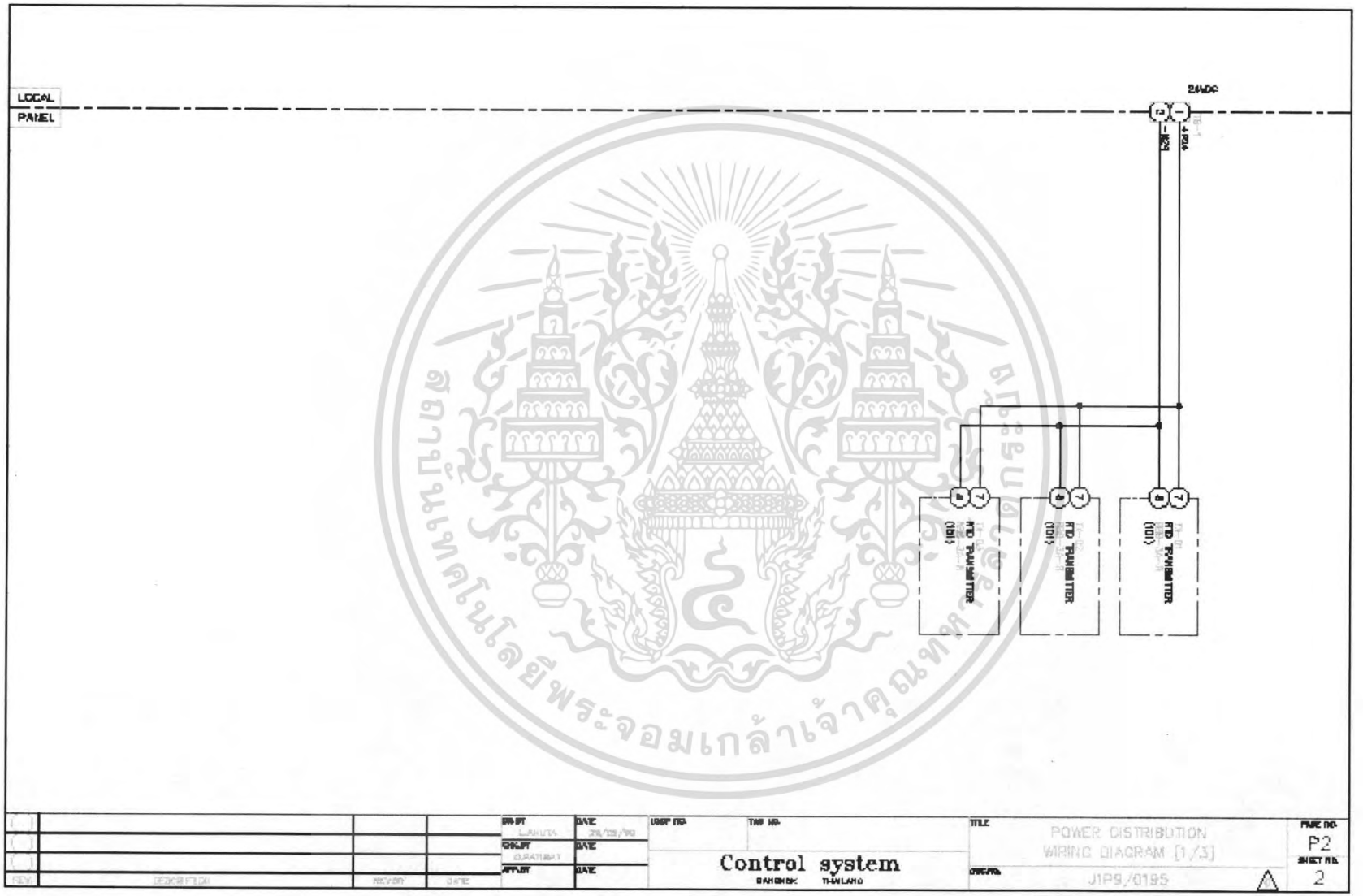

PANEL
LOCAL
TR-001
Control system
TEMPERATURE RECORDER
J1P9/0135
9
10

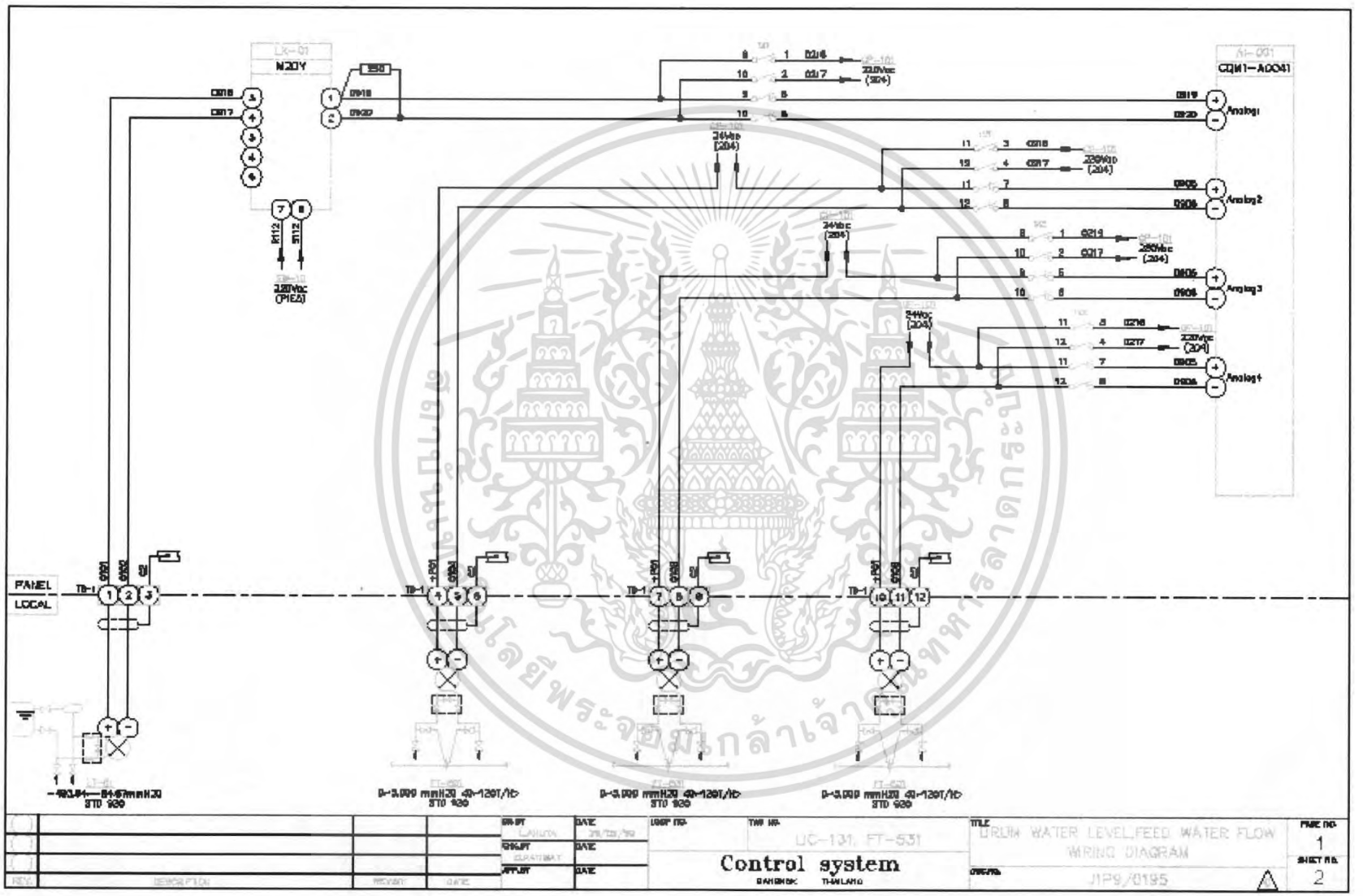

1 3 5 7 9 11 13
2 4 6 8 10 12 14
PANEL
LOCAL
TR-001
Control system
TEMPERATURE RECORDER
J1P9/0185

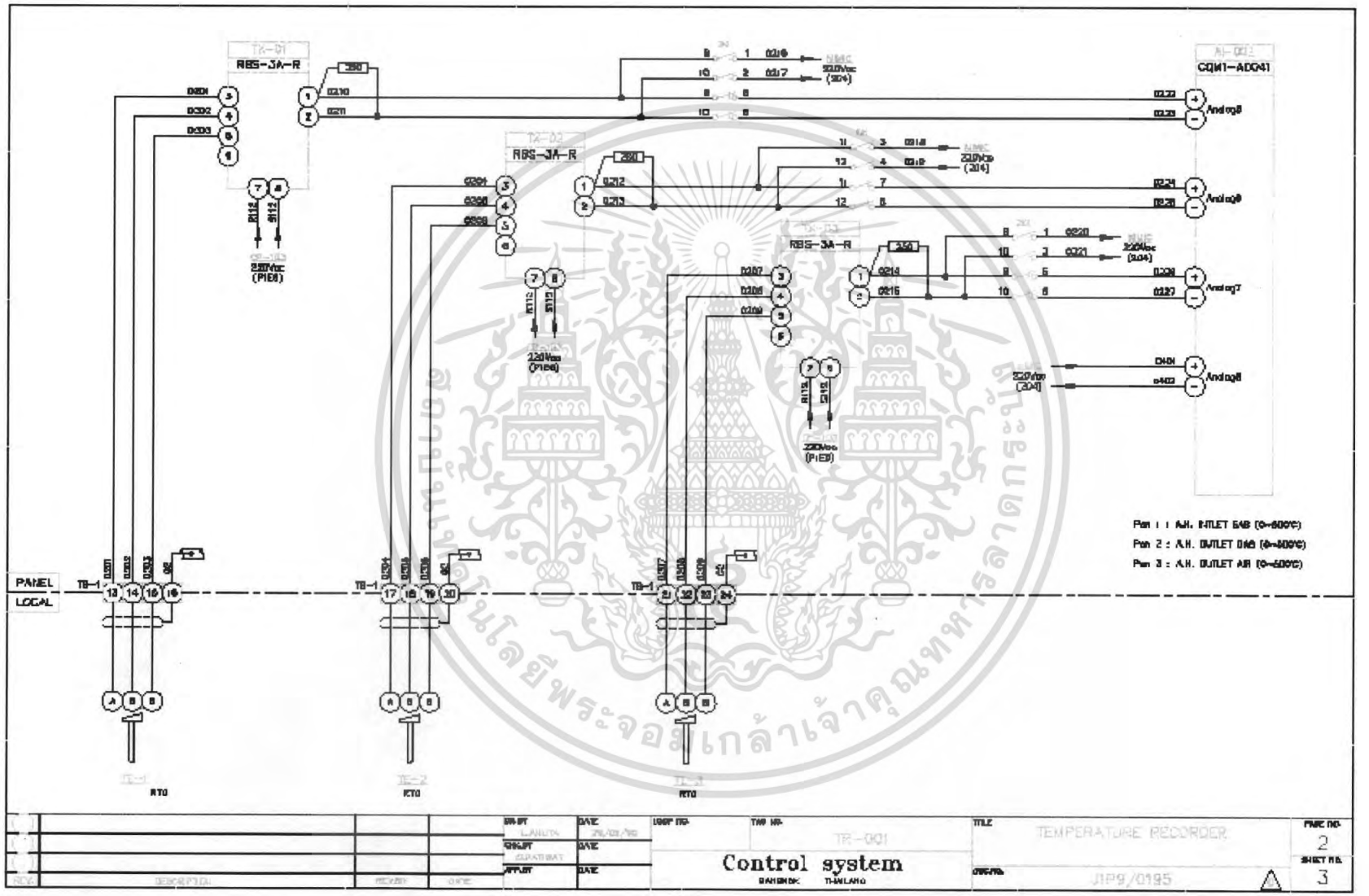

PANEL
LOCAL
TB-1
TB-1
TB-1
TB-1
TB-1
TB-1
Control system
TERMINAL ASSIGNMENT (2/2)
JIPS/0185
5
6

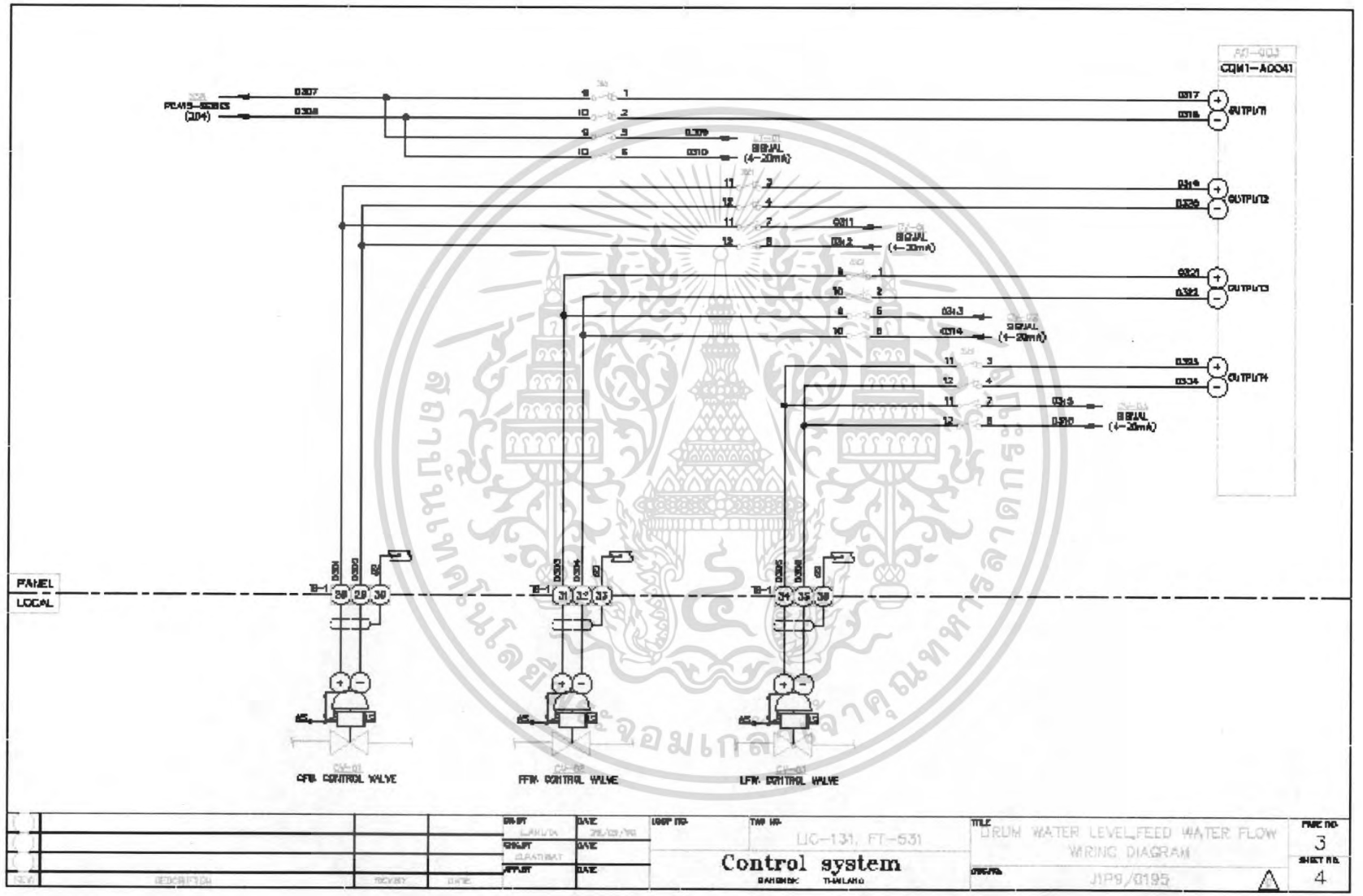

TB-1
DESTINATION
WIRING NO.
CABLE PARTICULARS
BH STEAM FLOW TRANSMITTER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
FT-141
BH STEAM PRESSURE TRANSMITTER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
PT-141
FURNACE PRESSURE TRANSMITTER
SIGNAL 4 ~ 20mADC.
PT-101
DRUM WATER LEVEL TRANSMITTER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
LT-131
FEED WATER FLOW TRANSMITTER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
FT-131
COMBUSTION AIR DAMPER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
DU-02A
COMBUSTION AIR DAMPER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
DU-02B
COMBUSTION AIR DAMPER
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
DU-04
SPR. CONTROL VALVE
SIGNAL 4 ~ 20 mADC.
LVD-12A
POWER SUPPLY
<220 VAC>
POWER SUPPLY SWITCH BOX
<220 VAC>
TB-2
DESTINATION
CABLE PARTICULARS
A.H. INLET GAS TEMP. SENSOR
SIGNAL : RESISTANCE
TE-701
A.H. OUTLET GAS TEMP. SENSOR
SIGNAL : RESISTANCE
TE-601
A.H. OUTLET AIR TEMP. SENSOR
SIGNAL : RESISTANCE
TE-713
FEED WATER TEMP. SENSOR
SIGNAL : RESISTANCE
TE-531
SPARE
BH STEAM TEMP. SENSOR
SIGNAL : RESISTANCE
TE-141
SPR. WATER TRIP
SIGNAL : CONTACT (3A)
ID FAN TRIP
SIGNAL : CONTACT (PI)
INSTRUMENT AIR PRESSURE LO
SIGNAL : CONTACT (PI)
FEED WATER PRESSURE LO
SIGNAL : CONTACT (PI)
SPARE FOR FUTURE
SIGNAL : CONTACT (3D)
Control system
BANGKOK THAILAND
TERMINAL ASSIGNMENT (2/2)
J1P9/0195
DRAWING NO. 22
SHEET NO. 24

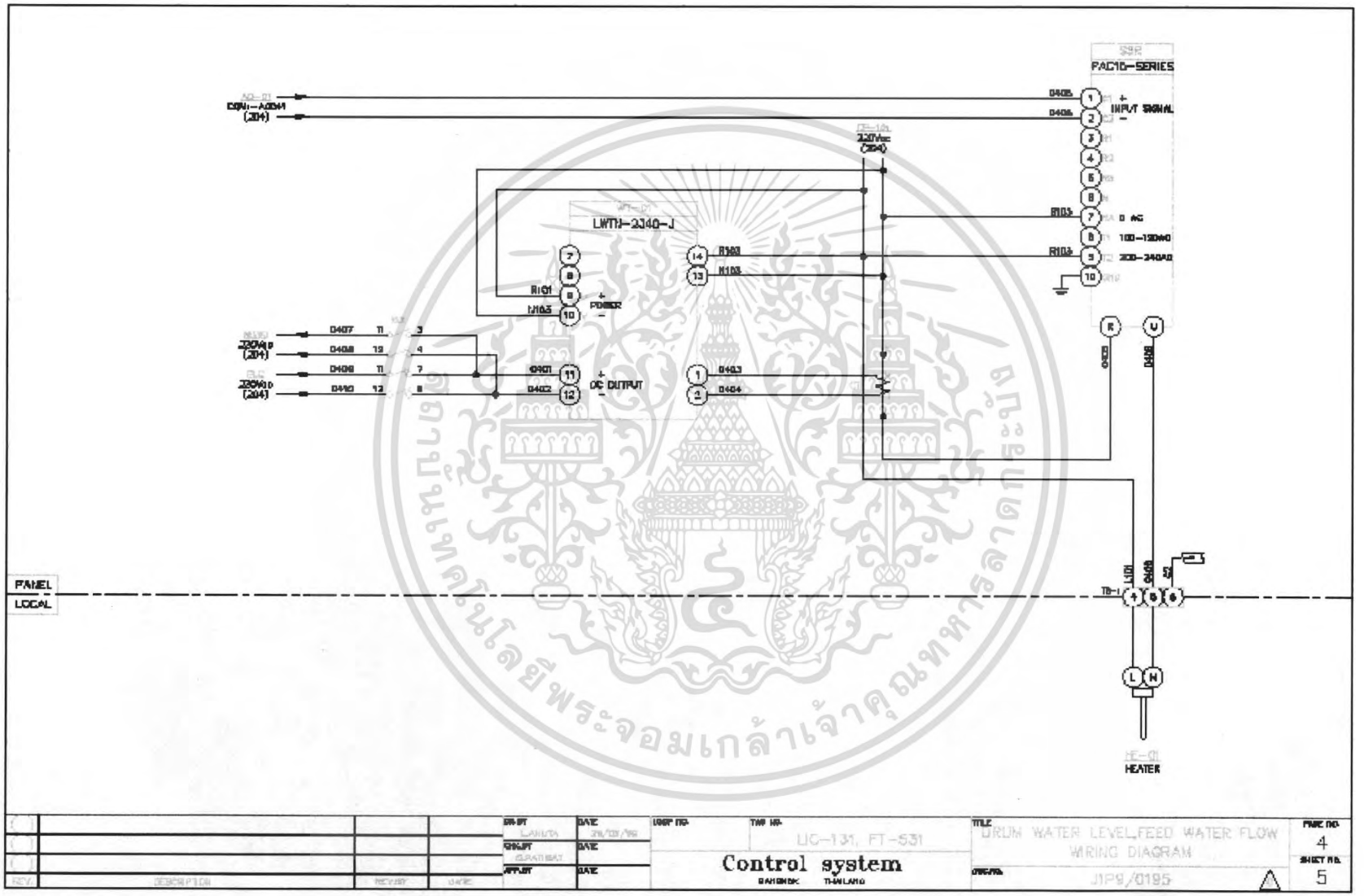

LOCAL
PANEL
Control system
POWER DISTRIBUTION
WIRING DIAGRAM [1/3]
P1
1

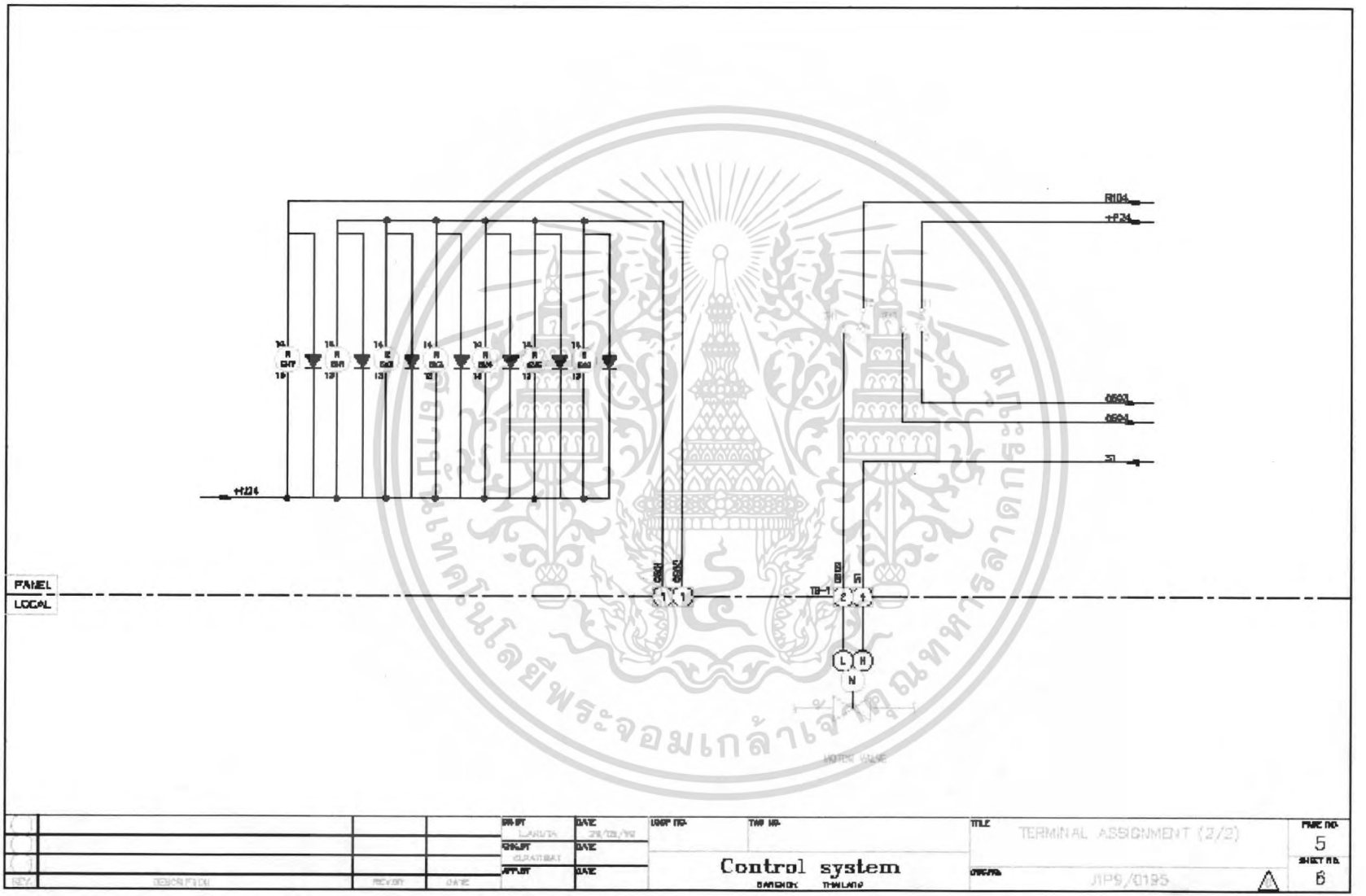

LOCAL
PANEL
24VDC
RTD TRANSMITTER
(1DI)
RTD TRANSMITTER
(1DI)
RTD TRANSMITTER
(1DI)
Control system
POWER DISTRIBUTION
WIRING DIAGRAM (1/3)
P2
2
J1P9/0195

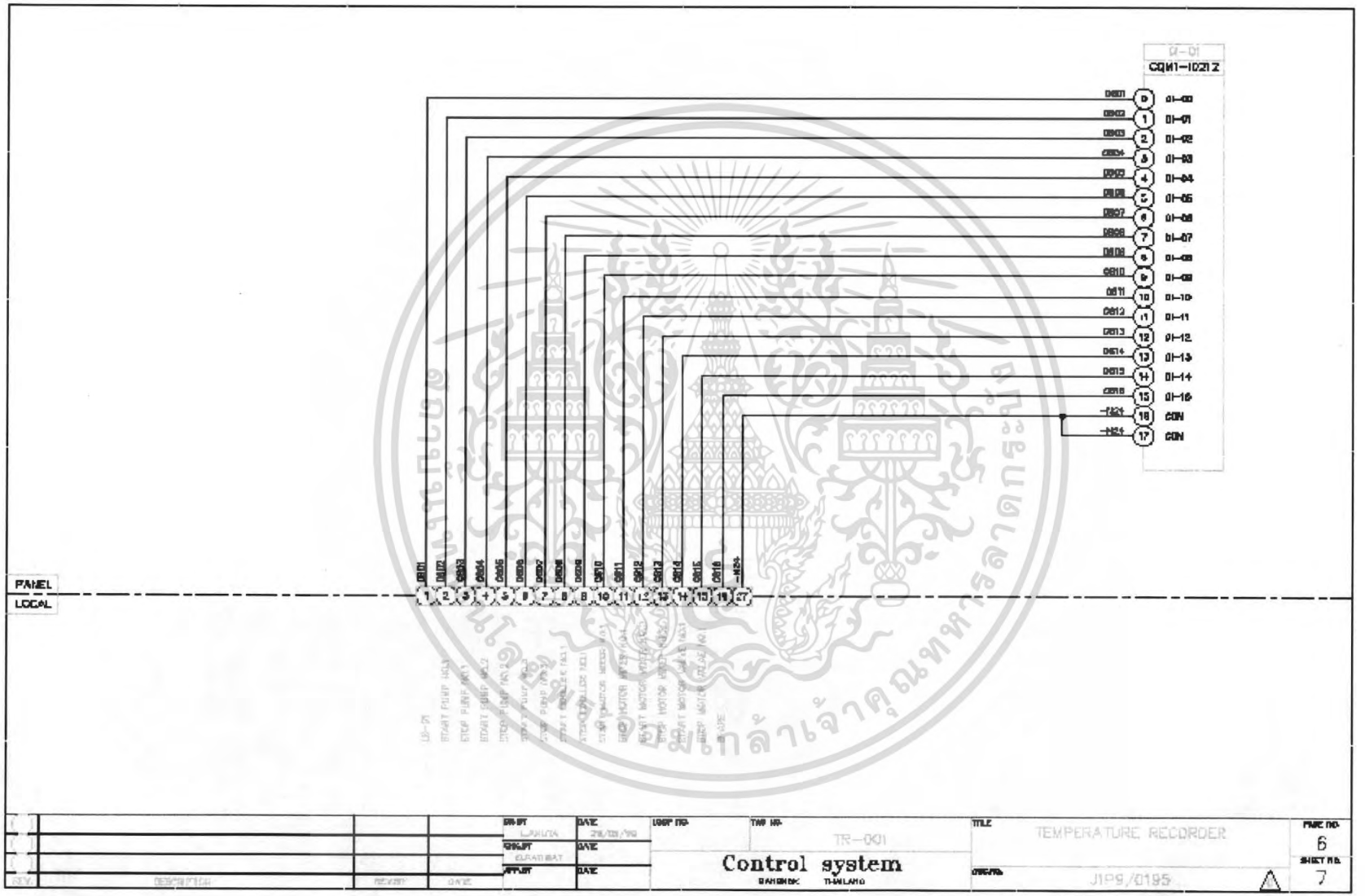

LX-01
N2OY
AI-001
CQM1-AD041
Analog1
Analog2
Analog3
Analog4
24Vdc (204)
220Vac (204)
220Vac (PIEA)
PANEL
LOCAL
TB-1
0-3,000 mmH2O 4D-120T/1b
STD 930
Control system
UC-131, FT-531
DRUM WATER LEVEL,FEED WATER FLOW
WIRING DIAGRAM
J1P9/0195
1
2

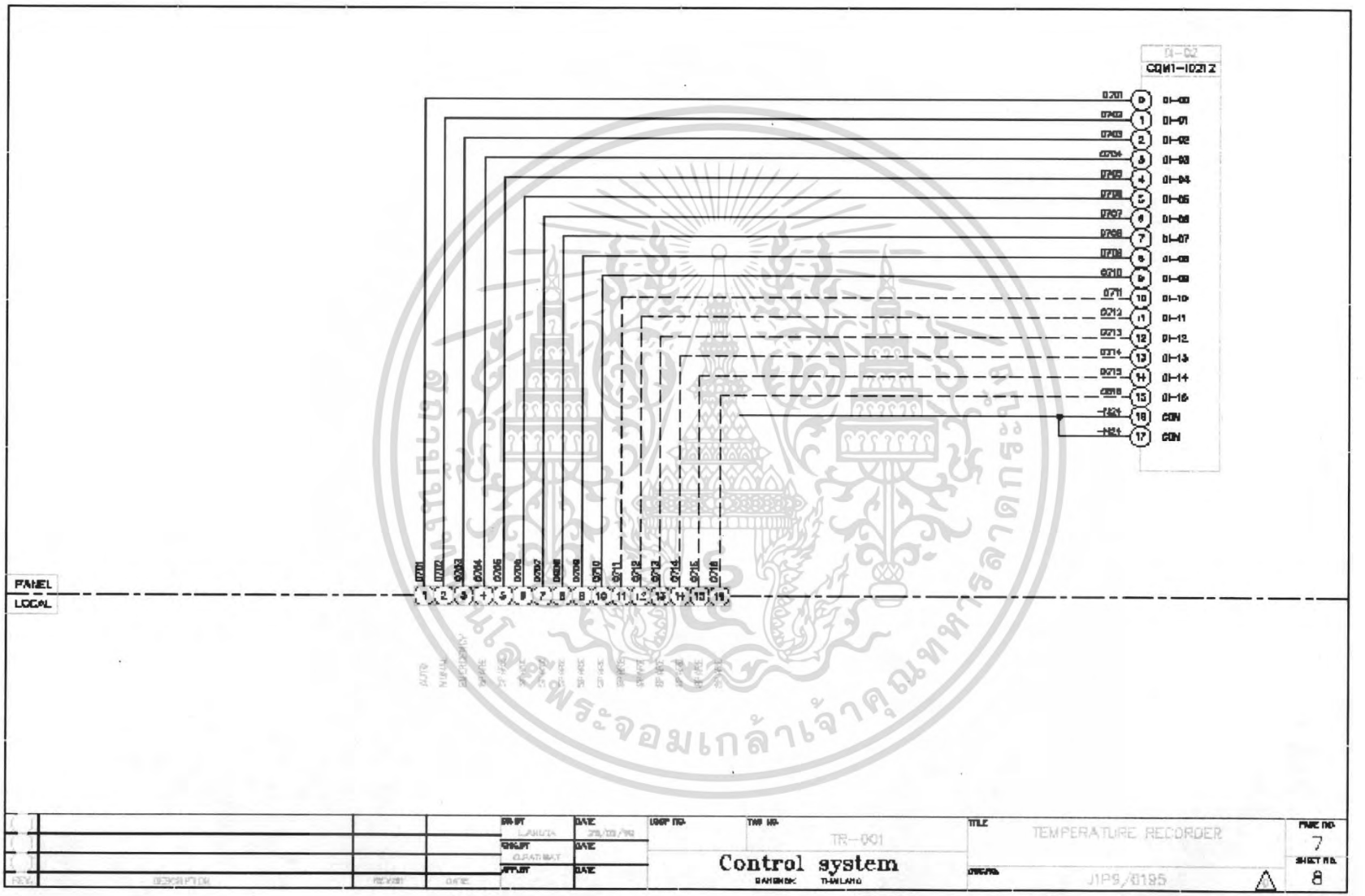

RBS-3A-R
CQM1-AD041
Analog6
Analog7
Analog8
PANEL
LOCAL
RTD
Control system
TEMPERATURE RECORDER
TR-001
J1P9/0195
2
3

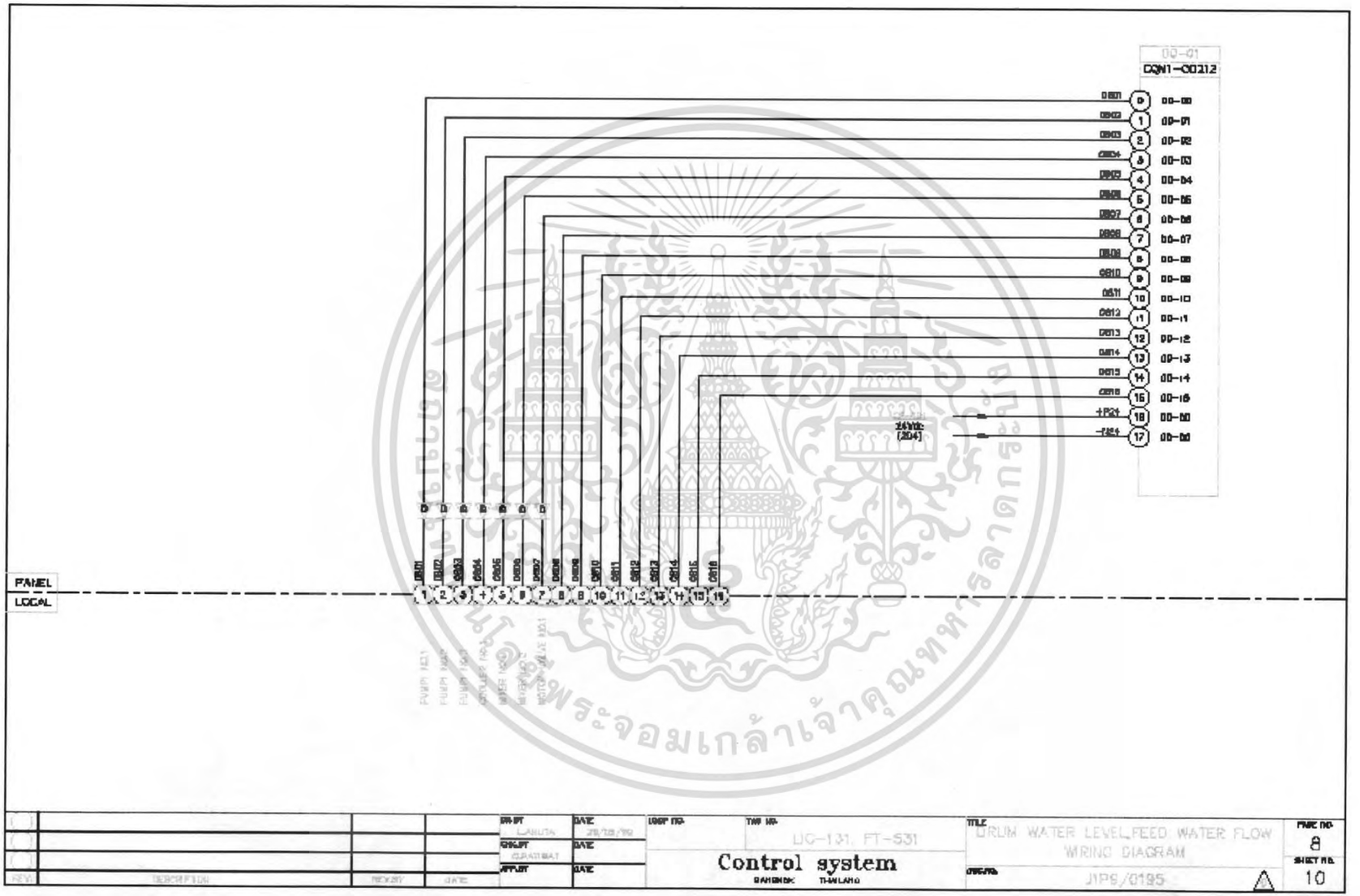

CQM1-AD041
OUTPUT1
OUTPUT2
OUTPUT3
OUTPUT4
SIGNAL (4-20mA)
PANEL
LOCAL
CFW CONTROL VALVE
FFW CONTROL VALVE
LFW CONTROL VALVE
Control system
LIC-131, FT-531
DRUM WATER LEVEL,FEED WATER FLOW WIRING DIAGRAM
JIP9/0195

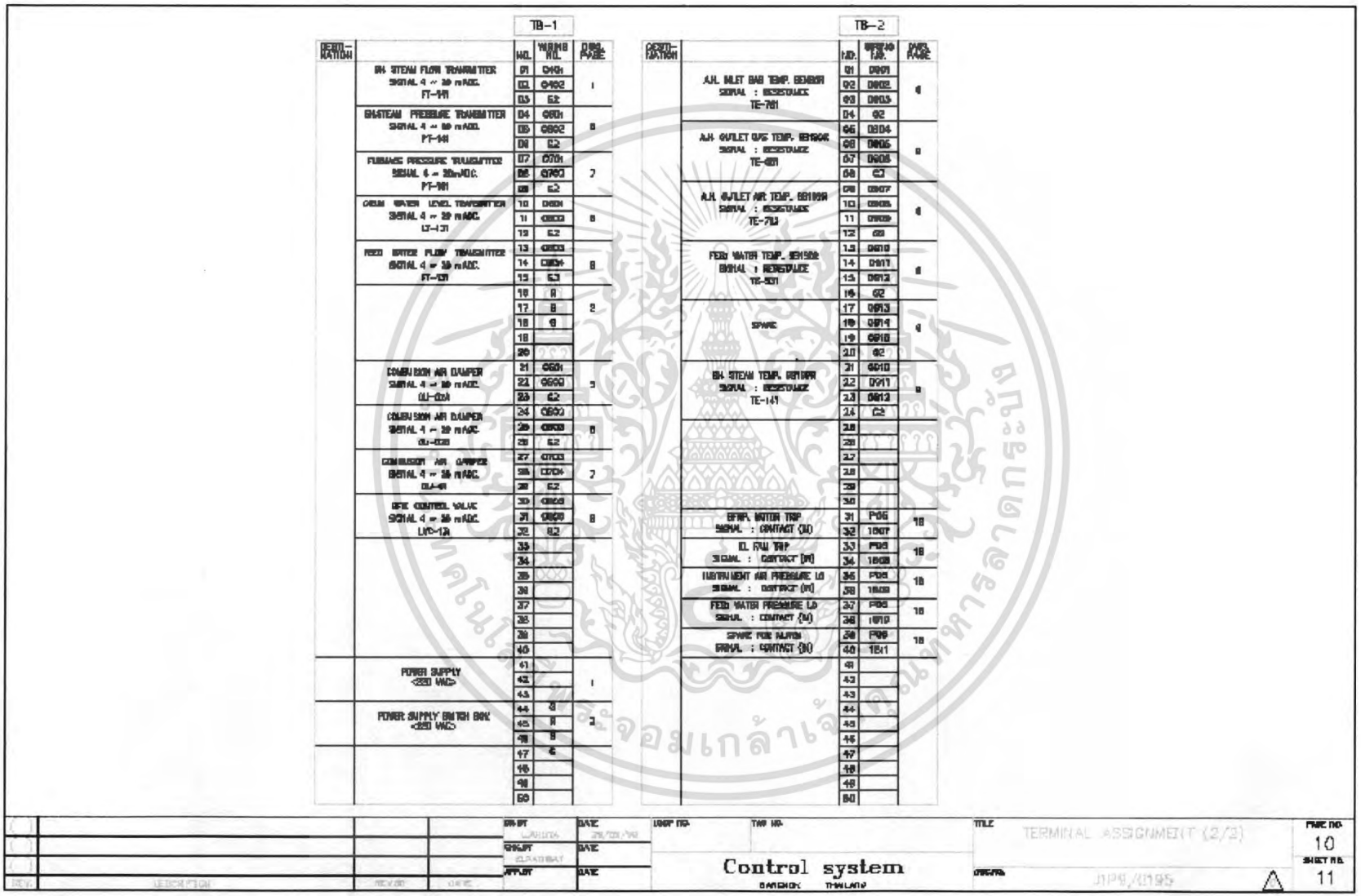

PAC10-SERIES
INPUT SIGNAL
LWTH-2340-J
POWER
OC OUTPUT
PANEL
LOCAL
HEATER
Control system
LIC-131, FT-531
DRUM WATER LEVEL,FEED WATER FLOW
WIRING DIAGRAM
JIP9/0195
4
5


+124
RN04
+P24
0603
0604
51
PANEL
LOCAL
TB-1
L
H
N
Control system
TERMINAL ASSIGNMENT (2/2)
JIP9/0195
5
6


U-01
CQM1-ID212
PANEL
LOCAL
TR-001
Control system
TEMPERATURE RECORDER
6
7


01-02
CQM1-ID212
0700
0701
0702
0703
0704
0705
0706
0707
0708
0709
0710
0711
0712
0713
0714
0715
0716
01-00
01-01
01-02
01-03
01-04
01-05
01-06
01-07
01-08
01-09
01-10
01-11
01-12
01-13
01-14
01-15
CON
CON
PANEL
LOCAL
TR-001
Control system
TEMPERATURE RECORDER
J1P9/0195
7
8


00-01
CQN1-CD212
PANEL
LOCAL
24VDC (204)
+P24
-P24
LIC-131, FT-531
Control system
DRUM WATER LEVEL,FEED WATER FLOW WIRING DIAGRAM
J1P9/0195
8
10



TB-1

| DESTINATION | | NO. | WIRING NO. | CABLE PAIRS |
|---|---|---|---|---|
| | BH STEAM FLOW TRANSMITTER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. FT-141 | 01 | 0401 | 1 |
| | | 02 | 0402 | |
| | | 03 | 02 | |
| | BH STEAM PRESSURE TRANSMITTER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. PT-141 | 04 | 0601 | 1 |
| | | 05 | 0602 | |
| | | 06 | 02 | |
| | FURNACE PRESSURE TRANSMITTER SIGNAL 4 ~ 20mADC. PT-101 | 07 | 0701 | 2 |
| | | 08 | 0702 | |
| | | 09 | 02 | |
| | DRUM WATER LEVEL TRANSMITTER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. LT-101 | 10 | 0801 | 1 |
| | | 11 | 0802 | |
| | | 12 | 02 | |
| | FEED WATER FLOW TRANSMITTER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. FT-101 | 13 | 0803 | 1 |
| | | 14 | 0804 | |
| | | 15 | 03 | |
| | | 16 | R | 2 |
| | | 17 | B | |
| | | 18 | G | |
| | | 19 | | |
| | | 20 | | |
| | COMBUSTION AIR DAMPER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. CU-02A | 21 | 0501 | 1 |
| | | 22 | 0502 | |
| | | 23 | 02 | |
| | COMBUSTION AIR DAMPER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. CU-02B | 24 | 0503 | 1 |
| | | 25 | 0504 | |
| | | 26 | 02 | |
| | COMBUSTION AIR DAMPER SIGNAL 4 ~ 20 mADC. CU-01 | 27 | 0701 | 2 |
| | | 28 | 0702 | |
| | | 29 | 02 | |
| | BFW CONTROL VALVE SIGNAL 4 ~ 20 mADC. LVC-12A | 30 | 0803 | 1 |
| | | 31 | 0804 | |
| | | 32 | 03 | |
| | | 33 | | |
| | | 34 | | |
| | | 35 | | |
| | | 36 | | |
| | | 37 | | |
| | | 38 | | |
| | | 39 | | |
| | | 40 | | |
| | POWER SUPPLY <220 VAC> | 41 | | 1 |
| | | 42 | | |
| | | 43 | | |
| | POWER SUPPLY SWITCH BOX <220 VAC> | 44 | G | 2 |
| | | 45 | R | |
| | | 46 | B | |
| | | 47 | E | |
| | | 48 | | |
| | | 49 | | |
| | | 50 | | |

TB-2

| DESTINATION | | NO. | WIRING NO. | CABLE PAIRS |
|---|---|---|---|---|
| | A.H. INLET GAS TEMP. SENSOR SIGNAL : RESISTANCE TE-701 | 01 | 0901 | 4 |
| | | 02 | 0902 | |
| | | 03 | 0903 | |
| | | 04 | 02 | |
| | A.H. OUTLET G/S TEMP. SENSOR SIGNAL : RESISTANCE TE-601 | 05 | 0904 | 4 |
| | | 06 | 0905 | |
| | | 07 | 0906 | |
| | | 08 | 03 | |
| | A.H. OUTLET AIR TEMP. SENSOR SIGNAL : RESISTANCE TE-713 | 09 | 0907 | 4 |
| | | 10 | 0908 | |
| | | 11 | 0909 | |
| | | 12 | 03 | |
| | FEED WATER TEMP. SENSOR SIGNAL : RESISTANCE TE-501 | 13 | 0910 | 4 |
| | | 14 | 0911 | |
| | | 15 | 0912 | |
| | | 16 | 02 | |
| | SPARE | 17 | 0913 | 4 |
| | | 18 | 0914 | |
| | | 19 | 0915 | |
| | | 20 | 02 | |
| | BH STEAM TEMP. SENSOR SIGNAL : RESISTANCE TE-141 | 21 | 0910 | 4 |
| | | 22 | 0911 | |
| | | 23 | 0912 | |
| | | 24 | 02 | |
| | | 25 | | |
| | | 26 | | |
| | | 27 | | |
| | | 28 | | |
| | | 29 | | |
| | | 30 | | |
| | BFWP. MOTOR TRIP SIGNAL : CONTACT (M) | 31 | P05 | 18 |
| | | 32 | 1907 | |
| | ID. FAN TRIP SIGNAL : CONTACT (M) | 33 | P03 | 18 |
| | | 34 | 1908 | |
| | FURNACE AIR PRESSURE LO SIGNAL : CONTACT (M) | 35 | P05 | 18 |
| | | 36 | 1909 | |
| | FEED WATER PRESSURE LO SIGNAL : CONTACT (M) | 37 | P05 | 18 |
| | | 38 | 1910 | |
| | SPARE FOR ALARM SIGNAL : CONTACT (M) | 39 | P09 | 18 |
| | | 40 | 1911 | |
| | | 41 | | |
| | | 42 | | |
| | | 43 | | |
| | | 44 | | |
| | | 45 | | |
| | | 46 | | |
| | | 47 | | |
| | | 48 | | |
| | | 49 | | |
| | | 50 | | |

| REV. | DESCRIPTION | BY | DATE |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

DRAFT [illegible] DATE [illegible]
CHKD/PT [illegible] DATE
APPD/PT DATE

USER NO.

TAG NO.

TITLE: TERMINAL ASSIGNMENT (2/2)

Control system

BANGKOK THAILAND

DRAWING JJP6/0195

PAGE NO. 10

SHEET NO. 11