การปรับปรุงระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานผลิตรถยนต์

อรรถพล ปิ่นโภคินทร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543
ISBN 974-13-0260-6
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE IMPROVEMENT OF AIR SUPPLY UNIT FOR SPRAY BOOTH IN CAR ASSEMBLY FACTORY

ATTAPOL PINPOKINTR

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2000
ISBN 974-13-0260-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานผลิตรถยนต์
โดย	นาย อรรถพล ปิ่นโภคินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรถพล ปิ่นโภคินทร์ : การปรับปรุงระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสี ของโรงงานผลิตรถยนต์ (THE IMPROVEMENT OF AIR SUPPLY UNIT FOR SPRAY BOOTH IN A CAR ASSEMBLY FACTORY)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร จิตรา รู้กิจการพานิช, 139 หน้า. ISBN 974-13-0260-6.

โรงงานผลิตรถยนต์ตัวอย่างได้ประสพปัญหาเกิดการหยุดผลิตช่วงหน้าหนาวทุกปีโดยเฉลี่ยปีละ 290 นาที เพราะว่ากระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีไม่สามารถที่จะทำการปรับอากาศที่จะส่งไปให้ห้องพ่นสีมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิต ถ้าไม่หยุดผลิตชิ้นงานก็จะเกิดความเสียหาย ผู้บริหารโรงงานจึงต้องการที่จะกำจัดปัญหานี้โดยต้องมีการใช้งบประมาณที่เหมาะสมต่อสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและปรับปรุงระบบควบคุมระบบปรับอากาศของห้องพ่นสีขั้นสุดท้ายของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่างให้สามารถทำการปรับอากาศให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้เพื่อลดการหยุดผลิตของห้องพ่นสีโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง

จากการศึกษาพบว่าการที่กระบวนการปรับอากาศไม่สามารถปรับอากาศให้ได้ตามมาตรฐานของการพ่นสีเพราะว่าในช่วงหน้าหนาวอากาศภายนอกจะมีความแปรปรวนเลยขีดจำกัดความสามารถของกระบวนการตามที่ได้ออกแบบไว้ถ้าต้องการให้กระบวนการทำงานได้จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นนั่นคือต้องมีการติดตั้งหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น แต่การติดตั้งหม้อไอน้ำต้องใช้เงินลงทุนสูง และ มีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องจักรสูง ไม่เหมาะต่อการลงทุน ดังนั้นการแก้ปัญหาจึงมุ่งมาที่ระบบการควบคุม ซึ่งแต่เดิมใช้การควบคุมแบบ PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) มีข้อดีคือสามารถที่จะควบคุมค่าตัวแปรกระบวนการ (PROCESS VARIABLE, PV) ให้มีความเสถียรได้ดี แต่มีข้อเสียคือไม่มีความยืดหยุ่นในการควบคุม ดังนั้นเมื่อเกิดความแปรปรวนภายนอกมากจึงทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการออกนอกเขตที่ยอมรับได้ การแก้ไขโดยใช้การควบคุมที่มีความยืดหยุ่นแต่ต้องไม่ทำให้ความเสถียรของการควบคุมเสียไปคือการใช้การควบคุมแบบ FUZZY LOGIC ทำให้ช่วงของค่าเป้าหมายกว้างขึ้น และความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ค่าตัวแปรอยู่ในช่วงที่ยมรับได้ การปรับปรุงระบบการควบคุมกระบวนการปรับอากาศนี้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนสูงเพราะใช้งบประมาณน้อยค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ แต่สามารถช่วยลดการสูญเสียได้มาก

ผลของการปรับปรุงคือไม่มีการหยุดผลิตจากกระบวนการปรับอากาศอีกเลย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ในกับการควบคุมกระบวนการอื่นๆที่มีความต้องการคล้ายคลึงกัน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้อีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2543

##427 15004 21 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD Improvement / Air Supply Unit

ATTAPOL PINPOKINTR : THE IMPROVEMENT OF AIR SUPPLY UNIT FOR SPRAY BOOTH IN A CAR ASSEMBLY FACTORY

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.DR.JITTRA RUKIJKANPANICH,

139 pp. ISBN 974-13-0260-6

The Car assembly factory has long production stop about 290 minute every year on November to January of next year, because Air Supply Unit (ASU) has not make standard air condition for Spray Booth to set point. It effects to quality of painting on car body, and big loose of Production. Management of car assembly factory would like to prevent production stop from this problem by minimizes budget. So objectives of this thesis is redesign and improve control system of Air Supply Unit for TopCoat Spray Booth. To make air condition in control limit to reduce down time.

Cause of ASU has not make air condition for Spray Booth to set point is Enthalpy ambient on winter has lower capacity design limit. In this condition, ASU has wonted more energy from steam boiler to make air condition to set point. But new steam boiler is use high installation cost and high operation cost. So problem solving is focus to redesign and improvement ASU process controller. Before improvement ASU has used Proportion Integral Derivative (PID) controller, advantage is process control has high stabilization but inferior is unflexilibility. To solve this problem we has improve process control to Fuzzy Logic. It make wide set point range, so it effect to increase process capacity and energy saving.

After improvement ASU process controller, down time from ASU in winter of year 2000 is 0 minute (from December 2000 to January 2001). Beside it can apply to other process control if process control has same as ASU process control improved.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Industrial Engineering Student.....

Major Industrial Engineering Thesis Advisor.....

Academic Year 2000

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ขอขอบคุณ ท่าน ผศ.ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่เริ่มแรก จนกระทั่งสำเร็จ ออกมาเป็นวิทยานิพนธ์นี้

ขอบคุณท่านผู้บริหารของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง คุณสมชาย ทิพพานุรัตน์ ที่ได้อนุมัติให้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหาของระบบปรับอากาศของห้องพ่นสี รวมทั้งการอนุมัติงบประมาณที่ต้องใช้ในการทำงานวิจัยนี้ด้วย ขอบคุณ คุณสมสวัสดิ์ ตั้งภัทรธนวงศ์ คุณศุรวี สัตยาอภิธาน วิศวกรประจำฝ่ายซ่อมบำรุงที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ยืมหนังสือเกี่ยวกับการปรับอากาศ คู่มือเครื่องจักร เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย ขอบคุณ คุณนาวี สุขศิริ หัวหน้าช่างของฝ่ายบำรุงรักษาที่ได้ช่วยในเรื่องการติดตั้งและการเดินสายไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับปรุง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณแม่ที่ให้กำลังใจ, ดูแล และ คอยเตือนให้รีบทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จโดยเร็ว จะได้ไม่ต้องคอยกังวลในเรื่องนี้ ขอบคุณจริงๆครับ

อรรถพล ปิ่นโภคินทร์

25 มีนาคม 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญรูป.....ญ

สารบัญตาราง.....ฐ

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2. ปัญหาของโรงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง.....2

1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....5

1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย.....5

1.5. วิธีดำเนินงานวิจัย.....5

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. คุณสมบัติไซโครเมตริคของอากาศ.....7

2.2. กระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับ PROPORTIONAL INTEGRAL DEIVATIVE (PID).....24

2.3. การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก.....31

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. การศึกษาระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง.....37

3.2. การออกแบบการปรับปรุงระบบปรับอากาศ.....38

3.3. การสรุปงบประมาณโครงการ.....38

3.4. การสรุปรายงานนำเสนอเพื่อขออนุมัติ.....39

3.5. การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการปรับปรุง.....39

3.6. การดำเนินการปรับปรุงระบบปรับอากาศ.....39

3.7. การทดสอบระบบที่ปรับปรุงแล้ว.....39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3.8. การวิเคราะห์ผลการปรับปรุง.....40
3.9. การสรุปรายงานเพื่อนำเสนอ 40

บทที่ 4 หลักการทำงานของกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง
4.1. การทำงานของกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง.....41
4.2. ลำดับขั้นการทำงานของกระบวนการปรับอากาศ.....47
4.3. กระบวนการปรับอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริค.....48
4.4. ปัญหาของระบบปรับอากาศ 49

บทที่ 5 การออกแบบและปรับปรุงระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง
5.1. แนวคิดในการออกแบบปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ..... 54
5.2. การออกแบบการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ.....56
5.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ.....63
5.4. งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ.....65
5.5. แผนการติดตั้งอุปกรณ์และการปรับปรุงโปรแกรมควบคุม.....68
5.6. การติดตั้งอุปกรณ์และการปรับปรุงโปรแกรมควบคุม.....69
5.7. การทดลองระบบ.....71

บทที่ 6 ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ
6.1. การทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังการปรังปรุง.....72

บทที่ 7 สรุปผลการศึกษา
6.2. สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ.....79
6.3. ปัญหาการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ.....81
6.4. ข้อเสนอแนะการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ.....82

รายการอ้างอิง.....83
ภาคผนวก ก. ประวัติการเสียของกระบวนการปรับอากาศ.....84
ภาคผนวก ข. แบบไฟฟ้าระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ.....87
ภาคผนวก ค. โปรแกรม PLC ระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ.....91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาคผนวก ง. คุณสมบัติของ MITSUBISHI PLC.....109
ภาคผนวก จ. คุณสมบัติของ Yamatake SDC200 DigitroniK Digital Indicating Controller...124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

บทที่ 1
รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงการหยุดผลิตเนื่องจากระบบปรับอากาศ..... 3
รูปที่ 1.2 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศในเดือน ธันวาคม พศ 2542..... 3
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของระบบปรับอากาศ (Air Supply Unit) สำหรับห้องพ่นสี..... 4
บทที่ 2
รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริค (อ้างอิงจาก บ.เอ็มแอนด์อีจก,2531)..... 14
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกระบวนการไซโคเมตริคต่างๆ (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 15
รูปที่ 2.3 กระบวนการให้ความร้อนสัมผัส (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 16
รูปที่ 2.4 กระบวนการให้ความเย็นสัมผัส (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 18
รูปที่ 2.5 กระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัว (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 19
รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการที่ทำให้อากาศอิ่มตัว (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 20
รูปที่ 2.7 กระบวนการให้ความเย็นและการลดความชื้น (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 20
รูปที่ 2.8 แสดงการรวมกันของอากาศภายในท่อ (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 23
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของกระบวนการควบคุม (ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)..... 25
รูปที่ 2.10 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบปิดเปิด(ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)..... 26
รูปที่ 2.11 การตอบสนองของการควบคุมแบบ PROPORTIONAL(ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)..... 27
รูปที่ 2.12 การตอบสนองของการควบคุมแบบ PROPORTIONAL-INTEGRIAL
(ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)..... 28
รูปที่ 2.13 การควบคุมและการบริหารโรงงานยุคใหม่ (ดัดแปลงจาก สหัส, 2540)..... 31
รูปที่ 2.14 การควบคุมของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ต้องทำอย่างรัดกุม (ดัดแปลงจาก สหัส, 2540)..... 34
รูปที่ 2.15 แสดงการแก้ปัญหาในเรื่องของ PROCESS UPSET (ดัดแปลงจาก สหัส, 2540)..... 36
บทที่ 3
รูปที่ 3.2 แผนภูมิการทำงานของการทำโครงการวิจัย..... 37
บทที่ 4
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบปรับอากาศ..... 41
รูปที่ 4.2 การกรองอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ..... 42
รูปที่ 4.3 กระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวและกระบวนการให้ความเย็นสัมผัส..... 43
รูปที่ 4.4 แผนภูมิความสัมพันธ์การเปิดปิดไอน้ำและน้ำเย็นเพื่อควบคุมค่า DP..... 44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.5 กระบวนการให้ความร้อนสัมผัส..... 44
รูปที่ 4.6 กระบวนการเอไดอาแบติคโดยใช้ไอน้ำร้อน..... 46
รูปที่ 4.7 พัดลมแบบเซ็นตริฟูกอล ชนิด ใบพัดแอร์ฟรอยล์..... 46
รูปที่ 4.8 แผนภูมิการทำงานของกระบวนการปรับอากาศ.....47
รูปที่ 4.9 กระบวนการปรับอากาศในกรณีที่เอนทาลปีของอากาศภายนอกสูงกว่าค่าเป้าหมาย.....48
รูปที่ 4.10 กระบวนการปรับอากาศในกรณีที่เอนทาลปีของอากาศภายนอกต่ำกว่าค่าเป้าหมาย.....49
รูปที่ 4.11 กระบวนการปรับอากาศที่ไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย 50
รูปที่ 4.12 การค้นหาสาเหตุของปัญหา.....51
บทที่ 5
รูปที่ 5.1 การควบคุมค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งก่อนการปรับปรุง.....56
รูปที่ 5.2 แนวทางการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ.....57
รูปที่ 5.3 กระบวนการปรับอากาศก่อนการปรับปรุง.....57
รูปที่ 5.4 กระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง..... 58
รูปที่ 5.5 การทำงานของระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง..... 58
รูปที่ 5.6 แสดงค่าความดันไดที่ได้จากการคำนวณและจากตารางค่าความดันไอ.....60
รูปที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID.....62
รูปที่ 5.8 ตัวควบคุมแบบ PID และการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย.....63
รูปที่ 5.9 MITSUBISHI PLC..... 64
รูปที่ 5.10 YAMATAKE DEW POINT SENSOR AND HUMIDITY SENSOR..... 65
รูปที่ 5.11 แผนภูมิการลงทุนและผลตอบแทน.....68
รูปที่ 5.12 ตู้ควบคุม PLC และกระบวนการปรับอากาศ.....69
รูปที่ 5.13 การเดินสายไฟกับ PLC ในตู้ควบคุม PLC.....70
รูปที่ 5.14 การเดินสายไฟที่ตัวควบคุมแบบ PID.....70
บทที่ 6
รูปที่ 6.1 ค่าเป้าหมายของกระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง.....72
รูปที่ 6.2 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อเอนทาลปีของอากาศภายนอก
อยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบสูง.....73
รูปที่ 6.3 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อเอนทาลปีของอากาศภายนอก
อยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบกลาง..... 74

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 6.4 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อเอนทาลปีของอากาศภายนอก
อยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบต่ำ.....75
รูปที่ 6.5 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศก่อนทำการปรับปรุงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2543..76
รูปที่ 6.6 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังทำการปรับปรุงเดือนธันวาคม พ.ศ.2543..... 77
รูปที่ 6.7 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังทำการปรับปรุงเดือนมกราคม พ.ศ.2544..... 77
บทที่ 7
รูปที่ 7.1 แผนภูมิแสดงการหยุดผลิตของห้องพ่นสีโรงงานตัวอย่าง.....80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

บทที่ 2
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำและไอน้ำ (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)..... 8
บทที่ 5
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ..... 55
ตารางที่ 5.2 งบประมาณในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ 66
ตารางที่ 5.3 งบประมาณของค่าแรงงาน.....66
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบระบบควบคุม..... 71
บทที่ 7
ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศแบบเดิมกับแบบใหม่..... 80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รถยนต์เป็นพานะที่มีความจำเป็นมากขึ้นในปัจจุบันทุกคนต้องการมีรถยนต์ไว้ในครอบครองเพื่อความสะดวกสะบายทำให้ตลาดการขายรถยนต์มีการแข่งขันกันมาก บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต้องพยายามลดต้นทุนการผลิตลงให้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพมากที่สุด และคุณภาพดีที่สุดที่ เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับคู่แข่งต่างๆได้ ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นการประกอบรถยนต์ที่ใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ ตั้งแต่การผลิตแม่พิมพ์ เพื่อปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนตัวถัง การเชื่อมตัวถังแบบจุด (Spot Welding) โดยคน หรือ หุ่นยนต์ (Robot) โดยมีอุปกรณ์จับยึดที่เรียกว่า จิ๊ก (JIG & FIGER) ช่วยให้สามารถประกอบตัวถังรถได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น ในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์จะต้องมีการชุบรถทั้งคันในสีกันสนิมโดยใช้ระบบการชุบแบบ อิออนไฟฟ้า ที่เรียกกันว่า EDP ต่อจากนั้นก็นำไปทำการยาอุดรอยรั่วต่างๆ บางโรงงานก็จะมีการพ่นใต้ท้องรถกันหินกระแทก แล้วจึงนำไปพ่นสีรองพื้นและพ่นสีชั้นนอกเป็นสีขั้นสุดท้าย ในการพ่นสีนั้นอาจนำเอาระบบการพ่นสีด้วยอิออนไฟฟ้ามาใช้เพื่อลดปริมาณการใช้สี ซึ่งสามารถทำให้สีไปเกาะที่ตัวรถได้ถึง 60%-90% ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ ในขณะที่การพ่นสีแบบธรรมดาอาจได้ประสิทธิภาพเพียง 30%-50% เท่านั้น ต่อจากนั้นจึงนำไปประกอบกับชิ้นส่วนย่อยที่มีรายการมากกว่าเจ็ดพันชิ้นส่วน ซึ่งรถแต่ละรุ่นก็จะใช้ชิ้นส่วนที่ต่างกันด้วยจึงจำเป็นต้องมีการใช้การจัดกลุ่มชิ้นส่วน (Group Technology) การป้องกันการประกอบผิดพลาดเช่นระบบแจ้งเตือนต่างๆ มาช่วย

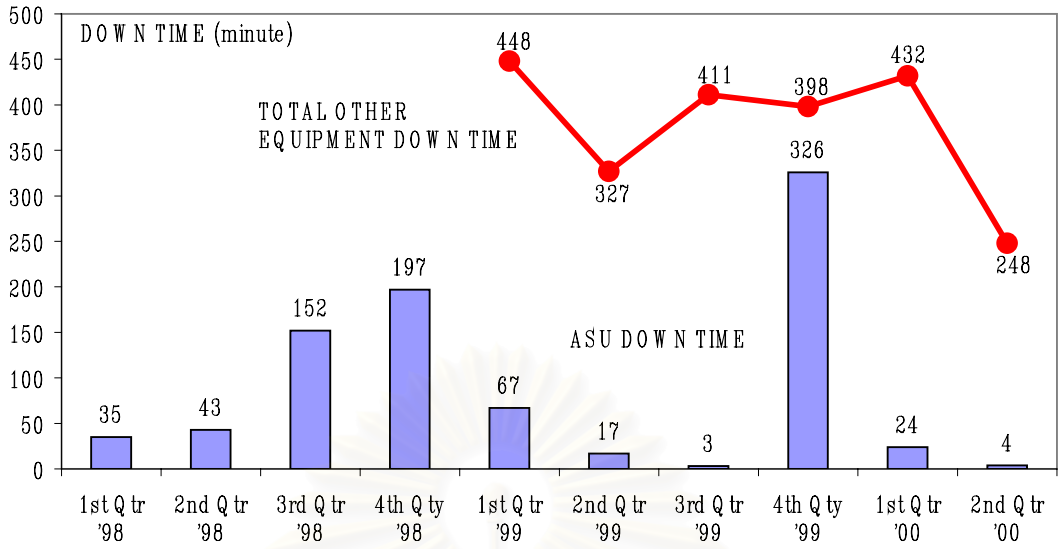
จากที่กล่าวมาจะเห็นว่ากระบวนการประกอบรถยนต์มีความซับซ้อนอย่างมาก การที่จะทำการลดต้นทุนการผลิตโดยการลดต้นทุนด้านงานซ่อมบำรุง ในขณะที่ยังคงให้มี ประสิทธิภาพ และ คุณภาพ ไว้โดยมองภาพรวมเป็นการยากที่จะทำได้แต่ก็สามารถที่จะทำได้โดย การศึกษาในแต่ละกระบวนการประกอบรถยนต์ต่างๆ เป็นกระบวนการย่อยๆ ในกระบวนการพ่นสีทุกกระบวนการมีความสำคัญ และมีผลต่อคุณภาพเท่าๆกันแต่ในกระบวนการพ่นสีขั้นสุดท้ายเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมงาน มากที่สุดเพราะเป็นขบวนงานขั้นสุดท้ายในการพ่นสี ซึ่งตัวรถจะต้องผ่านกระบวนการอื่นทั้งหมดมาแล้ว สภาพแวดล้อมในการผลิตมีผลโดยตรงกับคุณภาพโดยเฉพาะอุณหภูมิ และ ความชื้น ในห้องพ่นสี เพราะงานพ่นสีเป็นเหมือนงานฝีมือที่จำเป็นต้องใช้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างสรร ถ้าสภาวะแวดล้อมในการทำงานไม่ได้ตามมาตรฐานอาจจำเป็นต้องหยุดการผลิตเพื่อรักษาคุณภาพของงาน ในส่วนของเครื่องจักรที่ทำหน้าที่ในการปรับสภาพอุณหภูมิ และความชื้น หากเกิดการสึกหรอหรือเสียหายตามเวลาที่ใช้งาน ซึ่งถ้าเครื่องจักรเกิดหยุดกระทันหัน (Breakdown) ก็จะทำให้งานเสียหายต้องหยุดการผลิตได้ เช่นถ้าอุปกรณ์ควบคุมของระบบปรับอากาศเกิดขัดข้อง อาจทำให้อุณหภูมิในห้องพ่นสีสูงมากเกินไปจนทำให้เกิดอาการ สีไหล ที่ชิ้นงานก็ต้องทำการซ่อม งานนั้น และต้องเสียเวลาในการซ่อมเครื่องจักรอีกด้วย นอกจากนี้ยังต้องมีการทำการจัดการงานซ่อมบำรุง เพื่อให้สามารถรักษามาตรฐานในการผลิตได้ด้วย

1.2 ปัญหาของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง

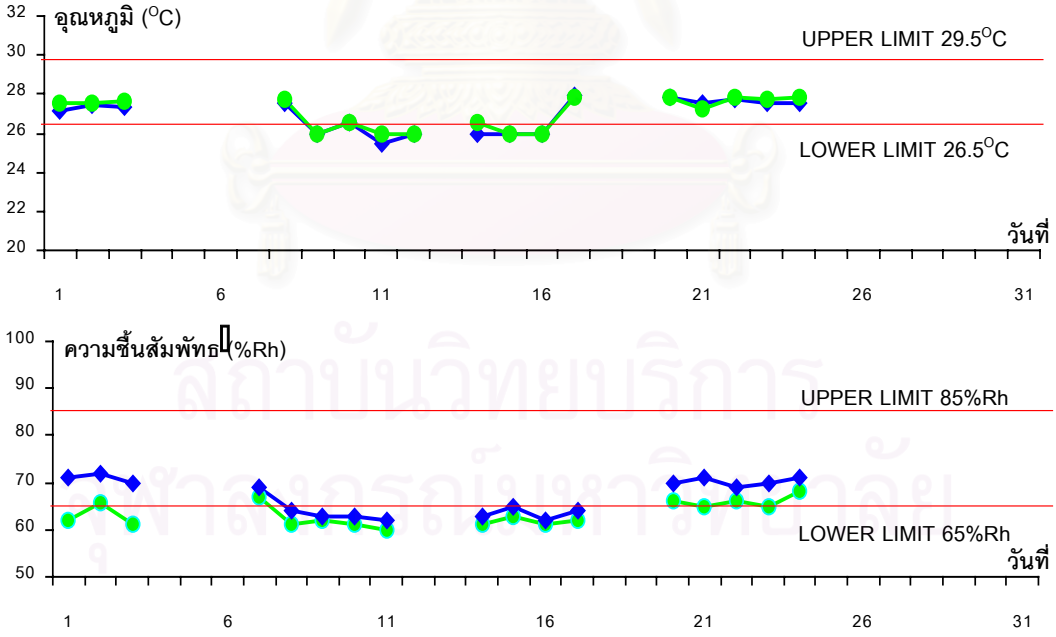
กระบวนการพ่นสีในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ มีความสำคัญต่อตัวผลิตภัณฑ์มาก เพราะว่าสีของรถเป็นปัจจัยในอันดับต้นๆของการตัดสินใจซื้อ ในทางเทคนิคสีที่เคลือบผิวรถเป็นเกราะป้องกันสนิมให้กับตัวถังรถ ทำให้ตัวถังรถมีความทนทานต่อสภาพการใช้งานต่างๆได้ อุณหภูมิ และ ความชื้น และ อัตราการไหลของอากาศภายในห้องพ่นสีมีผลกระทบโดยตรงกับคุณภาพของสีบนผิวงานที่ทำการพ่นเคลือบ เช่น ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 30°เซลเซียล จะทำให้สีที่พ่นไปที่ผิวงานมีความหนืดต่ำกว่าปรกติคือค่าความหนืดต่ำกว่า 18 วินาที ทำให้สีที่ยังไม่แห้งไม่สามารถเกาะตัวอยู่บนผิวงานทที่มีความลาดเอียงได้ทำให้เกิดจุดเสียที่เรียกกันว่า “สีไหล” หรือ ถ้าความชื้นภายในห้องพ่นสีสูงเกินไปก็จะทำให้สารทำละลายของสี (THINER) มีอัตราการระเหยตัวต่ำทำให้เกิดชั้นไอน้ำที่ผิวหน้าของสีเคลือบเป็นผลให้ผิวหน้าสีเคลือบไม่เรียบทำให้เกิดอาการ “สีฝ้า” คือผิวของสีไม่มีความเงางาม เป็นต้น

กระบวนการพ่นสีของโรงงานประกอบรถยนต์ ที่ทำการศึกษาวิจัย มีการหยุดผลิตเนื่องมาจาก ระบบปรับอากาศ(AIR SUPPLY UNIT) สำหรับห้องพ่นสี ไม่สามารถปรับอุณหภูมิ และ ความชื้น ให้ได้ตามมาตรฐานของห้องพ่นสีที่กำหนด คือ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26°เซลเซียล ถึง 29°เซลเซียล และ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 65%Rh ถึง 85%Rh แต่เนื่องจากการออกแบบระบบปรับอากาศให้สามารถปรับสภาวะของอากาศภายนอกมีค่าขั้นพลังงาน หรือ เอนทาลปี (ENTROPY) อยู่ระหว่าง 46 kJ/kg ถึง 91 kJ/kg ให้อยู่ในค่าที่กำหนดดังกล่าวได้ ดังนั้นเมื่อสภาวะอากาศภายนอกมีค่า เอนทาลปี ต่ำกว่า หรือ สูงกว่า ที่ออกแบบระบบให้สามารทำการปรับสภาพอากาศได้ จึงจำเป็นต้องหยุดผลิตนานถึง 28 นาทีโดยเฉลี่ยต่อเดือน เพื่อรอให้สภาพอากาศภายนอกอยู่ในขั้นพลังงานที่สามารถปรับสภาพได้ เสียก่อน โดยเฉพาะในเวลาเช้าของเดือนธันวาคมที่มีอากาศมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำ คือ เอนทาลปี ต่ำกว่า 46 kJ/kg หรือในเวลาบ่ายของเดือนเมษายน ที่อากาศมีอุณหภูมิและความชื้นสูง คือ เอนทาลปี สูงกว่า 91 kJ/kg จากการศึกษาในขั้นต้นพบว่าสาเหตุของปัญหาคือ พลังงาน (ไอน้ำ และ น้ำเย็น) ไม่พอเพียงสำหรับระบบปรับอากาศทำการปรับอากาศในสภาพดังกล่าวให้ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดอยู่ที่ค่าควบคุมค่าเดียวคือ อุณหภูมิ 28°เซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 85%Rh จากสภาพการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้บริษัทเกิดความสูญเสียขึ้นอย่างมากทั้งความสูญเสียทางตรงในการหยุดผลิต และความสูญเสียทางอ้อมในการเสียโอกาสในการผลิตและการขาย โดยมีสถิติข้อมูลของการหยุดผลิตเนื่องจากปัญหาดังกล่าวตามเอกสารแนบท้าย

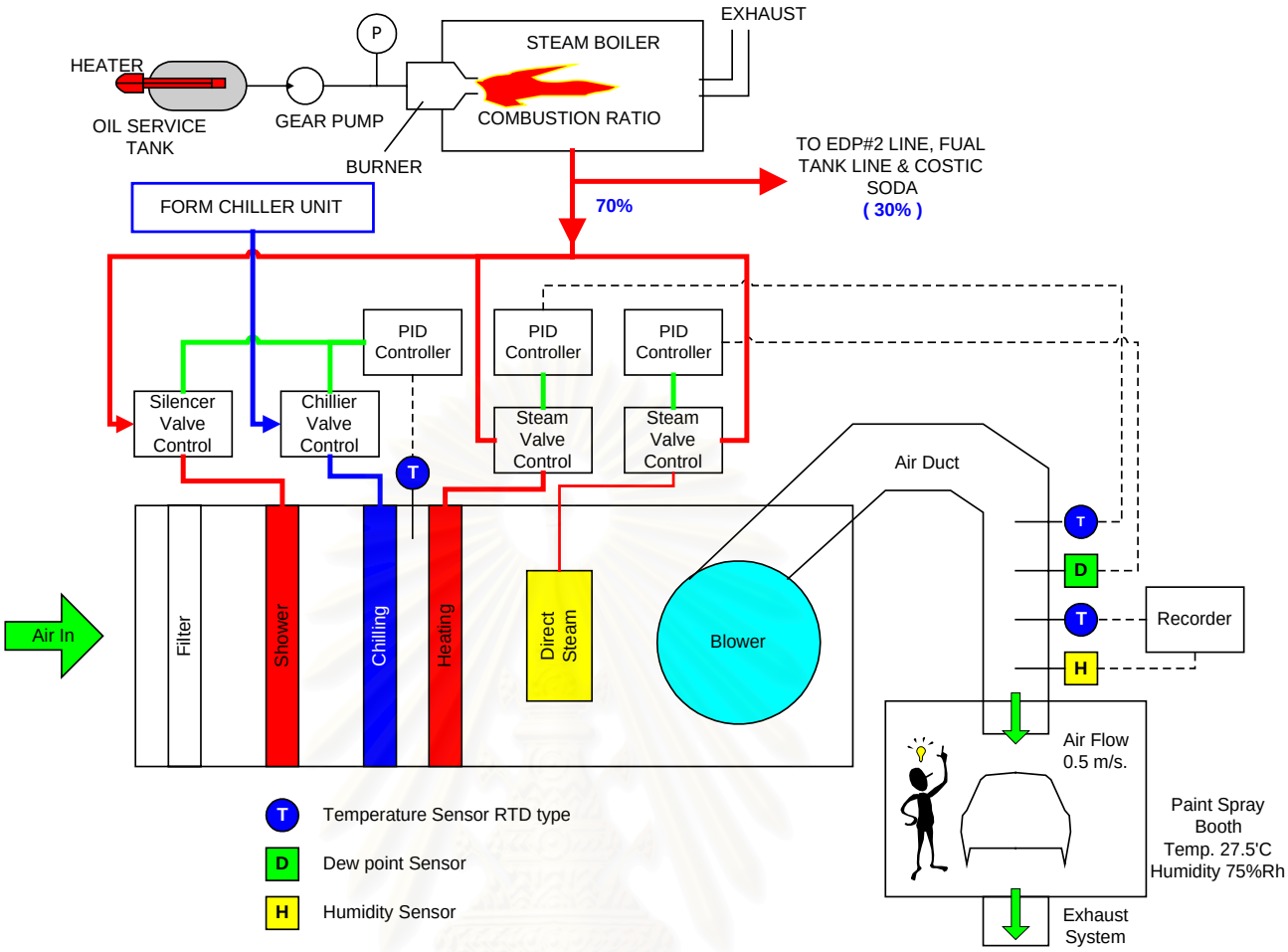
จากปัญหาดังกล่าวบริษัทได้ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหานั้น ซึ่งผลของการศึกษาพบว่าปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นจากระบบควบคุมการปรับอากาศซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หรือ ที่เรียกว่าระบบควบคุมแบบ PID มีค่ากำหนด (SET POINT) ได้ค่าเดียว คือตั้งค่าที่ อุณหภูมิ 28°เซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 85%Rh เมื่อระบบไม่สามารถทำการปรับสภาพอากาศได้ถึงค่าที่กำหนดทำให้ไม่สามารถทำการผลิตได้



รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงการหยุดผลิตเนื่องจากระบบปรับอากาศ



รูปที่ 1.2 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศในเดือน ธันวาคม พศ 2542



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของระบบปรับอากาศ (Air Supply Unit) สำหรับห้องพ่นสี

จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ในทางปฏิบัติจริงอุณหภูมิภายในห้องพ่นสีมีผลกระทบกับคุณภาพของงานพ่นสีมาก กว่าความชื้นสัมพัทธ์ เพราะจากประสพการณ์ที่ผ่านมาเมื่อเกิดปัญหากระบวนการปรับอากาศไม่สามารถที่จะปรับอากาศได้ตามมาตรฐาน โดยเมื่อทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่ากำหนด ซึ่งโดยปรกติจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งอุณหภูมิและความชื้นเมื่อนำรถเข้าพ่นในสภาวะดังกล่าวจะทำให้เกิดผิวสีหยาบซึ่งเป็นผลของอุณหภูมิต่ำกว่าค่ากำหนด และเมื่อค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่ากำหนดซึ่งโดยปรกติค่าความชื้นสัมพัทธ์จะไม่สูงตามไปด้วยคืออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ถ้านำรถเข้าพ่นสีปัญหาที่เกิดขึ้นคือปัญหาสีไหลซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิสูง แต่ในกรณีที่ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าค่ากำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นจะเกิดทั้งสีไหลและสีเป็นฝ้า

ส่วนปัญหาในการควบคุมกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีโดยมากที่เกิดการหยุดผลิตจะเกิดจากการที่ไม่สามารถที่จะทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องพ่นสีให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้ แต่ กระบวนการสามารถที่ปรับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อออกแบบและปรับปรุงระบบควบคุมระบบปรับอากาศของห้องพ่นสีขั้นสุดท้ายของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่างให้สามารถทำการปรับอากาศให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้เพื่อลดการหยุดผลิตของห้องพ่นสีโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการนี้จะทำการศึกษาวิจัยการปรับปรุงของระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีขั้นสุดท้าย 2 ระบบ (Air Supply Unit for Top Coat Booth Unit A, Unit B) ซึ่งเป็นงานของแผนกซ่อมบำรุง ของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีทางในการดำเนินงานของโครงการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) ออกแบบ การปรับปรุงระบบปรับอากาศ
2) ดำเนินการปรับปรุงระบบปรับอากาศ
3) วัดผลการทำงานของระบบปรับอากาศ

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบการปรับปรุงระบบ ปรับอากาศ

1) ทำการศึกษาระบบปรับอากาศ ในสภาพปัจจุบันก่อนทำการปรับปรุง เพื่อค้นหาแนวทางของการออกแบบและคำนวณ
2) ทำการออกแบบ และ คำนวณระบบที่จะทำการปรับปรุง
3) ประมาณการต้นทุนของแต่ละโครงการที่จะต้องทำการปรับปรุง
4) สรุปงบประมาณ และ ความคุ้มทุนของโครงการ
5) สรุปเป็นรายงานเพื่อขออนุมัติจากผู้บริหาร

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการปรับปรุงระบบ ปรับอากาศ

1) จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการปรับปรุงระบบปรับอากาศ
2) ดำเนินการปรับปรุง ซ่อมแซม หรือ ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆตามแบบที่ทำไว้
3) ทดสอบระบบที่ทำการปรับปรุงแล้ว

ขั้นตอนที่ 3 วัดผลการทำงานของระบบ ปรับอากาศ

1) นำผลที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์ผล
2) สรุปรายงานเพื่อนำเสนอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ช่วยให้เข้าใจระบบปรับอากาศของห้องพ่นสี ทำให้สามารถวางแผนงานซ่อมบำรุงดูแลรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.เป็นต้นแบบของการนำการวิจัยอย่างเป็นระบบมาใช้ในการตัดสินใจลงทุนในโครงการของบริษัทให้มีความคุ้มค่าทางเศรฐศาสตร์

3. ลดค่าใช้จ่ายในการหยุดผลิตเนื่องมาจากสภาพอากาศภายในห้องพ่นสีอยู่นอกการควบคุม

4. ลดการเกิดของเสียอันเนื่องมาจากสภาพอากาศภายในห้องพ่นสีอยู่นอกการควบคุม

5. เพิ่มประสิทธิโดยรวม (Over All Effectiveness) ของระบบการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ในกระบวนการปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ดังเช่นกระบวนการปรับอากาศของโรงงานตัวอย่างจำเป็นจะต้องใช้ความรู้คุณสมบัติไซโครเมตริคของอากาศ และ ความรู้ในเรื่องการควบคุมกระบวนการ ซึ่งคุณสมบัติไซโครเมตริคของอากาศจะกล่าวถึงส่วนประกอบหลักของอากาศ คืออากาศแห้ง และ ไอน้ำในอากาศ ส่วนประกอบทั้ง 2 ส่วนนี้มีผลต่อการปรับอากาศโดยตรง ซึ่ง ผศ. สุรพล พฤภษพานิช (2529) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติไซโครเมตริคของอากาศในหนังสือ การปรับอากาศ หลักการและระบบ และ อัครเดช สินธุภัค (2537) ในหนังสือการทำความเย็น ไว้ดังนี้

2.1 คุณสมบัติไซโครเมตริคของอากาศ

2.1.1. ส่วนประกอบของอากาศ (COMPOSITION OF AIR)

อากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ อากาศแห้ง (อากาศที่ไม่มีไอน้ำ) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไนโตรเจน (ประมาณ 78% โดยปริมาตร) และอ๊อกซิเจน (ประมาณ 21% ส่วนที่เหลือ 1%ประกอบด้วยคาร์บอนไดอ๊อกไซค์ และก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ฮีเรี่ยม นีออน และอาร์กอน ส่วนประกอบอากาศทั่ว ๆ ไปก็เป็นไปตามนี้ในบางกรณีจำนวนไอน้ำในอากาศ จะเปลี่ยนแปลงอย่างมากกับสถานที่และสภาวะอากาศ โดยปกติจะมีปริมาณอยู่ 1% ถึง 3% โดยมวล เพราะว่าไอน้ำในอากาศเป็นผลขั้นแรกจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ ความชื้นของบรรยากาศ (จำนวนไอน้ำในอากาศ)จะมีมากน้อยก็จะขึ้นอยู่กับสถานที่ถ้าใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติในบรรยากาศก็จะมีความชื้นมากกว่าที่อยู่ไกลจากแหล่งน้ำ

เพราะว่าอากาศในธรรมชาติจะมีปริมาณไอน้ำปนอยู่ไม่มีอากาศแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม “อากาศแห้ง” เป็นประโยชน์อย่างมากอันหนึ่งในการคำนวณเกี่ยวกับไซโครเมตริค ต่อไปข้างล่างนี้ คำว่า “อากาศแห้ง” จะใช้ในความหมายของอากาศที่ปราศจากไอน้ำ ส่วนคำว่า “ อากาศ “ หรือ “ อากาศชื้น “ จะใช้ในความหมายส่วนผสมตามธรรมชาติของอากาศแห้งและไอน้ำ

2.1.2. กฎดัลตันของความดันย่อย (DALTON’S LAW OF PARTIAL PRESSURE)

กฎดัลตันของความดัน แสดงให้เห็นถึงผลที่ว่าส่วนผสมทางกลใด ๆ ของก๊าซและไอ (สิ่งเหล่านี้รวมตัวกันทางเคมี) ความดันที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแต่ละชนิดที่กระทำกับภาชนะที่บรรจุ

อากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ ก็จะเป็นไปตามกฎของดัลตัน เพราะฉะนั้นความกดดันของบรรยากาศจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแห้งและไอน้ำ

2.1.3. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DEW POINT TEMPERATURE)

สิ่งสำคัญที่ยังจำกันได้ที่ว่าไอน้ำในอากาศแท้ที่จริงก็คือ ไอน้ำที่ความดันต่ำ และไอน้ำที่ความดันต่ำนี้ก็จะเหมือนกับไอน้ำที่ความดันสูงจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว เมื่ออุณหภูมิที่สภาวะนั้นเป็นอุณหภูมิอิ่มตัวตรงกับความดันที่สภาวะนั้น เพราะว่าส่วนผสมทั้งหมดของส่วนผสมของก๊าซที่บรรจุอยู่ในปริมาตรที่เท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นเมื่ออากาศที่อุณหภูมิใด ๆ เหนืออุณหภูมิอิ่มตัวกระทำต่อความดันของไอน้ำ เป็นผลทำให้ไอน้ำในอากาศเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ในอีกทางหนึ่งเมื่ออากาศมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัว กระทำกับความดันของไอน้ำ ไอน้ำในอากาศจะเป็นน้ำอิ่มตัว อุณหภูมิซึ่งไอน้ำในอากาศเป็นน้ำอิ่มตัวเรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DP) ของอากาศ เมื่อรู้ค่าความดันของไอน้ำ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศสามารถที่จะคำนวณได้จากตารางไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อรู้อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ ความดันของไอน้ำสามารถที่จะคำนวณได้จากตารางไอน้ำเช่นเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าความดันของไอน้ำ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของไอน้ำ เพราะว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศจะขึ้นกับความดันของไอน้ำในอากาศเท่านั้น ในปริมาตรที่กำหนดให้ของอากาศ อุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะขึ้นกับปริมาณมวลของไอน้ำในอากาศเท่านั้น ในขณะที่มวลของไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรของอากาศไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะคงที่ด้วย การเพิ่มของจำนวนไอน้ำในอากาศจะเป็นการเพิ่มความดันไอน้ำ และอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเพิ่มขึ้นในทางกลับกันเมื่อจำนวนไอน้ำในอากาศลดลง ความดันไอน้ำก็จะลดลงและอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะลดต่ำลง ซึ่งดูความสัมพันธ์ได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำและไอน้ำ (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

Temp. °C	Saturation pressure 10^5 Pa (bar)	Specific Volume m³/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/(kg·K)	
		liquid	vapor	liquid	vapor	liquid	vapor
0	0.006108	0.0010002	206.3	0.04	2501.6	0.0002	9.1577
2	0.007055	0.0010001	179.9	8.39	2505.2	0.0306	9.1047
4	0.008129	0.0010000	157.3	16.80	2508.9	0.0611	9.0526
6	0.009345	0.0010000	137.8	25.21	2512.6	0.0913	9.0015
8	0.010720	0.0010001	121.0	33.60	2516.2	0.1213	8.9513
10	0.012270	0.0010003	106.4	41.99	2519.9	0.1510	8.9020
12	0.014014	0.0010004	93.84	50.38	2523.6	0.1805	8.8536
14	0.015973	0.0010007	82.90	58.75	2527.2	0.2098	8.8060
16	0.018168	0.0010010	73.38	67.13	2530.9	0.2388	8.7593
18	0.02062	0.0010013	65.09	75.50	2534.5	0.2677	8.7135
20	0.02337	0.0010017	57.84	83.86	2538.2	0.2963	8.6684
22	0.02642	0.0010022	51.49	92.23	2541.8	0.3247	8.6241
24	0.02982	0.0010026	45.93	100.59	2545.5	0.3530	8.5806
26	0.03360	0.0010032	41.03	108.95	2549.1	0.3810	8.5379
28	0.03778	0.0010037	36.73	117.31	2552.7	0.4088	8.4959
30	0.04241	0.0010043	32.93	125.66	2556.4	0.4365	8.4546
32	0.04753	0.0010049	29.57	134.02	2560.0	0.4640	8.4140
34	0.05318	0.0010056	26.60	142.38	2563.6	0.4913	8.3740
36	0.05940	0.0010063	23.97	150.74	2567.2	0.5184	8.3348
38	0.06624	0.0010070	21.63	159.09	2570.8	0.5453	8.2962
40	0.07375	0.0010078	19.55	167.45	2574.4	0.5721	8.2583
42	0.08198	0.0010086	17.69	175.81	2577.9	0.5987	8.2209
44	0.09100	0.0010094	16.04	184.17	2581.5	0.6252	8.1842
46	0.10086	0.0010103	14.56	192.53	2585.1	0.6514	8.1481
48	0.11162	0.0010112	13.23	200.89	2588.6	0.6776	8.1125
50	0.12335	0.0010121	12.05	209.26	2592.2	0.7035	8.0776
52	0.13613	0.0010131	10.98	217.62	2595.7	0.7293	8.0432
54	0.15002	0.0010140	10.02	225.98	2599.2	0.7550	8.0093
56	0.16511	0.0010150	9.159	234.35	2602.7	0.7804	7.9759
58	0.18147	0.0010161	8.381	242.72	2606.2	0.8058	7.9431
60	0.19920	0.0010171	7.679	251.09	2609.7	0.8310	7.9108
62	0.2184	0.0010182	7.044	259.46	2613.2	0.8560	7.8790
64	0.2391	0.0010193	6.469	267.84	2616.6	0.8809	7.8477
66	0.2615	0.0010205	5.948	276.21	2620.1	0.9057	7.8168
68	0.2856	0.0010217	5.475	284.59	2623.5	0.9303	7.7864
70	0.3116	0.0010228	5.046	292.97	2626.9	0.9548	7.7565
72	0.3396	0.0010241	4.656	301.35	2630.3	0.9792	7.7270
74	0.3696	0.0010253	4.300	309.74	2633.7	1.0034	7.6979
76	0.4019	0.0010266	3.976	318.13	2637.1	1.0275	7.6693
78	0.4365	0.0010279	3.680	326.52	2640.4	1.0514	7.6410
80	0.4736	0.0010292	3.409	334.92	2643.8	1.0753	7.6132
82	0.5133	0.0010305	3.162	343.31	2647.1	1.0990	7.5858
84	0.5557	0.0010319	2.935	351.71	2650.4	1.1225	7.5588
86	0.6011	0.0010333	2.727	360.12	2653.6	1.1460	7.5321
88	0.6495	0.0010347	2.536	368.53	2656.9	1.1693	7.5058
90	0.7011	0.0010361	2.361	376.94	2660.1	1.1925	7.4799
92	0.7561	0.0010376	2.200	385.36	2663.4	1.2156	7.4543
94	0.8146	0.0010391	2.052	393.78	2666.6	1.2386	7.4291
96	0.8769	0.0010406	1.915	402.20	2669.7	1.2615	7.4042
98	0.9430	0.0010421	1.789	410.63	2672.9	1.2842	7.3796
100	1.0133	0.0010437	1.673	419.06	2676.0	1.3069	7.3554
102	1.0878	0.0010453	1.566	427.50	2679.1	1.3294	7.3315
104	1.1668	0.0010469	1.466	435.95	2682.2	1.3518	7.3078
106	1.2504	0.0010485	1.374	444.40	2685.3	1.3742	7.2845
108	1.3390	0.0010502	1.289	452.85	2688.3	1.3964	7.2615
110	1.4327	0.0010519	1.210	461.32	2691.3	1.4185	7.2388
112	1.5316	0.0010536	1.137	469.78	2694.3	1.4405	7.2164
114	1.6362	0.0010553	1.069	478.26	2697.2	1.4624	7.1942
116	1.7465	0.0010571	1.005	486.74	2700.2	1.4842	7.1723
118	1.8628	0.0010588	0.9463	495.23	2703.1	1.5060	7.1507
120	1.9854	0.0010606	0.8915	503.72	2706.0	1.5276	7.1293

Abstracted by permission from "Properties of Water and Steam in SI-Units" by E. Schmidt, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin

2.1.4. ความชื้นสมบูรณ์ (ABSOLUTE HUMIDLITY)

ไอน้ำในอากาศ เรียกว่า ความชื้น ความชื้นสมบูรณ์ของอากาศที่กำหนดให้ในสภาวะใด ๆ คือ มวลของไอน้ำต่อปริมาตรของอากาศที่สภาวะนั้น ความชื้นสมบูรณ์หรืออาจจะเรียกว่า ความหนาแน่นไอ (VAPOUR DENSITY) มีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (gm/m^3)

ในหัวข้อ 2 แสดงให้เห็นว่า มวลของไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรของอากาศ (ความหนาแน่นไอ) ที่เกิดขึ้นจริงเป็นหน้าที่เดียวของอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศเพราะว่าความสัมพันธ์นี้คงที่ระหว่างอุณภูมิจุดน้ำค้างและความชื้นสมบูรณ์ของอากาศ เมื่อรู้ค่าใดค่าหนึ่ง ค่า อื่น ๆ สามารถที่จะคำนวณได้ (หรือหาค่าความชื้นสมบูรณ์ใช้หาค่าปริมาตรจำเพาะ จากตารางไอน้ำ)

ความชื้นสมบูรณ์ $= 1/v \quad kg/m^3$ (v = ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ)

เพราะว่าความดันไอของไอน้ำในอากาศมีค่าต่ำสุด ไอน้ำในอากาศก็จะเข้าใกล้สภาวะก๊าซสมบูรณ์และมีคุณสมบัติเพียงพอที่จะเป็นไปตามกฎของก๊าซสมบูรณ์ คือ $pv = mRT$ และสามารถที่จะใช้ร่วมกับตารางไอน้ำคำนวณหาค่าความชื้นสมบูรณ์ (ความหนาแน่นไอ) ของอากาศได้

2.1.5. ความชื้นสัมพัทธ์ (RELATIVE HUMIDITY, RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนความดันของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่ในอากาศชื้นกับความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณภูมิเดียวกัน

$$RH = \frac{\text{ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นจริง}}{\text{ความดันที่จุดอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100$$

RH บางครั้งหมายถึง อัตราส่วนของความหนาแน่นไอที่มีอยู่ในอากาศชื้นและความหนาแน่นไอที่อิ่มตัว

2.1.6. อัตราส่วนความชื้น (HUMIDITY RATIO, W)

อัตราส่วนความชื้นบางครั้งเรียกว่า ความชื้นจำเพาะ หมายถึงมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งและโดยปรกติจะมีหน่วยเป็น กรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง (gm/kg) หรือ กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง (kg/kg)

สำหรับความกดดันของบรรยากาศที่กำหนดให้ใด ๆ อัตราส่วนความชื้นเป็นฟังก์ชั่น ของอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างเดียว อย่างไรก็ตามอัตราส่วนความชื้นต่ออุณหภูมิน้ำค้างที่กำหนดให้ใด ๆ จะแปรกับความกดดันของบรรยากาศทั้งหมด สำหรับเหตุผลที่จะเป็นไปตามกฎของก๊าซ ปริมาตรต่อหน่วยมวลของอากาศจะเพิ่มขึ้นขณะที่

ความกดดันของบรรยากาศลดลง เพราะว่าความหนาแน่นของไอน้ำจะแปรโดยตรงกับปริมาตรเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นมวลของไอน้ำ ความหนาแน่นไอ และความดันไอ จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันด้วย

(ในหนังสือคู่มือของสมาคมวิศวกรอเมริกันเกี่ยวกับ การทำความร้อน การทำความเย็น และการปรับอากาศ ซึ่งพิมพ์ในปี 1972 หน้า 98 ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้ อัตราส่วนความชื้น หรือ ความชื้นจำเพาะ หมายถึงมวลของไอน้ำต่อมวลของความชื้นของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน)

เมื่อรู้ความกดดันของบรรยากาศ และอุณหภูมิจุดน้ำค้างอัตราส่วนความชื้นคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการของก๊าซสมบูรณ์และกฎของดัลตัน

ดังนั้นอัตราความชื้น , $W = \dfrac{(0.622 kg/kg')(Pw)}{P-Pw}$

W = อัตราส่วนความชื้นมีหน่วยเป็น kg ของไอน้ำต่อ kg ของอากาศแห้ง (kg/kg')

Pw = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง มีหน่วยเป็น bar

P = ความกดดันของบรรยากาศ มีหน่วยเป็น bar

2.1.7. อัตราส่วนอิ่มตัว (SATURATION RATIO)

อัตราส่วนอิ่มตัว บางทีเรียกว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น (percentage humidity) เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนความชื้นที่เกิดขึ้นจริงต่ออัตราส่วนความชื้นที่สภาวะอิ่มตัว

เพราะฉะนั้น อัตราส่วนอิ่มตัว $= \dfrac{W}{Ws} \times 100$

W = อัตราส่วนความชื้นที่เกิดขึ้นจริง (kg/kg')

Ws = อัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิอากาศอิ่มตัว (kg/kg')

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.8. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DRY BULB TEMPERATURE ,DB)

หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี

2.1.9. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (WET BULB TEMPERATURE, WB)

หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระปุกหุ้มด้วยผ้าที่ชื้น โดยมีกระแสลมที่มีความเร็วระหว่าง 5 และ 10 เมตรต่อวินาทีพัดผ่านกระเปาะ

2.1.10. เอนทาลปีของอากาศ (ENTHALPY OF AIR)

อากาศมีความร้อนสัมผัส (SENSIBLE HEAT) และความร้อนแฝง (LATENT HEAT) ความร้อนทั้งหมดของอากาศที่สภาวะใด ๆ เป็นผลรวมของ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

จากที่ได้กล่าวมานี้จะแสดงในหัวข้อต่อไปนี้ คือ

1.) ความร้อนสัมผัสของอากาศเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

2.) ความร้อนแฝงของอากาศเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

3.) ความร้อนทั้งหมดของอากาศเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.1.11. ความร้อนสัมผัสของอากาศ (SENSIBLE HEAT OF AIR, HS)

สำหรับค่าที่กำหนดให้ใด ๆ ของอุณภูมิกระเปาะแห้งความร้อนสัมผัสของอากาศ หาได้จากสมการดังนี้

$$Hs = m C_p (DB)$$

หรือ

$$Hs = m h_s$$

เมื่อ Hs = ความร้อนสัมผัสของอากาศ

m = จำนวนมวลของอากาศ

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ = kJ/kg^{o}K

DB = อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง

Hs = เอนทาลปีจำเพาะของอากาศแห้ง

ปริมาณของการถ่ายเทความร้อนสัมผัส เมื่อกำหนดจำนวนมวลของอากาศร้อนหรือเย็น ระหว่างสภาวะแรกและสภาวะสุดท้าย อุณหภูมิ DB ก็เป็นฟังก์ชั่น ของความร้อนสัมผัสด้วย ตามสมการ $\Delta Q = m C_p \Delta T$ สมมุติว่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ C_p เท่ากับ 1 KJ / kg K สมการดังกล่าวแล้วจะสามารถเขียนได้เป็น

Qs = (m)(cp)(Δ DB)

เมื่อ Qs = การถ่ายเทความร้อนสัมผัส (KJ)

m = มวลของอากาศแห้ง (kg)

Δ DB = ความแตกต่างระหว่างสภาวะแรกและสภาวะสุดท้ายของอุณหภูมิ DB (‘C หรือ ‘K)

หรือ Qs = (m)(Δ hs)

เมื่อ Δhs = ความแตกต่างของเอนทาลปีจำเพาะระหว่างสภาวะแรกและสภาวะสุดท้าย

2.1.12. ความร้อนแฝงของอากาศ (LATENT HEAT OF AIR,H_L)

ความร้อนแฝงของอากาศคือ ความร้อนแฝงของไอน้ำในอากาศ เพราะว่าจำนวนความร้อนแฝงที่กำหนดปริมาณของอากาศจะขึ้นอยู่กับมวลของไอน้ำในอากาศ และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำจะตรงกับอุณหภูมิอิ่มตัวไอน้ำ

อุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศด้วย อุณหภูมิ DP ไม่ได้คำนวณจากมวลของไอน้ำในอากาศ แต่คิดจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ดังนั้น ความร้อนแฝงของอากาศเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ DP ของอากาศที่คงที่ ความร้อนแฝงของอากาศก็คงที่ด้วย

เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัว (hg) อุณหภูมิ DP เริ่มจากอุณหภูมิ 0°C อยู่ในแถวที่ 6 ตารางที่ 2.1 ค่าที่แสดงไว้รวมความร้อนสัมผัสของของเหลวเหนืออุณหภูมิ 0°C เหมือน กับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิที่กำหนดให้

เพราะว่ามีข้อยุ่งยากในการหาค่าต่าง ๆ เหล่านี้ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงสมมติว่า ความร้อนสัมผัสของอากาศ คือ เอนทาลปีของอากาศแห้ง ความร้อนแฝงของอากาศคือ เอนทาลปีของไอน้ำ ผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของอากาศ คือ จำนวนความร้อนทั้งหมดหรือเอนทาลปีของอากาศ

ความร้อนแฝงของอากาศที่กำหนดให้สามารถ คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

H_L = (m) (W x h_w)

H_L = ความร้อนแฝงของอากาศ (KJ) ที่มีอัตราส่วนความชื้น W

m = มวลของอากาศ (kg)

W = อัตราส่วนความชื้น (kg / kg ของอากาศแห้ง)

h_w = เอนทาลพีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปรกติใช้ค่า hg ของไอน้ำ (KJ/kg)

สำหรับอากาศ 1 kg สมการ ข้างบน จะเป็น

h_L = (W)(h_w)

h_l = ความร้อนแฝงของอากาศ (KJ/kg)

2.1.13. ความร้อนของอากาศ (TOTAL HEAT OF AIR,HT)

ความร้อน (เอนทาลปี) ของอากาศ คือผลรวมของความร้อนสัมผัสของอากาศ (เอนทาลปีของอากาศแห้ง) และความร้อนแฝงของอากาศ (เอนทาลปีของไอน้ำ) ดังนั้นสำหรับอากาศ 1 kg.

$h_t = h_s + h_L$

เมื่อ h_t = เอนทาลปีของอากาศ (ชื้น) (KJ/kg)

h_s = เอนทาลปีของอากาศแห้ง (kJ/kg)

h_L = เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/ kg)

สำหรับอากาศ m kg

$H_t = (m)(h_t)$

H_t = เอนทาลปีของอากาศจำนวน m kg

การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (Q_t) ที่อากาศได้รับหรือคายออก เมื่ออากาศได้รับความร้อนหรือความเย็นตามลำดับ อาจจะคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$Q_t = m (h_{t2} - h_{t1})$$

หมายเลข 1 และ 2 ที่ห้อยอยู่แสดงถึงสภาวะแรก และสภาวะสุดท้ายตามลำดับ เมื่อเอนทาลปีที่สภาวะ 1 มากกว่าสภาวะ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเป็นลบ แสดงว่า ความร้อนถ่ายเทจากอากาศมากกว่า ในทางปฏิบัติโดยปรกติจะไม่นำมาคิด

2.1.14. แผนภูมิไซโครเมตริค (PSYCHROMETRIC CHARTS)

แผนภูมิไซโครเมตริคเป็นแผนภูมิที่แสดงคุณสมบัติของอากาศ ดังในรูปที่ 2.1 ค่าที่กำหนดในแผนภูมิเป็นค่าที่ได้จากอากาศมาตราฐานและที่ความกดดันบรรยากาศ

ในรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วๆไปของแผนภูมิไซโครเมตริค และคุณสมบัติพื้นฐานบางอันของอากาศ

1.) เส้นในแนวดิ่งของแผนภูมิเป็นเส้นอุณหภูมิ DB คงที่

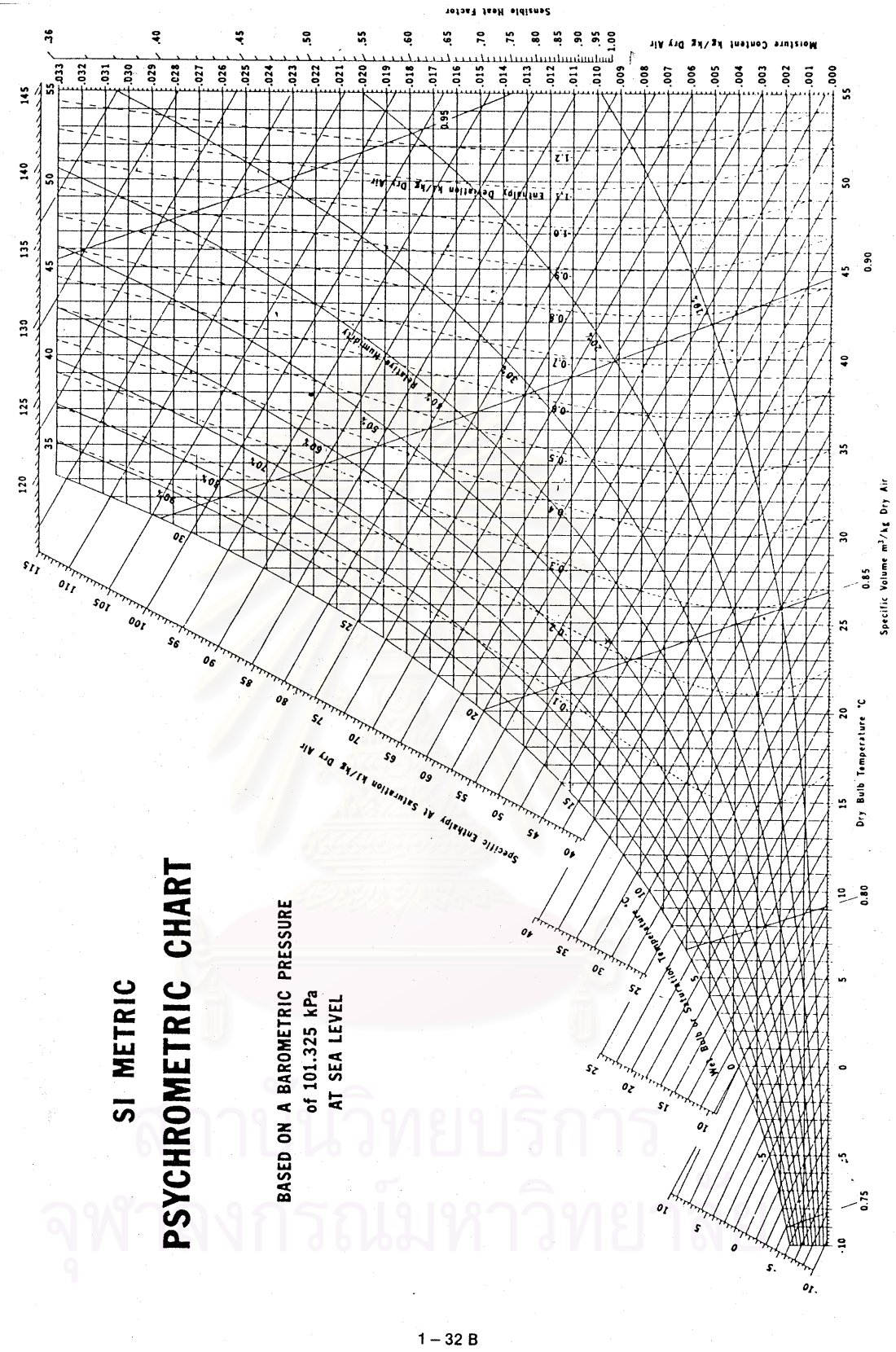
2.) เส้นในแนวราบเป็นเส้นอุณหภูมิ DP คงที่ และอัตราส่วนความชื้น

3.) เส้นที่ลากแทยงมุม เป็นเส้นอุณหภูมิ WB คงที่

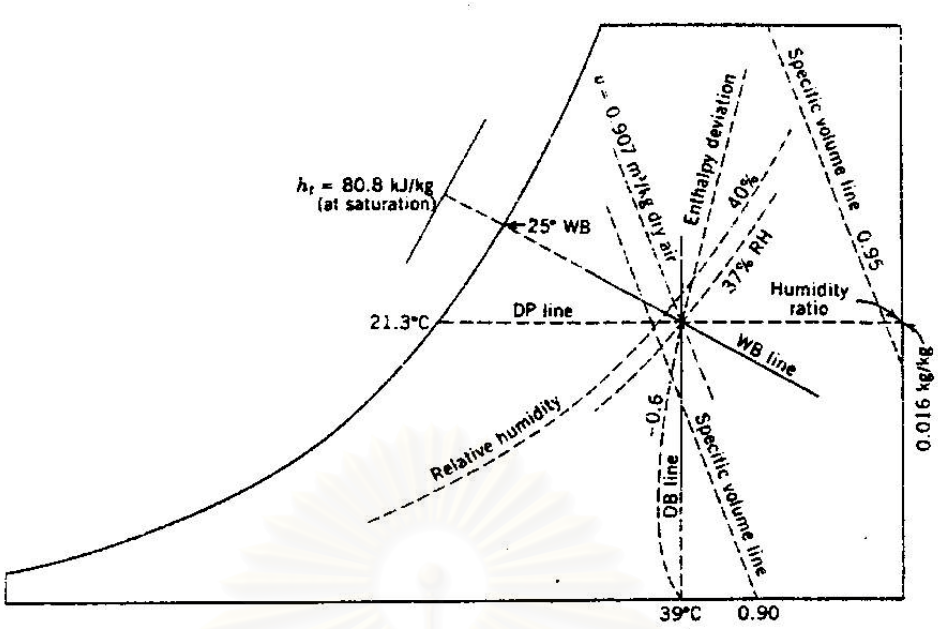
4.) เส้นที่ลากในแนวดิ่งแต่เฉียงมาทางซ้ายเป็นเส้นปริมาตรจำเพาะคงที่

5.) เส้นโค้งที่ลากจากด้านล่างซ้ายไปยังด้านขวามือบนเป็นเส้นความชื้นสัมพัทธ์ (Rh)

6.) เส้นโค้งหักเห (Deviation curve) เป็นเส้นของเอนทาลปีที่ผิดไปจากเอนทาลปีจำเพาะ



รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริค (อ้างอิงจาก บ.เอ็มแอนด์อี จก., 2531)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกระบวนการไซโครเมตริคต่างๆ (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

2.1.15. กระบวนการไซโครเมตริค (PSYCHROMETIC PROCESSES)

กระบวนการไซโครเมตริคสามารถที่จะแสดงและวิเคราะห์บนแผนภูมิไซโครเมตริค ในกระบวนการทำความเย็น หรือการปรับอากาศ โดยทั่วๆไปแล้วเป็นกระบวนการความดันคงที่ และกระบวนการเหลานี้สามารถแสดงให้เห็นได้โดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริค

2.1.16. การให้ความร้อนสัมผัส (SENSIBLE HEATING)

กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่ออากาศผ่านไปเหนือผิวสัมผัสที่ร้อน เช่น ไอน้ำ หรือ ท่อน้ำร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (DB) ในการผ่านไปบนผิวสัมผัสที่ร้อน อากาศจะดูดความร้อน (สัมผัส) จากผิวสัมผัสที่ร้อนกว่า ดังนั้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเข้าไปใกล้เคียงอุณหภูมิของผิวสัมผัสที่ร้อน ดังในรูปที่ 2.3 เพราะว่าไม่มีความชื้นเข้าไปหรือออกมาจากอากาศ ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ดังนั้นความชื้นจำเพาะ (SPECIFIC HUMIDITY) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และความร้อนแฝงของอากาศไม่เปลี่ยนแปลงสำหรับเหตุผลนี้ เพราะว่ากระบวนการให้ความร้อนทั้งหมดของอากาศเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับความร้อนสัมผัสที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเพิ่มขึ้นด้วย การให้ความร้อน หรือ ความเย็นสัมผัส ทางเดินของกระบวนการจะเป็นเส้นตรงเสมอตามเส้นกระบวนการในแผนภูมิไซโครเมตริค ตัวอย่างเช่น อากาศไหลจำนวน 2 kg / s ในสภาวะแรกอุณหภูมิ DB และ WB เท่ากับ 21 องศาเซลเซียล และ 16 องศาเซลเซียล ตามลำดับไหลผ่านไปตามท่อความร้อนและอุณหภูมิของ DB เพิ่มขึ้นเป็น 33 องศาเซลเซียล แสดงกระบวนการลงบนแผนภูมิไซโครเมตริครูปที่ 2.3 ณ จุดเริ่มต้นที่อากาศเข้าสู่กระบวนการค่าเอนทาลปีมีค่าเท่ากับ ha = 44.90 kJ / kg ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการคำนวนได้ดังนี้

$Q = (m)\ (cp)\ (\Delta DB)$

$= (2\ kg / s)\ (1\ kJ / kg\ K)\ (33^{\circ}C - 32^{\circ}C)$

$= 24\ kJ / s$

จากสมการ

$Q_t = m\ (\Delta h)$

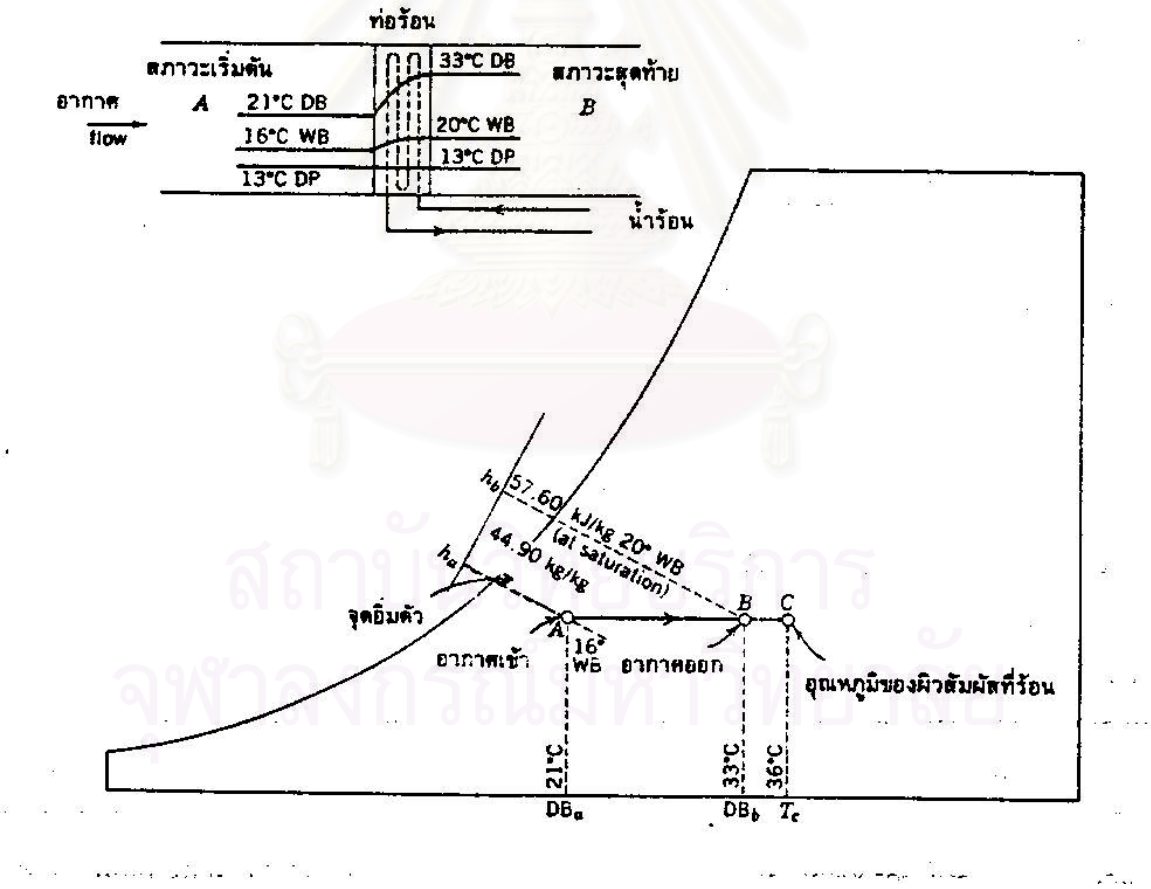
$= m\ (h_a - h_b)$

ดังนั้น

$h_b = (Q_t / m) + h_a$

$= (24\ kJ / s) / (2\ kg / s) + (44.9\ kJ / kg)$

$= 56.9\ kJ / kg$



รูปที่ 2.3 กระบวนการให้ความร้อนสัมผัส (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

2.1.17. ตัวประกอบไม่สัมผัสท่อ (COIL BYPASS FACTOR)

ในหัวข้อที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ผ่านไปในท่อร้อนทำให้อุณหภูมิของอากาศฝกล้เคียงกับอุณหภูมิของผนังท่อ คือจุด C ในรูป 2.3 ถ้าอากาศทั้งหมดผ่านไปบนท่อร้อนเป็นระยะเวลานานพอจะทำให้อุณหภูมิ DB ของอากาศเท่ากับอุณหภูมิของผิวท่อ ในทางปฏิบัติอากาศที่ผ่านท่อร้อนส่วนหนึ่งจะผ่านไปเฉยๆโดยไม่ได้สัมผัสกับผิวท่อ อัตราส่วนของอากาศที่ผ่านไปโดยไม่ได้สัมผัสกับผิวท่อต่ออากาศรวมทั้งหมด เรียกว่าตัวประกอบโดยไม่สัมผัส BPF (BY-PASS FACTOR) และ BPF นี้เป็นค่าเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบท่อ จากรูปที่ 2.3

BPF = เส้น BC / เส้น AC

= $(T_c - T_b) / (T_c - T_a)$

เมื่อ

T_a = อุณหภูมิ DB ของอากาศที่กำลังผ่านท่อ

T_b = อุณหภูมิ DB ของอากาศที่ออกจากท่อ

T_c = อุณหภูมิของผิวท่อ

2.1.18. กระบวนการให้ความเย็นสัมผัส (SENSIBLE COOLING PROCESSES)

ในกระบวนการนี้อากาศจะผ่านท่อเย็นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ DB แต่สูงกว่าอุณหภูมิ DP ดังที่แสดงในรูป 2.4 กระบวนการนี้เหมือนกับกระบวนการให้ความร้อนสัมผัสตรงที่ ค่าความชื้นคงที่ เพราะฉะนั้นความชื้นจำดพาะ อุณหภูมิ DP และความร้อนแผงของอากาศจะคงที่ตลอดกระบวนการ ยกตัวอย่างดังนี้ อากาศจำนวน 2 kg / s ในสภาวะแรกมีอุณหภูมิ DB เท่ากับ 42 องศาเซลเซียล และ อุณหภูมิ WB เท่ากับ 21 องศาเซลเซียล ไหลผ่านท่อเย็น อากาศที่ออกมามีอุณหภูมิ DB 24 องศาเซลเซียล ถ้าอุณหภูมิของผิวท่อเย็น 19 องศาเซลเซียล เขียนลงในแผนภูมิไซโครเมตริคได้ดังรูปที่ 2.4 และจะคำนวนได้ว่า

จาก

Q = (m) (cp) (ΔDB)

= (2 kg / s) (1 kJ / kg K) (42 – 24)

= 36 kJ / s

จาก

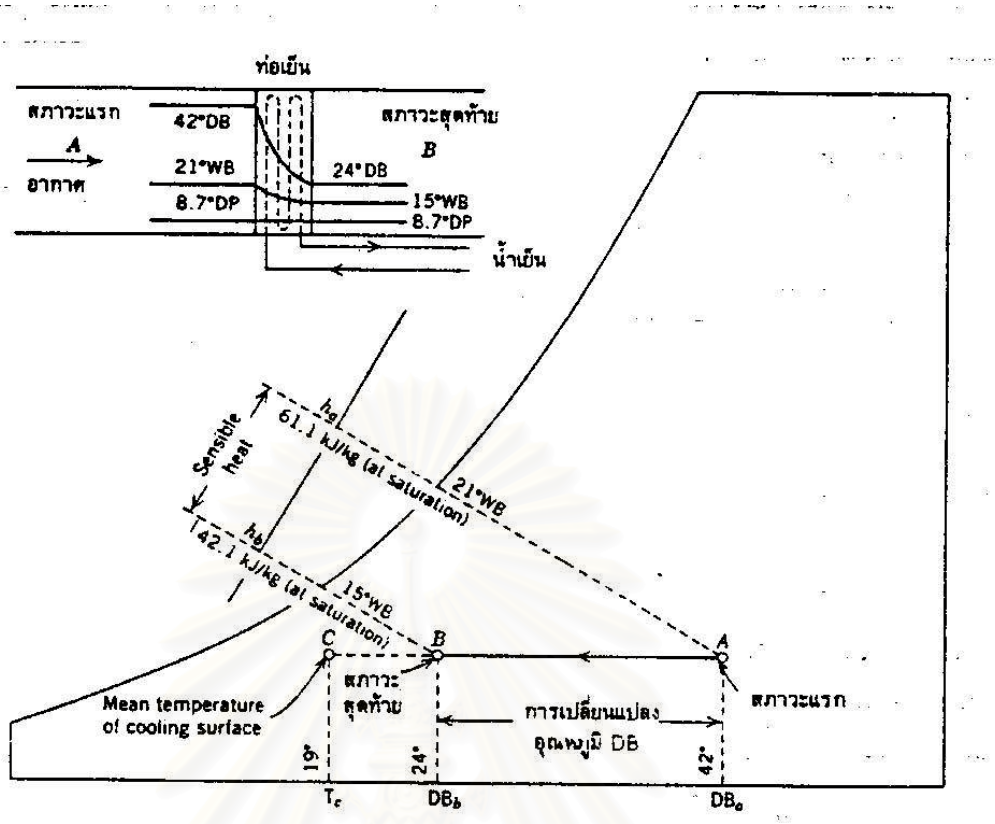
BPF = $(T_b - T_c) / (T_c - T_a)$

= (24 – 19) / (42 – 19) $^{\circ}$C

= 0.22

ดังนั้น ปริมาณของอากาศที่ไม่สัมผัส = 0.22 * 2 kg / s

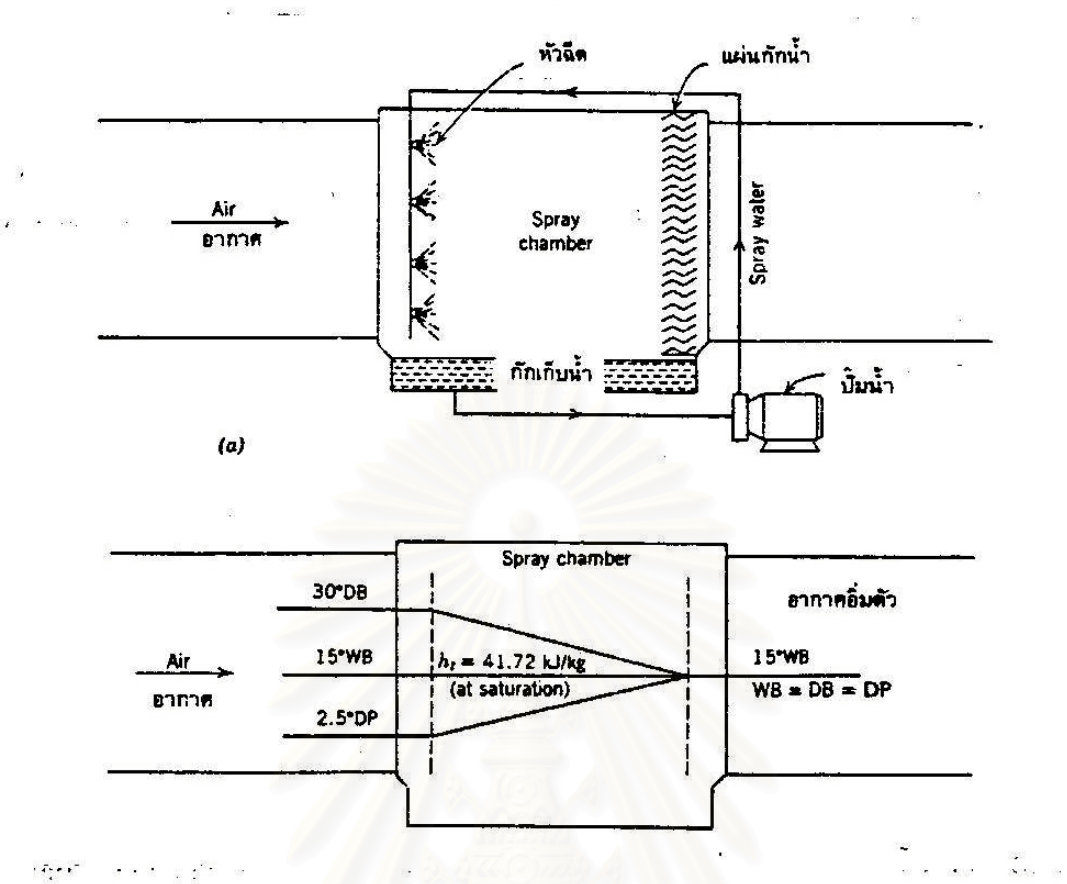
= 0.44 kg / s



รูปที่ 2.4 กระบวนการให้ความเย็นสัมผัส (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

2.1.19. กระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัว (ADIABATIC SATURATION PROCESSES)

เป็นกระบวนการที่ทำให้อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำโดยความร้อนคงที่ น้ำถูกฉีดเป็นละอองเข้าไปในอากาศ น้ำจะระเหยทำให้อากาศอิ่มตัว ถ้าการทำให้น้ำระเหยได้ผล 100 % อากาศที่วิ่งผ่านละอองน้ำออกมาก็จะอยู่ในสภาพอิ่มตัว 100 % ด้วย หลังจากสมดุลแล้วอากาศที่ออกไปจะมีอุณหภูมิคงที่ คือ อุณหภูมิ WB = DB = DP ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 ตัวอย่างเช่น อากาศในสภาวะแรกอุณหภูมิ DB เท่ากับ 40 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 10 % ถูกทำให้อิ่มตัวโดยการพ่นละอองน้ำเข้าไป ทำให้อุณหภูมิ DB หลังจากอิ่มตัวแล้วคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 กระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัว (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

จากแผนภูมิไซโคเมตริค ที่สภาวะ A อุณหภูมิ DB = 40°C 10 % Rh (ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ)

ดังนั้นสัดส่วนความชื้น W_a

W_a = 0.0045 kg / kg'

ที่เส้น เอนทาลปีคงที่ ที่สภาวะ B จะเป็นจุดอิ่มตัว อุณหภูมิ DB = WB = 18.5°C

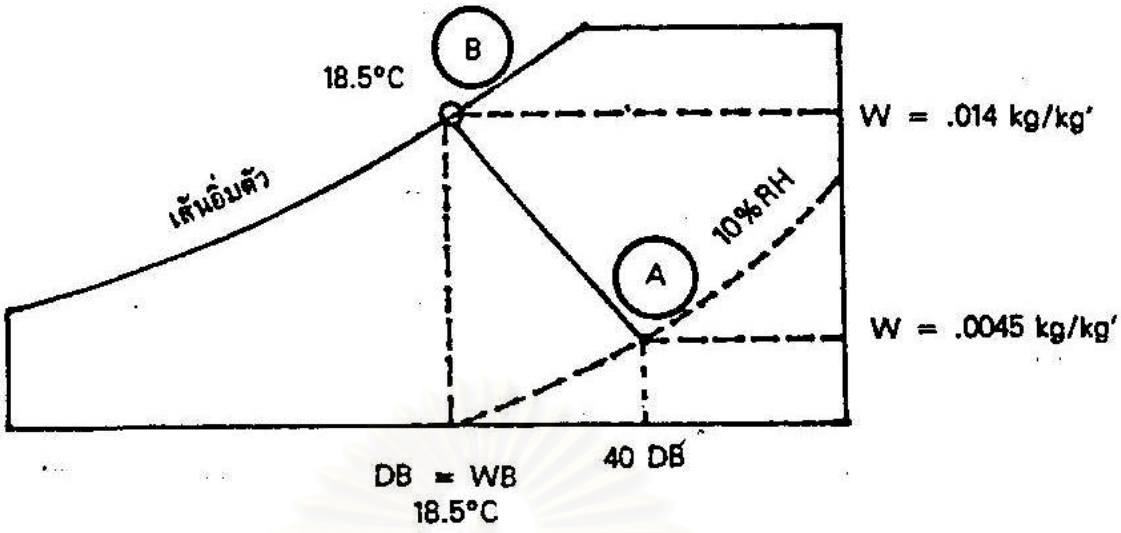
ดังนั้นสัดส่วนความชื้น W_b

W_b = 0.014 kg / kg'

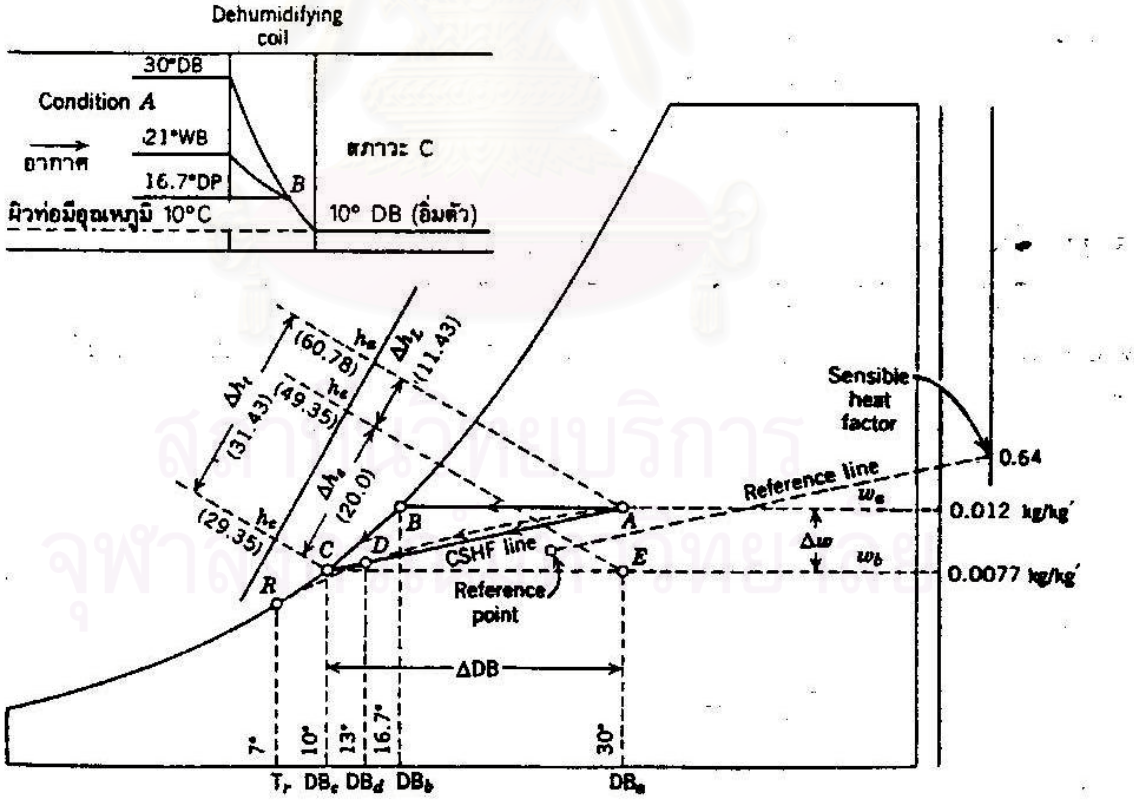
ดังนั้นจำนวนน้ำที่ต้องการ $= W_b - W_a$

= 0.014 – 0.0045 kg /kg'

= 0.0095 kg /kg'



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการที่ทำให้อากาศอิ่มตัว (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)



รูปที่ 2.7 กระบวนการการให้ความเย็นและการลดความชื้น (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

2.1.20. การให้ความเย็นและการลดความชื้น (COOLING AND DEHUMIDIFICATION)

เป็นการทำให้ อุณหภูมิ และ อัตราส่วนความชื้นของอากาศลดลง ใช้กันในระบบปรับอากาศ ซึ่งอากาศผ่านท่อเย็น หรือน้ำเย็นที่ฉีดเป็นละอองฝอย อุณหภูมิของอากาศจะถูกทำให้ต่ำกว่า อุณหภูมิ DB ของอากาศในสภาวะแรก ทำให้ไอน้ำควบแน่นออกมา โดยทั่วๆไปแล้วความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะสุดท้ายจะสูงกว่าในสภาวะแรกยกตัวอย่างดังนี้

อากาศ 4 kg / s ที่สภาวะแรกมีอุณหภูมิ DB และ WB 30°C และ 21°C ตามลำดับไหลผ่านท่อเย็นที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 10°C สมมุติว่าอากาศทั้งหมดไหลผ่านและสัมผัสกับผิวท่อเย็นดังนั้นอากาศที่ออกจากระบบเป็นอากาศอิ่มตัว มีอุณหภูมิเท่ากับผิวท่อเย็นดังที่แสดงในแผนภูมิไซโคเมตริครูปที่ 2.7

จากแผนภูมิไซโคเมตริค

h_{ta} = 60.10 – 0.32

= 60.78 kJ / kg'

h_{tc} = 29.36 kJ / kg'

จากสมการ

$Q_t = (m)\ (h_{ta} - h_{tc})$

Q_t = (1kg) (60.78 kJ / kg' – 29.35 kJ / kg')

= 31.43 kJ / kg

จากสมการ

$Q_s = (m)\ (cp)\ (\Delta DB)$

Q_s = (1kg) (1kg /gk°K)(30°C – 10°C)

= 20 kJ / kg

ดังนั้นความร้อนแฝงที่คายออกมาจากกระบวนการหาได้จาก

$Q_L = Q_t - Q_s$

= 31.43 – 20

= 11.43 kJ / kg'

จากแผนภูมิไซโคเมตริค

W_a = 0.012 kg / kg'

W_c = 0.0077 kg /kg'

ดังนั้นจำนวนมวลของไอน้ำที่ควบแน่น

m = (4 kg / s) (0.012 – 0.0077)

= 0.0172 kg / s

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.21. ตัวประกอบความร้อนสัมผัส (COIL SENSIBLE HEAT FACTOR)

ในระหว่างกระบวนการให้ความเย็น หรือ ลดความชื้น ความร้อนสัมผัส และ ความร้อนแฝงจะคายออก ขณะที่อากาศผ่านท่อเย็น ผลรวมของความร้อนทั้ง 2 นี้ จะเป็นความร้อนทั้งหมด อัตราส่วนความร้อนสัมผัสและความร้อนทั้งหมดเรียกว่า ตัวประกอบความร้อนสัมผัส (CSHF)

$CSHF = Q_s / Q_t$

จากตัวอย่างในหัวข้อที่ 20. สามารถหาค่าของ CSHF ได้ดังนี้

$CSHF = (20\ kJ / kg) / (31.43\ kJ / kg)$

$= 0.636$

ค่า CSHF สามารถหาได้โดยตรงจากแผนภูมิไซโครเมตริค โดยการลากเส้นจากจุดอ้างอิง ไปยังสเกลของตัวประกอบความร้อนสัมผัสที่อยู่ด้านขวามือของแผนภูมิ โดยเส้นนี้ลากขนานกับเส้น CSHF และอ่านค่า CSHF จากเสกลของตัวประกอบความร้อนสัมผัส (SHF) ที่จะตัดกันตารมรูปที่ 2.6

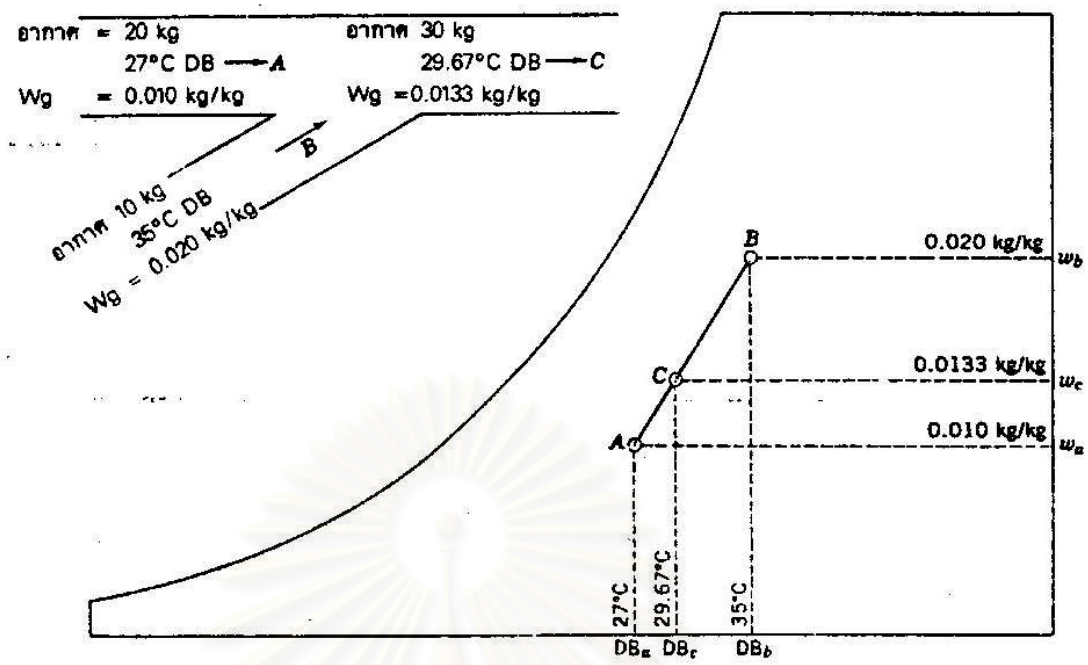
2.1.22. การรวมกันของอากาศ

เมื่ออากาศที่สภาวะ A รวมกับอากาศที่สภาวะ B ส่วนผสมของอากาศสามารถที่จะแสดงให้เห็นได้บนแผนภูมิไซโครเมตริค ดังในรูปที่ 115 ดังนั้นจำนวนมวลอากาศที่จุด C (mc) จะเท่ากับผลรวมของมวลที่ A และที่ B

$m_c = m_a + m_b$

และเพราะว่าการรวมกันของอากาศเป็นแบบ เอไดอาแบติค จึงไม่มีการสูญเสียความร้อนและความชื้นด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 แสดงการรวมกันของอากาศภายในท่อ (อ้างอิงจาก อัครเดช, 2537)

เอนทาลปีของส่วนผสมของอากาศเป็นผลรวมของเอนทาลปีของอากาศที่เข้ามารวมกัน

$H_{sc} = H_{as} + H_{sb}$

$H_{Lc} = H_{La} + H_{Lb}$

$H_{tc} = H_{ta} + H_{tb}$

และอัตราส่วนความชื้นทั้งหมดก็จะเท่ากับผลรวมของอากาศที่เข้ามารวมกันคือ

$m_c W_c = m_a W_a + m_b W_b$

จาก $H_{sc} = (m_c)\,(cp)\,(T_c)$

$H_{sa} = (m_a)\,(cp)\,(T_a)$

$H_{sb} = (m_b)\,(cp)\,(T_b)$

ดังนั้น

$(m_c)\,(cp)\,(T_c) = (m_a)\,(cp)\,(T_a) + (m_b)\,(cp)\,(T_b)$

ดังนั้น

$T_c = (m_a T_a + m_b T_b) / m_c$

เมื่อนำมาเขียนใหม่หาค่าอัตราส่วนความชื้นของอากาศผสมได้ดังนี้

$W_c = (m_a W_a + m_b W_b) / m_c$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 กระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับ PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID)

ในปัจจุบันการควบคุมกระบวนการต่างๆที่ต้องการให้กระบวนการนั้นๆมีค่าควบคุมที่ราบเรียบมักจะใช้การควบคุมแบบ PID เนื่องจากมีการส่งค่าควบคุมของกระบวนการกลับมาให้อุปกรณ์ควบคุมทำให้อุปกรณ์ควบคุมทราบได้ว่าควรจะทำการควบคุมกระบวนการในลักษณะใดเพื่อที่จะให้กระบวนการนั้นมีความราบเรียบที่สุดโดยอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ช่วย ดังที่จะได้อ้างถึง สุดาธิป พลพงษ์ ได้เขียนบทความเกี่ยวกับการควบคุมแบบ PID นี้ให้กับหนังสือ INSTRUMENTATION ประจำเดือน กันยายน พ.ศ. 2540 และ บทความใน WEP SIDE ของ EXPERT TUNE CO., LTD. (www.expertune.com) ไว้ดังนี้

2.2.1. หลักการพื้นฐานของกระบวนการควบคุม

หลักการพื้นฐานของกระบวนการควบคุมก็คือ การที่อุปกรณ์ทางอินพุตได้รับค่ามาค่าหนึ่งและพยายามที่จะคงค่านั้นไว้ที่ค่าที่เราต้องการออกมาทางเอาต์พุต โดยการปรับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อควบคุมค่านี้ไว้ ยกตัวอย่างเช่นในชีวิตประจำวันของเราที่ใช้การควบคุมกระบวนการ 2 อย่างที่เป็นที่รู้จักกันดีก็คือ เครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ควบคุมการขับเคลื่อนของรถยนต์ (AUTOMOTIVE CRUISE CONTROL) ปริมาณที่ถูกวัดและควบคุมจะถูกเรียกว่า ตัวแปรกระบวนการ (PROCESS VARIABLE, PV) สำหรับค่าตัวแปรกระบวนการของเครื่องปรับอากาศคือ อุณหภูมิของบ้าน ส่วนของอุปกรณ์ควบคุมการขับเคลื่อนของรถยนต์ คือความเร็วของรถยนต์

ค่าที่เราต้องการให้ตัวแปรกระบวนการคงไว้นั้น เรียกว่า ค่าเป้าหมาย (SETPOING, SP) เราจะปรับค่าเป้าหมายของเครื่องปรับอากาศที่บ้านของเราและความเร็วของรถ โดยบ่งชี้อุณหภูมิที่เราต้องการและกำหนดค่าความเร็วที่ต้องการ ให้กับอุปกรณ์ควบคุมเครื่องปรับอากาศ และ การขับเคลื่อนของรถยนต์

ตัวควบคุมจะปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรกระบวนการโดยการปรับค่าควบคุมเอาต์พุต (CONTROL OUT PUT, CO) โดยที่เครื่องปรับอากาศจะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหรือหยุดทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ส่วนอุปกรณ์ควบคุมการขับเคลื่อนรถยนต์จะผ่อนหรือเพิ่มคันเร่ง (THROTTLE) เพื่อควบคุมความเร็ว โดยปกติแล้วกระบวนการควบคุมทางอุตสาหกรรม จะใช้ค่าตัวแปรควบคุมไปขับเคลื่อนวาล์วควบคุม เพื่อควบคุมค่าตัวแปรกระบวนการอย่างเช่น ระดับน้ำในถัง อัตราการไหลของของไหล ความดัน หรืออุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่เราต้องการ

กระบวนการควบคุมส่วนใหญ่ ไม่ได้ทำการควบคุมโดยตรงที่ค่าตัวแปรกระบวนการหรือค่าเป้าหมาย แต่ทำที่ค่าสัญญาณความผิดพลาด (ERROR SIGNAL , e) ที่ตัวควบคุมคำนวณออกมา ค่าความผิดพลาดจะแสดงค่าตัวแปรควบคุมที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย ซึ่งคำนวณได้ตามสมการ

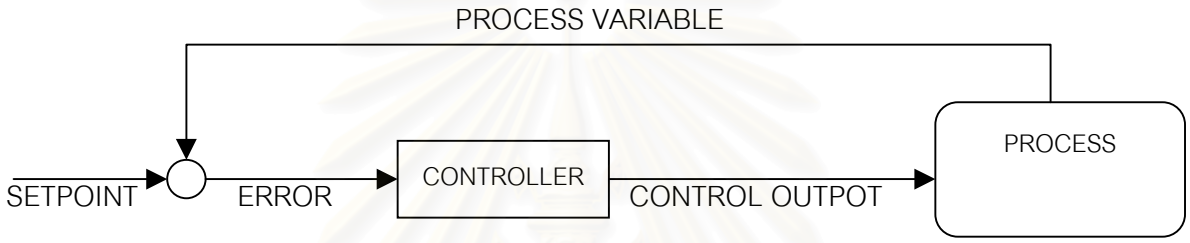
$$e = PV - SP$$

โดยที่ e = สัญญาณความผิดพลาด

PV = ตัวแปรกระบวนการ

SP = ค่าเป้าหมาย

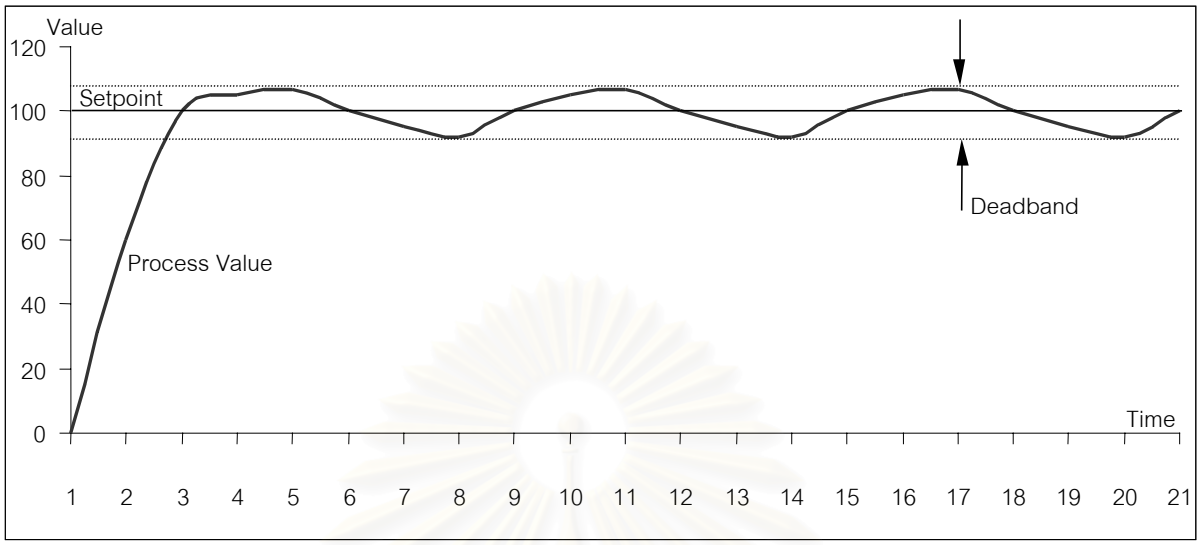
ค่าความผิดพลาดที่เป็นบวกแสดงถึง ค่าตัวแปรกระบวนการที่เกินค่าเป้าหมายไป ส่วนค่าที่เป็นลบจะแสดงว่ายังไม่ถึงค่าเป้าหมาย เนื่องจากข้อมูลของตัวแปรกระบวนการถูกป้อนกลับมาจากกระบวนการที่ถูกควบคุมแล้ว ดังนั้นบางครั้งกระบวนการควบคุมประเภทนี้จึงถูกเรียกว่า กระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับโดยอาศัยค่าสัญญาณความผิดพลาด (ERROR FEEDBACK CONTROLLER) ตัวควบคุมจะใช้ค่าความผิดพลาดมาประเมินค่าตัวแปรควบคุม ซึ่งจำเป็นในการจะคงค่าตัวแปรกระบวนการไว้ที่ค่าเป้าหมาย รูปแบบของตัวควบคุมโดยทั่วไปสามารถดูได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของกระบวนการควบคุม

2.2.2. การควบคุมแบบเปิด/ปิด (ON / OFF CONTROLLERS)

การควบคุมแบบเปิด / ปิดถือว่าเป็นตัวควบคุมอย่างง่ายที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการควบคุมอุปกรณ์ที่รับทางเอาต์พุต ซึ่งจะเปิดหรือปิดขึ้นกับค่าสัญญาณความผิดพลาด เครื่องปรับอากาศตามบ้านส่วนใหญ่ก็เป็นตัวควบคุมแบบเปิด/ปิดคือ คอมเพรสเซอร์จะทำงาน (เปิด) เมื่อค่าความผิดพลาดเป็นลบ คอมเพรสเซอร์จะทำงาน (เปิด) เมื่อค่าความผิดพลาดเป็นลบ (อุณหภูมิสูงเกินไป) และจะหยุดทำงาน (ปิด) เมื่อค่าความผิดพลาดเป็นบวก (อุณหภูมิต่ำเกินไป) เพื่อหลีกเลี่ยงการเปิดปิดอย่างรวดเร็วของตัวควบคุม ตัวควบคุมแบบเปิด/ปิดส่วนใหญ่จึงมี DEADBAND ซึ่งค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะคงไว้ที่สถานะปัจจุบันจนกระทั่งค่าความผิดพลาดหลุดออกจากช่วง DEADBAND เช่น 2 องศาเซลเซียล ตัวควบคุมจะสั่งให้คอมเพรศเซอร์ทำงานก็ต่อเมื่อค่าความผิดพลาดทางด้านบวกถึง 1 องศาเซลเซียล ด้วยเหตุนี้ตัวแปรกระบวนการที่ถูกควบคุมโดยตัวควบคุมแบบเปิด/ปิดจึงเปลี่ยนแปลงค่าขึ้นลงอยู่รอบ ๆ ค่าเป้าหมาย ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ตัวควบคุมแบบเปิด/ปิดนี้มักจะถูกเรียกว่า ตัวควบคุมแบบ “BANG-BANG” เพราะค่าตัวแปรควบคุมมักจะเปลี่ยนไปมาระหว่างค่าควบคุม 2 ค่าที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.10 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบเปิด/ปิด (ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)

2.2.3. การควบคุมแบบต่อเนื่อง (CONTINUOUS CONTROLLERS)

กระบวนการทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้การควบคุมแบบต่อเนื่อง ค่าตัวแปรควบคุมจะเป็นแบบอะนาลอก ซึ่งจะถูกปรับอย่างต่อเนื่อง ถือเป็นข้อดีที่เด่นชัดที่สามารถกำจัดปัญหาการเปลี่ยนแปลงขึ้น/ลงของค่าตัวแปรควบคุม อย่างที่เกิดขึ้นในตัวควบคุมแบบเปิด/ปิดได้ ตัวควบคุมแบบต่อเนื่องที่ใช้ในอุตสาหกรรมทุกวันนี้จะเป็นแบบ DERIVATIVE ดังนั้นจึงมีการเรียกตัวควบคุมประเภทนี้ว่าเป็น ตัวควบคุมแบบ PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) ผลของตัวควบคุมในแต่ละแบบจะบรรยายอย่างดังต่อไปนี้

2.2.4. การควบคุมแบบ PROPORTIONAL

การควบคุมประเภทนี้ได้ชื่อมาจากข้อเท็จจริงที่ว่า การควบคุมค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัญญาณความผิดพลาดค่าสัญญาณค่าสัญญาณความผิดพลาดจำนวนมากจะสร้างค่าควบคุมเอาต์พุตที่มากในทางตรงกันข้าม ค่าสัญญาณความผิดพลาดที่น้อย ๆ จะให้ค่าควบคุมเอาต์พุตที่น้อย

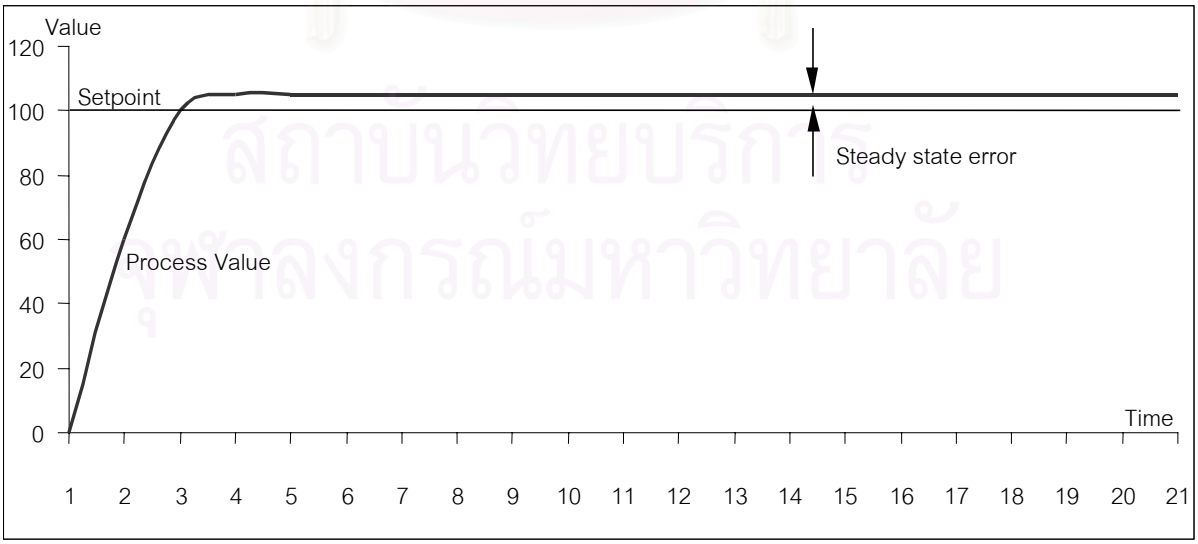
ถ้าค่าสัญญาณความผิดพลาดที่เป็นบวกทำให้ค่าควบคุมเอาต์พุตเพิ่มขึ้น ตัวควบคุมตัวนั้นจะถือว่าเป็นตัวควบคุมแบบให้ผลกระทำตรง (DIRECT ACTING) ในทางกลับกัน ถ้าค่าสัญญาณความผิดพลาดที่เป็นบวกทำให้ค่าควบคุมเอาต์พุตลดลง ตัวควบคุมตัวนั้นจะเป็นแบบที่ให้ผลกระทำผกผัน (REVERSE ACTING)

ผลกระทำของตัวควบคุมจะเป็นแบบตรงหรือแบบผกผันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกระบวนการ อย่างเช่นในกรณี การควบคุมระดับของของเหลวในถัง การกระทำจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวาล์วควบคุม ถ้าวาล์ว

ควบคุมอยู่ในตำแหน่งที่ทำการควบคุมอัตราการไหลของของเหลวออกจากถัง ความต้องการของเราก็คือต้องการให้ค่าความผิดพลาดที่เป็นบวก (ระดับของของเหลวสูงเกินไป) ไปเพิ่มค่าตัวแปรควบคุม ก็คือการเปิดวาล์วและให้ของเหลวไหลออกจากถังเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังนั้นตัวควบคุมที่ใช้จะต้องใช้ตัวควบคุมแบบให้ผลกระทำตรง ในทางกลับกันถ้าวาล์วทำการควบคุมอัตราการไหลเข้าถังของของเหลวเราจะเลือกใช้ตัวควบคุมแบบที่ให้ผลกระทำผกผัน ซึ่งจะให้ผลการตอบสนองต่อระดับของของเหลวที่สูงเกินไป โดยการปิดวาล์วเพื่อลดปริมาณของของเหลวที่จะไหลเข้าถังนั้นเอง

ค่าออฟเซตจะเป็นตัวกำหนดว่าค่าตัวแปรควบคุมจะเป็นเท่าไร ที่ค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์ โดยปกติแล้วจะตั้งค่าไว้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั่นคืออุปกรณ์ควบคุมจะเปิด 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์ ส่วนค่าอัตราการขยายจะเป็นตัวกำหนดปริมาณการปฏิบัติของการควบคุม (CONTROL ACTION) ที่เกิดขึ้นจากค่าสัญญาณความผิดพลาดที่ให้ออกมา ที่ค่าสัญญาณความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไปค่าหนึ่ง ถ้าอัตราการขยายมีค่าน้อยจะทำให้ตัวแปรควบคุมเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าที่อัตราการขยายมีค่ามาก ๆ

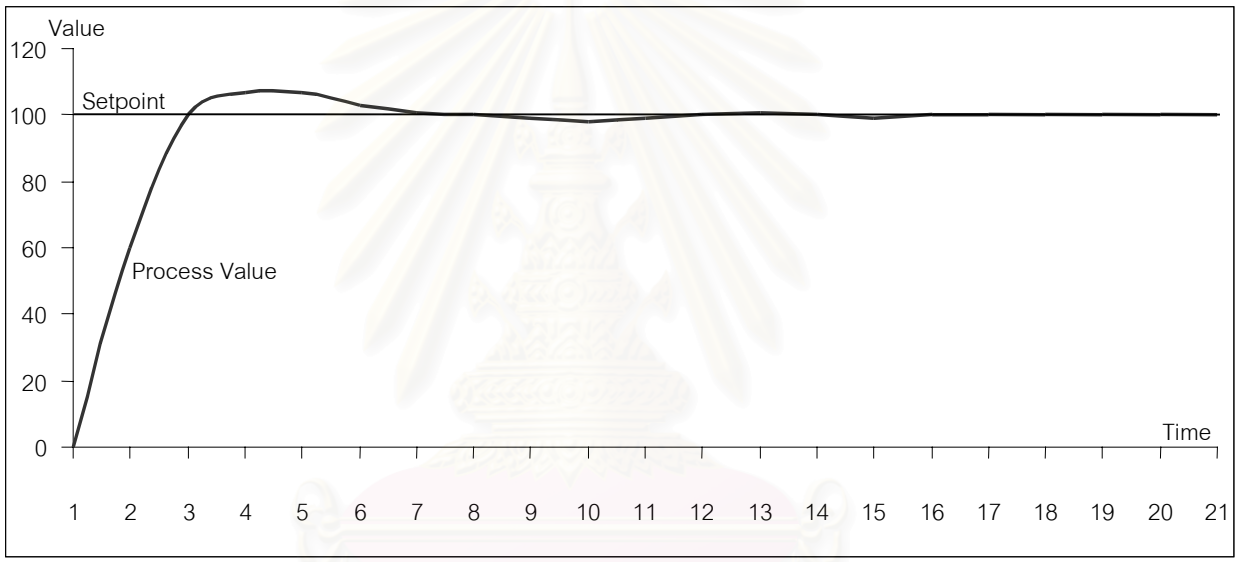
ปัญหาเบื้องต้นของการควบคุมแบบนี้คือ ค่าสัญญาณความผิดพลาดที่ไม่เป็นศูนย์ซึ่งจำเป็นต้องมีเพื่อสร้างตัวแปรควบคุมสำหรับทำให้กระบวนการได้อย่างเที่ยงตรง ค่าตัวแปรควบคุมที่จะทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ จะต้องเท่ากับค่าออฟเซต (50 เปอร์เซ็นต์ ดังตัวอย่างข้างต้น) เพื่อให้ได้มาซึ่งการควบคุมที่ไม่ผิดพลาดในช่วงค่าเป้าหมายอย่างไรก็ดีในสภาวะใด ๆ ก็ตามของกระบวนการ ค่าสัญญาณความผิดพลาดที่ไม่เป็นศูนย์จำต้องมีเสมอ เพื่อสร้างค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ค่าตัวแปรกระบวนการจึงต่างจากค่าเป้าหมายเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว (STEADY-STATE ERROR)



รูปที่ 2.11 การตอบสนองของการควบคุมแบบ PROPORTIONAL (ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)

2.2.5. การควบคุมแบบ PROPORTIONAL-INTEGRAL (PI CONTROLLERS)

ในเบื้องต้นการปฏิบัติแบบ INTEGRAL จะถูกเพิ่มให้กับตัวควบคุมแบบ PROPORTIONAL เพื่อแก้ปัญหาความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวพร้อมจะกำจัดความต้องการค่าออฟเซต และยังแก้ปัญหาความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวด้วย เนื่องด้วยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นค่าที่ถูกสะสมอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้ค่าตัวแปรควบคุมของตัวควบคุมที่มีการปฏิบัติแบบ INTEGRAL เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ตราบเท่าที่ค่าความผิดพลาดยังไม่เป็นศูนย์ และจะหยุดเมื่อค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์ ถ้ากระบวนการที่ถูกควบคุมมีความเสถียร การควบคุมแบบนี้จะรับประกันได้ว่าค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวจะกลายเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การตอบสนองของการควบคุมแบบ PROPORTIONAL – INTEGRIAL (ดัดแปลงจาก สุดาทิป, 2540)

2.2.6. การควบคุมแบบ PROPORTIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVE (PID CONTROLLERS)

การปฏิบัติแบบ PID จะเพิ่มให้กับตัวคุบคุมแบบ PRO-PORTIONAL เพื่อแก้ปัญหากระบวนการเฉื่อย (SLUGGISH PROCESS) อย่างเช่นกระบวนการที่จัดการกับสารปริมาณมากๆซึ่งต้องถูกเร่ง หรือลดความเร่ง เพิ่มความร้อนหรือให้ความเย็น ต่างมีแนวโน้มในการใช้ตัวควบคุมแบบ PID ทั้งสิ้น

การควบคุมจะมีผลกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการลดค่าตัวแปรควบคุมเพื่อทำให้เกิดโอเวอร์ชูต (OVERSHOOT) ที่น้อยที่สุด นั่นหมายถึงว่า กระบวนการจะเข้าถึงค่าเป้าหมายได้ในไม่ช้า ตัวอย่างเช่น เมื่อควบคุมอุณหภูมิในถังที่มีขนาดใหญ่มากถังหนึ่ง การเพิ่มค่าเป้าหมายอาจต้องการค่าตัวแปรควบคุมถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลานาน เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับถังอย่างรวดเร็ว

แต่อย่างไรก็ดีเมื่อความร้อนที่ให้ เริ่มมีผลต่ออุณหภูมิของถัง เราจำเป็นที่จะต้องลดความร้อนลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโอเวอร์ชูตของอุณหภูมิ การปฏิบัติแบบ PID จะทำให้การควบคุมกระบวนการประเภทนี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.7. การปรับการควบคุม (CONTROLLER TUNING)

กระบวนการในการเลือกค่าอัตราการขยายเพื่อการควบคุมที่ดีที่สุด เรียกว่า การปรับการควบคุม ค่าอัตราการขยายที่สูงเกินไปจะทำให้ค่าตัวแปรควบคุมแกว่งเป็นวงกว้าง และพฤติกรรมของค่าตัวแปรควบคุมไม่เสถียร ในขณะที่ค่าอัตราการขยายที่ต่ำเกินไปจะทำให้ค่าตัวแปรควบคุมมีการตอบสนองช้า และการควบคุมจะให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ถ้าค่าอัตราการขยายได้รับการปรับแต่งอย่างดีแล้ว กระบวนการภายใต้การควบคุมนี้จะให้ผลตอบสนองอย่างราบเรียบและรวดเร็ว เพื่อเปลี่ยนแปลงในช่วงค่าเป้าหมายและทำให้กระบวนการกลับสู่สภาวะที่ต้องการ

อย่างไรก็ดีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการขยายไม่ใช่ว่าต้องเป็นไปในทิศทางเดียวกันจึงจะได้ผลดี การผสมผสานที่เหมาะสมของการปฏิบัติแบบ PROPORTIONAL แบบ PI และแบบ PID จึงจะนำไปสู่การควบคุมที่ดีได้ ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการที่จะควบคุมด้วย การปฏิบัติแบบ PROPORTIONAL ที่มีค่าสูงๆ จะเหมาะกับการควบคุมกระบวนการ ที่เราสามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากตัวแปรควบคุมได้ สำหรับกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวน (NOISE) ขณะวัดค่าตัวแปรกระบวนการ การควบคุมด้วยค่าอัตราการขยายสูงๆ มักจะไม่ให้ผลดี การควบคุมระดับของเหลวในถัง และการควบคุมอุณหภูมิถือเป็นตัวอย่างที่สามารถใช้การควบคุมด้วยอัตราการขยายสัดส่วนที่มีมีค่าสูงๆได้ดี ในขณะที่การควบคุมอัตราการไหลหรือการควบคุมความดันซึ่งให้ผลตอบสนองรวดเร็วและมีสัณณาณรบกวนในค่าตัวแปรกระบวนการมาก จะต้องทำการควบคุมโดยใช้อัตราการขยายสัดส่วนต่ำๆ จึงจะได้ผลดี

สำหรับการปฏิบัติแบบ PI ถือได้ว่ามีพฤติกรรมที่เกือบจะตรงกันข้ามกับการปฏิบัติแบบ PROPORTIONAL เนื่องจากการปฏิบัติแบบ PI มีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำชนิดหนึ่ง เพราะฉะนั้นสัญญาณรบกวนจึงไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรกระบวนการ (สัญญาณรบกวนมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความผิดพลาดสะสม) การปฏิบัติที่เพิ่มเข้ามาก็หมายถึงว่า การควบคุมจะไม่เกิดผลเฉียบพลันต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ แต่จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป ความจริงที่ว่านี้จึงทำให้เป็นผลดีต่อกระบวนการที่มีการตอบสนองรวดเร็ว (FAST RESPONDING) อาจกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการที่เหมาะกับสัญญาณรบกวน อย่างเช่น ค่าอัตราการขยาย PI ควรจะมีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าค่าอัตราการขยาย PROPORTIONAL

ในการควบคุมอุณหภูมิและระดับของไหลในถัง ผลกระทบของตัวแปรควบคุมภายในกระบวนการจะถูกสะสมตลอดเวลา ความร้อนที่ถูกเพิ่มให้กับกระบวนการ ท้ายที่สุดก็จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ขณะที่ของไหลที่เพิ่มเข้าไปในถังท้ายที่สุดก็จะเพิ่มระดับของไหลเช่นกัน เนื่องด้วยกระบวนการประเภทนี้มีการปฏิบัติแบบ PI

อยู่แล้ว ดังนั้นในการควบคุมจึงต้องการตัวควบคุมที่มีการปฏิบัติแบบ PI เพียงน้อยนิดถึงไม่มีเลย และอัตราการขยาย PI ที่ใช้ก็ควรจะมีค่าต่ำเช่นกัน

ในการควบคุมโดยการใช้การปฏิบัติแบบ PID จำเป็นจะต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูง ขั้นแรกอัตราการขยาย PID ควรจะถูกปรับอย่างระมัดระวัง ลำดับที่สอง ควรหลีกเลี่ยงการใช้ในกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวนในค่าตัวแปรกระบวนการ สัญญาณรบกวนในค่าตัวแปรกระบวนการจะทำให้เกิดค่าสัญญาณความผิดพลาดเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรุนแรง เป็นผลให้ค่าความชันเปลี่ยนแปลงทั้งทางบวกและทางลบอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลมาจากการปฏิบัติแบบ PID ซึ่งการควบคุมมักจะไม่เสถียรเมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในค่าตัวแปรกระบวนการ ดังนั้นในการเลือกใช้ควรเป็นไปอย่างรอบคอบ กระบวนการที่สามารถใช้การปฏิบัติแบบนี้ได้ต้องเป็นกระบวนการที่มีการวัดที่เชื่อถือได้และไม่มีสัญญาณรบกวน (DEPENDABLE AND NOISE-FREE) ซึ่งกระบวนการที่เป็นไปตามนี้ก็คือการควบคุมอุณหภูมิ

ดังนั้นการที่จะเลือกใช้กระบวนการควบคุมแบบไหน จะต้องมีความรู้เฉพาะทางในเรื่องของตัวควบคุมที่ใช้ และกระบวนการภายใต้การควบคุมนั้น เพื่อที่จะสามารถตั้งค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมที่ให้ค่าเป็นที่น่าพอใจได้ ยิ่งไปกว่านั้นผู้ผลิตตัวควบคุมแต่ละตัวกำหนดสมการที่ใช้กับตัวควบคุมแตกต่างกันไป ดังนั้นค่าอัตราการขยายจึงไม่จำเป็นต้องมีพฤติกรรมเหมือนตัวอย่างนี้เสมอไป ตัวควบคุมบางตัว เราจะปรับการปฏิบัติแบบ PROPORTIONAL โดยการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ของแบบสัดส่วน และการปฏิบัติของ PI โดยการปรับค่าหน่วยจำนวนครั้งต่อนาทีหรือนาทีต่อจำนวนครั้ง (REPEATS PER MINUTE OR MINUTE PER REPATE) ซึ่งจะให้ผลตรงข้ามกัน เพื่อเพิ่มความสับสนยิ่งขึ้นไปอีกการปฏิบัติแบบ PROPORTIONAL แบบ PI และแบบ PID มักจะถูกเรียกเป็นค่าอัตราการขยายค่ารีเซ็ต (RESET) และค่าอัตรา (RATE) ในหนังสือแบบเก่า ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย ควรใช้ข้อมูลจากผู้ผลิตอ้างอิงทุกครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

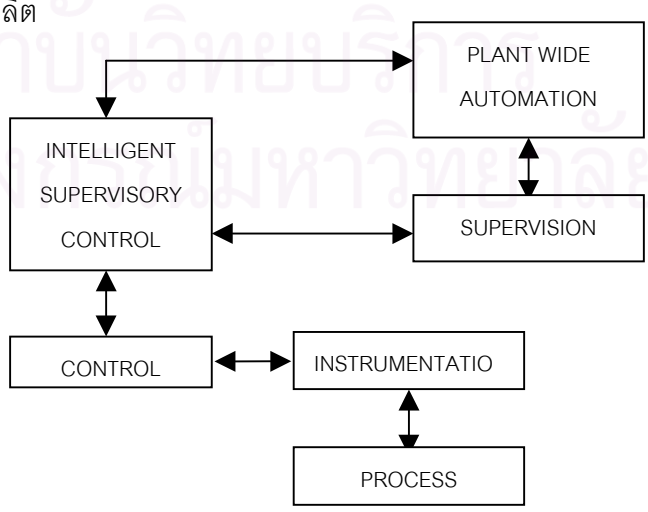
สหัส พรหมสิทธิ์ ได้กล่าวถึงระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ลอจิก ไว้ในหนังสือ Instrumentation World พ.ศ. 2540 ไว้ดังนี้

ปัญหาที่จัดว่ามีความสำคัญที่สุดในแง่ของการควบคุมกระบวนการ (PROCESS CONTROL) และการบริหารในโรงงานอุตสาหกรรมคือ การตรวจตราควบคุมแบบอัตโนมัติ (INTELLIGENT SUPERVISORY CONTROL) และการออปติไมซ์ (OPTIMIZATION) อันหมายถึงการปรับบังคับให้ “ระบบ” ทำงานให้ได้ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยในปัจจุบัน ได้มี ระบบที่เรียกว่า DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM (DCS) ชนิดต่างๆ เกิดขึ้นมาอย่างมากมาย ที่สามารถให้บริการเทคโนโลยี สำหรับการควบคุมขั้นพื้นฐาน เช่น PROPORTIONAL-INTEGRAI-DERIVATIVE LOOP CONTROL (PID) ระบบที่ว่านี้ จะเก็บข้อมูลจากเครื่องวัด รวมทั้งทำหน้าที่ปรับแต่งตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในการผลิต (PROCESS VARIABLES) ตลอดจนเป็นพื้นฐานที่จะก้าวไปสู่การออปติไมซ์

อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวก็ยังมีข้อเสียในแง่ของการขาดความยืดหยุ่น รวมทั้งการไม่สามารถปรับเปลี่ยนตัวเอง ภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมของโรงจักร เช่น โรงไฟฟ้าหรือโรงงาน อุตสาหกรรม อย่างปิโตรเคมี เป็นต้น เทคโนโลยีในด้านการควบคุมกระบวนการและการวัดด้วยอุปกรณ์ (INSTRUMENTATION) ที่จะกล่าวในที่นี้จะเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่อง (continuous process) โดยจะมุ่งไปที่การใช้เทคนิคใหม่ๆ เช่น ฟัซซี่ลอจิก (FUZZY LOGIC) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการปรับแต่งหรือการจูนลูป (LOOP TUNING) สำหรับโรงงานที่ใช้ PID-LOOP เป็นจำนวนมาก

วิศวกรรมการควบคุมในปัจจุบัน

ภายในโรงงานอุตสหกรรมขนาดใหญ่ มักมีห้อง PID-LOOP อยู่เป็นจำนวนมาก (นับเป็นร้อยลูป) สัมประสิทธิ์อันเป็นตัวเลขที่เป็นคุณสมบัติภายในลูปต่างๆ จะขึ้นอยู่กับอาทิ ต้องการผลิตอะไร, เป้าหมายของการผลิต, ลักษณะอันเป็นธรรมชาติ และสถานะของกระบวนการในรูปต่างๆ, คุณภาพของวัตถุดิบ, สภาวะอันเป็นเงื่อนไขในทางปฏิบัติที่ต้องการ (desired operating condition) สำหรับภายในโรงงาน หรืออาณาบริเวณที่เป็นโรงงานซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิต



รูปที่ 2.13 การควบคุมและการบริหารโรงงานยุคใหม่ (ดัดแปลงจาก สหัส, 2540)

การทำงานของโรงงานย่อมเปรียบได้กับการทำงานของร่างกายมนุษย์ ในแง่ของการที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลง ผันผวนอยู่ตลอดเวลา ดังเช่นในกรณีที่ว่า ในช่วงขณะหนึ่งนั้นตัวแปรหรือพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งอาจมีความสำคัญจน มองข้ามไม่ได้แต่เมื่อเวลาผ่านไปอีกช่วงขณะ ตัวแปรตัวเดียวกันนี้ก็อาจหมดความสำคัญหรืออาจก่อให้เกิดผลร้ายแก่ระบบ จนไม่เป็นที่ต้องการอีกต่อไป อันทำให้ต้องพึ่งเทคโนโลยีใหม่ๆ ในด้านของการควบคุมและการออปติไมซ์ที่เรียกว่า INTELLIGENT SUPREVISORY CONTROL AND OPTIMIZATION SYSTEM เพื่อให้เข้ามาทำหน้าที่ในแง่ของการติดตามบันทึก (MONITER) กลั่นกรองและปรับแต่งส่วนที่เกี่ยวกับการควบคุมและการสอบวัด (CONTROL AND INSTRUMENTATION) ซึ่งมีองค์ประกอบใหญ่อยู่ 3 อย่างคือ

- การจูน (TUNING) หรือการปรับแต่ง ตัวแปรที่เป็นพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ภายใต้กฎของการบังคับควบคุม (CONTROL LAWS)
- การประเมินและการออปติไมซ์ตัวเลขที่เรียกว่าค่าเป้าหมาย (SET POINT)
- การวิเคราะห์และติดตามประสิทธิผลของระบบ

ดังนั้นถ้าจะให้เขียนภาพเพื่อแสดงรูปแบบของการควบคุมที่เป็นแบบ INTELLIGENT SUPERVISORY บวกด้วยการบริหารที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของ CIM (COMPUTER INTERGRATED MANUFACTURING) จะได้ความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 2.13

2.3.1. ตัวอย่างปัญหาในการผลิตที่เกิดจากระบบควบคุม

ปัญหาใหญ่อันหนึ่งในเรื่องของการควบคุม (เช่น อุณหภูมิ) ที่ค้างคาใจวิศวกรตลอดจนผู้เกี่ยวข้องต่างๆ ในด้านการผลิตมาเป็นเวลาช้านาน ก็คือเรื่องของการปรับแต่งหรือจูนนิ่ง (TUNING) จนได้มีการประมาณการกันว่า ราวร้อยละ 40 ของการผลิตต้อง เป็นกระบวนการแบบต่อเนื่อง จะมีกระแสของการรบกวนที่วัดค่าไม่ได้ หรือไม่ก็เกิดจาก เรื่องของความไม่เป็นเชิงเส้นที่มีผลต่อการตอบโต้ของอุปกรณ์ควบคุมลูปที่เป็น PID การทำงานของ PID ที่เป็นแบบเชิงเส้น (LINEAR) จึงไม่สามารถเผชิญกับกระบวนการต่างๆ ที่ตกอยู่ภายใต้การแปรปรวนผันผวนในรูปของความไม่เป็นเชิงเส้น (NONLINEAR) ได้ อันทำให้บุคลากรที่ทำหน้าที่เป็นช่างหรือวิศวกร ต้องเข้ามาควบคุมดูแลการทำงานของลูปต่างๆ ด้วย ตนเองในรูปของ MANUAL MODE ทำให้มีผลขั้นต่อไปว่าถ้ามีการปรับแต่ง PID ลูปเพิ่มมากเกินไปก็จะทำให้เกิด อาการ กวัดแกว่ง (OSCILLATORY BEHAVIOR) และหากมีการปรับแต่งน้อยจนเกินไปจะทำให้เกิดการตอบสนองช้า (TRANSIENT RESPONSE) ซึ่งไม่ดีเท่าที่ควร ดังตัวอย่างในการผลิตสารเคมีที่เรียกว่า FABRIC SOFTEUER INGREDIENT ซึ่งเป็นของเหลวที่จะนำมากล่าวในที่นี้

กรรมวิธีการผลิตที่เป็นของเหลวที่เรียกว่า FABRIC SOFTEUER นี้ต้องการอุปกรณ์ทำความเย็น ที่ระบายความร้อน ได้ชั่วโมงละ 1 ล้านบีทียู สำหรับกระบวนการใหม่ที่ผู้ผลิตนำมาใช้จะเกิดปัญหาที่ว่า PID-LOOP แบบที่ใช้กันอยู่ ทั่วไป ซึ่งอยู่ใน DCS ของผู้ผลิต ไม่สามารถที่จะลดการแปรปรวนที่มากถึง $\pm$15 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อเทียบกับค่าเป้าหมาย ซึ่งได้กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 157 องศาฟาเรนไฮต์ อันเป็นความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในอุปกรณ์ทำความเย็นแบบ SHELL-AND-TUBE ที่วิศวกรยอมรับไม่ได้ เพราะผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาฟาเรนไฮต์ และจะไปทำให้ ท่อของอุปกรณ์ทำความเย็นเกิดการอุดตันหรือทำงานไม่

สะดวก ซึ่งต้องแก้ปัญหาด้วยการฉีดไอน้ำร้อนเข้าไปในท่อดังกล่าว หรือนำผลิตภัณฑ์ที่ยังร้อนอยู่ให้มาไหลวนใหม่อีกครั้งเป็นการช่วยเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อที่จะไปแก้ปัญหาในเรื่องการ อุดตันในท่อ

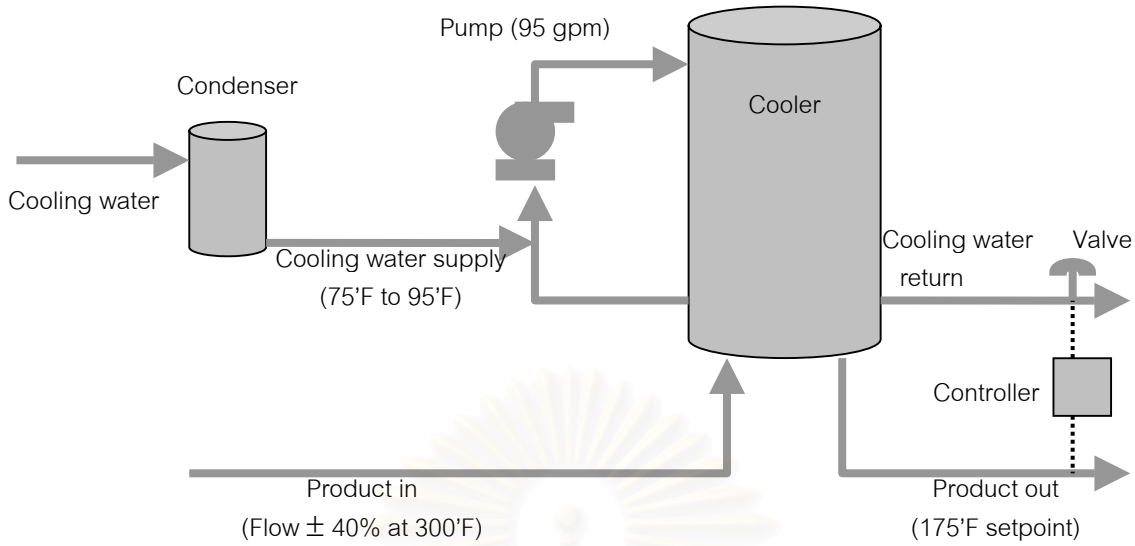
ในอดีตที่แล้วมาทางโรงงานต้องเสียเวลาในการผลิตไปราว 4 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อแก้ปัญหาเรื่องท่อตัน จากชั่วโมงการผลิตที่ทำอย่างต่อเนื่องวันละ 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามการทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนมากๆ ก็จะมีปัญหาเช่นกัน เพราะจะต้องนำมาบรรจุลงในรถบรรทุก ซึ่งเป็นถังหุ้มด้วยฉนวน โดยผลิตภัณฑ์จะต้องมีอุณหภูมิระหว่าง 155-160 องศาฟาเรนไฮต์ โดยเทออกจากตัวคูลเลอร์ลงสู่บรรทุก ผลิตภัณฑ์ที่ร้อนเกินกว่าอุณหภูมิดังกล่าวก็จะมีปัญหา เพราะจะต้องนำไปทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่จะทำการขนส่งได้ ซึ่งต้องใช้เวลาหลายวัน ทั้งหมดนี้ เป็นการ มองปัญหาของโรงงานอย่างกว้างๆ ก่อนที่จะก้าวลึกเข้าไปในรายละเอียดในลำดับต่อไป

2.3.2. การควบคุมอุณหภูมิภายในลูป

ปัญหาอันเป็นรายละเอียดที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิต FABRIC SOFTEUER INGREDIENT ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14 โดย แสดงเฉพาะส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น อุปกรณ์ทำความเย็น (COOLOR) และคอนเด็นเซอร์ (CONDENSER) ซ้ายสุด ของรูปนี้จะเป็นจุดที่น้ำที่ใช้สำหรับความเย็น (TOWER COOLING WATER SUPPLY : TCW SUPPLY) ผ่านเข้า ไปในคอนเด็นเซอร์เป็นอันดับแรก การแปรปรวนของปริมาณน้ำที่ผ่านเข้ามาที่คอนเด็นเซอร์ ตลอดจน ความ ไม่แน่นอนของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในหอทำความเย็น (COLLING TOWER) จะทำให้น้ำ ที่มายัง คูลเลอร์มีอุณหภูมิระหว่าง 75-95 องศาฟาเรนไฮต์ สิ่งที่นำมาทำให้เกิความซับซ้อนขึ้นไปอีกก็คือ การไหลของผลิตภัณฑ์ ผ่านคูลเลอร์ (PROD IN) ที่มีการแปรปรวนในรูปของวัฏจักรคิดเป็นร้อยละ $\pm$40 ส่วนอุณหภูมิของ ผลิตภัณฑ์จะเป็นไป อย่างคงที่และเท่ากับ 300 องศาฟาเรนไฮต์

อิตพุตที่เข้าไปในตัวควบคุม PID ของกระบวนการนี้คืออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากคูลเลอร์ โดยเอาต์พุต จากตัวควบคุมจะไปบังคับวาวล์ที่อยู่ในแนวของน้ำไหลกลับจากหอทำน้ำเย็น (COOLING TOWER WATER RETURN : TCW RETURN) อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ซึ่งแต่เดิมได้อยู่ในรูปของวัฏจักรแบบ SINUSOID (โดยประมาณ) นั้นจะแปรปรวนแบบ $\pm$15 องศาฟาเรนไฮต์ การปรับค่าคงที่ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแก่ PID TUNING ได้ส่งผลน้อยในแง่ของ ขนาดของการกวัดแกว่ง หรือแปรปรวน (AMPLITUDE OF SWINGS) แต่จะมีผลเฉพาะกับเรื่องของคาบเวลา (PERIODS) ซึ่งไม่ใช่เป็นประเด็นของปัญหา

ความพยายามของผู้ผลิตในขั้นแรก เพื่อที่จะแก้ปัญหาโดยลดความรุนแรงของการแปรปรวนของอุณหภูมิ ให้เป็นไปในรูปของการเพิ่มหอทำน้ำเย็นที่มีปั้มขนาด 95 แกลลอนต่อนาทีเข้าไปอีกหนึ่งตัวดังในรูปที่ 2.14 เพื่อให้การไหล ของน้ำมีความคงที่มากขึ้น รวมทั้งเพื่อเป็นการเพิ่ม THERMAL INERTIA อันเป็นการเพิ่มที่ส่งผลให้ลูปของน้ำอันใหม่นี้ สามารถช่วยแก้ไขปัญหาได้บ้างในแง่ของการลดจุดแข็งตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงฤดูหนาว รวมทั้งการลดอุณหภูมิ ที่สูงมากๆในช่วงหน้าร้อน อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาในทำนองนี้ยังไม่ตรงเป้าเพราะยังลดการแปรปรวนของ อุณหภูมิไม่ได้ตามที่ต้องการ กล่าวคือสามารถลดการแปรปรวนได้เพียง 2-3 องศาฟาเรนไฮต์ เท่านั้น อันทำให้ต้อง แสวงหา วิธีอื่นต่อไป จนกระทั่งได้พบว่า ฟัซซี่ลอจิก (FUZZY LOGIC) สามารถแก้ปัญหาทำนองนี้ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.14 การควบคุมของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ต้องทำอย่างรัดกุม (ดัดแปลงจาก สหัส, 2540)

2.3.3. ฟัซซี่ลอจิก

ความหมายที่สั้นที่สุดของฟัซซี่ลอจิกนี้ก็คือ เป็นกระบวนการในการแก้ปัญหาที่ต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่มีความเด่นชัดแบบขาวหรือดำ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นบ่อยๆ ในโลกของความถูกต้องหรือความผิด 0 หรือ 1 ฯลฯ อันจะมีทางออกแค่เพียง 2 ทางหรือที่เรียกว่า CRISP-LOGIC ซึ่งเป็นการมองประเด็นปัญหา แบบชัดเจนตายตัวจนดิ้นไม่ได้ที่ขาดความคล่องตัวหรือแตกหัก การแก้หรือมองปัญหาแบบนี้จึงมักเกี่ยวข้องกับตัวเลข ที่ใช้ในการ ตัดสินใจที่มีเพียงแค่ 0 กับ 1 โดยอยู่ภายใต้การกระทำทางลอจิกที่มีอยู่ 3 อย่างคือ AND, OR และ NOT ซึ่งจะ ต่างกับฟัซซี่ลอจิก ที่มองสรรพสิ่งต่างๆ ในโลกเป็นแบบระดับ (DEGREE) ของลอจิกที่มีค่าเป็นตัวเลขได้หลายค่า (MULTIVALUED LOGIC) ที่อยู่ระหว่าง 0 กับ 1

วิธีที่จะเข้าใจปรัชญาของฟัซซี่ลอจิก ในเวลาอันสั้นที่สุดคงหนีไม่พ้นการยกตัวอย่าง เช่น ระบบควบคุมจราจรบนถนน โดยอาศัยกฎที่มีความยืดหยุ่นสูงในรูปของ FUZZY RULES ดังการควบคุมตามทางแยกโดยอาศัยสัญญาณไฟ

ในส่วนของวิศวกรรมการควบคุม การใช้ฟัซซี่ลอจิกที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือเรื่องของ EMBEDDED CONTROLLERS การฟัซซี่ลอจิก มาใช้ในด้านการควบคุมจะช่วยลดความรุนแรงของอาการที่เรียกว่า OVERSHOOT อันเนื่องมาจาก การรบกวนที่เกิดจากกระบวนการ (PROCESS DISTURBAUCES) โดยไม่มีการต้องโทษในแง่ของ SETTING หรือช่วงเวลา ตอบสนอง (RESPONSE TIME) เช่น ในกรณีของการแปรปรวนใน

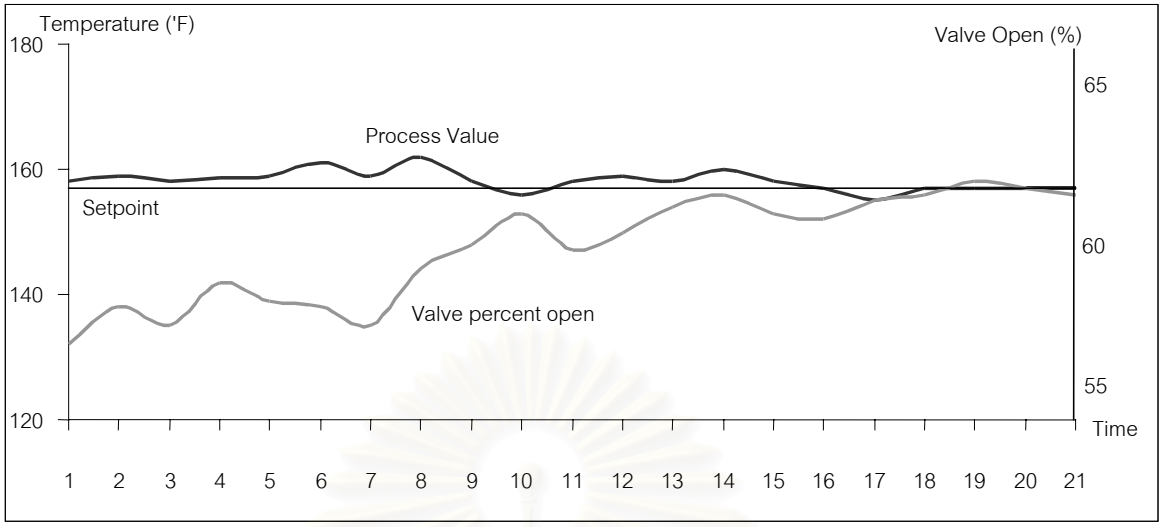
เรื่องอุณหภูมิที่สามารถทำให้สงบราบคาบได้โดยอาศัย ฟัซซี่ลอจิก ที่ใช้หลักของ OVERLAPPING MEMBERSHIP-DOMAINS และกลุ่มของกฎต่างๆ สำหรับให้การนิยามการตอบสนอง แทนที่จะใช้อัลกอริทึมชนิด ดำ-ขาว หรือ 0 กับ 1

เอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณวางแผนด้วยฟัซซี่ลอจิก จะออกมาในรูปของไม่เป็นเชิงเส้นที่คล้ายกับการตัดสินใจ หรือการประสานงานที่เลียนแบบไปจากมนุษย์ ปรัชญาอันเป็นการทำงานของฟัซซี่ลอจิก จึงเหมือนกับผู้ปฏิบัติงาน ที่เป็นมนุษย์ ในแง่ที่ว่าจะมีการลงโทษความผิดพลาดในเรื่องของการบังคับควบคุมที่เป็นเรื่องใหญ่ในรูปที่มี ความรุนแรง มากกว่าข้อผลิตพลาดเล็กๆ น้อยๆ รวมทั้งการมีวิธีลงโทษพฤติกรรมที่เป็นแบบกวัดแกว่งการลงโทษในเรื่อง ดังกล่าว นั้นได้อาศัยการรักษาสมดุลสำหรับการตอบสนองอัตราการขยายที่สูงอันเนื่องมาจากข้อผิดพลาดที่ค่อนข้างมากด้วย STRONG DAMPING เมื่อสถานะของลูปกลายเป็นแบบ OSCILATORY ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกจึงมีสถานะเหมือนกับ ERROR-SQUARED PID CONTROLLER แต่จะต่างกันตรงที่ตัวควบคุมที่ทำงานด้วยหลักของฟัซซี่ลอจิกจะมีความสมบุกสมบันมากกว่า

2.3.4. การใช้ฟัซซี่ลอจิกควบคุมอุณหภูมิ

จากการติดตามพัฒนาการของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในด้านควบคุมที่มีอยู่ในตลาด และติดต่อกับตัวแทนจำหน่าย ทำให้ผู้ผลิต FABRIC SOFTEUER INGREDIENT ทราบว่าบริษัท FISHER ROSEMOUNT SYSTEM (สหรัฐอเมริกา) ซึ่งเคยขาย DCS ที่เรียกว่า RS3 เพื่อใช้ในการควบคุม PID-LOOP ในอดีตนั้นได้นำผลิตภัณฑ์แบบใหม่ล่าสุดในตระกูล RS 3 ออกสู่ตลาด ในรูปของซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า RS3 INTELLIGENT FUZZY LOGIC CONTROL (IFLC) ที่คาดว่าจะสามารถแก้ปัญหาในการควบคุม อุณหภูมิในรูปของ DEADTIME CONTROLLER และได้มีการทดลองใช้ IFLC ก่อนการตัดสินใจซื้อ

โดยในการติดตั้งและการปรับแต่งฟัซซี่ลอจิกคอนโทรลเลอร์ไม่ได้มีความยุ่งยากซับซ้อนแต่อย่างใด เพราะผู้ใช้ สามารถแทรก FUZZY LOGIC CONTROL BLOCK เข้าไปในตัวควบคุมของ PID-LOOP ที่มีอยู่แต่เดิมได้ โดยอยู่ภายใต้ DCS CONFIGURATION UTILITY จากนั้นก็ได้มีการปรับแต่งหรือจูนลูปใหม่อีกครั้ง โดยใช้ TUNING FACILITY ที่มี DCS ให้การสนับสนุน ซึ่งมีชื่อเรียกว่า RS 3 INTELLIGENT TUNER โดยมี RELAY OSCILLATION ของกระบวนการเท่ากับร้อยละ 5 ผลของการปรับแต่ง ได้ทำให้ค่าของ ULTIMATE GAIN ที่เท่ากับ 5.256 และ ULTIMATE PERIOD ที่เท่ากับ 561 วินาทีหรือ 9.35 นาที ซึ่งก็ได้มี การคีย์ค่าตัวเลขดังกล่าวเข้าไปใน FUZZY CONTROL BLOCK อันถือว่าเป็นการสิ้นสุดการปรับแต่ง



รูปที่ 2.15 แสดงการแก้ปัญหาในเรื่องของ PROCESS UPSET โดยอาศัยฟัซซี่ลอจิกที่สามารถก้าวไปสู่เป้าหมายที่กำหนด ไว้ในระยะเวลาอันสั้น โดยไม่เกิดอาการ OVERSHOOT หรือกลายมาเป็น OSCILLATORY เหมือนกับการควบคุมด้วย PID (ดัดแปลงจาก สหัส, 2540)

หลังจากที่ได้มีการนำฟัซซี่ลอจิกเข้ามาใช้ควบคุมการผลิตอย่างเต็มที่ ก็ได้ส่งผลให้สามารถควบคุม การทำงานของลูปให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ในทันที รวมทั้งการที่ลูปสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ และมีการตอบสนองที่ดีคิดเป็นเวลานานนับเดือน โดยสามารถทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์แปรปรวนไม่เกิน 3 องศาฟาเรนไฮต์ จากค่าเป้าหมายในเวลาปกติและไม่ต้องเสียเวลาในการหยุดทำงานวันละ 4 ชั่วโมง อันเนื่องมาจากการแปรปรวนของอุณหภูมิอีกต่อไป อันทำให้การนำผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้าเป็นไปโดยราบรื่น

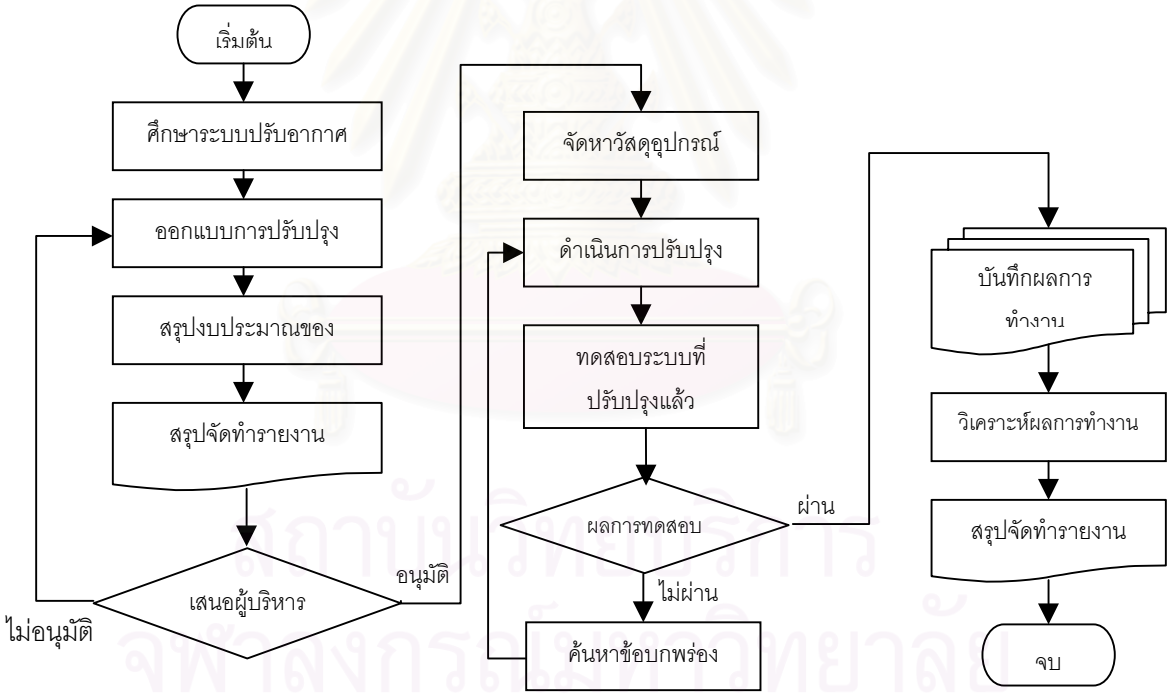
นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงการควบคุมแบบ PID ไปเป็นฟัซซี่ลอจิก หรือในทางตรงข้ามได้ในรูปของ ON-LINE โดยอาศัยการทำงานแบบ POINT-AND-CLICK อันจะทำให้ผู้ผลิตสามารถเปลี่ยนจาก การควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก ไปเป็นการควบคุมแบบ PID ได้อย่างสะดวกรวดเร็วหากจำเป็นต้องทำเช่นนั้น

ตัวอย่างของ TREND GRAPH ที่เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิด้วยฟัซซี่ลอจิก ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยได้มีเวลา ที่เรียกว่า NON-NORMAL นาน 2 ชั่วโมง ภายใต้การควบคุมแบบใหม่ รวมทั้งความสามารถ ในการแก้ปรับตัวเอง ได้อย่างอัตโนมัติของ “กระบวนการ” ภายหลังจากที่ได้นำผลิตภัณฑ์บางชนิดมารีไซเคิลโดยผ่านทางช่างวิศวกร ซึ่งเป็นความต้องการของโรงงานแห่งนี้ที่มีไม่บ่อยนัก

ในอดีตที่ยังไม่มีการนำฟัซซี่ลอจิกมาควบคุมนั้นกระบวนการในการผลิตจะแปรปรวนในอัตราที่สูงจนหลุดออกไปนอก CHART หากใช้เงื่อนไขดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 สิ่งที่เป็น PENALTY ซึ่งเกิดจากการใช้ฟัซซี่ลอจิกตามการสังเกต ของผู้ใช้ รายนี้ก็คือการใช้ หน่วยความจำ สำหรับตัวควบคุมที่มากกว่าเดิม 2.5 เท่า จากเดิมที่เป็นแบบ FULL PID CONTROL

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการหยุดผลิตในกระบวนการพ่นสีของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่างเป็นเวลานาน 1 ถึง 2 ชั่วโมงในช่วงเช้าของวันที่มีอากาศหนาวเย็น เพราะว่าระบบปรับอากาศเพื่อให้ห้องพ่นสีมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการพ่นสีไม่สามารถทำการปรับอากาศให้อยู่ในสภาวะนั้นได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เป็นความรับผิดชอบของฝ่ายซ่อมบำรุงโดยตรง ผู้ทำงานวิจัย เป็นวิศวกรประจำฝ่ายซ่อมบำรุงจึงเป็นหน้าที่ที่จะต้องทำการแก้ไขและป้องกันปัญหาดังกล่าว ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้วางแผนงานเพื่อทำการศึกษาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยมีขั้นตอนการศึกษาวิจัยและแก้ไขปัญหาดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการทำงานของการทำโครงการวิจัย

3.1. **ศึกษาระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง**

เพื่อที่จะเข้าใจถึงกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่างในสภาพการทำงานปัจจุบันก่อนที่จะทำการปรับปรุง โดยจะแบ่งออกเป็นสองหัวข้อใหญ่ คือ กระบวนการปรับอากาศ และ กระบวนการควบคุมการปรับอากาศ โดยจะทำการศึกษาถึง แนวทางในการออกแบบของวิศวกรที่ทำการก่อสร้าง และการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ จาก คู่มือระบบปรับอากาศของผู้ก่อสร้าง จากนั้นก็จะทำการศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการปรับอากาศภายหลังจากทำการก่อสร้างแล้วเสร็จโดยจะทำการศึกษาจากรายงานผลการทดสอบกระบวนการปรับอากาศของผู้ก่อสร้าง เพื่อใช้อ้างอิงกับสภาพการทำงานในปัจจุบัน โดยจะทำการปรับค่าควบคุมต่างๆ เช่น ค่าความดันไอน้ำ หรือ อุณหภูมิของน้ำเย็น ที่จ่ายให้กระบวนการปรับอากาศเป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้น และ เพื่อที่จะทำการแก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง

จากการศึกษาปัญหาในเบื้องต้นพบว่า ที่กระบวนการปรับอากาศไม่สามารถทำการปรับอากาศได้ตามค่าเป้าหมายในช่วงเช้าของวันที่มีอากาศหนาวเย็น ก็เพราะว่าค่าเอนทาลปีของอากาศอยู่นอกค่าออกแบบ นั่นหมายถึง เกินความสามาถของกระบวนการปรับยอากาศที่จะสามารถทำการปรับอากาศให้ได้ตามค่าเป้าหมายได้

3.2. **ออกแบบการปรับปรุงระบบปรับอากาศ**

เมื่อเข้าใจถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาแล้วก็จะทำการออกแบบการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศให้เหมาะสมกับสภาพปัญหา งบประมาณ และ เวลาที่ใช้ในการทำโครงการวิจัยนี้ ซึ่งการออกแบบการปรับปรุงนี้จะต้องทำอย่างรอบคอบเพื่อที่จะลดข้อผิดพลาดต่างๆที่อาจเกิดขึ้น โดยเมื่อทำการออกแบบแล้วเสร็จก็สามารถที่จะทำการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นได้จากการคำนวณทางวิศวกรรม และ อาจจะต้องใช้ประสพการณ์จากการทำงานในโรงงานตัวอย่างประกอบด้วย ซึ่งอาจจะต้องทำการออกแบบการแก้ไขปัญหานี้ไว้หลายทางแล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด หรืออาจจะขึ้นอยู่กับผู้บริหารของโรงงานตัวอย่างจะตัดสินใจเลือก

3.3. **สรุปงบประมาณของโครงการ**

งบประมาณเป็นปัจจัยหลักในการลงทุนทางธุระกิจ ในการลงทุนที่จะทำการปรับปรุงระบบปรับอากาศนี้ก็เช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการสรุปงบประมาณ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จะต้องนำมาใช้ในการปรับปรุงนี้ การสรุปงบประมาณจะจัดทำจากการเลือกแบบแผนการปรับปรุงระบบปรับอากาศที่เหมาะสมแล้วซึ่งอาจจะมีอยู่หลายวิธีซึ่งในแต่ละวิธีก็จะมีการใช้อุปกรณ์ต่างกันไป ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ก็จะมีราคาต่างกันไปด้วย นอกจากนี้ยังจะต้องคำนึงถึง ความยากง่ายในการติดตั้ง และ บำรุงรักษา รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการใช้งานอุปกรณ์นั้นๆ เช่น ค่าไฟฟ้า เป็นต้นด้วย

3.4. สรุปรายงานนำเสนอเพื่อขออนุมัติ

หลังจากได้ข้อสรุปสาเหตุของปัญหา วิธีทางในการแก้ไข และ งบประมาณที่ต้องการใช้ ก็จะทำการสรุปรวบรวมข้อมูลต่างๆให้ผู้บริหารเข้าใจได้ง่ายเพื่อขออนุมัติงบประมาณ และ การดำเนินงานปรับปรุงตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยรายงานที่นำเสนอจะนำเสนอในรูปแบบรายงานแผ่นเดียว ประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก 6 หัวข้อดังนี้

3.4.1 ชื่อเรื่องที่นำเสนอ ให้มีความกระชับเข้าใจง่าย

3.4.2 จุดประสงค์ของการนำเสนอ บอกถึงจุดประสงค์ในการนำเสนอรายงานนี้ เช่น ต้องการการอนุมัติงบประมาณ เป็นต้น

3.4.3 ความเป็นมา และ สาเหตุ ของปัญหา อธิบายถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และ ผลที่เกิดจากปัญหานี้

3.4.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา อธิบายถึงสาเหตุที่แท้งจริงของปัญหา และ การวิเคราะห์หาสาเหตุ

3.4.5 การแก้ไขปัญหา แนวทางในการแก้ไขปัญหา

3.4.6 แผนการปฏิบัติงาน เพื่อติดตามผลการทำงาน

3.5. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการปรับปรุง

เมื่อได้รับอนุมิติจากผู้บริหารแล้ว ก็จะต้องดำเนินการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ โดยทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ต้องการจากคลังเก็บวัสดุอุปกรณ์ก่อน ถ้าไม่มีแล้วจึงดำเนินการจัดซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็นนั้น โดยจะต้องควบคุมค่าใช้จ่ายให้เป็นไปตามที่ได้จัดทำงบประมาณไว้

3.6. ดำเนินการปรับปรุงระบบปรับอากาศ

การดำเนินการปรับปรุงระบบปรับอากาศก็คือการติดตั้ง หรือ ซ่อมแซม อุปกรณ์ต่างตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ การปฏิบัติในข้อนี้ จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของการ ซ่อมแซม หรือ ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และจะต้องดำเนินงานทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขทางเวลา และ ค่าใช้จ่าย เพื่อควบคุมให้เป็นไปตามแผนงานและ งบประมาณที่ได้จัดทำไว้

3.7. การทดสอบระบบที่ปรับปรุงแล้ว

การทดสอบระบบที่ปรับปรุงแล้ว จะทำการทดสอบโดยการจำลองการทำงานก่อน นั่นคือทำการทดสอบในวันที่ไม่มีการผลิตโดยใช้อุปกรณ์จริงทั้งหมด เมื่อได้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้วจึงจะทำการทอลองระบบที่ทำการปรับปรุงแล้วในสภาพการทำงานจริง ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจใช้เวลาถึง 2 ถึง 3 เดือนในการเก็บข้อมูล

3.8. **การวิเคราะห์ผลการปรับปรุง**

ในการวิเคราะห์ผลการปรับปรุงจะนำผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศที่ทำการปรับปรุงแล้ว โดยจะทำการบันทึกผลการทำงานของระบบวันละหนึ่งครั้ง ในช่วง 8.00 น. ถึง 10.00 น. โดยจะทำการบันทึกติดต่อกันเฉพาะในวันทำงานปรกติเท่านั้นเป็นเวลา 2 ถึง 3 เดือน ถ้ากระบวนการปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามเป้าหมายนั่นคือสามารถปรับอากาศในห้องพ่นสีได้ตามสภาวะที่ต้องการ ก็สรุปได้ว่าการปรับปรุงสัมฤทธิ์ผล

3.9. **สรุปรายงานเพื่อนำเสนอ**

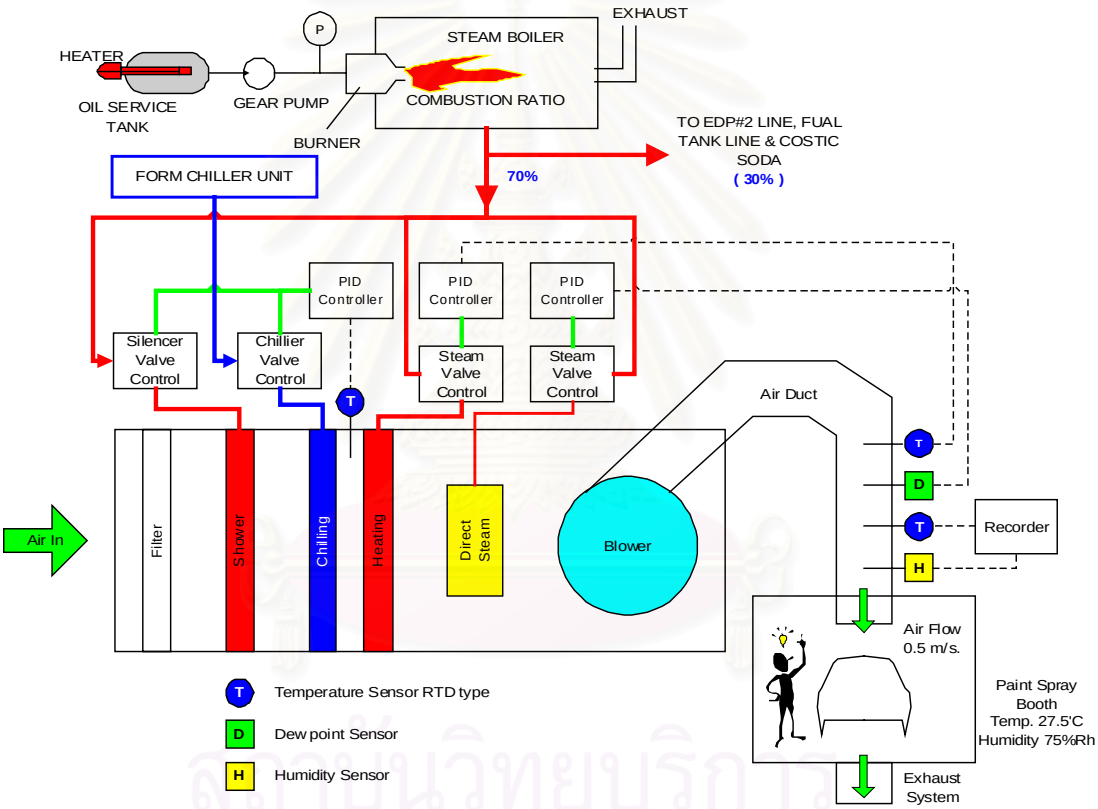
จัดทำรายงานผลของการปรับรุงกระบวนการปรับอากาศ โดยนำผลที่ได้จากหัวข้อต่างๆที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด มาทำการรวบรวม เรียบเรียงเป็นรายงานผลการนำเนินงานทั้งหมด เพื่อนำเสนอต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
หลักการทำงานของกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง

4.1 การทำงานของกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่าง

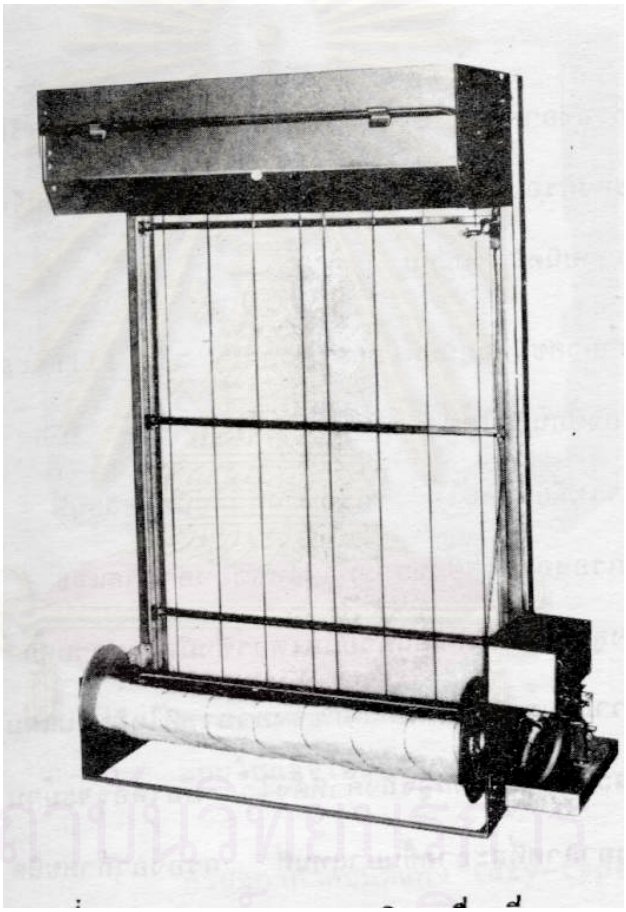
กระบวนการปรับอากาศ ประกอบไปด้วย 6 กระบวนการ ดังรูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบปรับอากาศประกอบการอธิบาย โดยแต่ละกระบวนการจะถูกกันโดยอุปกรณ์ดักอนุภาค (Eliminator) เพื่อดักฝุ่นผงและหยดน้ำที่มากับอากาศ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบปรับอากาศ

1. กระบวนการกรองอากาศ

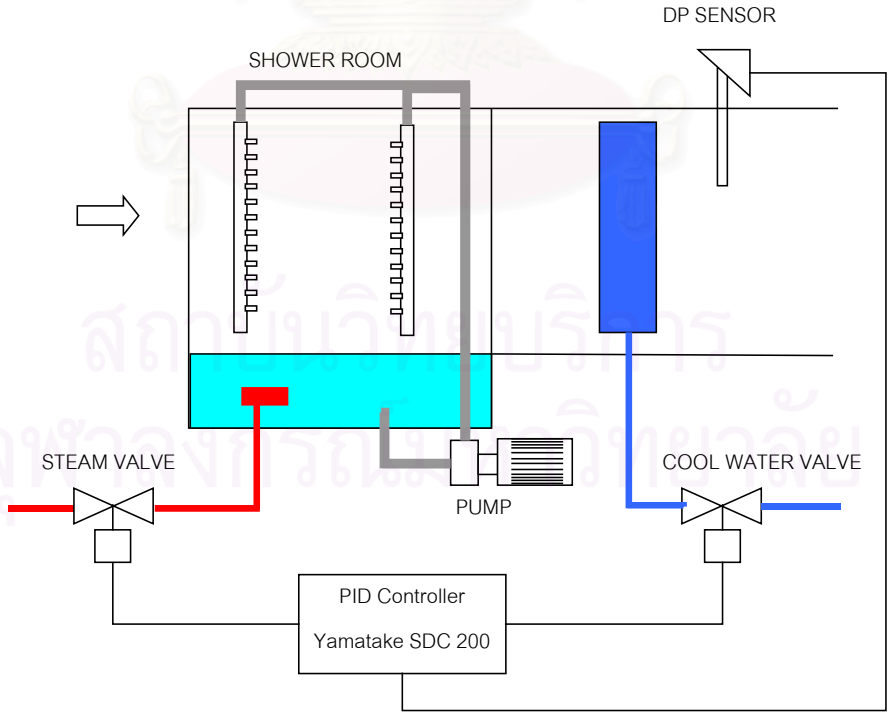
กระบวนการกรองอากาศนี้จะแบ่งการกรองออกเป็น 3 ขั้น ชั้นแรกเป็นตาข่ายเหล็กกันนก (INTAKE LOUVER) ขนาดตาราง 25 มม. ขั้นที่ 2 เป็นตาข่ายกันแมลง และ เศษฝุ่นผงขนาดใหญ่ (SARAN NET FILTER)เป็นเหล็กปลอดสนิมความละเอียดของตาราง 1 มม. ขั้นสุดท้ายเป็นเป็นระบบกรองอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ (RENEWABLE AIR FILTER) แผ่นกรองทำจากกระดาษอัด อยู่ในม้วนลูกกลิ้งมีอุปกรณ์ตรวจจับความดันตกของอากาศที่ไหลผ่าน ถ้าความดันตกเนื่องจากแผ่นกรองอากาศตันถึงจุดที่กำหนด มอเตอร์จะม้วนแผ่นกรองที่สรกปรกเข้าไปเก็บในม้วน และ ถึงเอาแผ่นกรองใหม่ขึ้นมาแทนที่ ดังรูปที่ 4.2



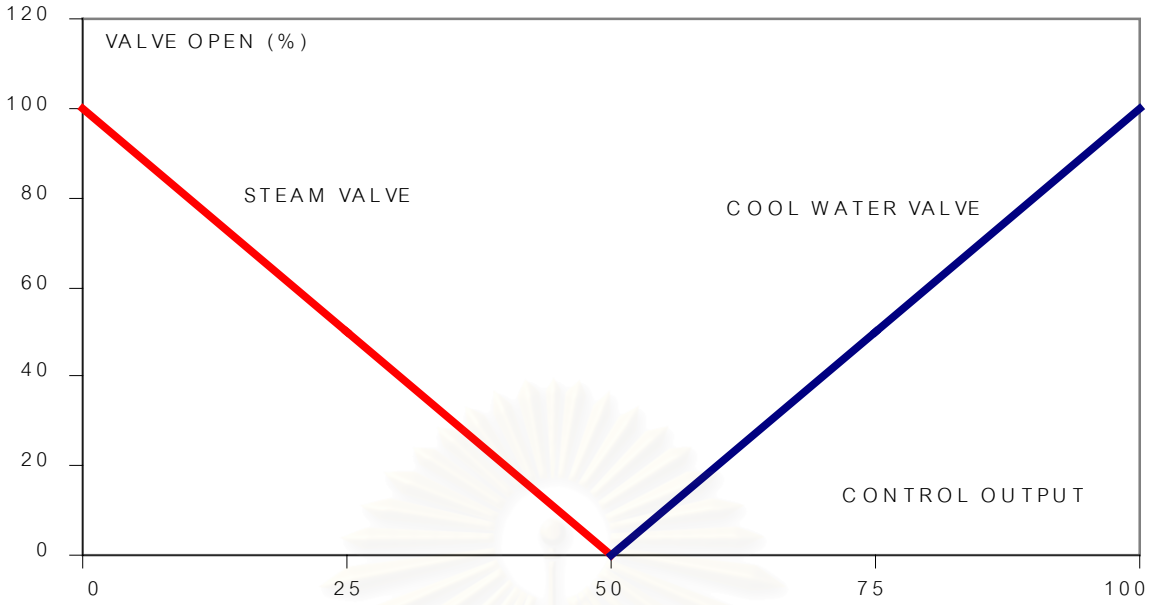
รูป 4.2 การกรองอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ (Renewable air filter)

2. ส่วนกระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัว

ในส่วนนี้จะทำการสูบน้ำจากถาดเปิดภายในระบบปรับอากาศ มาฉีดพ่นเป็นละอองฝอยเข้าไปในอากาศทำให้อากาศอิ่มตัว ในทางปฏิบัติจะสามารถทำให้น้ำระเหยได้ประมาณ 95% – 99% ทำให้อากาศที่ผ่านออกมามีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 95%Rh – 99%Rh ด้วย ดังในรูปที่ 4.3 และนอกจากนั้นในกระบวนการนี้ยังมีการเพิ่ม ความอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ เพื่อให้อากาศที่ออกจากกระบวนการมีอุณหภูมิจุดน้ำค้าง DP ที่ 23.5°เซลเซียล ในกรณีที่เอนทาลปีของอากาศมีค่าน้อยกว่าค่าเป้าหมาย การเพิ่มความอุณหภูมิของน้ำนี้จะมีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบโดยจ่ายไอน้ำร้อนให้กับน้ำในระบบเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถาดเปิดให้สูงขึ้นกว่าปรกติ ในส่วนนี้จะมีการใช้การควบคุมแบบ PROPORTIONAL INTEGRIAL DERIVATIVE (PID) ของ Yamatake รุ่น SDC 200 ในการสั่งให้วาล์วไอน้ำเปิดมากหรือน้อยเพื่อรักษาอุณหภูมิของอากาศที่จะออกจากกระบวนการ โดยจะทำงานสัมพันธ์กับกระบวนการให้ความเย็นสัมผัสที่อยู่ถัดไปด้วย โดยใช้ตัวควบคุม PID ตัวเดียวกัน โดยแบ่งส่วนควบคุมออกเป็น 2 ส่วนดังในรูปที่ 4.4 ในส่วนแรกเป็นส่วนควบคุมวาล์วจ่ายไอน้ำ ถ้าค่าควบคุมเอาต์พุตมีค่าเป็น 0 วาล์วควบคุมไอน้ำจะเปิดเต็มที่ 100% และเมื่อค่าควบคุมเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้น วาล์วควบคุมไอน้ำจะค่อยๆปิดลง จนค่าควบคุมเอาต์พุตมีค่าเป็น 50 วาล์วควบคุมไอน้ำก็จะเปิดเต็มที่คือ 0% ต่อจากนั้นเมื่อค่าควบคุมเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นไปอีกวาล์วควบคุมน้ำเย็นในกระบวนการถัดไปจะเริ่มเปิดจนเมื่อค่าควบคุมเอาต์พุตมีค่าเป็น 100 วาล์วควบคุมน้ำเย็นจะเปิดเต็มที่ 100% เช่นเดียวกัน ในส่วนของการตรวจวัดค่าอุณหภูมิเพื่อป้อนกลับให้กับตัวควบคุม PID จะใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DP) ของอากาศ ของ Yamatake ติดตั้งในตำแหน่งที่ออกจากกระบวนการที่ 3 ค่าเอาต์พุตที่ป้อนกลับเป็นสัญญานแบบ อะนาล็อค มาตรฐาน 4 – 20 mA



รูปที่ 4.3 กระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวและกระบวนการให้ความเย็นสัมผัสในระบบปรับอากาศ



รูปที่ 4.4 แผนภูมิความสัมพันธ์การเปิดปิดไอน้ำและน้ำเย็นเพื่อควบคุมค่า DP

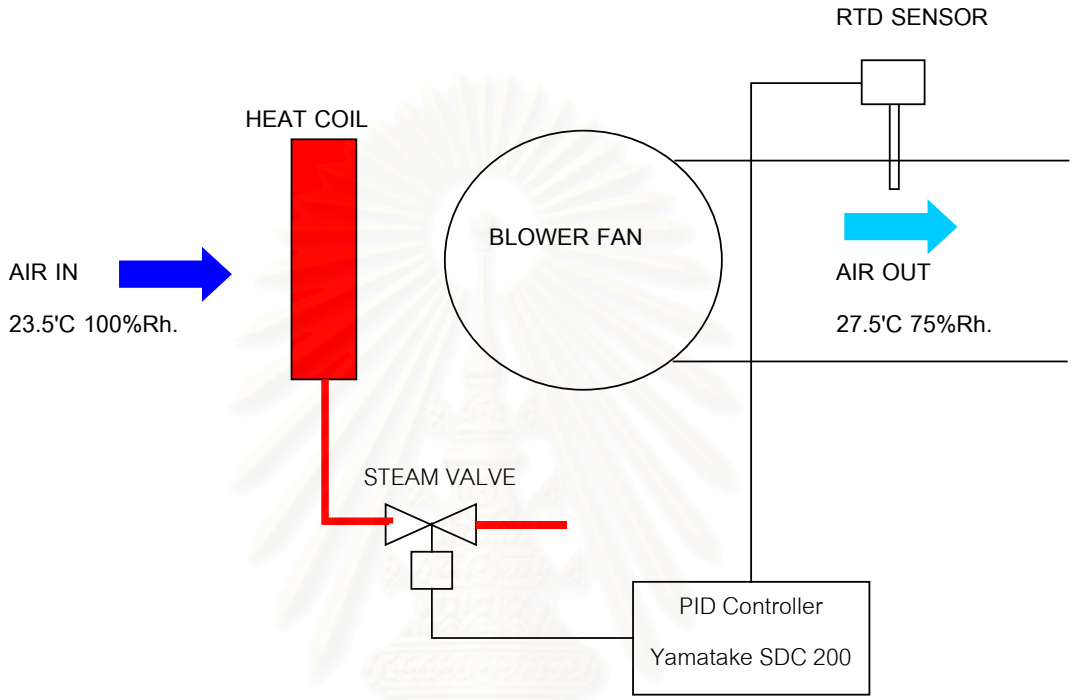
3. กระบวนการให้ความเย็นสัมผัส

แสดงในรูปที่ 4.3 เป็นกระบวนการที่ให้อากาศไหลผ่านท่อน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศลงในกรณีที่อากาศที่มาจากส่วนกระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวมีอุณหภูจุดน้ำค้างมิสูงกว่า 23.5°เซลเซียล ที่กำหนด โดยการควบคุมจะใช้ระบบการควบคุมแบบ PID โดยจะใช้ตัวควบคุมร่วมกับกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถาดเปิดดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2

4. กระบวนการให้ความร้อนสัมผัส

ในกระบวนการนี้อากาศจะไหลผ่านท่อไอน้ำร้อน ทำหน้าที่เพิ่มความร้อนสัมผัสเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้มีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27.5°เซลเซียล จากอากาศที่มีค่าอุณหภูมิ DP = DB = WB 23.5°เซลเซียล ซึ่งในกระบวนการนี้ไม่มีการให้หรือดึงความชื้นออกจากอากาศจึงทำให้ในกระบวนการนี้ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศจะคงที่ แต่เนื่องจากค่าอุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนไป ค่าความกดดันอากาศเปลี่ยนไปซึ่งจะทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไปมีค่าประมาณอยู่ระหว่าง 75%Rh – 80%Rh ดังที่แสดงในรูปที่ 4.5 การควบคุมกระบวนการนี้จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับเช่นเดียวกัน โดยใช้ตัวควบคุม PID Yamatake รุ่น SDC 200 เช่นเดียวกันโดยจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศแบบ RTD 100 Ω ที่ปล่องจ่ายอากาศหลังจากผ่านพัดลมดูดอากาศแล้ว ตัวควบคุม PID จะทำการควบคุมวาล์วไอน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านออก

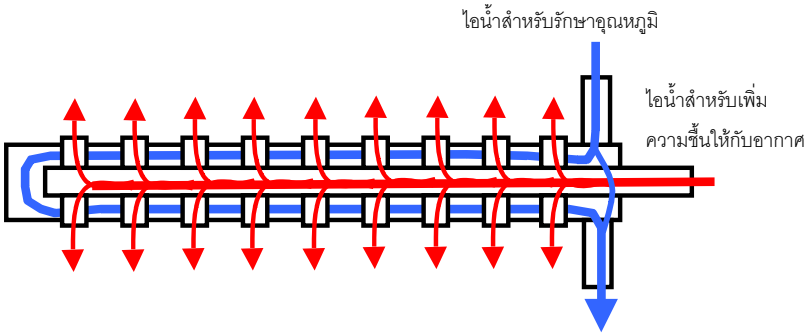
จากกระบวนการ โดยเมื่อค่าควบคุมเอาต์พุตเป็น 0 วาล์วไอน้ำจะปิดเต็มที่ที่ 0% แต่เมื่อค่าควบคุมเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นวาล์วไอน้ำจะค่อยๆเปิดมากขึ้นจนเปิดเต็มที่ 100% เมื่อค่าควบคุมเอาต์พุตเป็น 100



รูปที่ 4.5 กระบวนการให้ความร้อนสัมผัส

5. กระบวนการเอไดอาแบติคโดยใช้ไอน้ำร้อน

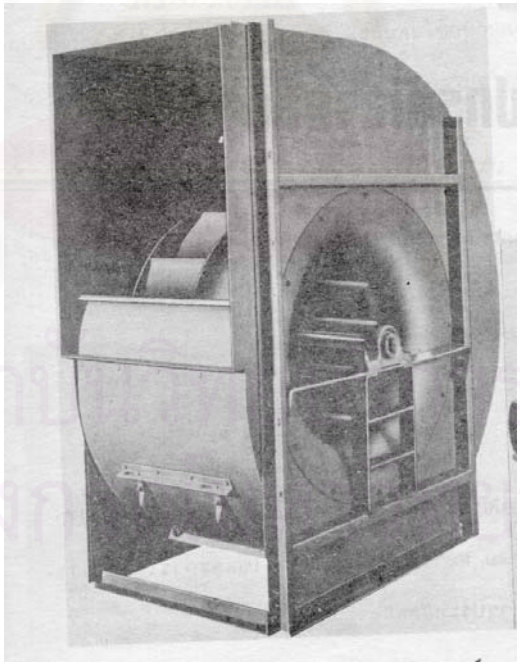
ในกรณีที่กระบวนการที่ 2 ถึง กระบวนการที่ 4 ไม่สามารถทำการปรับสภาพอากาศให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ ในส่วนของกระบวนการนี้ก็จะเริ่มทำงานโดยจะทำการปล่อยไอน้ำร้อนออกมาเพื่อทำการปรับค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ โดยกำหนดค่าเป้าหมายเป็นค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 23.5 องศาเซลเซียล ในส่วนควบคุมของกระบวนการนี้ก็จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID Yamatake รุ่น SDC 200 เช่นกัน อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ของ Yamatake ค่าเอาต์พุตที่ป้อนกลับเป็นสัญญานแบบ อะนาล็อค มาตรฐาน 4 – 20 mA ติดตั้งในตำแหน่งปล่องจ่ายอากาศ แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กระบวนการเอไดอาแบติคโดยใช้ไอน้ำร้อน

6. กระบวนการดูดจ่ายอากาศ

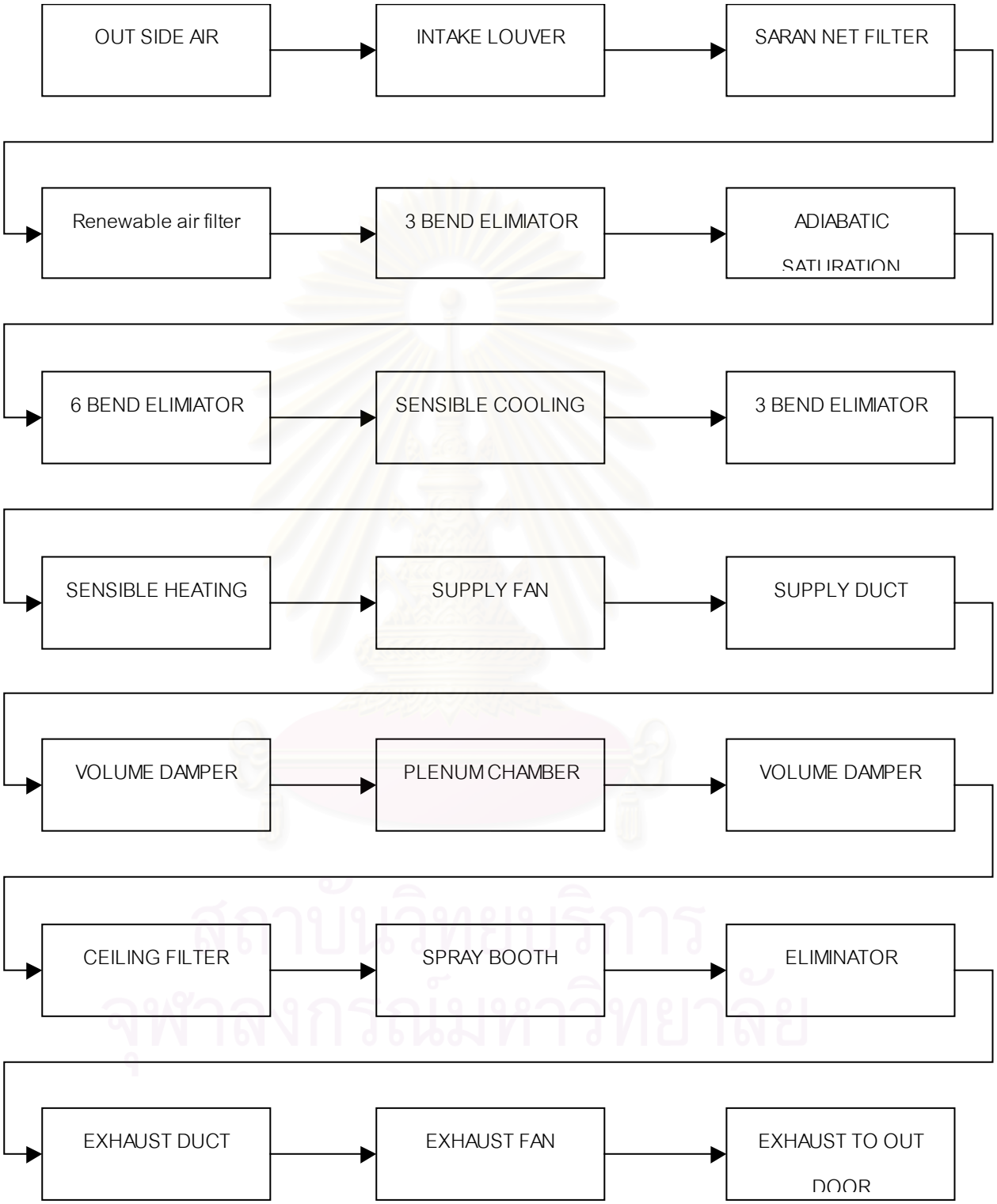
ในกระบวนการนี้จะมีพัดลมแบบเซ็นตริฟูกอล ชนิด ใบพัดแอร์ฟรอยล์ ขนาดกำลังส่งอากาศปรกติ 2,000 ลูกบาศ์เมตร / นาที จำนวน 3 ตัว ต่อ 1 หน่วยปรับอากาศ ทำหน้าที่ส่งอากาศไปยังห้องพ่นสีโดยสามารถควบคุมปริมาตรอากาศได้โดยใบดักลม (Van damper) เป็นตัวควบคุม โดยเมื่อทำงานเต็มที่จะสามารถส่งอากาศได้ประมาณ 6,000 ลูกบากศ์เมตร / นาที ต่อ หน่วยปรับอากาศ 1 หน่วย



รูปที่ 4.7 บัดลมแบบเซ็นตริฟูกอล ชนิด ใบพัดแอร์ฟรอยล์

4.2 ลำดับขั้นการทำงานของกระบวนการปรับอากาศ

สำหรับการทำงานของกระบวนการปรับอากาศในหัวข้อที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ด้วยแผนภูมิดังแสดงในรูปที่ 4.8

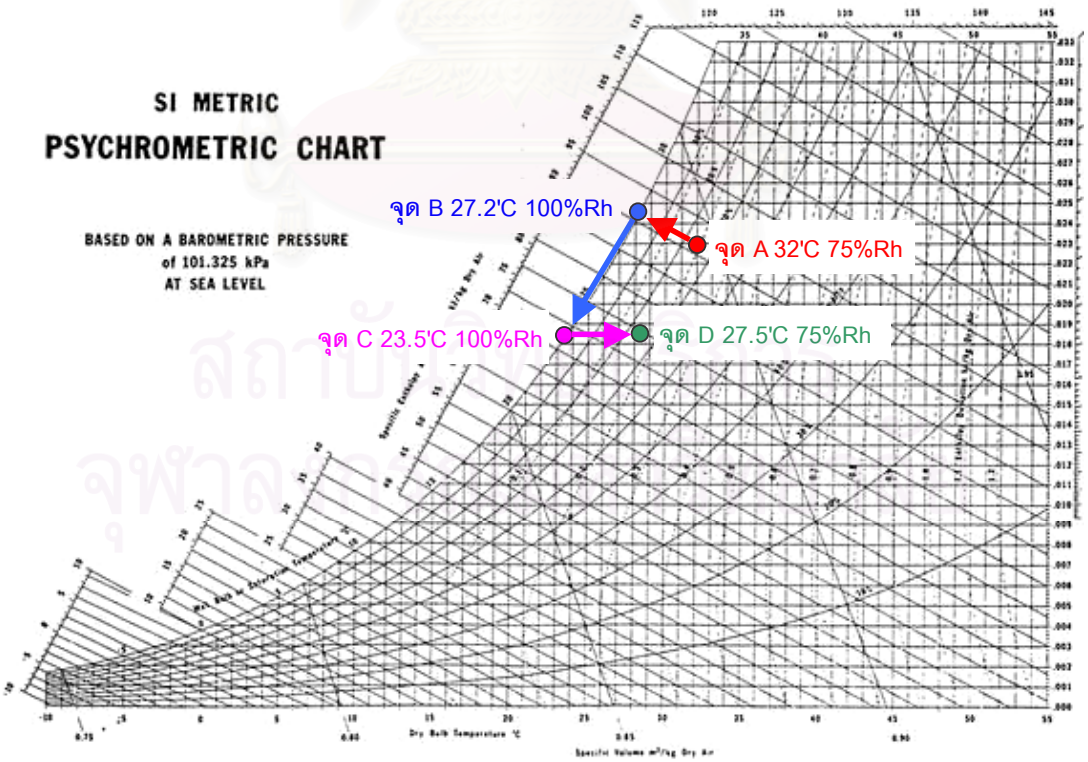


รูปที่ 4.8 แผนภูมิการทำงานของกระบวนการปรับอากาศ

4.3 กระบวนการปรับอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริค

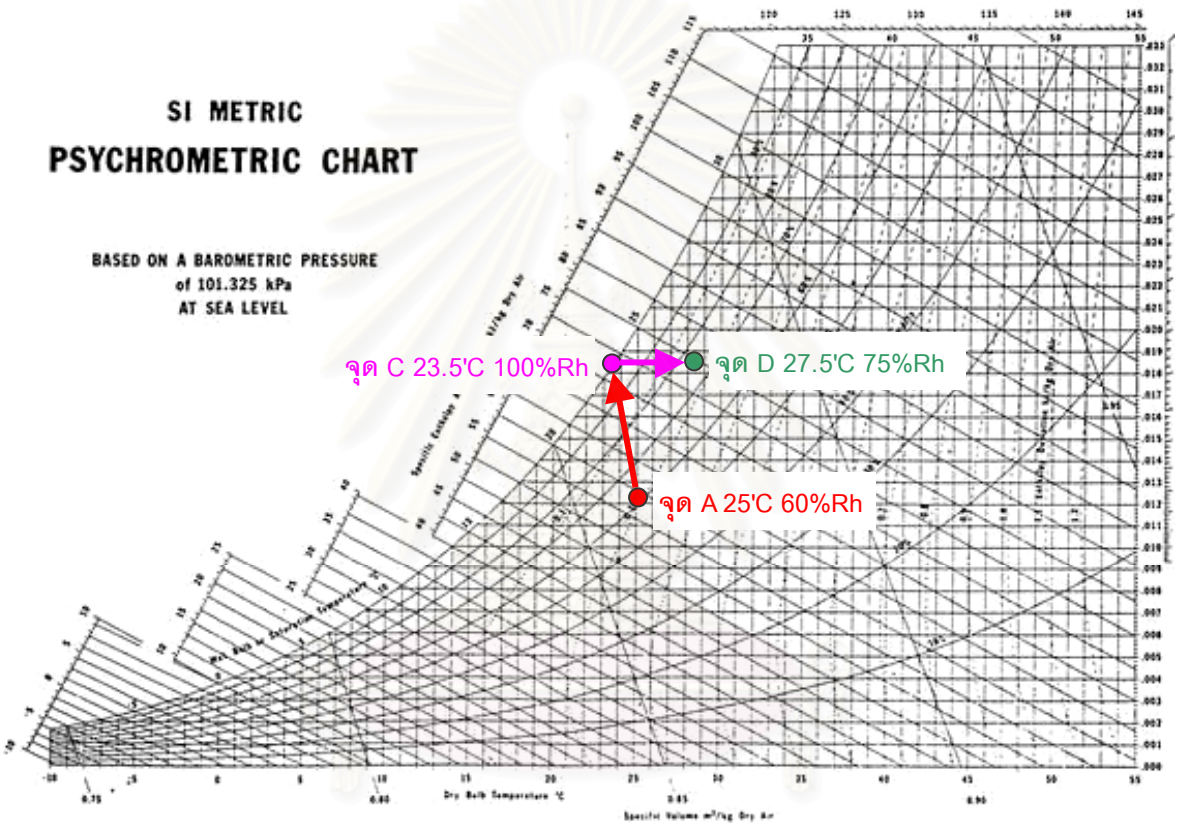
จากกระบวนการปรับอากาศทั้ง 6 กระบวนการจะสามารถนำกระบวนการที่ 2 ถึงกระบวนการที่ 5 มาเขียนลงในแผนภูมิไซโครเมตริคได้เป็น 2 กรณี คือ ในกรณีที่สภาพอากาศภายนอกมีค่าเอนทาลปีสูงกว่าค่าเป้าหมายและในกรณีที่สภาพอากาศภายนอกมีค่าเอนทาลปีต่ำกว่าค่าป้าหมาย ในขณะที่ค่าเป้าหมายอยู่ที่อุณหภูมิ 27.5 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 75% Rh ซึ่งจะมีค่าเอนทาลปีอยู่ที่ 78 kJ / kg ซึ่งทั้ง 2 กรณีจะมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 กรณีที่สภาพอากาศภายนอกมีค่าเอนทาลปีสูงกว่าค่าเป้าหมาย โดยสมมุติกำหนดให้อากาศภายนอกมีอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 75% Rh ค่าเอนทาลปีจะมีค่าเท่ากับ 91 kJ / kg ซึ่งสูงกว่าค่าเป้าหมาย จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นกระบวนการปรับอากาศ (จุด A) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ในกระบวนการที่ 2 จะเป็นกระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวจะทำให้อากาศมีค่า DB, WB และ DP เท่ากันที่ อุณหภูมิ 27.2 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 100% Rh ที่จุด B จากนั้นกระบวนการที่ 3 กระบวนการให้ความเย็นสัมผัสอากาศอิ่มตัวจะไหลผ่านท่อน้ำเย็นทำให้อุณหภูมิลดลงมาอยู่ที่ 23.5 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 100% Rh ที่จุด C ตามที่กำหนดเป็นค่าเป้าหมายของตัวควบคุม PID ที่ควบคุมค่า DP จากนั้นอากาศจะไหลผ่านกระบวนการที่ 4 กระบวนการให้ความร้อนสัมผัส อากาศจะไหลผ่านท่อไอน้ำร้อนที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ที่มีค่าเป้าหมายอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียล เมื่ออากาศร้อนขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงอยู่ที่ 75% Rh คือจุด D ในแผนภูมิไซโคเมตริค รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กระบวนการปรับอากาศในกรณีที่เอนทาลปีของอากาศภายนอกสูงกว่าค่าเป้าหมาย

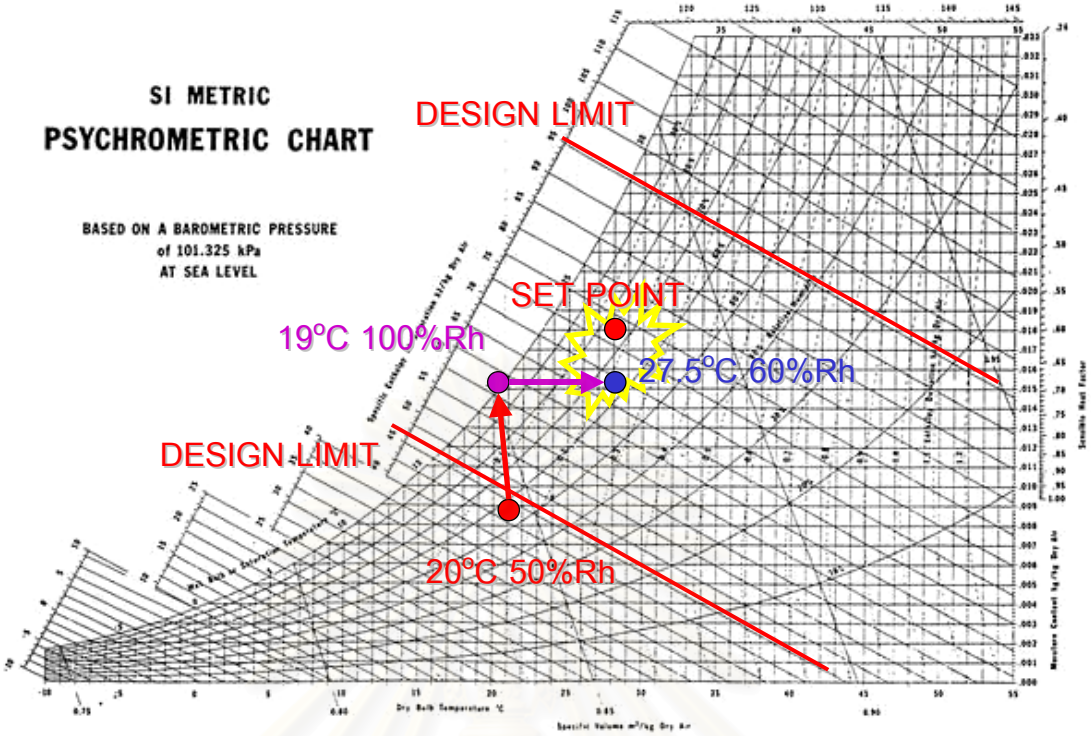
ตัวอย่างที่ 2 กระบวนการปรับอากาศในกรณีที่เอนทาลปีของอากาศต่ำกว่าค่าเป้าหมาย โดยสมมุติให้เริ่มต้นกระบวนการที่จุด A อากาศมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 60% Rh ในกระบวนการที่ 2 ที่เป็นกระบวนการ เอไดอาแบติคอิ่มตัว น้ำที่นำมาฉีดพ่นจะถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยการเติมไอน้ำร้อน 180 องศาเซลเซียล ทำให้ในกระบวนการนี้มีการเพิ่มความร้อนสัมผัสไปพร้อมกันด้วยโดยควบคุมด้วยตัวควบคุม PID เพื่อที่จะทำให้ได้ค่า DP ตามเป้าหมายที่จุด C โดยที่ตัวควบคุมจะไม่สั่งให้เปิดน้ำเย็นให้ไหลเข้าไปในท่อในกรณีนี้จึงไม่มีจุด B ในกระบวนการ จากนั้นอากาศจะไหลผ่านท่อไอน้ำร้อนในกระบวนการที่ 4 เพื่อเพิ่มความร้อนสัมผัสมาที่จุด D ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายของกระบวนการปรับอากาศในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กระบวนการปรับอากาศในกรณีที่เอนทาลปีของอากาศต่ำกว่าค่าเป้าหมาย

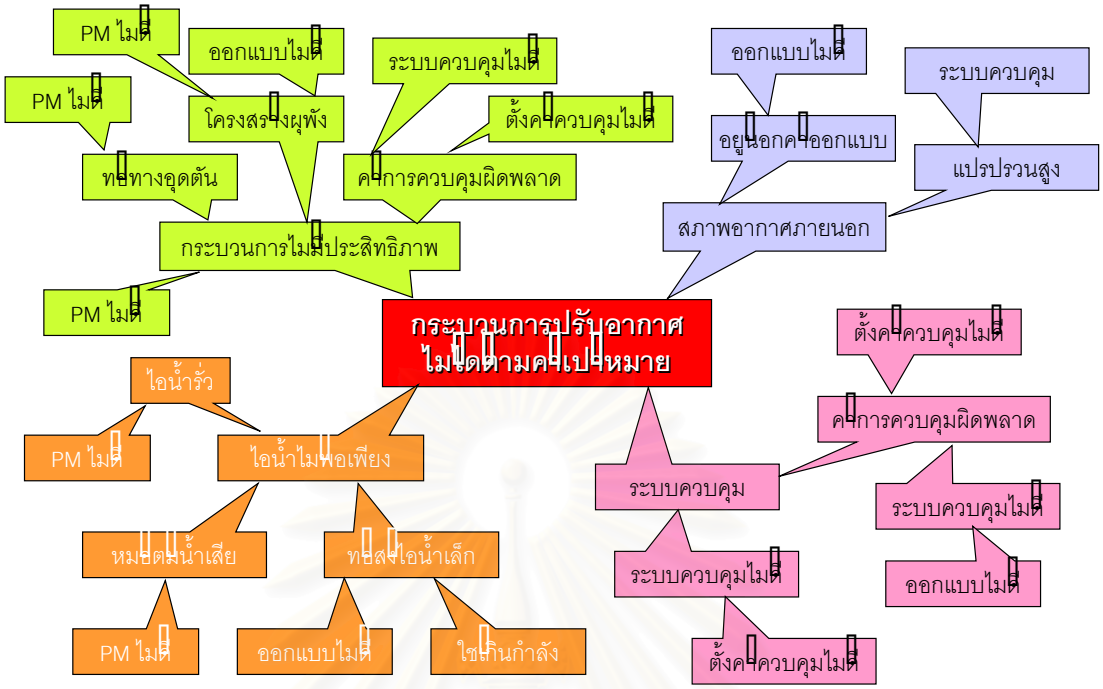
4.4 ปัญหาของกระบวนการปรับอากาศ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทนำ ปัญหาของระบบปรับอากาศส่วนใหญ่เกิดจากการที่สภาพอากาศภายนอกมีค่าเอนทาลปีต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่วิศวกรออกแบบได้ประมาณการไว้ในการออกแบบระบบปรับอากาศในช่วงหน้าหนาว โดยที่ค่าต่ำสุดในการออกแบบอยู่ที่ ค่าเอนทาลปีเท่ากับ 46 kJ / kg ดังนั้นเมื่อสภาพอากาศมีค่าเอนทาลปีต่ำกว่า หรือ เข้าใกล้ค่านี้ก็จะทำให้ระบบปรับอากาศไม่สามารถทำการปรับอากาศให้ได้ตามค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้เนื่องจากการออกแบบในกระบวนการเอไดอาแบติกอิ่มตัวในกระบวนการที่ 2 ที่มีการเพิ่มความร้อนด้วยไอน้ำให้กับน้ำที่เอามาฉีดในกระบวนการสามารถที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นได้สูงสุด 5 องศาเซลเซียล ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้แสดงได้บนแผนภูมิไซโคเมตริคในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กระบวนการปรับอากาศที่ไม่ได้ตามค่าเป้าหมาย

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มาจัดทำเป็นแผนภูมิการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีระดมมันสมองของผู้ที่เกี่ยวข้องคือ ผู้ทำวิจัยและช่างประจำฝ่ายซ่อมบำรุง วิธีการนี้ทำได้โดยเขียนปัญหาไว้ตรงกลางแล้วหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหานั้นเรียกว่า สาเหตุหลัก จากนั้นก็ทำการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดของผลของสาเหตุหลักของปัญหานั้นเรียกว่า สาเหตุรอง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆเป็นขั้นๆจนสาเหตุรองไม่เกี่ยวเนื่องกับสาเหตุหลัก ก็ให้หยุดการค้นหาสาเหตุ การค้นหาสาเหตุของปัญหาได้ดังที่แสดงไว้ที่รูปที่ 4.12 ซึ่งสาเหตุหลักในขั้นที่ 1 ประกอบไปด้วย สภาพอากาศภายนอก, ระบบควบคุม, พลังงานไม่เพียงพอ, ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศเอง จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ได้พบว่าสาเหตุทั้งหมดมีความเกี่ยวเนื่องกันเป็นลูกโซ่ คือเมื่อค้นหาสาเหตุรองของปัญหาไปแล้วจะพบว่าเป็นสาเหตุหลักของอีกสาเหตุหนึ่ง เช่น สาเหตุหลักคือ ความแปรปรวนของสภาพอากาศภายนอก ทำให้กระบวนการปรับอากาศไม่สามารถทำงานได้ตามเป้าหมาย แต่ถ้าทำการออกแบบการควบคุมให้มีความยืดหยุ่นก็จะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ในระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงนำระบบควบคุมมาเป็นสาเหตุรองของปัญหานี้ ซึ่งระบบการควบคุมก็จัดเป็นสาเหตุหลักอันหนึ่งด้วย เป็นต้น



รูปที่ 4.12 การค้นหาสาเหตุของปัญหา

จากการศึกษาถึงมาตรฐานของความต้องการในห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง พบว่าความต้องการอุณหภูมิ และ ความชื้น นั้น มีค่าเป็นช่วงอยู่ คือ ต้องการอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26 องศาเซลเซียล ถึง 29 องศาเซลเซียล และ ต้องการค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 60 %Rh ถึง 90 %Rh แต่เนื่องจากระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศที่เป็นแบบ PID ไม่มีความยืดหยุ่นในการควบคุมจึงพยายามที่จะปรับอากาศให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย แต่ก็ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากถูกจำกัดด้วยความสามารถของกระบวนการเอง ดั่งเช่นตัวอย่างในรูปที่ 4.11 เมื่อสภาพอากาศภายนอกมี อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %Rh ซึ่งที่สภาวะนี้จะมีค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างอยู่ที่ 14 องศาเซลเซียล ความสามารถของกระบวนการตามการออกแบบ สามารถที่จะปรับเพิ่มอุณหภูมิจุดน้ำค้างในกระบวนการที่ 2 ได้ 5 องศาเซลเซียล ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการที่ 2 อากาศจะมีอุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียล และ ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %Rh และเมื่อผ่านกระบวนการที่ 4 และกระบวนการที่ 5 แล้ว ตัวควบคุมแบบ PID จะพยายามเพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียล แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปแล้วจะทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงมาอยู่ที่ 60 %Rh และมีค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างอยู่ที่ 22 องศาเซลเซียล ซึ่งต่ำ

กว่าค่าเป้าหมาย ดังนั้นกระบวนการที่ 5 จึงทำการปรับค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยปล่อยไอน้ำออกมาเพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายที่ 23.5 องศาเซลเซียล แต่การปรับสภาพตรงจุดนี้จะต้องใช้ไอน้ำมากจะทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าลดลงจนต่ำกว่าค่าเป้าหมาย นั่นหมายถึงกระบวนการต้องการพลังงานมากกว่าที่สามารถผลิตได้ ซึ่งการตรวจสอบจะขออ้างถึงความสามารถของหม้อไอน้ำ และความต้องการพลังงานของกระบวนการดังนี้

ความสามาถของหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่างสามารถผลิตไอน้ำได้ 7 ตันต่อชั่วโมง โดยที่ได้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียล ความดัน 8 kg / cm^2 ซึ่งโรงงานตัวอย่างมรหม้อไอน้ำทั้งหมด 3 หน่วย

การคำนาณพลังงานที่ได้จากหม้อต้มน้ำ

BOILER CAPACITY	=	7	Ton / h, 3 unit
TOTAL STEAM OUT PUT	=	21	Ton / h
TEMPERATURE	=	180	^{o}C
PRESSURE	=	0.8	Mpa

จากตารางคุณสมบัติไอน้ำ

SPRCIFIC VOLUM	=	0.2404	m^3 / kg
SATURATED LIQUID	=	0.001	kJ / kg (น้อยมาก จึงไม่นำมาคิด)
SATURATED VAPOR ENTHALPY	=	2778	kJ / kg

ดังนั้น

พลังงานทั้งหมดที่ได้	=	(21 x 1,000)	kg / h x 2778 kJ / kg
	=	58,338,000	kJ / h
	=	972,300	kJ / min.

พลังงานทั้งหมดต้องแบ่งจ่ายให้กับกระบวนการอื่นๆ 30 % ที่เหลือจ่ายให้กับกระบวนการปรับอากาศ 70 %

ดังนั้นพลังงานที่จ่ายให้กับกระบวนการปรับอากาศ

	=	680,610	kJ / min.

การคำนวณการใช้พลังงานของกระบวนการปรับอากาศ

จากแผนภูมิไซโคเมตริคค่าความแตกต่างของเอนทาลปีของค่าออกแบบต่ำสุดกับค่าเป้าหมาย

ค่าออกแบบต่ำสุด	=	46	kJ / kg
ค่าเป้าหมาย	=	72	kJ / kg
ดังนั้น Δh_t	=	26	kJ / kg

ระบบปรับอากาศ 1 หน่วยใช้พัดลมขนาด 2,000 m^3 / min. จำนวน 3 ตัว มีระบบปรับอากาศที่ใช้ในโรงงานทั้งหมด 4 หน่วย (สำหรับห้องพ่นสีรองพื้น 2 หน่วย และ สำหรับห้องพ่นสีขั้นสุดท้าย 2 หน่วย)

ดังนั้นอากาศไหลทั้งหมด	=	2,000 m^3 / min. x 3 x 4	
	=	24,000 m^3 / min.	

อากาศมาตรฐาน 1 m^3 หนัก = 1.16 kg / m^3

ดังนั้นมวลอากาศไหลทั้งหมด = 1.16 kg / m^3 x 24,000 m^3 / min.

= 27,840 kg / min.

พลังงานที่ต้องการ = Δh_t kJ / kg x m kg / min.

= 26 kJ / kg x 27,840 kg / min.

= 723,840 kJ / min.

จากการคำวณทำให้ทราบได้ว่าถ้าสภาพอากาศอยู่ไกล้ค่ากำหนดออกแบบจะทำให้ระบบปรับอากาศไม่สามาถทำการปรับอากาศให้ได้ค่าเป้าหมายได้เพราะมีพลังงานไม่พอเพียงต่อการปรับอากาศให้ได้ตามค่าเป้าหมาย นั่นคือหม้อต้มไอน้ำสามารถที่จะผลิตพลังงานให้กับกระบวนการปรับอากาศได้ 680,610 kJ/min. แต่กระบวนการปรับอากาศมีความต้องการพลังงานเมื่อมีค่าเอนทาลปีเข้าใกล้ค่ากำหนดออกแบบจะต้องการพลังงาน 723,840 kJ/min.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การออกแบบและปรับปรุงระบบปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง

5.1. แนวคิดในการออกแบบปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

จากการหาสาเหตุของปัญหาในบทที่ 4 พบว่าสาเหตุที่แท้จริงเกิดจากมีพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับกระบวนการปรับอากาศไม่พอเพียงเมื่อสภาพอากาศภายนอกมีความแปรปรวนมี เอนทาลปี อยู่ใกล้หรือออกนอกค่ากำหนดออกแบบ ทางแก้ไขปัญหานี้อาจทำได้โดยติดตั้งหม้อต้มไอน้ำเพิ่มเพื่อรองรับการใช้พลังงานที่มากขึ้น แต่วิธีการดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องใช้เงินลงทุนสูง และยังต้องใช้เวลามากในการติดตั้งที่ยาวนานอีกด้วย นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการใช้หม้อต้มไอน้ำด้วย จากการประมารการต้องใช้งบประมาณ 5 ล้านบาทในการซื้ออุปกรณ์และติดตั้ง และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอีก 8,000 – 12,000 บาทต่อวัน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอีกปีละประมาณ 152,000 บาท ข้อมูลนี้ได้มาจากโรงงานตัวอย่างนี้เอง ดังนั้นจึงต้องหาทางแก้ไขที่มีความเหมาะสมมากกว่าในทางเศรฐศาสตร์เพราะว่าปัญหาการหยุดผลิตที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือน มกราคม ของปีถัดไปเท่านั้น ในการหยุดผลิตโรงงานตัวอย่างจะเกิดความสูญเสีย 180,000 บาท ต่อการหยุดผลิต 1 นาที ดังนั้นหากคิดถึงความคุ้มค่าในการลงทุนแล้วจะพบว่าไม่คุ้มค่าในการลงทุน

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กระบวนการปรับอากาศไม่สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เพราะไม่มีความยืดหยุ่นของระบบควบคุมทำให้การปรับอากาศมุ่งเน้นให้ได้ค่าเป้าหมายโดยไม่ได้คำนึงถึงความแปรปรวนของสภาพอากาศภายนอก และ ข้อจำกัดของพลังงานที่มีอยู่ ดังนั้นถ้าสามารถที่จะทำให้ระบบควบคุมมีความยืดหยุ่น ปรับสภาพการควบคุมตามความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ โดยคำนึงถึงข้อจำกัดของพลังงานที่มีอยู่ และค่าตัวแปรของกระบวนการต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ก็จะสามารถช่วยลดการสูญเสียจาการหยุดผลิตได้ แต่ก็มีข้อด้อยคือถ้าสภาพอากาศภายนอกมีความแปรปรวนมากจนออกนอกข้อจำกัดพลังงานที่มีอยู่กระบวนการปรับอากาศก็จะล้มเหลวไม่สามารถปรับอากาศให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เช่นในระบบควบคุมแบบเก่า ในเรื่องของค่าใช้จ่ายงบประมาณในการลงทุนปรับเปลี่ยนระบบควบคุมนั้น ก็ใช้เงินลงทุนไม่มากนัก ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ เช่นถ้าใช้ระบบฟัซซี่ลอจิกในการปรับปรุงก็จะใช้งบประมาณ 280,000 บาท ในการจัดหาอุปกรณ์ 25,000 บาท ในการติดตั้ง ส่วนค่าใช้จ่ายในการใช้งานที่เพิ่มขึ้นก็มาจากค่าไฟฟ้าที่ใช้ประมาณ 1 หน่วย คือ 2.50 บาทต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งหม้อต้มไอน้ำเพิ่มแล้วจะพบว่าการปรับปรุงระบบควบคุมมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า

อีกทางเลือกหนึ่งคือการใช้วิธีการปรับค่าเป้าหมายของระบบควบคุมแบบเดิมโดยใช้คนทำการคำนวณและปรับค่าเป้าหมายตามสภาพอากาศที่แปรเปลี่ยนไป (MANUAL SETTING) วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้งบในการลงทุนติดตังอุปกรณ์ใดๆเพิ่มเติม แต่จะต้องใช้บุคลากรที่มีความเข้าใจในกระบวนการปรับอากาศซึ่งอาจจะต้องเป็นวิศวกร หรือจัดทำมาตราฐานการทำงานให้เข้าใจได้ง่ายเพื่อให้พนักงานทั่วไปสามารถที่จะทำการปรับค่าเป้าหมายที่ตัวควบคุมกระบวนการปรับอากาศได้ มาทำการปรับค่าเป้าหมายที่แปรเปลี่ยนไปตามสภาพ

อากาศภายนอกอยู่ตลอดเวลา ถ้านำมาคิดเป็นจำนวนแรงงานที่ต้องใช้อาจต้องใช้แรงงานวันละ 1 ชั่วโมงในการปรับแต่งค่าเป้าหมายต่อ 1 วันทำงาน โรงงานตัวอย่างทำงานโดยเฉลี่ยปีละ 250 วัน ค่าแรงงานพนักงานระดับปฏิบัติการเฉลี่ยชั่วโมงละ 130 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการปรับแบบ MANUAL SETTING นี้ต้องใช้เงินปีละ 32,500 บาท ข้อดีของการใช้คนปรับค่าเป้าหมายนี้คือไม่มีการลงทุนเพิ่ม แต่ก็สามารถที่จะแก้ไขปัญหาได้ ข้อเสียก็คือ ถ้าสภาพอากาศภายนอกมีความแปรปรวนเกินขีดจำกัดของการออกแบบกระบวนการปรับอากาศก็จะไม่สามารถทำการปรับอากาศให้ได้ค่าเป้าหมายเช่นเดียวกันกับการใช้วิธีปรับปรุงระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงในเรื่องของความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากคนทำงานผิดพลาด (MISS OPERATEATION) อีกด้วย ซึ่งการเปรียบเทียบการปรับปรุงทั้ง 3 แบบได้แสดงในตารางที่ 5.1 จากตารางเปรียบเทียบนี้จะเห็นได้ว่าโดยรวมแล้วการปรับปรุงระบบควบคุมแบบอัตโนมัติน่าจะเหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ เนื่องจากใช้งบประมาณไม่สูงมากนักและมีความน่าเชื่อถือมากว่าการใช้วิธีการปรับค่าเป้าหมายแบบใช้คนปรับ

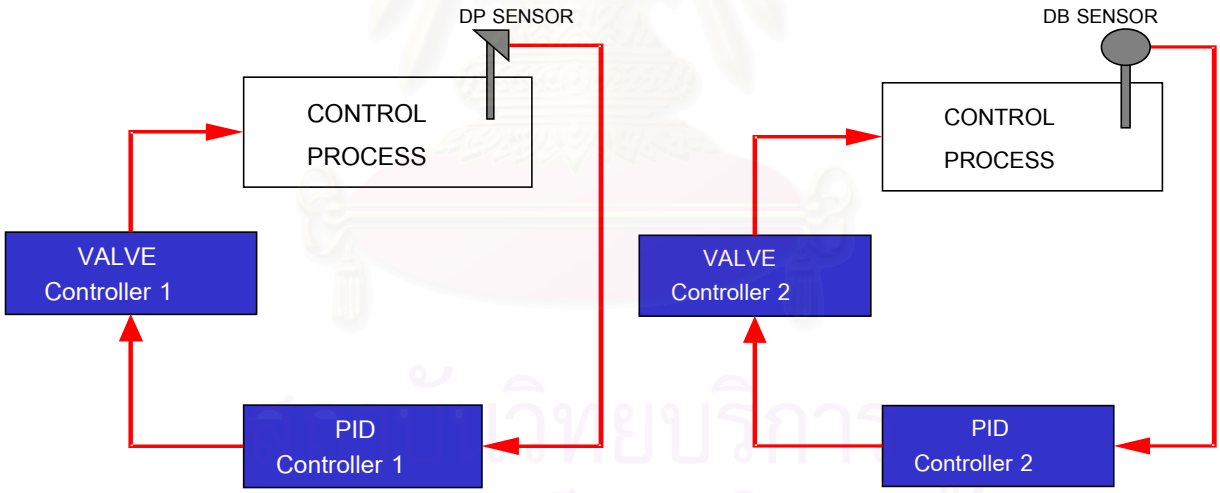
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

รายการ	หม้อต้มไอน้ำ	ระบบควบคุมอัตโนมัติ	ระบบควบคุมโดยคน
งบประมาณการซื้อและติดตั้ง	5 ล้านบาท	330,000 บาท	0 บาท
ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน	2.5 ล้านบาท / ปี	625 บาท / ปี	32,500 บาท / ปี
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	152,000 บาท / ปี	25,000 บาท / ปี	0 บาท
รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	2,652,000 บาท	25,625 บาท	32,500 บาท / ปี
ความเสี่ยงเนื่องจากการปรับแต่ง	ไม่มี	ไม่มี	มี
ความเสี่ยงเมื่ออากาศแปรปรวนสูง	ไม่มี	ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดออกแบบ	
สูญเสียจากกระบวนการปรับอากาศ	290 นาที / ปี		
ค่าสูญเสียต่อปี (เฉลี่ย)	5,220,000 บาท		
คุ้มทุน	25 ปี	0.1 ปี	0 ปี

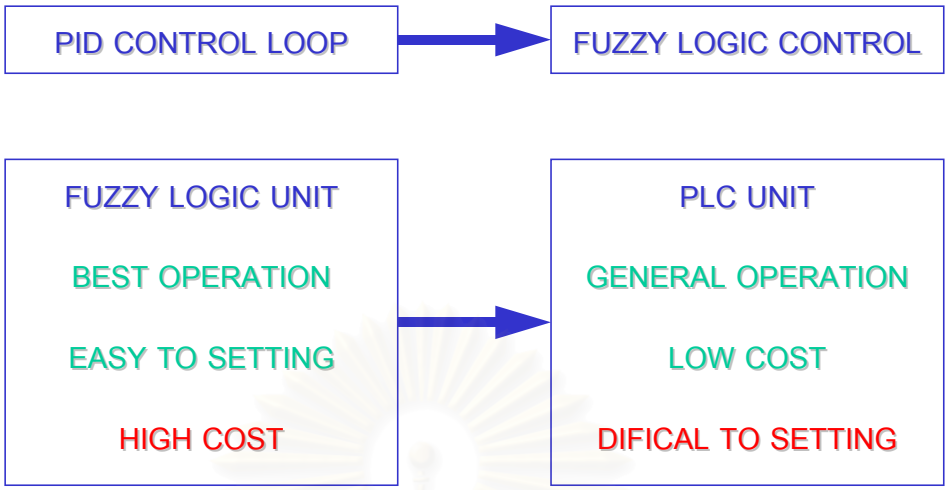
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2. การออกแบบการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

การปรับปรุงระบบควบคุมของกระบวนการปรับอากาศของโรงงานตัวอย่างซึ่งการควบคุมใช้เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ หรือ PID ซึ่งได้แสดงรูปแบบการควบคุมอย่างง่ายๆในรูปที่ 5.1 ข้อเสียของระบบแบบ PID นี้คือ ความไม่ยืดหยุ่นของระบบ การแก้ไขข้อบกพร่องนี้ทำได้โดยการใช้ระบบ ฟัซซี่ลอจิก เข้ามาช่วยในการควบคุมทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นได้ นั่นคือสามารถที่จะทำให้การควบคุมแปรผันไปตามสภาพอากาศภายนอกโดยให้ค่าเป้าหมายอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การใช้ระบบฟัซซี่ลอจิกนี้ สามารถใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้โดยตรงโดยใช้สมการในการคำนวณภายในตัวอุปกรณ์เอง หรือ อาจจะใช้อุปกรณ์ควบคุมอื่นๆที่สามารถทำการคำนวณได้และส่งค่าต่างๆออกมาในรูปแบบที่ต้องการได้ เช่น อุปกรณ์ควบคุมแบบ PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) แต่ข้อเสียของการใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ PLC ก็คือต้องทำการแปลงสมการที่ใช้ในการคำนวนให้มาอยู่ในรูปของคำสั่งที่มีใช้ในอุปกรณ์ PLC นั้น แต่เนื่องจากภายในโรงงานตัวอย่างมีการใช้ PLC ของ MITSUBISHI อยู่แล้ว และ เนื่องจากข้อจำกัดทางงบประมาณ จึงลือกใช้ PLC มาเป็นตัวช่วยในการคำนวณ แนวคิดในการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศดังที่กล่าวมาแล้วสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ตามรูปที่ 5.2

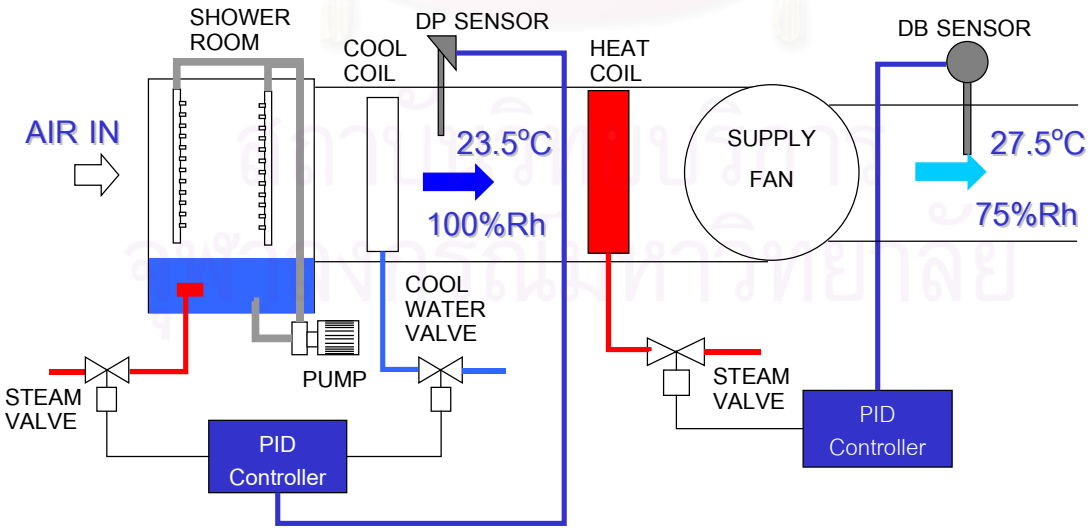


รูปที่ 5.1 การควบคุมค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งก่อนการปรับปรุง

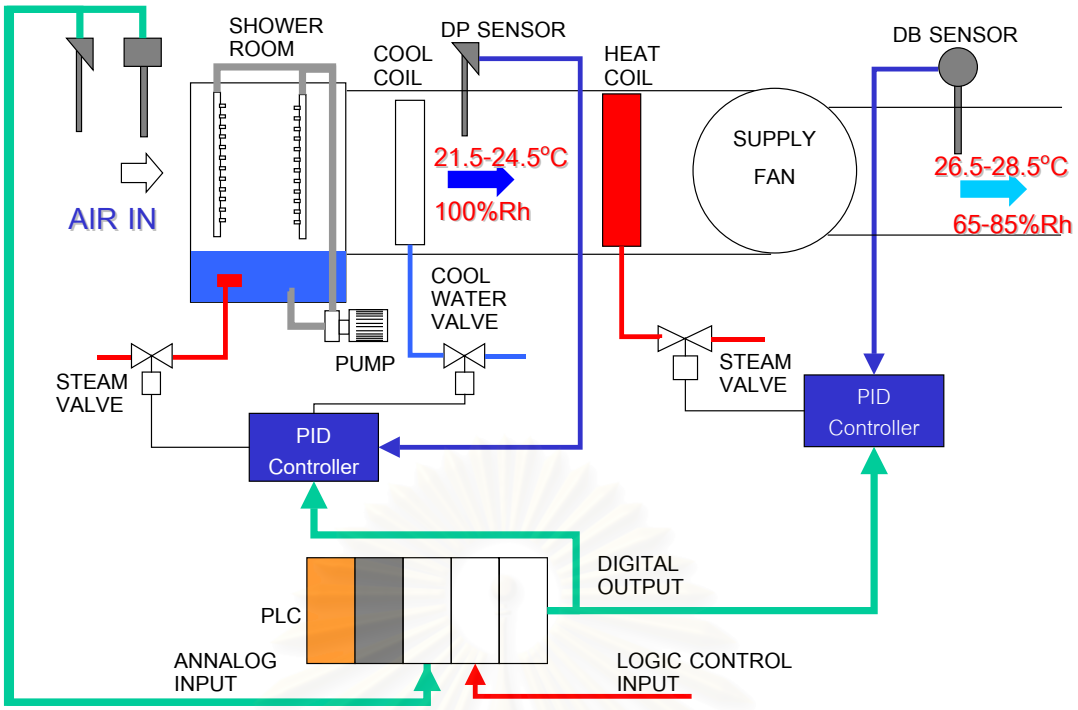


รูปที่ 5.2 แนวทางการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ

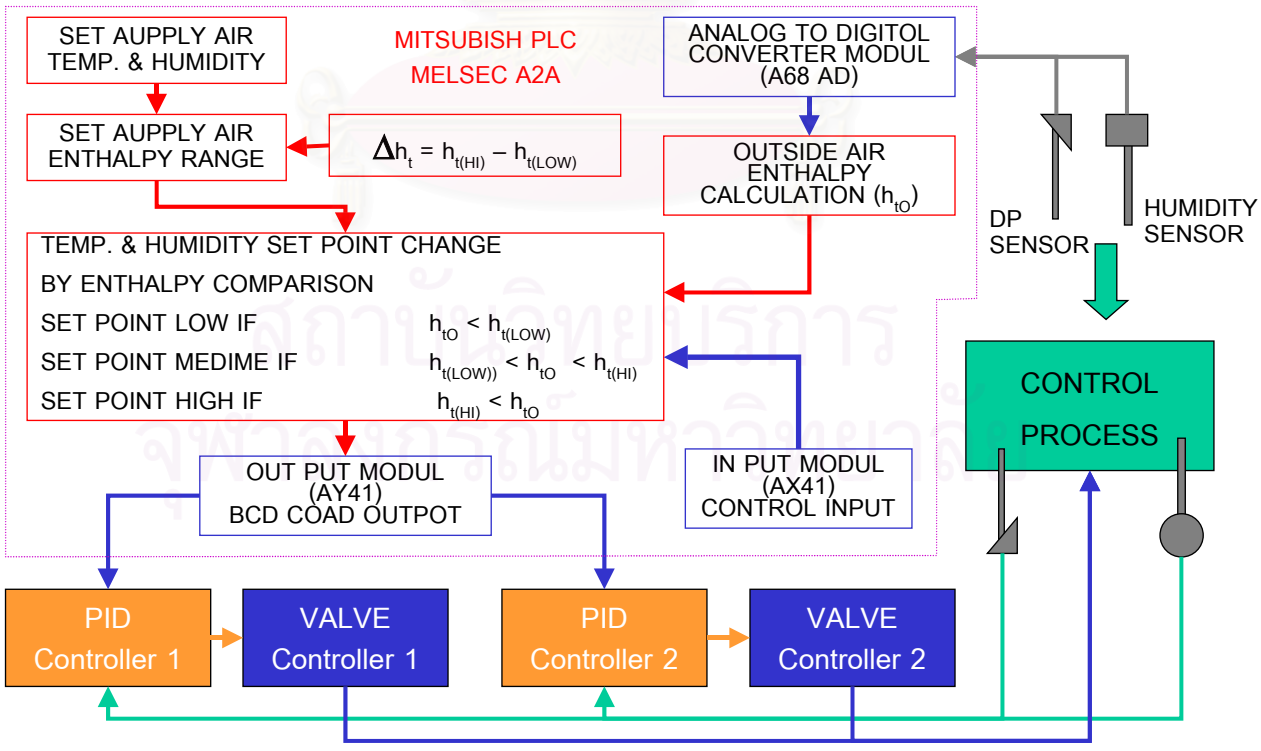
จากแนวคิดนี้จึงได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิการทำงานของระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศในรูปที่ 5.4 และ 5.5การทำงานของระบบควบคุมจะยุ่งยากมากขึ้น โดยระบบจะต้องทำการวัดค่าสภาพอากาศภายนอกแล้วแปลงมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้น PLC จะทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นค่าตัวเลขเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอก ต่อจากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่กำหนดไว้เพื่อที่จะได้ทราบว่าจะต้องส่งคำสั่งไปทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการปรับอากาศให้อยู่ในช่วงค่าเป้าหมายที่ต้องการได้



รูปที่ 5.3 กระบวนการปรับอากาศก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 5.4 กระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง



รูปที่ 5.5 การทำงานของระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง

ในขั้นตอนการตรวจวัดสภาพอากาศภายนอกต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดค่า DEW POINT และ HUMIDITY เพื่อนำมาคำนวณหาค่า เอนทาลปี ของอากาศในขณะนั้น ซึ่งวิธีการคำนวณมีดังนี้

คำนวณหาค่าเอนทาลปี

$h_t = h_S + h_L$ ....(1)

$h_S = Cp_{(Air)}\ DB$ ....(2)

$Cp_{(Air)}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ มีค่าเท่ากับ 1 kJ / kg ^{o}K

DB = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (^{o}C)

$h_L = (W)\ (h_W)$ ....(3)

W = (0.622PW) / (P-PW)

P = ความดันอากาศ 1.01325 bar

PW = ความดันไอน้ำที่ DP (bar)

$h_W = h_g + CP\ .\ DB$ ....(4)

h_g = 2502 kJ / kg

CP = ค่าความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.88 kJ / kg ^{o}K

DB = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (^{o}C)

เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณจึงต้องใช้การวัด DEW POINT มาใช้ในการคำนวณ โดยใช้ค่าความดันไอน้ำจากตารางค่าความดันไอทำการหาค่าโดยการ FIT COVER โดยใช้สมการ เอ็กโปเนเชียน ได้ดังนี้

$PW = 0.0065\ e^{(0.0591\ DP)}$ ....(5)

ดังนั้นสามารถนำมาหาค่าความดันไอที่แท้จริงได้ดังนี้

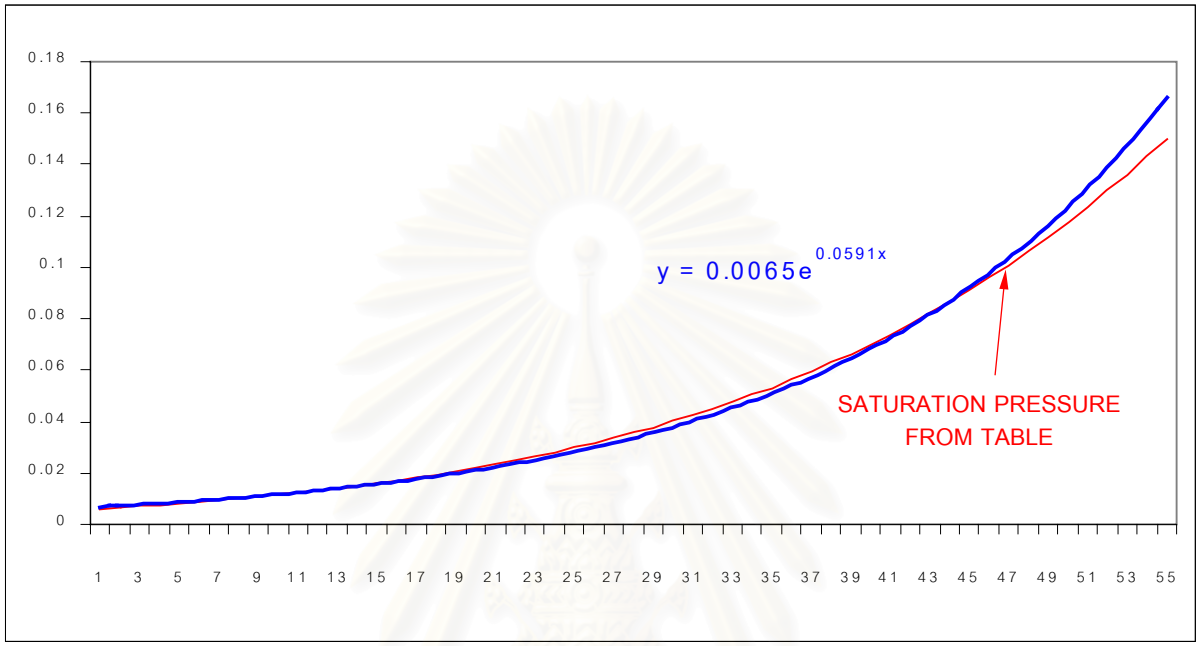
$PW_{(air)} = PW / \%Rh$ ....(6)

ดังนั้นสามาหาอุณหภูมิกระเปาะแห้ได้ดังนี้

$DB = (\ln (PW_{(air)} / 0.0065)) / 0.0591$ ....(7)

จากการตรวจสอบสมการนี้ จะใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 0'C – 48'C ซึ่งครอบคลุมสภาพอากาศของเมืองไทยจึงยอมรับได้ตามแผนภูมิในรูปที่ 5.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 แสดงค่าความดันไอที่ได้จากการคำนวณและจากตารางค่าความดันไอ (ตารางที่ 2.1)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเอนทาลปีอากาศภายนอกจากชุดสมการที่ (1) ถึง สมการที่(7) โดยที่อุปกรณ์ตรวจวัดวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้ 27 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 70 %Rh สามารถหาค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอกได้ดังนี้

DP = 27 $^{\circ}$C

Rh = 70 %Rh

จากสมการที่ (5)

$PW = 0.0065\, e^{(0.0591\ DP)}$

ดังนั้น $PW = 0.0065\, e^{(0.0591 \times 27)}$

$= 0.032057$ bar

จากสมการที่ (6)

$PW_{(air)} = PW / \%Rh$

ดังนั้น $PW_{(air)} = 0.032057 / 0.7$

= 0.045795 bar

จากสมการที่ (7)

DB = (ln ($PW_{(air)}$ / 0.0065)) / 0.0591

ดังนั้น DB = (ln (0.045795 / 0.0065)) / 0.0591

= 33.03 ^{O}C

จากสมการที่ (4)

h_W = h_g + CP . DB

คังนั้น h_W = 2502 kJ/kg + 1.88 kJ/kg ^{O}K x 33.03 ^{O}C

= 2564.106 kJ/kg

หาค่า W จาก

W = (0.622PW) / (P-PW)

= (0.622 x 0.032057) / (1.01325 – 0.032057)

= 0.029443

จากสมการที่ (3)

h_L = (W) (h_W)

ดังนั้น h_L = 0.020321 x 2564.106

= 52.10613 kJ / kg

จากสมการที่ (2)

h_S = $Cp_{(Air)}$ DB

ดังนั้น h_S = 1 x 33.03

= 33.03 kJ / kg

แทนค่าในสมการที่ (1)

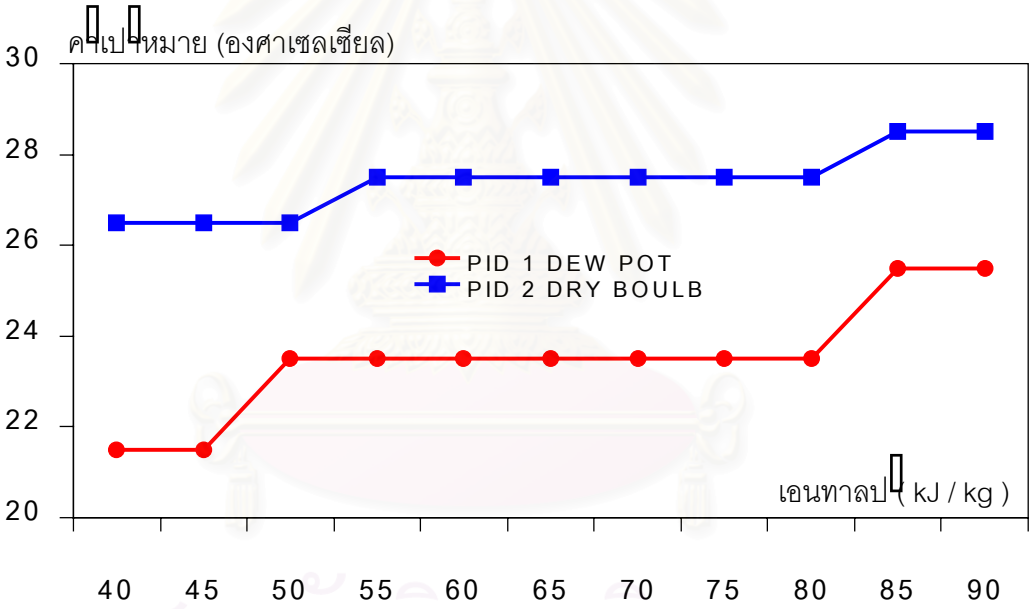
h_t = h_S + h_L

h_t = 33.03 + 52.10613

= 85.14124 kJ / kg

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการเปรียบเทียบค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอกกับค่าที่กำหนดจากแผนภูมิไซโครเมตริคกำหนดให้มีค่าเป้าหมาย 3 ค่า คือ ค่าเป้าหมายแบบต่ำเมื่อเอนทาลปีของอากาศน้อยกว่า 50 kJ / kg โดยจะตั้งค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ตัวที่ 1 ค่า DEW POINT อยู่ที่ 21.5 องศาเซลเซียล และ ค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ตัวที่ 2 DRY BOULB อยู่ที่ 26.5 องศาเซลเซียล ระบบควบคุมจะตั้งค่าเป้าหมายแบบกลางเมื่อเอนทาลปีของอากาศมากกว่าหรือเท่ากับ 50 kJ / kg และ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 88 kJ / kg โดยจะตั้งค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ตัวที่ 1 ค่า DEW POINT อยู่ที่ 23.5 องศาเซลเซียล และ ค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ตัวที่ 2 DRY BOULB อยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียล และระบบควบคุมจะตั้งค่าเป้าหมายแบบสูงเมื่อเอนทาลปีของอากาศมากกว่า 88 kJ / kg โดยจะตั้งค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ตัวที่ 1 ค่า DEW POINT อยู่ที่ 25.5 องศาเซลเซียล และ ค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ตัวที่ 2 DRY BOULB อยู่ที่ 28.5 องศาเซลเซียล ผลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายนี้จะทำให้ภายในห้องพ่นสีมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.5 – 28.5 องศาเซลเซียล และ มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 65 – 90 %Rh



รูปที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID

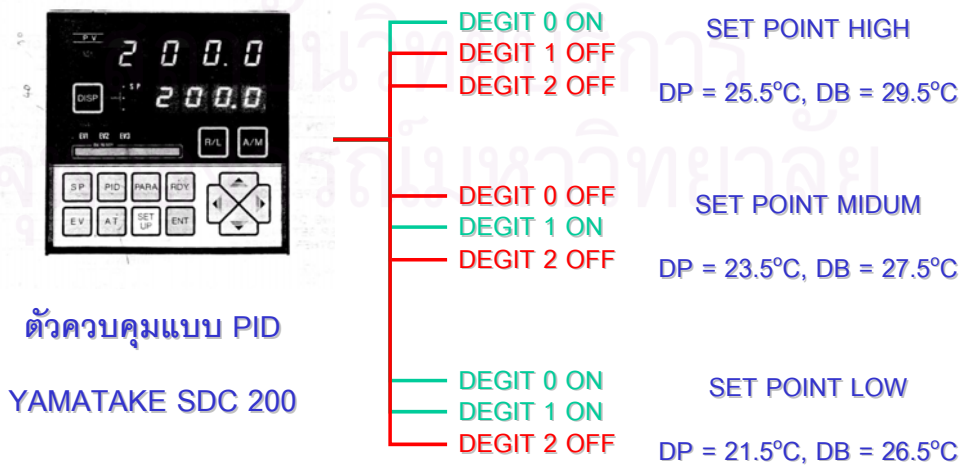
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 อุปกรณ์ที่การปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ

ในการปรับปรุงนี้ต้องการให้มีการใช้งบประมาณอย่างจำกัดที่สุดดังนั้นจึงได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีใช้อยู่แล้วในโรงงานตัวอย่างมาใช้ในการปรับปรุง ซึ่งอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปรับปรุงมีรายการดังนี้

1. PID CONTROLLER YAMATAKE SDC 200
2. PLC MITSUBISHI A2A CPU WITH RACK AND POWER SUPPLY
3. PLC MITSUBISHI INPUT MODUL AX41
4. PLC MITSUBISHI OUTPUT MODUL AY41
5. PLC MITSUBISHI ANNALOG INPUT MODUL A 68 AD
6. DEW POINT TEMPERATURE SENSOR YAMATAKE MODEL DP-5816
7. HUMIDITY SENSOR YAMATAKE MODEL HY-5716
8. WIRING EQUIPMENT

1. PID CONTROLLER YAMATAKE MODEL SDC 200 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการปรับอากาศอยู่ก่อนแล้ว เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถปรับค่าการควบคุมได้ด้วยตัวเอง (AUTO TUNEING) เพื่อให้ได้ค่าควบคุม PID ที่เหมาะสมกับกระบวนการที่ทำการควบคุมอยู่ และ สามารถปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายได้ 8 ค่าเป้าหมาย โดยใช้การควบคุมแบบเลขฐานสองสามหลักเพื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย แต่ในการใช้งานในการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศในครั้งนี้จะใช้ค่าเป้าหมาย 3 ค่า คือค่าเป้าหมายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 5.8 ตัวควบคุมแบบ PID และการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย

2. PLC MITSUBISHI A2A CPU WITH RACK AND POWER SUPPLY เป็นอุปกรณ์แบบโปรมแกรมได้ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของห้องพ่นสี เช่นการเปิดปิดระบบห้องพ่นสีแบบอัตโนมัติ ระบบสายพานลำเลียงภายในห้องพ่นสี เป็นต้น ในการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศนี้จะใช้ความสามารถในการโปรแกรมควบคุม และ การคำนวณมาใช้สำหรับ หาค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอก คำนวณเปรียบเทียบ กำหนดค่าเป้าหมาย และ ส่งค่าให้กับตัวควบคุมระบบปรับอากศแบบ PID

รูปที่ 5.9 MITSUBISHI PLC

3. PLC MITSUBISHI INPUT MODUL AX41 เป็นหน่วยย่อยที่ต้องใช้งานประกอบกับ CPU และ RACK หน่วยนี้ทำหน้าที่รับค่าที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแบบ ดิจิทอล คือแบบเปิด หรือ ปิด ใ๙สำหรับรับค่าการควบคุมต่าง เช่นการกด SWITCH สำหรับสั่งงานเป็นต้น

4. PLC MITSUBISHI OUTPUT MODUL AY41 เป็นหน่วยย่อยของ PCL เช่นกันแต่ทำหน้าที่สงสัญญาณแบบ ดิจิทอลออกไปสู่อุปกรณ์ภายนอก เช่นที่ใช้ในการปรับปรุงนี้ใช้สัญญาณปิดเปิดแบบดิจิทอลนี้สามหลักในการสั่งเปลี่ยนค่าเป้าหมายกับอุปกรณ์ควบคุมแบบ PID เป็นต้น

5. PLC MITSUBISHI ANNALOG INPUT MODUL A 68 AD เป็นหน่วยย่อยแบบพิเศษที่ต้องสั่งซื้อเพิ่มเติม ทำหน้าที่รับสัญญาณแบบ อะนาล็อล แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณแบบตัวเลขฐานสองให้กับ CPU ดังที่ใช้ในการรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด DEW POINT และ HUMIDITY ในการคำนวนหาค่าเอนทาลปีของอากาศเป็นต้น

6. DEW POINT TEMPERATURE SENSOR YAMATAKE MODEL DP-5816 เป็นอุปกณ์ตรวจวัด DEW POINT ของอากาศที่ไหลผ่าน มีลักษณะเป็นแท่งโลหะทรงกระบอกมีจุดต่อสายสัญญาณที่หัวดังในรูปที่ 5.10 สัญญาณที่ได้เป็นแบบอะนาล็อล 4 – 20 mA

7. HUMIDITY SENSOR YAMATAKE MODEL HY-5716 5714 เป็นอุปกณ์ตรวจวัด HUMIDITY ของอากาศที่ไหลผ่าน มีลักษณะเป็นแท่งโลหะทรงกระบอกมีจุดต่อสายสัญญาณที่หัวดังในรูปที่ 5.10 สัญญาณที่ได้เป็นแบบอะนาล็อล 4 – 20 mA

รูปที่ 5.10 YAMATAKE DEW POINT SENSOR AND HUMIDITY SENSOR

8. WIRING EQUIPMENT เป็นอุปกรณ์เบ็ตเล็ดต่างๆที่ใช้ในการเดินสายไฟในโรงงาน เช่น สายไฟ, หางปลา, รางสายไฟ เป็นต้น

5.4 งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วมางบประมาณมีส่วนสำคัญในการตัดสินใจในการลงทุนของผู้บริหารของโรงงานตัวอย่างที่จะอนุมัติงบประมาณการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ ซึ่งงบประมาณนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการปรับปรุง ส่วนของค่าแรงงาน และ ส่วนของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งจะต้องนำทั้ง 3 ส่วนนี้มารวมกันแล้วเปรียบเทียบกับการที่โครงการนี้จะสามารถลดการสูญเสียเนื่องจากการผลิตได้

5.4.1 งบประมาณในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์

จากรายการความต้องการวัสดุอุปกรณ์ในหัวข้อที่ 5.3 บางรายการที่ต้องการใช้เป็นอุปกรณ์ที่มีใช้งานอยู่แล้วในระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งรายการทั้งหมดนำมาทำเป็นตารางเพื่อคิดค่างบประมาณได้ดังในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 งบประมาณในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์

รายการอุปกรณ์	จำนวน		ราคา (บาท)
	ของใหม่	ของเก่า	
1. PID CONTROLLER YAMATAKE SDC 200		2	-
2. PLC MITSUBISHI A2A CPU WITH RACK AND POWER SUPPLY		1	-
3. PLC MITSUBISHI INPUT MODUL AX41		1	-
4. PLC MITSUBISHI OUTPUT MODUL AY41		1	-
5. PLC MITSUBISHI ANNALOG INPUT MODUL A 68 AD	1		38,000.00
6. DEW POINT TEMPERATURE SENSOR YAMATAKE MODEL DP-5816	1		18,000.00
7. HUMIDITY SENSOR YAMATAKE MODEL HY-5716	1		16,000.00
8. WIRING EQUIPMENT	1		8,000.00
รวมทั้งหมด	**80,000.00**		

5.4.2 งบประมาณของค่าแรงงาน

แรงงานที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศจะใช้แรงงานของพนักงานซ่อมบำรุงของโรงงานตัวอย่าง โดยจะแยกเป็นการประมาณชั่วโมงการทำงานในแต่ละส่วนงาน และคูณด้วยค่าเฉลี่ยค่าแรงงานต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของพนักงานระดับปฏิบัติการอยู่ที่ 125 บาทต่อชั่วโมง คิดเป็นงบประมาณแรงงานได้ในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 งบประมาณของค่าแรงงาน

รายการ	จำนวนชั่วโมง	ค่าแรงงาน
1. การศึกษากระบวนการปรับอากาศ	48	6,000.00
2. งานออกแบบการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ	120	15,000.00
3. งานเขียนโปรแกรม PLC	80	10,000.00
4. งานติดตั้งอุปกรณ์	16	2,000.00
5. งานเดินสายไฟ	24	3,000.00
6. งานทดสอบระบบ	24	3,000.00
รวมค่าแรงงาน	**312**	**39,000.00**

5.4.3 งบประมาณในการเดินเครื่องจักร

ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศนี้มีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้น การเดินกระบวนการปรับอากาศก็ยังจะต้องใช้พลังงานต่างๆเท่ากับ หรือ อาจจะน้อยกว่าการใช้พลังงานที่กระบวนการปรับอากาศใช้ก่อนทำการปรับปรุง อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นคือ PLC MITSUBISHI ANNALOG INPUT MODUL A 68 AD และ อุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยมากไม่เกินเดือนละ 1 kWh ดังนั้นจะคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 1 หน่วยต่อวัน ค่าพังงานไฟฟ้าหน่วยละ 2.50 บาท คิดเป็นเงินเท่ากับ 75 บาท ต่อ เดือน ซึ่งถือว่าน้อยมาก ค่าใช้จ่ายในการใช้งานอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศส่วนใหญ่จะเป็นค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆมากกว่า จากประสพการณ์พบว่าอุปกรณ์ทางไฟฟ้าโดยเฉพาะอุปกรณ์ PLC จะมีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี ในสภาพการทำงานปรกติ ถ้าคิดว่าต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ทั้งหมดทุกๆ 5 ปีโดยรวมถึงค่าแรงในการเปลี่ยนด้วย เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ตลอดเวลา เมื่อนำมาเฉลี่ยเป็นค่าบำรุงรักษารายปีแล้วได้ดังนี้

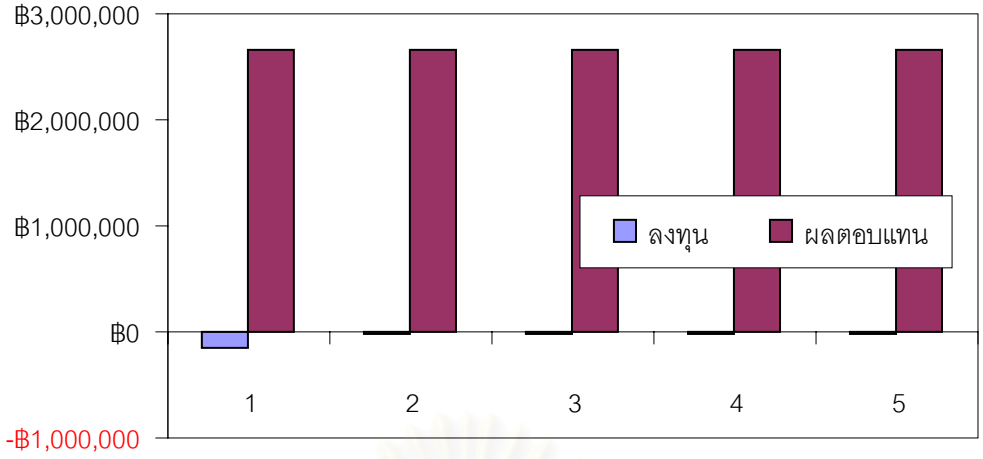
ค่าใช้จ่ายจัดหาอุปกรณ์ทั้งหมดในช่วง 5 ปี	= 80,000	บาท
ค่าแรงงานในการบำรุงรักษา 5 ปี	= 39,000	บาท
รวมค่าบำรุงรักษา 5 ปี	= 119,000	บาท
ดังนั้นค่าบำรุงรักษาต่อปี	= 23,800	บาท

5.4.4 สรุปงบประมาณและการคุ้มทุน

สรุปงบประมาณที่ต้องทั้งหมดในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

ค่าวัสดุอุปกรณ์	= 80,000	บาท
ค่าแรงงานในการปรับปรุง	= 39,000	บาท
ค่าบำรุงรักษา	= 23,800	บาท
รวมงบประมาณทั้งหมดในปีที่ 1	= 142,800	บาท
ค่าใช้จ่ายในปีที่ 2,3,…	= 23,800	บาท

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการหยุดผลิตของโรงงานตัวอย่างจะเกิดความสูญเสียขึ้นถึงนาทีละ 180,000 บาท การหยุดผลิตเนื่องจากกระบวนการปรับอากาศโดยเฉลี่ยปีละ 290 นาที นั่นคือสูญเสียถึงปีละ 5.22 ล้านบาท ถ้าคิดว่าการปรับปรุงสามารถที่จะลดการสูญเสียได้ครึ่งหนึ่งคือปีละ 2.66 ล้านบาท ถ้านำมาเปรียบเทียบกับงบประมาณที่ต้องลงทุนในการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ จะพบว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนอย่างมาก แสงดังแผนภูมิการลงทุนในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แผนภูมิการลงทุนและผลตอบแทน

จากรูปที่ 5.11 จะพบว่าการลงทุนจะคุ้มทุนในปีแรกซึ่งสามารถนำมาคำนาณได้ดังนี้

งบลงทุนปีที่ 1	= 142,800	บาท
ผลตอบแทนปีที่ 1	= 2,660,000	บาท
ดังนั้นคุ้มทุน	= 0.05	ปี

5.5 แผนการติดตังอุปกรณ์และการปรับปรุงโปรแกรมควบคุม

แผนการติดตั้งอุปกรณ์และการปรับปรุงโปรแกรมควบคุมได้กำหนดที่จะทำในวันหยุดของโรงงานในช่วงต้นเดือนธันวาคม 2543 ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ดังนี้

หัวข้อการทำงาน	2/12/00		3/12/00		4/12/00	
	8-12	13-17	8-12	13-17	8-12	13-17
1. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด						
2. ติดตั้ง A68 A/D MODUL						
3. เดินสายไฟฟ้า						
4. ตรวจสอบการเดินสายไฟฟ้า						
5. แก้ไข PROGRAM ควบคุม PLC						
6. แก้ไขค่า PARAMITER ของตัวควบคุม PID						
7. ทดลองระบบ						

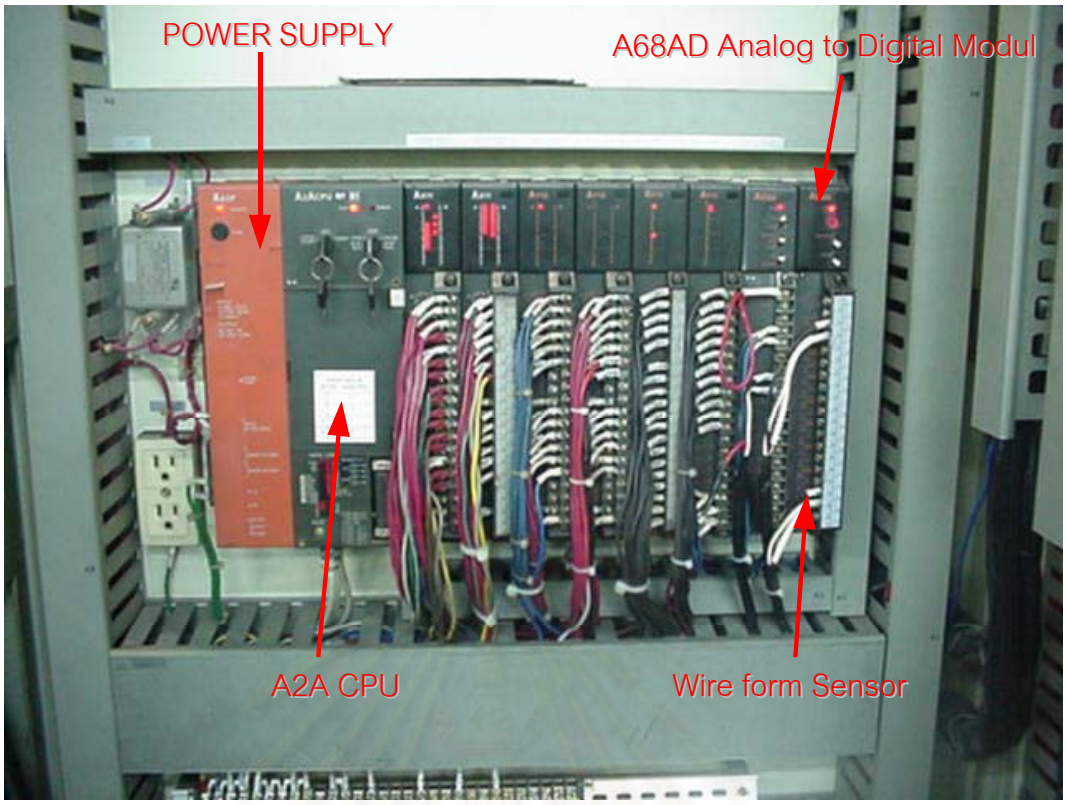
รูปที่ 5.12 แผนการติดตั้งอุปกรณ์และการปรับปรุงโปรแกรมควบคุม

5.6 การติดตังอุปกรณ์และการปรับปรุงโปรแกรมควบคุม

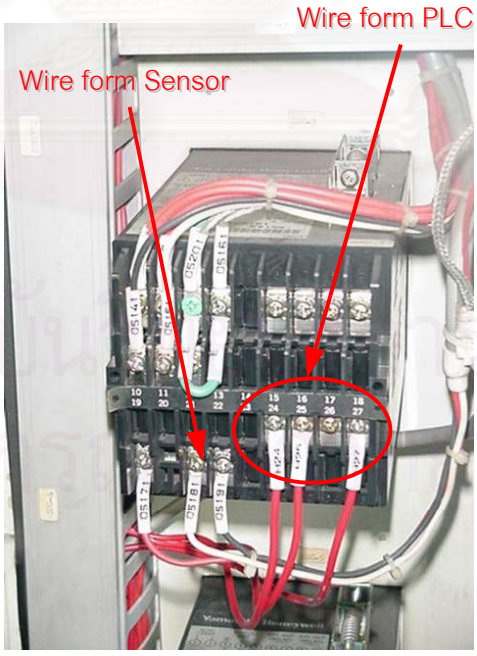
5.6.1 การติดตั้งอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งเพิ่มขึ้นคือ PLC MITSUBISHI ANNALOG INPUT MODUL A 68 AD ติดตั้งบน RACK ของชุด PLC ในตู้ควบคุมได้เลยดังที่ได้แสดงในรูปที่ 5.11 เป็นตู้ควบคุม PLC และ ตู้ควบคุม PID โดย MODUL ที่ติดตั้งเพิ่มขึ้นนี้ติดตั้งในตู้ควบคุม PLC นอกจากนี้ยังจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศภายนอก ซึ่งจุดติดตั้งที่เหมาะสมควรจะเป็นทางที่อากาศภายนอกเข้าสู่กระบวนการปรับอากาศ ดังนั้นจึงติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งสองตัวไว้ในห้องกระบวนการที่หนึ่งคือกระบวนการกรองอากาศ โดยต้องทำอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาใหม่ในการเดินสายสัญญาณควบคุมจากตัวอุปกรณ์ตรวจวัดมายัง PLC MODUL ใช้สายนำสัญญาณแบบ ป้องกันการรบกวน SHIELED CABLE แบบมีสายนำสัญญาณ 3 เส้น ส่วนสายนำสัญญาณจาก PLC ไปยังตัวควบคุมแบบ PID ใช้สายไฟฟ้าขนาด 1.5 ตารางมิลิเมตร ในการเข้าจุดต่อสายใช้แบบ RING TERMIAL ทั้งหมดเพื่อป้องกันการหลุดหลวม ทั้งนี้การเดินสายต่างๆเป็นไปตามมาตราฐานของโรงงานตัวอย่าง แบบการเดินสายไฟฟ้าทังหมดได้แสดงในภาคผนวกในหัวข้อแบบไฟฟ้า

รูปที่ 5.13 ตู้ควบคุม PLC และ กระบวนการปรับอากาศ



รูปที่ 5.14 การเดินสายไฟกับ PLC ในตู้ควบคุม PLC



รูปที่ 5.14 การเดินสายไฟที่ตัวควบคุมแบบ PID

5.6.2 การปรับปรุงโปรแกรมควบคุม

การปรับปรุงโปรแกรมควบคุมของ PLC จะอ้างอิงจากแผนภูมิการทำงานของกระบวนการปรับอากาศในรูปที่ 5.5 คือ กำหนดค่าคงที่ต่างๆที่จำเป็นในการทำงาน จากนั้นทำการแปลงค่าทางไฟฟ้าที่รับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดเป็นค่าจริง (REAL NUMBER) แล้วทำการคำนวณหาค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอกหลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ตั้งไว้แล้วจึงส่งสัญญาณไปกำหนดค่าเป้าหมายให้กับตัวควบคุมแบบ PIDเป็นการครบวงรอบการทำงาน ซึ่งในการทำงานนี้ได้กำหนดให้ทำงการคำนวณและเปรียบเทียบทุกๆ 1 นาที เพื่อป้องกันการตั้งค่ากลับไปกลับมาของตัวควบคุมแบบ PID เพื่อความเสถียรของกระบวนการ โปรแกรมที่จัดทำขึ้นเป็นส่วนเพิ่มเติมจากโปรแกรมเดิมแสดงในภาคผนวกในหัวข้อโปรแกรม PLC ซึ่งโปรแกรมนี้จะใช้งานได้กับ PLC MITSUBISHI CPU A2A หรือ A3A เท่านั้น ใสส่วนการตั้งค่าการควบคุมของตัวควบคุมแบบ PID แสดงใน DATA SHEET ในภาคผนวกหัวเรื่อง PID DATA SHEET

5.7 การทดลองระบบ

เมื่อทำการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศแล้วเสร็จ การทดสอบระบบสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์สอบเทียบทางไฟฟ้า 2 ชุด ป้อนสัญญาณ 4-20 Am เลียนแบบค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดค่า DP และ %Rh แล้วดูผลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายของตัวควบคุมแบบ PID ถ้าสามารถทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายได้ตามที่ออกแบบไว้ก็สรุปได้ว่าระบบที่ทำการปรับปรุงสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งได้ทำการทดลอง 6 ครั้ง ซึ่งค่าที่กำหนดในการทดลองเลือกมาจากค่าเอนทาลปีที่มีผลทำให้การปรับค่าระบบควบคุมครอบคลุมค่าเป้าหมายทั้งสามค่าโดยกำหนดค่าเป็นค่าอุณหภูมิคงที่ 3 ค่า และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 3 ค่า ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.4 จากตารางนี้สรุปได้ว่าระบบควบคุมสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ในส่วนของการตรวจสอบทั้งกระบวนการจะใช้การทำงานจริงในช่วงเวลาทำการผลิตเป็นการตรวจสอบโดยจะต้องมีการเฝ้าดูผลอย่างใกล้ชิด

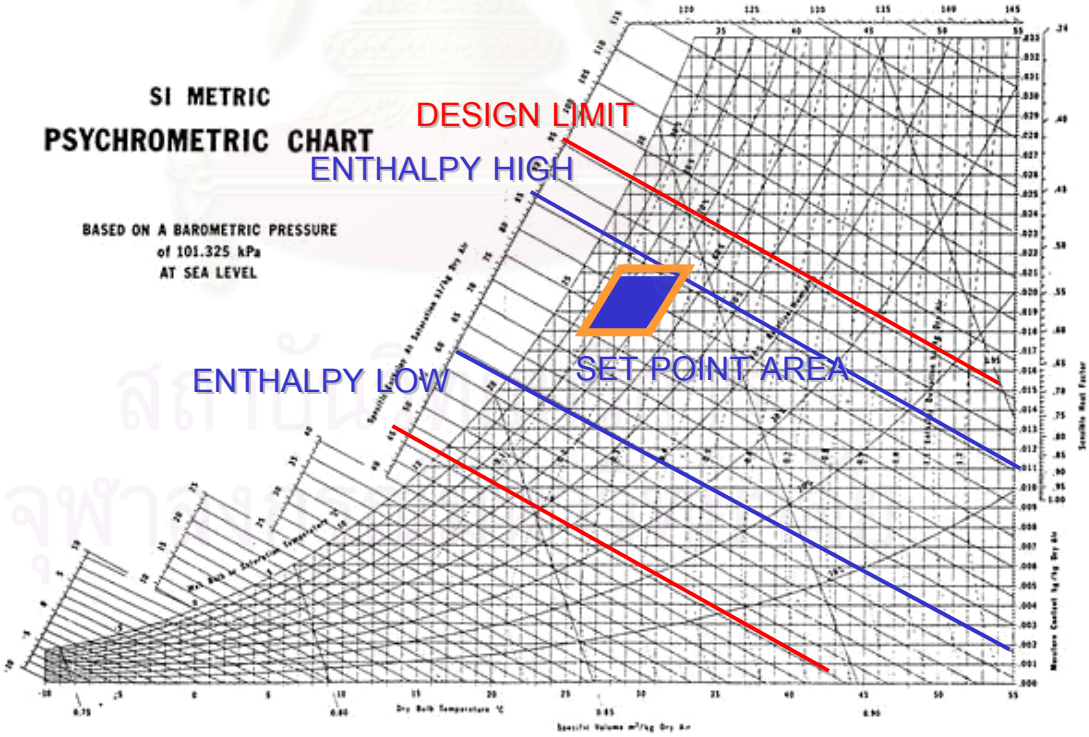
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบระบบควบคุม

การทดลอง	ค่าเป้าหมาย	
	ผลจากการออกแบบ	ผลที่ได้จริง
1. กำหนด 35°C, 60%Rh	SET POINT HIGH	SET POINT HIGH
2. กำหนด 31°C, 60%Rh	SET POINT MEDIUM	SET POINT MEDIUM
3. กำหนด 20°C, 60%Rh	SET POINT LOW	SET POINT LOW
4. กำหนด 32°C, 75%Rh	SET POINT HIGH	SET POINT HIGH
5. กำหนด 32°C, 60%Rh	SET POINT MEDIUM	SET POINT MEDIUM
6. กำหนด 32°C, 30%Rh	SET POINT LOW	SET POINT LOW

บทที่ 6
ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

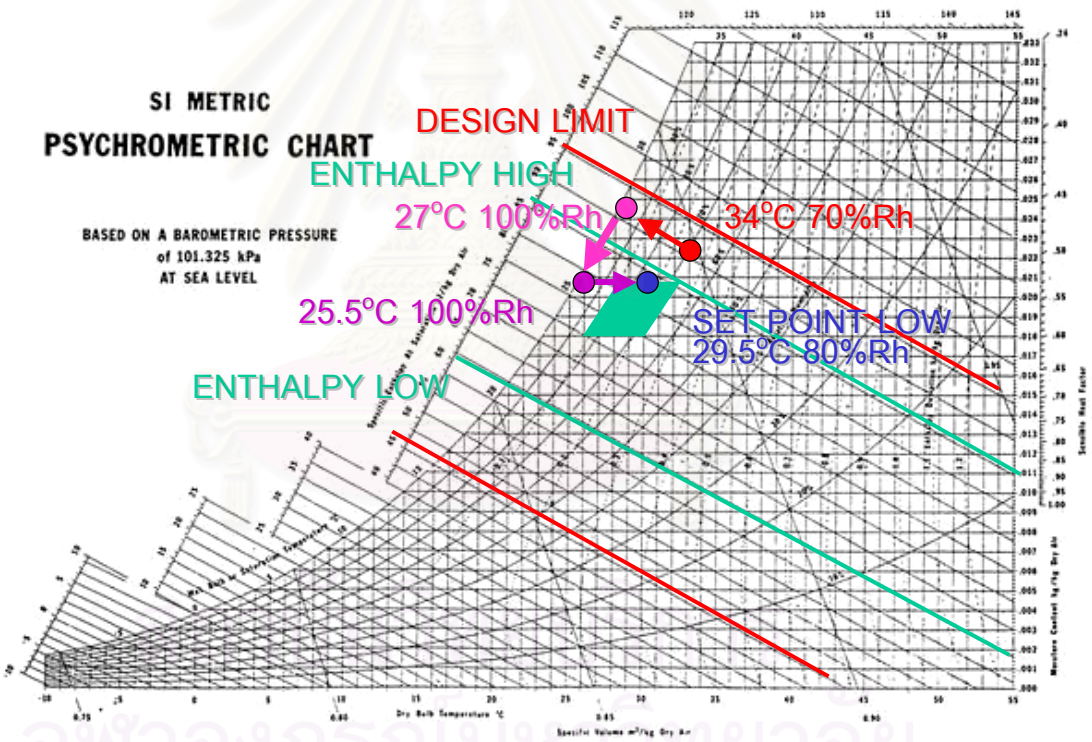
6.1 การทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง

การทำงานของกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง โดยการปรับปรุงระบบการควบคุมกระบวนการปรับอากาศจากการควบคุมแบบ PID ที่ไม่มีความยืดหยุ่นในการควบคุมค่าเป้าหมาย เป็นการควบคุมแบบ ฟัซซี่ลอจิก ที่มีความยืดหยุ่นสามารถปรับค่าเป้าหมายได้ตามสภาวะแวดล้อมภายนอกที่มีผลกับกระบวนการ ทำให้มีค่าเป้าหมายสุดท้ายมีค่าเป็นช่วงทั้งค่าอุณหภูมิ และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งจะปรากฏเป็นพื้นที่บนแผนภูมิไซโคเมตริค ในรูปที่ 6.1 ค่าต่ำที่สุดในการใช้พลังงานเมื่อ ค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบสูงคือ อุณหภูมิ 28.5 องศา ความชื้นสัมพัทธ์ 85 %Rh และ ค่าการใช้พลังงานต่ำสุดเมื่อ ค่าเอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบกลางคือ อุณหภูมิ 27.5 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %Rh และ เมื่อค่าเอนทาลปีอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบต่ำค่าการใช้พลังงานต่ำสุดที่อุณหภูมิ 26.5 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 65 %Rh ค่าเป้าหมายที่เป็นพื้นที่นี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความต้องการของห้องพ่นสีที่เป็นค่ามาตราฐาน จะพบว่าพื้นที่ค่าเป้าอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้



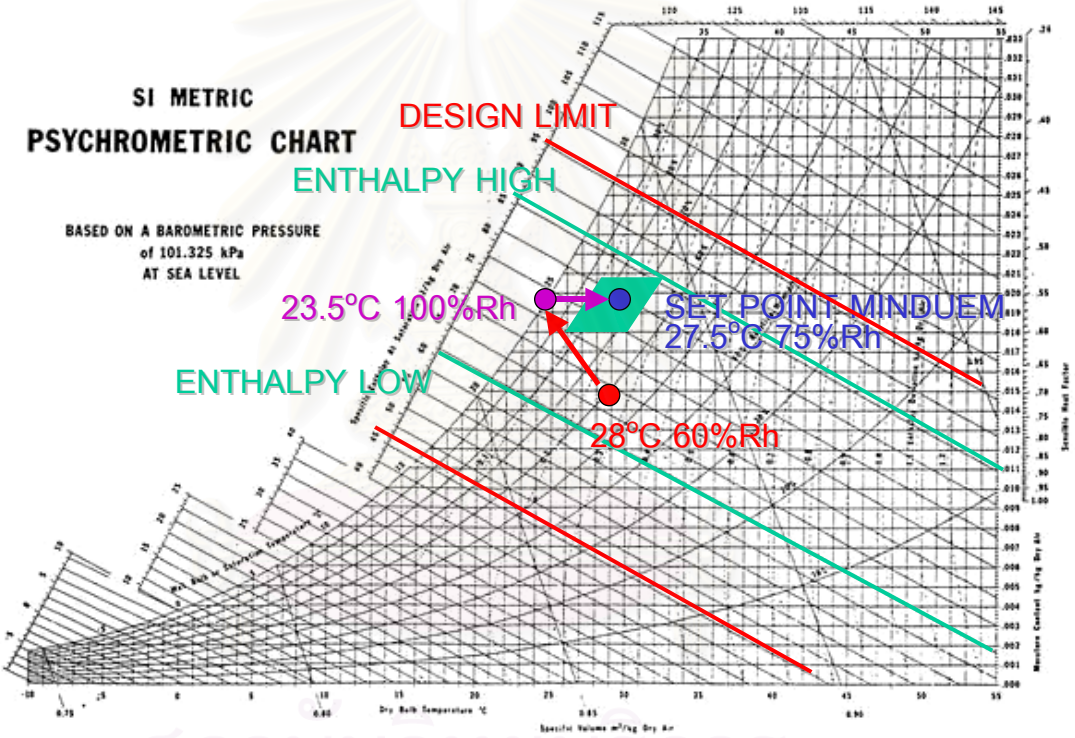
รูปที่ 6.1 ค่าเป้าหมายของกระบวนการปรับอากาศหลังการปรับปรุง

การทำงานของกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง หลังจากทำการปรับปรุง อธิบายได้จากแผนภูมิไซโครเมตริค ในรูปที่ 6.2 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบสูง อากาศภายนอกมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB อยู่ที่ 34 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์70 %Rh เมื่อผ่านกระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวแล้ว อากาศจะมีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียล และ ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %Rh ผ่านไปที่กระบวนการให้ความเย็นสัมผัสที่มีค่าเป้าหมายแบบสูงอยู่ที่ 25.5 องศาเซลเซียล ต่อจากนั้นก็จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนสัมผัส ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ค่าเป้าหมายอยู่ที่ 29.5 องศาเซลเซียล ซึ่งจะทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 80 %Rh รูปที่ 6.3 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายกลาง และ ในรูปที่ 6.4 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบต่ำ



รูปที่ 6.2 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบสูง

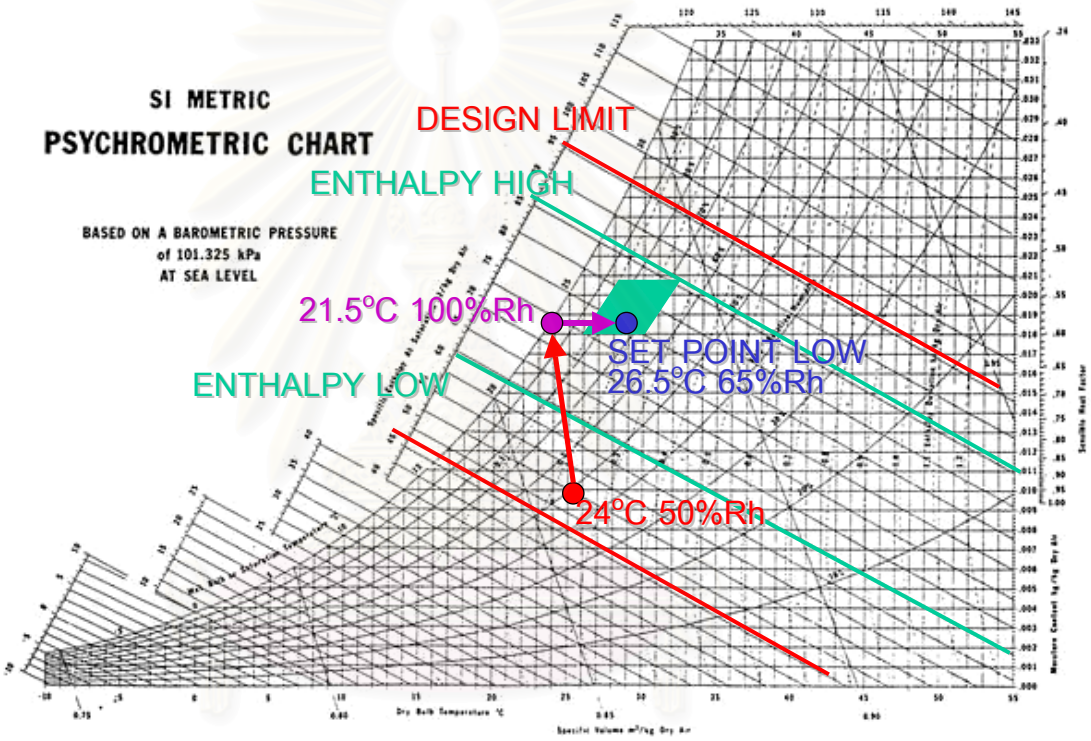
ในรูปที่ 6.3 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายกลาง อากาศภายนอกมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB อยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %Rh เมื่อผ่านกระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวโดยมีการเพิ่มความร้อนด้วยการพ่นไอน้ำลงในน้ำที่ทำการฉีดพ่น อากาศจะมีอุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียล และ ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %Rh ผ่านไปที่กระบวนการให้ความเย็นสัมผัสที่มีค่าเป้าหมายแบบกลางอยู่ที่ 23.5 องศาเซลเซียล ต่อจากนั้นก็จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนสัมผัส ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ค่าเป้าหมายอยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียล ซึ่งจะทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 75 %Rh รูปที่



รูปที่ 6.3 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

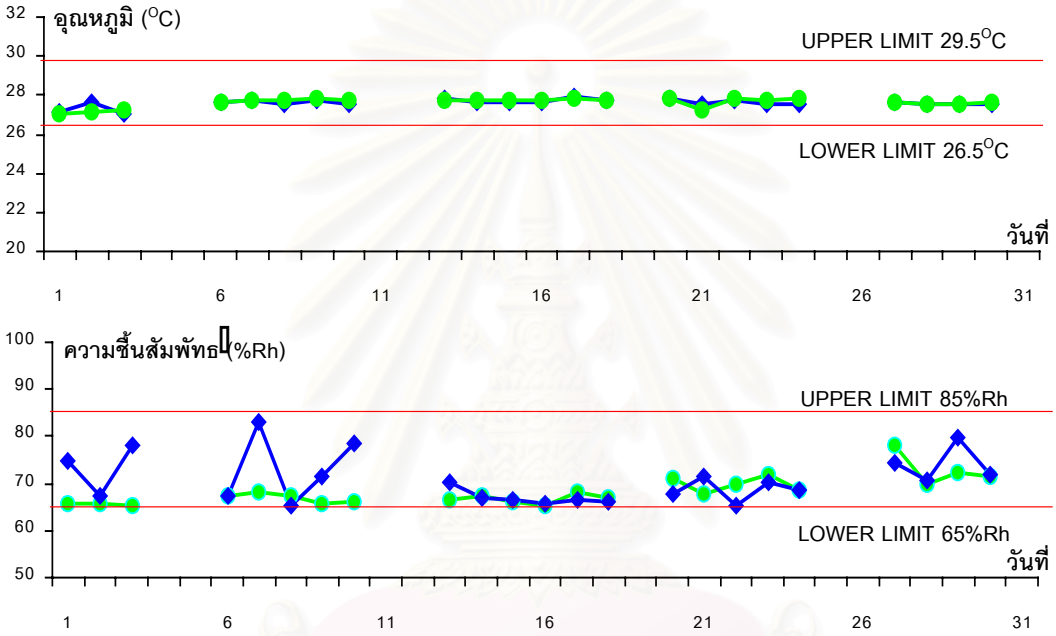
ในรูปที่ 6.4 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายต่ำ อากาศภายนอกมีอุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB อยู่ที่ 24 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %Rh เมื่อผ่านกระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัวโดยมีการเพิ่มความร้อนด้วยการพ่นไอน้ำลงในน้ำที่ทำการฉีดพ่น อากาศจะมีอุณหภูมิ 21.5 องศาเซลเซียล และ ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %Rh ผ่านไปที่กระบวนการให้ความเย็นสัมผัสที่มีค่าเป้าหมายแบบต่ำอยู่ที่ 21.5 องศาเซลเซียล ต่อจากนั้นก็จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนสัมผัส ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ค่าเป้าหมายอยู่ที่ 26.5 องศาเซลเซียล ซึ่งจะทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 65 %Rh รูปที่



รูปที่ 6.4 แสดงการทำงานของกระบวนการปรับอากาศเมื่อ เอนทาลปีของอากาศภายนอกอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายแบบต่ำ

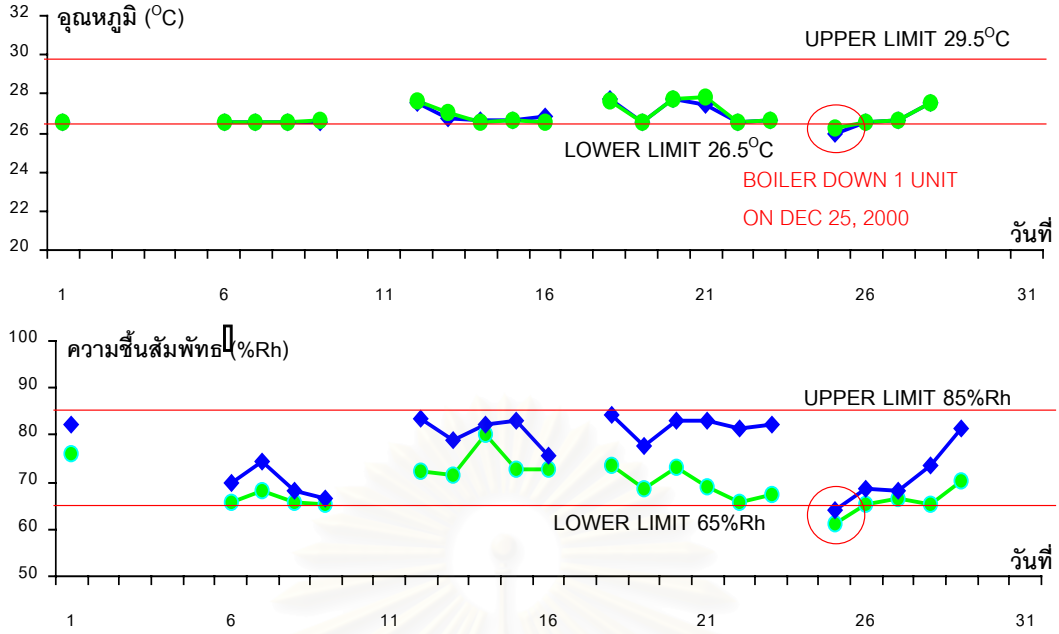
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากนั้นได้ทำการบันทึกการทำงานของกระบวนการปรับอากาศโดยจะใช้วิธีเฉลี่ยค่าในช่วงเวลา 8.00 น. 10.00 น. เพราะว่าเป็นช่วงเริ่มต้นของการทำงานในแต่ละวัน ซึ่งปัญญหาการหยุดผลิตเนื่องจากกระบวนการปรับอากาศที่เกิดขึ้นจะเกิดในช่วงเวลานี้ การจดบันทึกนี้ได้ทำในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ก่อนทำการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 6.5 และเมื่อหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศในช่วงต้นเดือนธันวาคม พ.ศ. 2543 และ ได้ทำการจดบันทึกต่อเนื่องมาถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2544 แสดงในรูปที่ 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ



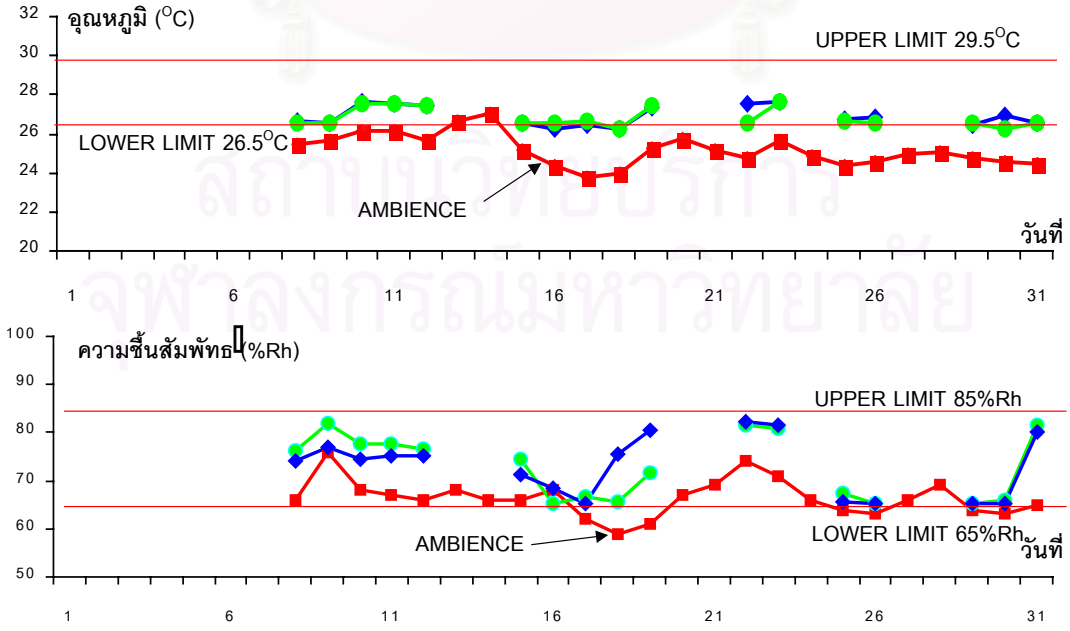
รูปที่ 6.5 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศก่อนทำการปรับปรุงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2543

จากรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่ากระบวนการสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิได้ใกล้ค่าเป้าหมาย แต่กระบวนการไม่สามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ในหน่วยปรับอากาศที่ 1 เพราะค่าที่ได้อยู่ใกล้กับขีดจำกัดล่างสุดที่ยอมรับได้ในช่วงกลางเดือน หน่วยปรับอากาศทั้งสองหน่วยไม่สามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ แต่ ในช่วงปลายเดือน สามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ใกล้ค่าเป้าหมายได้



รูปที่ 6.6 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังทำการปรับปรุงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2543

จากรูปที่ 6.6 หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศในช่วงวันหยุดในวันที่ 2 – 5 ธันวาคม พศ 2543 แล้วพบว่าในช่วงแรกระบวนการปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้แต่ในช่วงกลางเดือนการควบคุมค่าความชื้นทำได้ไม่ดีเท่ากับในช่วงแรกจากการตรวจสอบพบว่าเกิดจากมีการเปิดใช้งานตัวควบคุม PID ของกระบวนการที่ 5 กระบวนการเอไดอาแบติคด้วยไอน้ำ ทำให้ค่าความชื้นสูงขึ้น



รูปที่ 6.7 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังทำการปรับปรุงเดือน มกราคม พ.ศ. 2544

รูปที่ 6.7 ผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศสามารถควบคุมค่าอุณหภูมิได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ในส่วนของการควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ก็สามารถควบคุมได้พอสมควร แต่ค่าก็อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกแล้วจะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่าเอนทาลปีเป็นตัวบ่งชี้ คือเมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกต่ำก็จะทำให้ค่าเอนทาลปีต่ำ ระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศก็จะปรับลดค่าเป้าหมายของห้องพ่นสีลงมาอยู่ใกล้กับขีดจำกัดล่าง (LOWER LIMIT) และเมื่อเอนทาลปีของอากาศภายนอกสูงขึ้นระบบควบคุมก็จะทำการปรับค่าเป้าหมายให้สูงขึ้นอยู่ในช่วงกึ่งกลางของค่าควบคุม

จากรูปที่ 6.6 และ 6.7 เป็นผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศหลังจากทำการปรับปรุงระบบควบคุมแล้ว แต่ จะสังเกตุได้ว่าค่าของอุณหภูมิของอากาศภายในห้องพ่นสีส่วนมากจะอยู่ใกล้ขีดจำกัดล่าง เป็นเพราะว่าการตั้งค่าเป้าหมายอุณหภูมิจุดน้ำค้างของการควบคุมในกระบวนการปรับอากาศ กระบวนการที่ 2 (กระบวนการเอไดอาแบติคอิ่มตัว) ตั้งค่าไว้ต่ำที่ 21.5 องศาเซลเซียล เพื่อลดการใช้พลังงานให้น้อยที่สุด จึงทำให้การตั้งค่าเป้าหมายของกระบวนการให้ความร้อนสัมผัสต้องตั้งค่าเป้าหมายให้ต่ำลงมาด้วยโดยตั้งค่าอยู่ที่ 26.5 องศาเซลเซียล ซึ่งเป็นค่าเดียวกับขีดจำกัดล่าง แต่ในความเป็นจริงตามข้อกำหนดมาตรฐานยอมให้อุณหภูมิในห้องพ่นสีต่ำสุดได้ถึง 26 องศาเซลเซียล

จากผลการทำงานของกระบวนการปรับอากาศภายหลังการปรับปรุงซึ่งได้ทำการบันทึกผลค่าเฉลี่ยลทั้งอุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องพ่นสี ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2543 ถึง สิ้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2544 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทุกวัน ยกเว้นในวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2543 เกิดปัญหาที่ทำให้กระบวนการผลิตหยุดเป็นเวลาประมาณ 12 นาที เพราะว่ากระบวนการปรับอากาศไม่สามารถปรับอากาศให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ แต่ จากการตรวจสอบพบว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจาก หม้อต้มไอน้ำเกิดการหยุดแบบกระทันหัน 1 เครื่องเพราะหัวฉีดน้ำมันสึกหรอ ทำให้มีไอน้ำไม่เพียงพอต่อการทำงานของกระบวนการปรับอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

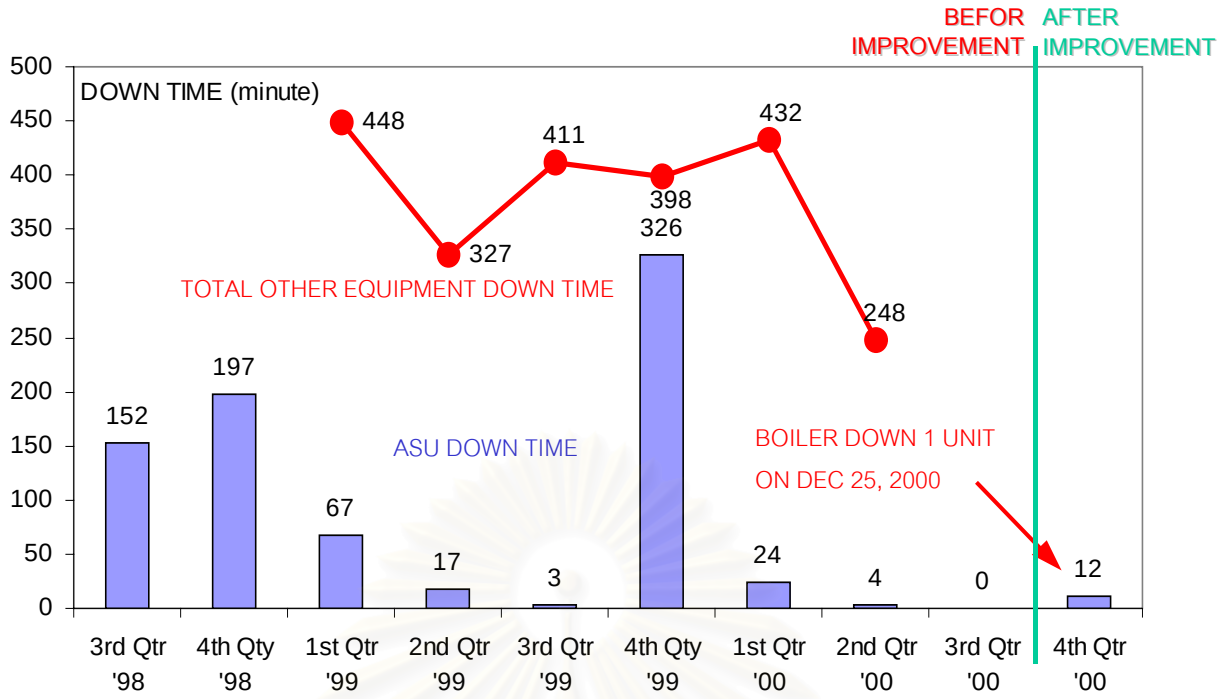
บทที่ 7
สรุปผลการศึกษา

7.1 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

โรงงานประกอบรถยนต์ตัวอย่างได้ประสพปัญหาการหยุดผลิตเนื่องจากกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีไม่สามารถทำการปรับอากาศให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ อุณหภูมิ 26 – 29 องศาเซลเซียล และ ความชื้นสัมพัทธ์ 60%Rh – 90%Rh ในช่วงหน้าหนาวคือในเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนมกราคม ของปีถัดไป สาเหตุเพราะอากาศมีความแปรปรวนจนอยู่นอกค่ากำหนดออกแบบ ทำให้กระบวนการปรับอากาศต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นในการปรับอากาศ การติดตั้งแหล่งพลังงานเพิ่มสามารถทำได้ด้วยการติดตั้งหม้อต้มไอน้ำเพิ่ม แต่ ต้องใช้ค่าใช้จ่างสูงนอกจากนี้ยังจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องสูงอีกด้วย การปรับปรุงจึงมุ่งเน้นมาที่ระบบควบคุมที่มีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง และ เดินเครื่องต่ำกว่ามาก โดยทำการปรับปรุงจากการควบคุมแบบ PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) ที่มีข้อดีคือกระบวนการที่ถูกควบคุมจะมีความเสถียรสูง แต่ มีข้อเสียคือไม่มีความยืดหยุนในการปรับการควบคุมตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ทำให้ไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ หากสภาพแวดล้อมอยู่ไกล้ค่ากำหนดออกแบบ มาเป็นการควบคุมแบบ FUZZY LOGIC ซึ่งสามารถปรับการควบคุมค่าเป้าหมายให้แปรเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อมส่งผลให้กระบวนการมีความยืดหยุนมากขึ้นในขณะที่สามารถควบคุมกระบวนการให้ค่าเป้าหมายอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ผลของการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศที่ได้แสดงมาแล้วในบทที่ 6 แสดงให้เห็นได้ว่ากระบวนการสามารถที่จะทำการปรับสภาพอากาศให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตลอดช่วงเวลาฤดูหนาวภายหลังจากการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศแล้ว คือในเดือนธันวาคม 2543 ถึง เดือนมกราคม 2544 ไม่เกิดการหยุดผลิตอันเนื่องมาจากสภาพอากาศภายในห้องพ่นสีอยู่นอกค่าที่ยอมรับได้เลย เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการปรับปรุงจะเกิดการหยุดผลิตจากสาเหตุเดียวกันในช่วงหน้าหนาวนี้ถึง 290 นาที นั่นคือการปรับปรุงระบบควบคุมมีผลต่อกระบวนการปรับอากาศ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.1 และสามารถเปรียบเทียบได้ระบบควบคุมก่อนและหลังการปรับปรุงได้ดังในตารางที่ 7.1 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.1 แผนภูมิแสดงการหยุดผลิตของห้องพ่นสีโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศแบบเดิมกับแบบใหม่

หัวข้อเปรียบเทียบ	แบบเก่า	แบบใหม่
ระบบควบคุม	Proportional Integrial Derivate (PID)	Fuzzy Logic
ค่าเป้าหมายอุณหภูมิจุดน้ำค้าง	23.5 องศาเซลเซียล	21.5 องศาเซลเซียล(ค่าเป้าหมายแบบต่ำ) 23.5 องศาเซลเซียล(ค่าเป้าหมายแบบกลาง) 25.5 องศาเซลเซียล(ค่าเป้าหมายแบบสูง)
ค่าเป้าหมายอุณหภูมิสุดท้าย	27.5 องศาเซลเซียล	26.5 องศาเซลเซียล(ค่าเป้าหมายแบบต่ำ) 27.5 องศาเซลเซียล(ค่าเป้าหมายแบบกลาง) 28.5 องศาเซลเซียล(ค่าเป้าหมายแบบสูง)
ความชื้นสัมพัทธ์จากกระบวนการ	75%Rh	65%Rh(ค่าเป้าหมายแบบต่ำ) 75%Rh(ค่าเป้าหมายแบบกลาง) 85%Rh(ค่าเป้าหมายแบบสูง)
ค่าเอนทาลปีสูงสุดที่กระบวนการสามารถปรับค่าได้	91 kJ / kg	93 kJ / kg
ค่าเอนทาลปีต่ำสุดที่กระบวนการสามารถปรับค่าได้	46 kJ / kg	43 kJ / kg
ปัญหาการหยุดผลิตเฉลี่ยต่อปี	290 นาที ต่อ ปี (2542 - 2543)	0 นาที ต่อ ปี (2543 - 2544)
มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยต่อปี	5.22 ล้านบาท ต่อ ปี (2542 - 2543)	0 บาท ต่อ ปี (2543 - 2544)

7.2 ปัญหาในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

ปัญหาที่สำคัญคือ ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ และ ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ ในส่วนของข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ เกิดขึ้นเนื่องจากโรงงานตัวอย่างมีนโยบายที่ต้องการใช้งบประมาณในการบำรุงรักษาและการปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆให้น้อยที่สุด ดังนั้นการจัดหาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศจึงต้องจัดหาแต่อุปกรณ์ที่จำเป็นเท่านั้น อุปกรณ์บางอย่างจะต้องใช้อุปกรณ์เก่าที่มีอยู่แล้ว คือ ใช้ตัวควบคุม PID ที่มีอยู่แล้วซึ่งเป็นรุ่นที่การเปลี่ยนค่าเป้าหมายทำได้แบบ ดิจิตอล 8 ค่า ผลก็คือทำให้ ทำให้การปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศนี้เป็นแบบ กึ่งฟัซซี่ลอจิก คือการปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายเป็นแบบขั้นบันได ไม่เป็นแบบสมการเส้นตรง ซึ่งน่าจะให้ผลการทำงานที่ดีกว่า

การที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศภายนอกเพื่อนำมาคำนวณหาค่าเอนทาลปี ที่ต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบจุดน้ำค้าง (DEW POINT SENSOR) แทนการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอากาศกระเปาะแห้ง ก็เพราะว่า การใช้ PLC ที่มีใช้อยู่แล้วในการควบคุมเงื่อนไขการทำงานของระบบควบคุมการทำงานของห้องพ่นสีมาเป็นตัวคำนวณในกระบวนการฟัซซี่ลอจิก จำเป็นต้องจัดหาโมดูลทางด้าน ANNALOG INPUT มาติดตั้งเพิ่มเติม ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้งจะเป็นแบบค่าความต้านทานแบบ RTD ซึ่งไม่สามารถที่จะส่งสัญญาณ ANNALOG มาตราฐานออกมาให้กับ ANNALOG INPUT MODUL ของ PLC ได้ ดังนั้นหากต้องการที่จะใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบ RTD ก็จำเป็นที่จะต้องจัดหาโมดูลของ PLC สำหรับรับค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบ RTD ซึ่งจะทำให้งบประมาณสูงขึ้น นอกจากนี้ การใช้ PLC เป็นตัวคำนวณในกระบวนการฟัซซี่ลอจิก จำเป็นต้องใช้สมการ เอ็กโปเนลเชียล ในการคำนวณเพื่อประมาณค่าความดันไอน้ำทำให้เกิดข้อจำกัดของการคำนวณ คือสามารถใช้ในการประมาณค่าได้ในช่วง 0 – 48 องศาเซลเซียล เท่านั้น

ในส่วนของข้อจำกัดทางด้านเวลา เนื่องจากกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่างนี้ ถูกใช้งานในกระบวนการผลิตจริง ดังนั้นการหยุดเครื่องเพื่อทำการปรับปรุงในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเพิ่มเติมจำเป็นจะต้องทำนอกเวลาทำงานเท่านั้นและจะต้องไม่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการเมื่อเริ่มการทำงานอีกครั้ง ดังนั้นการปรับปรุงจึงจะต้องมีการเตรียมงานอย่างดี และ เลือกที่จะทำการปรับปรุงในวันหยุดของโรงงานตัวอย่าง เพื่อที่จะได้มีเวลามากพอในการปรับปรุงและการทดลองกระบวนการที่ทำการปรับปรุงไปแล้ว และถ้าการปรับปรุงนั้นไม่สัมฤทธิ์ผล ก็จะต้องมีเวลามากพอที่จะปรับกลับมาที่เดิมก่อนทำการปรับปรุงเพื่อให้กระบวนการผลิตสามารดำเนินต่อไปได้

7.3 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศ

ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ในทางปฏิบัติจริงอุณหภูมิภายในห้องพ่นสีมีผลกระทบกับคุณภาพของงานพ่นสีมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ เพราะจากประสพการณ์ที่ผ่านมาเมื่อเกิดปัญหากระบวนการปรับอากาศไม่สามารถที่จะปรับอากาศได้ตามมาตรฐาน โดยเมื่อทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่ากำหนด ซึ่งโดยปรกติจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งอุณหภูมิและความชื้นเมื่อนำรถเข้าพ่นในสภาวะดังกล่าวจะทำให้เกิดผิวสีหยาบซึ่งเป็นผลของอุณหภูมิต่ำกว่าค่ากำหนด และเมื่อค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่ากำหนดซึ่งโดยปรกติค่าความชื้นสัมพัทธ์จะไม่สูงตามไปด้วยคืออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ถ้านำรถเข้าพ่นสีปัญหาที่เกิดขึ้นคือปัญหาสีไหลซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิสูง แต่ในกรณีที่ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าค่ากำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นจะเกิดทั้งสีไหลและสีเป็นฝ้า

ส่วนปัญหาในการควบคุมกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีโดยมากที่เกิดการหยุดผลิตจะเกิดจากการที่ไม่สามารถที่จะทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องพ่นสีให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้ แต่ กระบวนการสามารถที่ปรับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้เป็นเพราะค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากกระบวนการปรับอากาศนี้ไม่ได้เป็นการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยตรง แต่เป็นผลมาจากการปรับค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังนั้นการควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ก็คือการควบคุมค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างและค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งให้มีความสัมพันธ์กันตามกระบวนการไซโครเมตริคนั่นเอง

ปัญหาในการปรับปรุงกระบวนการปรับอากาศสำหรับห้องพ่นสีของโรงงานตัวอย่างคือการปรับปรุงที่มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณทำให้การปรับปรุงเป็นแบบกึ่งฟัซซี่ลอจิก การที่จะทำให้กระบวนการควบคุมเป็นแบบ ฟัซซี่ลอจิก เต็มรูปแบบจะต้องใช้ตัวควบคุม PID ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายได้แบบต่อเนื่อง และการเปลี่ยนค่าจะต้องใช้สัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาล็อคด้วยซึ่งจะต้องใช้ PLC ANNALOG OUTPUT MODUL เป็นตัวส่งสัญญาณควบคุมค่าเป้าหมาย สมการที่ใช้ในการคำนวนเปรียบเทียบก็จะต้องใช้สมการเชิงเส้นเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของสัญญาณควบคุม แต่ทั้งหมดนี้ก็ต้องใช้งบประมาณและความชำนาญที่มากขึ้นด้วยโดยเฉพาะการเขียนโปรแกรม PLC

การปรับปรุงการควบคุมกระบวนการปรับอากาศนี้ยังสามารถที่จะพัฒนาการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกให้ครอบคุมการทำงานการควบคุมกระบวนการปรับอากาศให้สามารถที่จะใช้พลังงานให้น้อยที่สุดตลอดการทำงานทั้งปีทั้งสามฤดูเป็นการประหยัดพลังงานทางหนึ่ง แต่ก็ต้องทำการศึกษาเงื่อนไขการทำงานในแต่ละสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาเพื่อที่จะได้ทำการปรับการควบคุมให้เหมาะสม โดยจะต้องอาศัยการเก็บข้อมูลตลอดทั้งปีมาเป็นข้ออ้างอิงในการปรับปรุงซึ่งต้องใช้เวลาและเงินทุนเพิ่มขึ้นด้วย

นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาการปรับปรุงระบบควบคุมกระบวนการอื่นๆที่มีการควบคุมที่มีลักษณะงานที่คล้ายคลึงกันเป็นการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อทำให้กระบวนการมีความยืดหยุ่น สามารถที่จะปรับการควบคุมตามสภาวะการณ์ที่มีความแปรปรวนแต่จะต้องไม่ให้ค่าควบคุมออกนอกค่ากำหนดตามที่ได้ออกแบบไว้ในการควบคุมกระบวนการนั้นๆด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด. คู่มือวิศวกรเครื่องกล. กรุงเทพ : 2531

สหัส พรหมสิทธิ์. ลดความแปปรวนใน PID Loop ด้วยฟัซซี่ลอจิก, INSTRUMENTATION WORLD, 2540 : 52.

สุดาธิป พลพงษ์. ข้อควรรู้เกียวกับกระบวนการควบคุมแบบ PID, INSTRUMENTATION, กันยายน 2540 : 45

สุรพล พฤภษพานิช. การปรับอากาศ หลักการและระบบ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529

อัครเดช สินธุภัค. การทำความเย็น. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

ภาษาอังกฤษ

ExperTune. Available from : www.expertune.com/articles.html

Mithsbishi Electric Corporation. PROGRAMMABLE CONTROLLER MELSEC-A PROGRAMMING MANUAL TYPE A CPU. Nagoya Japan, 1999

Mithsbishi Electric Corporation. PROGRAMMABLE CONTROLLER MELSEC-A PROGRAMMING MANUAL TYPE A2A(S1) / A3A CPU (Dedicatea Instructions). Nagoya Japan, 1998

Mithsbishi Electric Corporation. USER'S MANUAL A/D CONVETER MODULE TYPE A68 AD. Nagoya Japan, 1999

Roy J. Dossat. Principles of Refrigeration. University of Houston, 1991

Thai Kenzaisha Co.,Ltd. Toyota Motor Thailand Co., Ltd. Operation & Maintenance Manual No.4 Spray Booth & ASH System. Bangkok, 1992

Yamatake-Honeywell Co.,Ltd. Product Manual DigitroniK SDC200 Digitial Indicating Controller. Japan, 1990

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
ประวัติการเสียของระบบปรับอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการเสียของระบบปรับอากาศของโรงงานตัวอย่าง

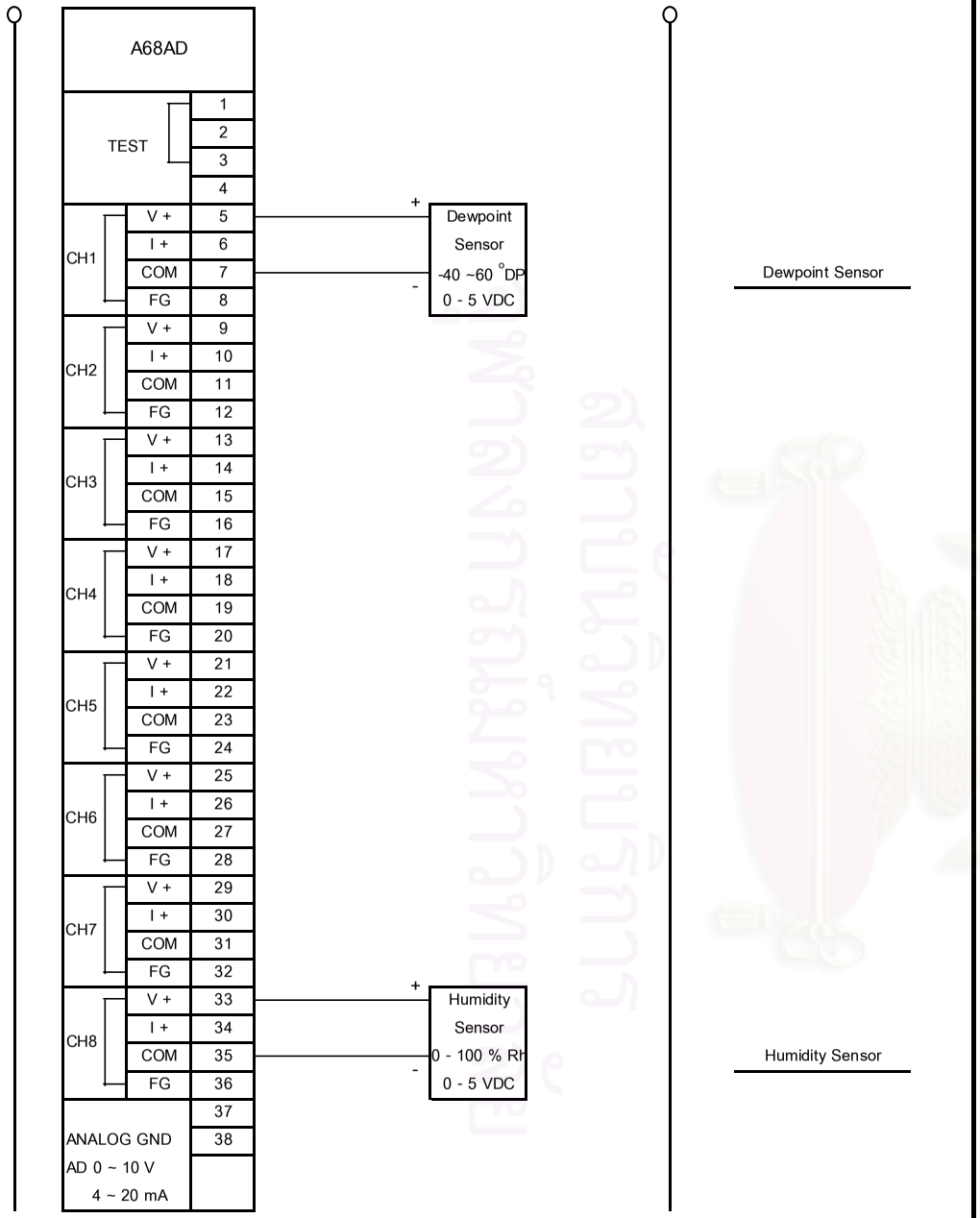
MCCODE	MCNAME	DATE	F.TIME	R.TIME	EST	LST	PROBLEM
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	1/27/97	0800	0823	23	22.2	AIR BALANCE ไม่ได้ลมเข้า BOOTH
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	2/10/97	0800	0815	15	15	ASU. B#4 UNIT 1 VALVE DRAIN น้ำไม่เปิด
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	3/14/97	0400	0408	8	0	หมอกลงในห้อง SETTING B#4
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	3/27/97	2250	2400	0	70	อุณหภูมิของ HEAT COIL UNIT#1,2 ต่ำมาก
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	4/16/97	0838	0856	18	18	ระบบ BOOTH#3 มีปัญหา
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	5/22/97	0800	0806	6	6	B#4 TEMP. ต่ำทาง P/D จึงหยุด LINE
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	6/5/97	0310	0313	3	0	อุณหภูมิ BOOTH ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	7/9/97	1555	1615	20	20	ระบบ BOOTH ไม่ทำงาน
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	11/3/97	0800	0816	16	0	อุณหภูมิ BOOTH#4 HUM. ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	1/16/98	1315	1335	20	20	อุณหภูมิตกอยู่ที่ 24 ˚C
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	1/30/98	0800	0805	5	0	ASU. อุณหภูมิขึ้นช้า
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	2/19/98	0830	0840	10	0	อุณหภูมิไม่ได้ที่ ASU. UNIT-A
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	4/9/98	1110	1130	0	0	อุณหภูมิ BOOTH#4 ASU. ทั้ง 2 UNIT ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	4/22/98	1325	1330	5	5	อุณหภูมิ B#4 UNIT-A สูงมาก
T-ASU-008	ASU BOOTH#4	5/7/98	0810	0820	10	0	อุณหภูมิ B#4 UNIT-2 ต่ำ
T-ASU-008	ASU BOOTH#4	5/8/98	0820	0830	10	0	อุณหภูมิ B#4 UNIT-B ต่ำ
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	5/12/98	1050	1120	0	0	อุณหภูมิ B#3 สูงเกิน STD
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	5/12/98	1050	1120	0	20	อุณหภูมิ B#4 สูงเกิน STD.
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	5/14/98	0945	0953	8	8	CONTROL ASU และระบบ BOOTH หยุดทำงาน
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	6/25/98	0840	0850	10	0	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	8/18/98	0930	1030	60	55	อุณหภูมิใน BOOTH ต่ำ HUM. ก็ต่ำ
T-ASU-008	ASU BOOTH#4	8/18/98	1300	1432	92	92	อุณหภูมิใน BOOTH สูงเกินมาตรฐาน
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	11/12/98	0810	0916	66	66	ASU ทำความชื้นไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	11/13/98	0827	0942	75.6	75.6	ASU ทำ HUM+TEMP. ต่ำกว่า STD.
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	11/13/98	1300	1327	27	27	HUM.+TEMP. ต่ำและเกิด SWING ไปมา
T-ASU-006	ASU BOOTH#4	11/19/98	0800	0811	10.8	10.8	HUM.B#3 สูงเกิน SET POINT
T-ASU-006	ASU BOOTH#4	11/19/98	0915	0934	18.9	18.9	HUM. B#3 สูงเกิน SET POINT
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/1/98	0935	1030	5	65	P/D แจ้งความชื่นใน B#3
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/9/98	0800	0929	79	79	อุณหภุมิความชื่นต่ำกว่า STD
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/9/98	1100	1135	35	35	อุณหภูมิความชื่อไม่ได้ STD.
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/11/98	0800	0910	70.6	70.6	B#4 ความชื่อต่ำกว่า STANDARD
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/12/98	0800	0900	0	59.4	TEMP.& HUM. B#3 ต่ำกว่ามาตรฐาน
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/12/98	0800	0830	29.1	29.1	TEMP.&HUM. ต่ำกว่า STD.
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/12/98	0900	1000	0	59.4	TEMP.& HUM. ต่ำกว่า STD.
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/12/98	1100	1200	0	51.3	TEMP.& HUM. ต่ำกว่า STD
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/12/98	1110	1125	13.2	13.2	TEMP.&HUM. B#4 ไม่ได้
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/14/98	0900	0935	35.1	35.1	อุณหภูมิ B#3 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/14/98	0900	0919	18.5	18.5	อุณหภูมิความชื่น B#4 ไม่ได้

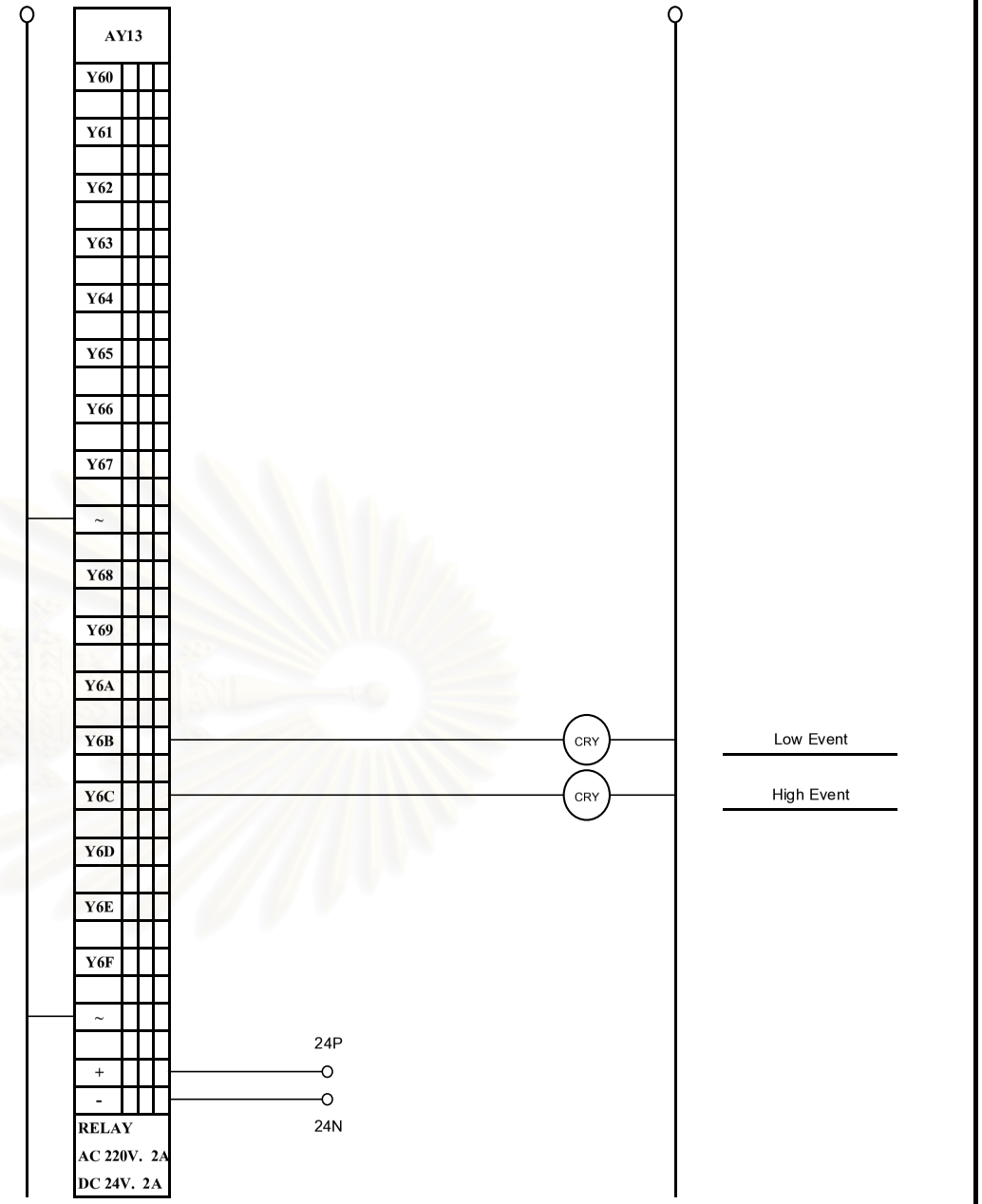
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/14/98	0934	1001	26.5	26.5	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/14/98	1010	1024	13.2	13.2	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/14/98	1040	1054	13.2	13.2	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/14/98	1120	1147	26.5	26.5	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/15/98	0800	0900	60	60	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/15/98	0900	1000	2	59.4	อุณหภูมิ B#3 ไม่ได้
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/15/98	1010	1100	2	43.2	อุณหภูมิ B#3 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/15/98	1010	1021	10.6	10.6	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/15/98	1115	1129	2	13.5	อุณหภูมิ B#3 ไม่ได้
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	12/16/98	0800	1000	120	120	B#3 มีน้ำหยดลงมาจาก FILTER ที่อยู่ด้านบน
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/16/98	0800	0845	45	45	B#4 น้ำรั่วหยดใน BOOTH
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/16/98	0900	0934	34	34	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	12/16/98	1110	1117	7	7	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	1/14/99	0800	0830	0	30	อุณหภูมิ B#4 ไม่ได้
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	1/14/99	0817	0838	0	21	อุณหภูมิ B#3 ไม่ได้
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	1/18/99	0820	0905	45.9	45.9	อุณหภูมิ B#3 สูงเกินมาตรฐาน
T-ASU-007	ASU BOOTH#4	1/19/99	0835	0845	10	0	ASU B#4 UNIT-A อุณหภูมิต่ำลงมา
T-ASU-005	ASU BOOTH#4	1/26/99	0800	0812	12	12	ความชื้น B#3 สูงทั้ง 2 UNIT
TOTAL					1252.7	1646.1	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.
แบบไฟฟ้าระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ

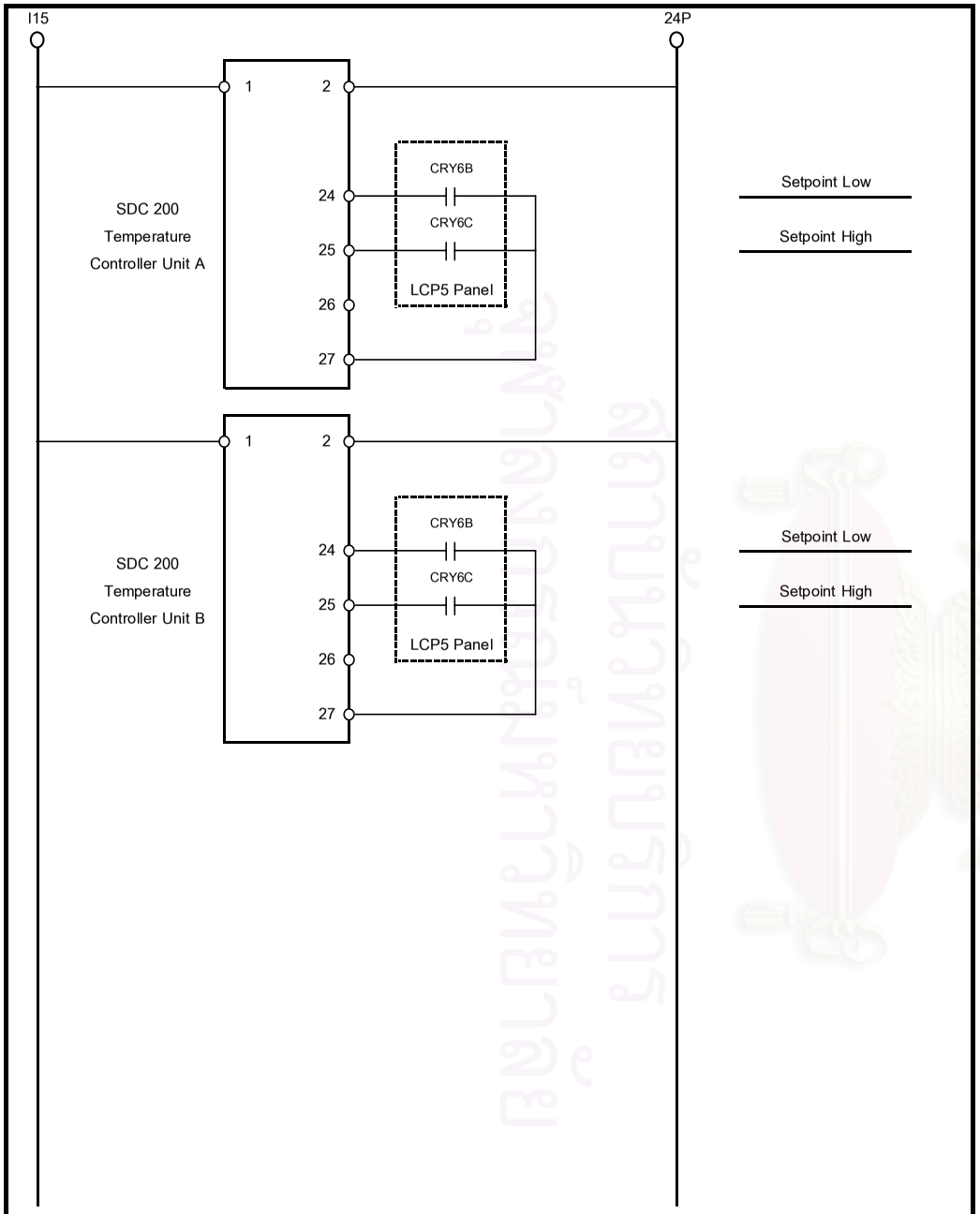
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



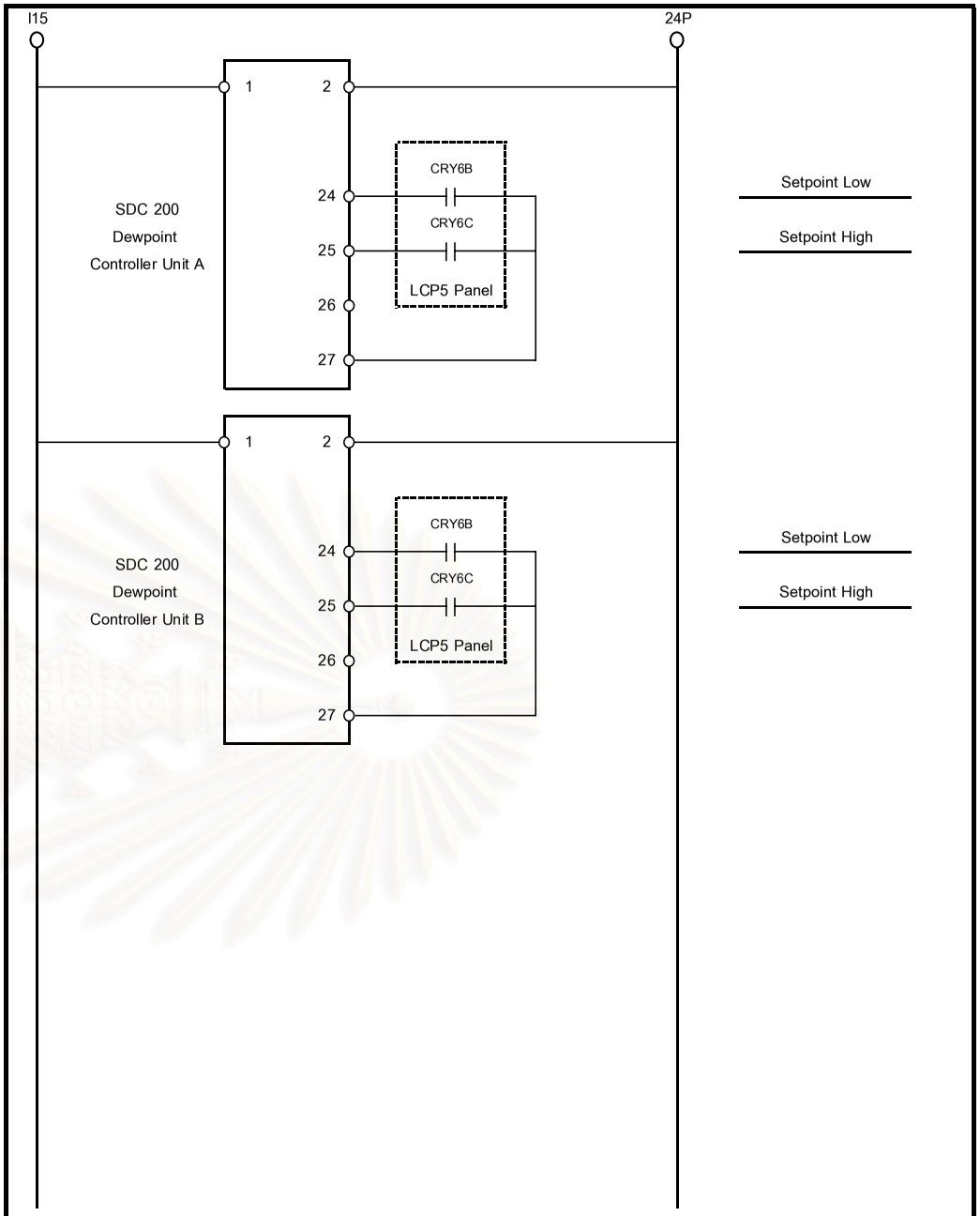


DATE	DESIGN	CHECK	APPROVED	JOB TITLE	PROJECT	PAGE NO.
				LCP5 A68AD Wiring	Humidity Control	1

DATE	DESIGN	CHECK	APPROVED	JOB TITLE	PROJECT	PAGE NO.
				LCP5 Output	Humidity Control	2



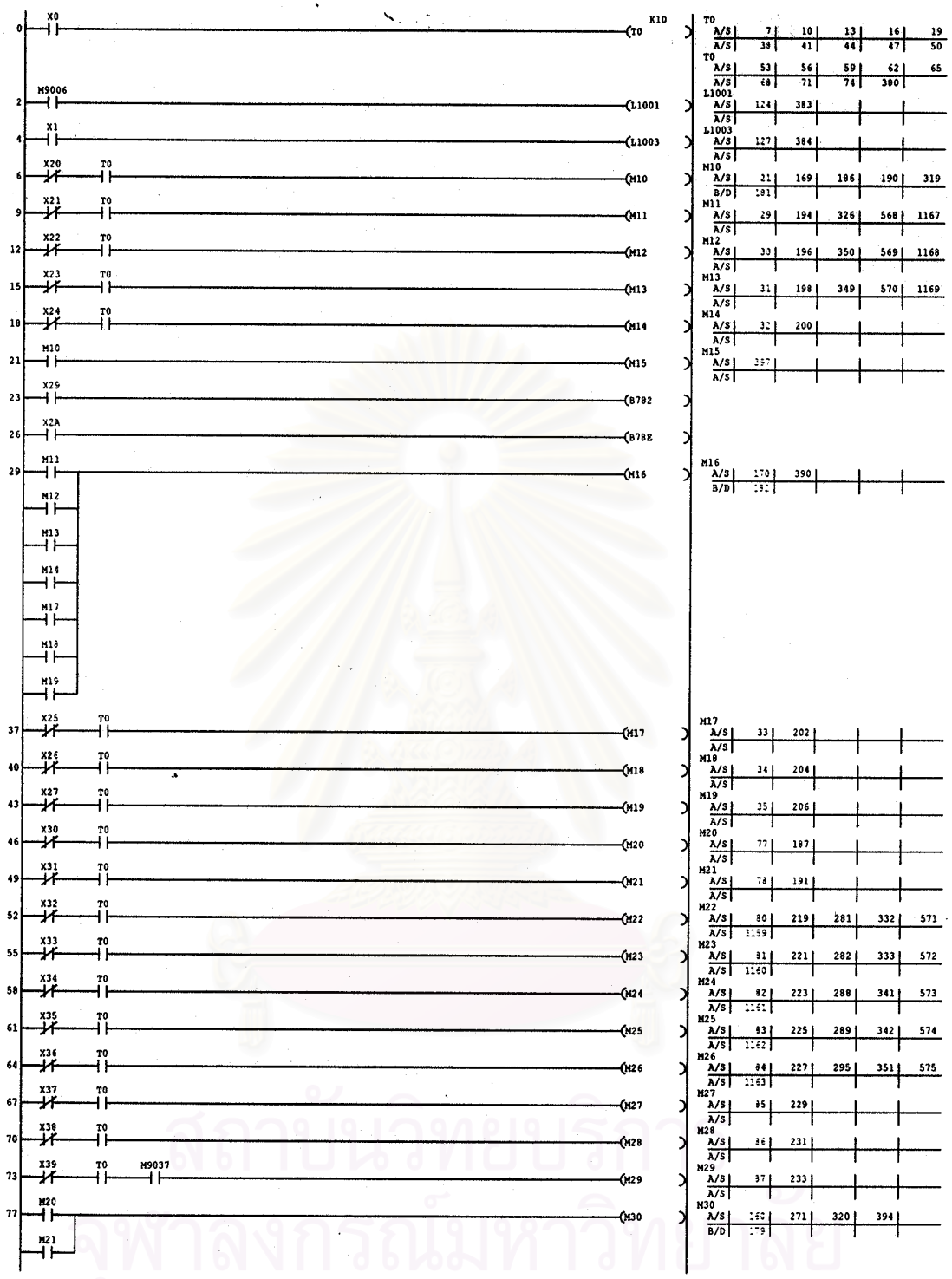
DATE	DESIGN	CHECK	APPROVED	JOB TITLE	PROJECT	PAGE NO.
				Booth#4 Operation Panel	Humidity Control	3

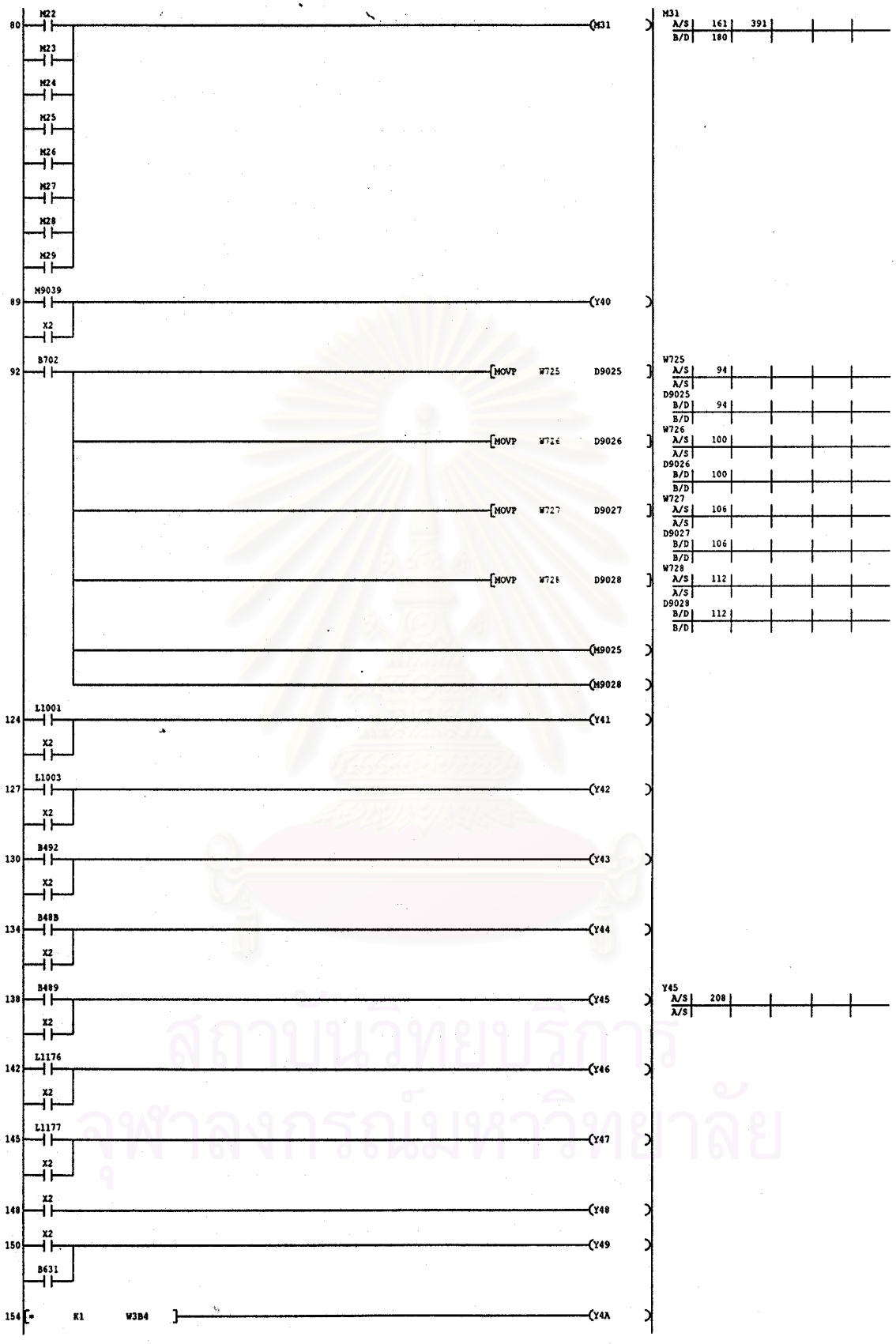


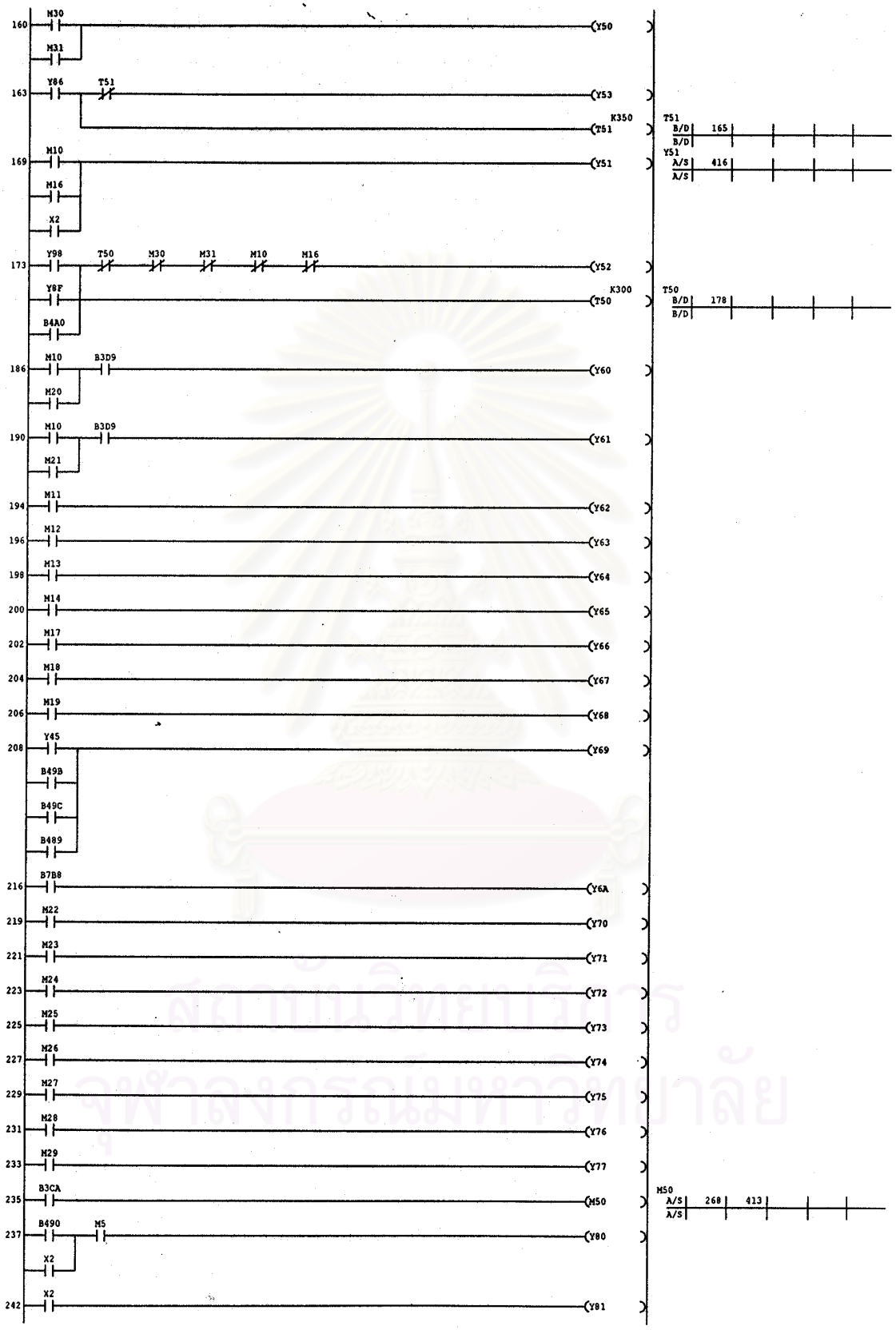
DATE	DESIGN	CHECK	APPROVED	JOB TITLE	PROJECT	PAGE NO.
				Booth#4 Operation Panel	Humidity Control	4

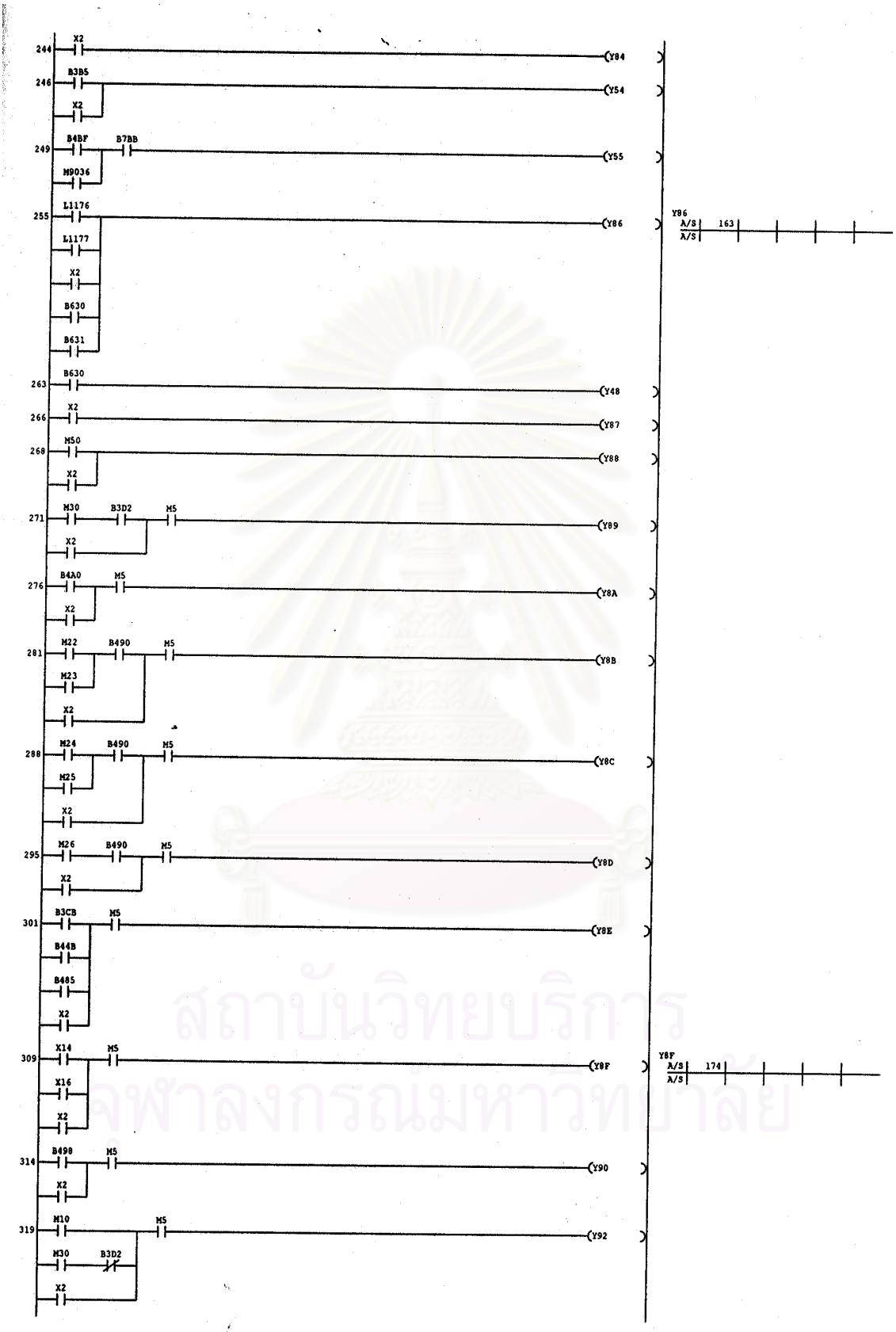
ภาคผนวก ค.
โปรแกรม PLC ระบบควบคุมกระบวนการปรับอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

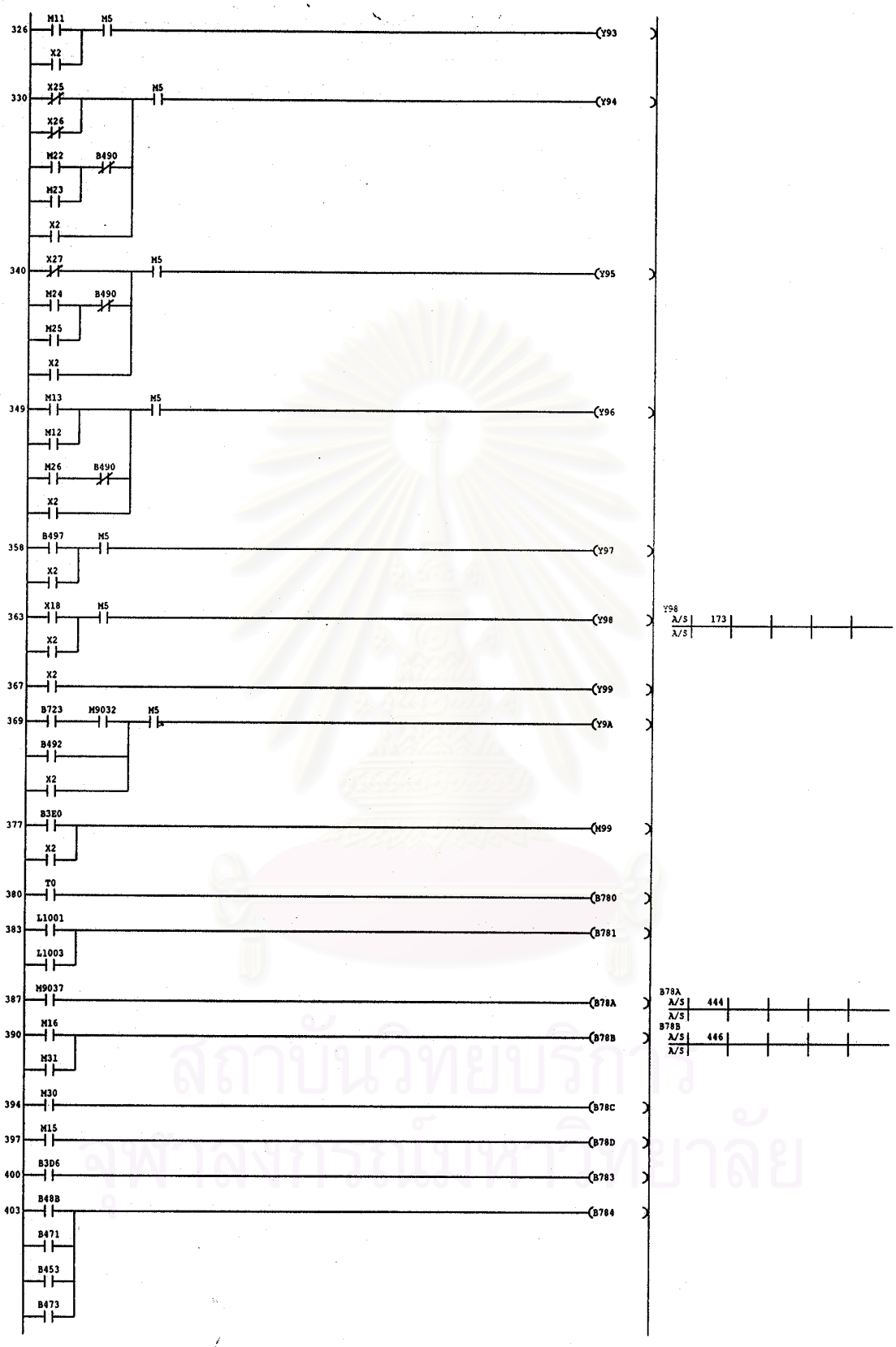

X0
K10
T0
M9006
L1001
X1
L1003
X20
T0
M10
X21
T0
M11
X22
T0
M12
X23
T0
M13
X24
T0
M14
M10
M15
X29
B782
X2A
B78E
M11
M16
M12
M13
M14
M17
M18
M19
X25
T0
M17
X26
T0
M18
X27
T0
M19
X30
T0
M20
X31
T0
M21
X32
T0
M22
X33
T0
M23
X34
T0
M24
X35
T0
M25
X36
T0
M26
X37
T0
M27
X38
T0
M28
X39
T0
M9037
M29
M20
M30
M21
T0
A/S 7 10 13 16 19
A/S 39 41 44 47 50
T0
A/S 53 56 59 62 65
A/S 68 71 74 380
L1001
A/S 124 383
A/S
L1003
A/S 127 384
A/S
M10
A/S 21 169 186 190 319
B/D 181
M11
A/S 29 194 326 568 1167
A/S
M12
A/S 30 196 350 569 1168
A/S
M13
A/S 31 198 349 570 1169
A/S
M14
A/S 32 200
A/S
M15
A/S 357
A/S
M16
A/S 170 390
B/D 182
M17
A/S 33 202
A/S
M18
A/S 34 204
A/S
M19
A/S 35 206
A/S
M20
A/S 77 187
A/S
M21
A/S 78 191
A/S
M22
A/S 80 219 281 332 571
A/S 1159
M23
A/S 81 221 282 333 572
A/S 1160
M24
A/S 82 223 288 341 573
A/S 1161
M25
A/S 83 225 289 342 574
A/S 1162
M26
A/S 84 227 295 351 575
A/S 1163
M27
A/S 85 229
A/S
M28
A/S 86 231
A/S
M29
A/S 87 233
A/S
M30
A/S 160 271 320 394
B/D 179

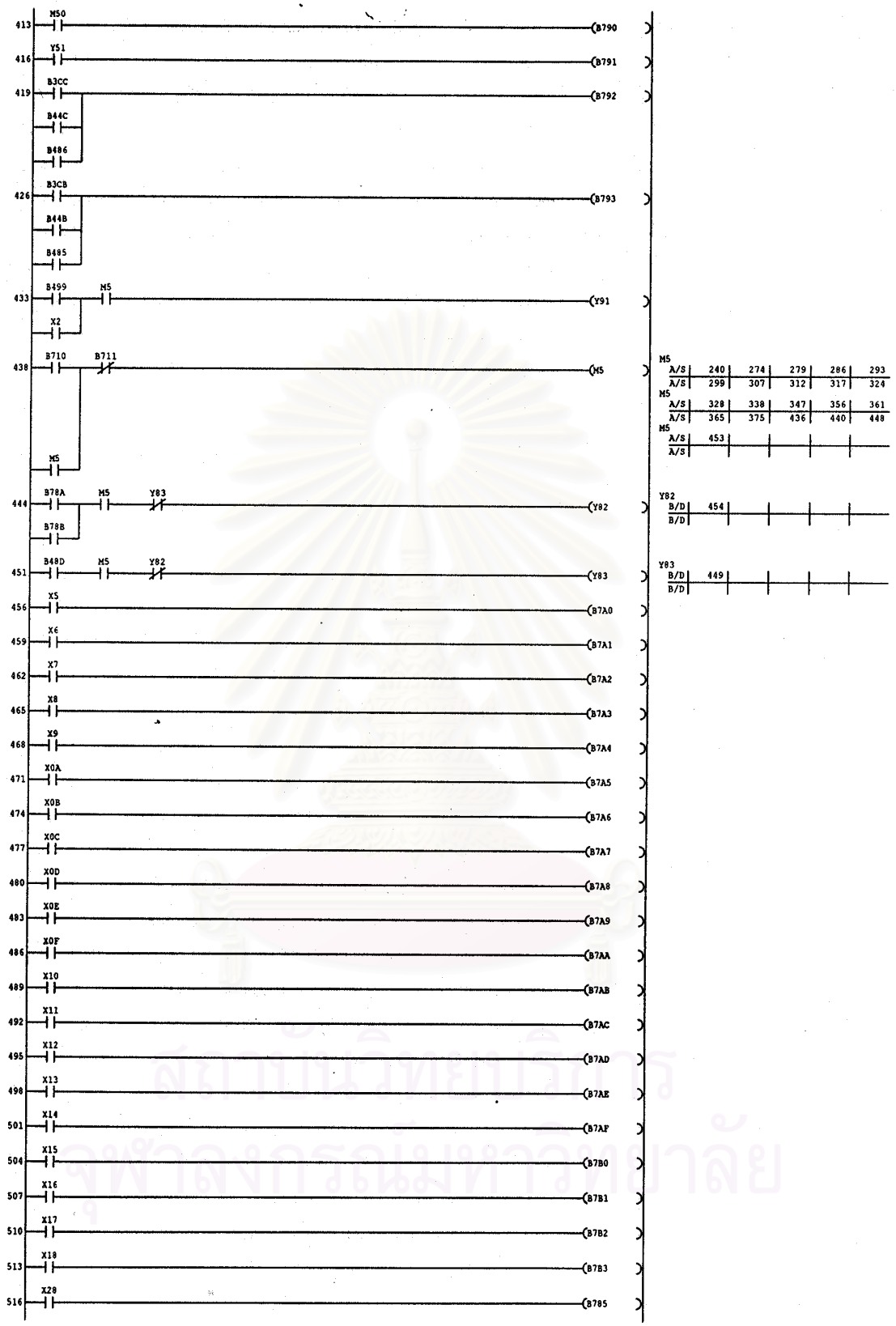

80 M22
M23
M24
M25
M26
M27
M28
M29
M31
89 M9039
X2
Y40
92 B702
MOVP W725 D9025
MOVP W726 D9026
MOVP W727 D9027
MOVP W728 D9028
M9025
M9028
124 L1001
X2
Y41
127 L1003
X2
Y42
130 B492
X2
Y43
134 B48B
X2
Y44
138 B489
X2
Y45
142 L1176
X2
Y46
145 L1177
X2
Y47
148 X2
Y48
150 X2
Y49
B631
154 = K1 W3B4
Y4A
M31 A/S 161 391 B/D 180
W725 A/S 94 A/S
D9025 B/D 94 B/D
W726 A/S 100 A/S
D9026 B/D 100 B/D
W727 A/S 106 A/S
D9027 B/D 106 B/D
W728 A/S 112 A/S
D9028 B/D 112 B/D
Y45 A/S 208 A/S

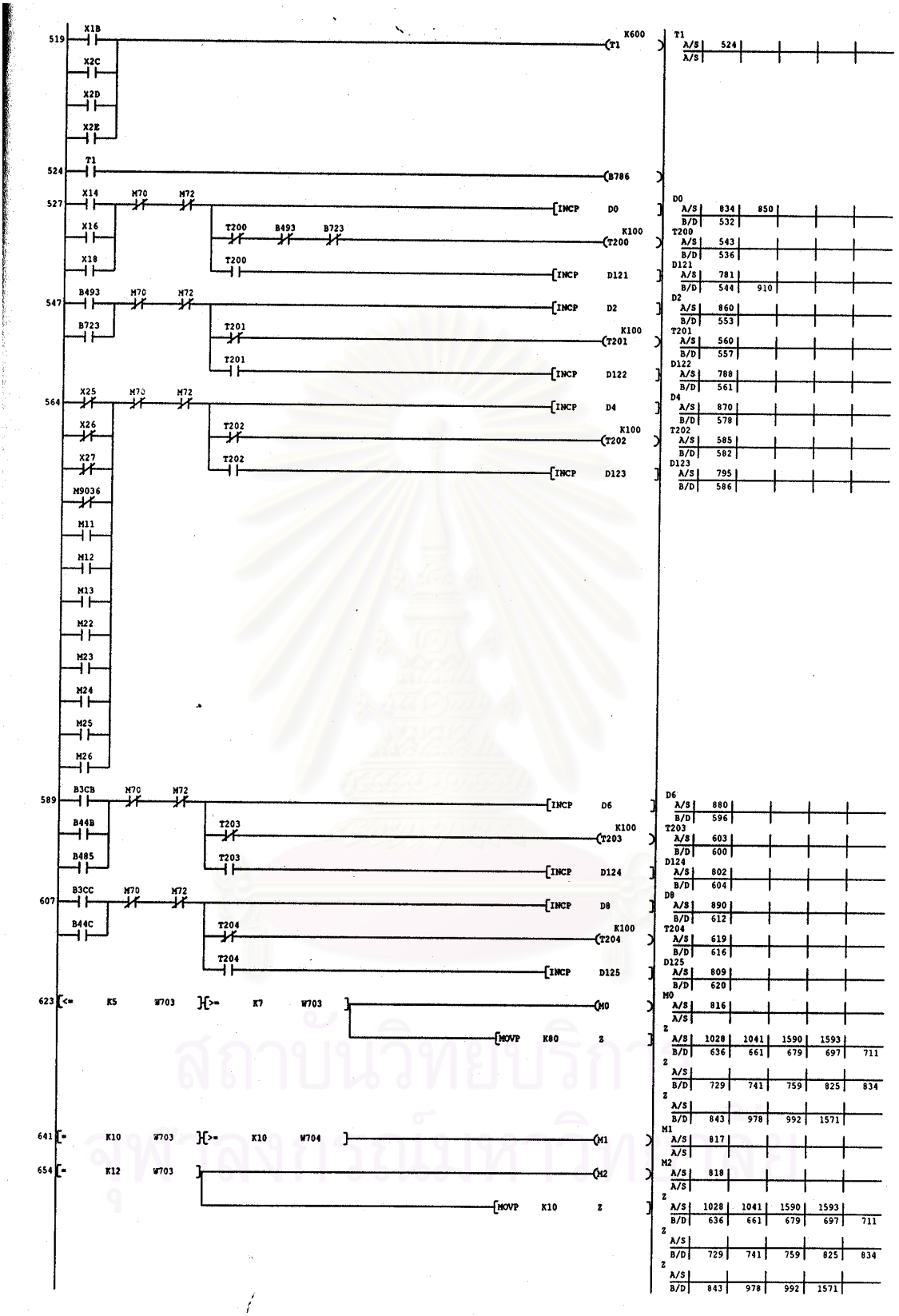

160 M30 M31 Y50
163 Y86 T51 Y53
K350 T51
T51 B/D B/D 165
169 M10 M16 X2 Y51
Y51 A/S A/S 416
173 Y98 T50 M30 M31 M10 M16 Y52
Y8F B4A0 K300 T50
T50 B/D B/D 178
186 M10 M20 B3D9 Y60
190 M10 M21 B3D9 Y61
194 M11 Y62
196 M12 Y63
198 M13 Y64
200 M14 Y65
202 M17 Y66
204 M18 Y67
206 M19 Y68
208 Y45 B49B B49C B489 Y69
216 B7B8 Y6A
219 M22 Y70
221 M23 Y71
223 M24 Y72
225 M25 Y73
227 M26 Y74
229 M27 Y75
231 M28 Y76
233 M29 Y77
235 B3CA M50
M50 A/S A/S 268 413
237 B490 M5 X2 Y80
242 X2 Y81

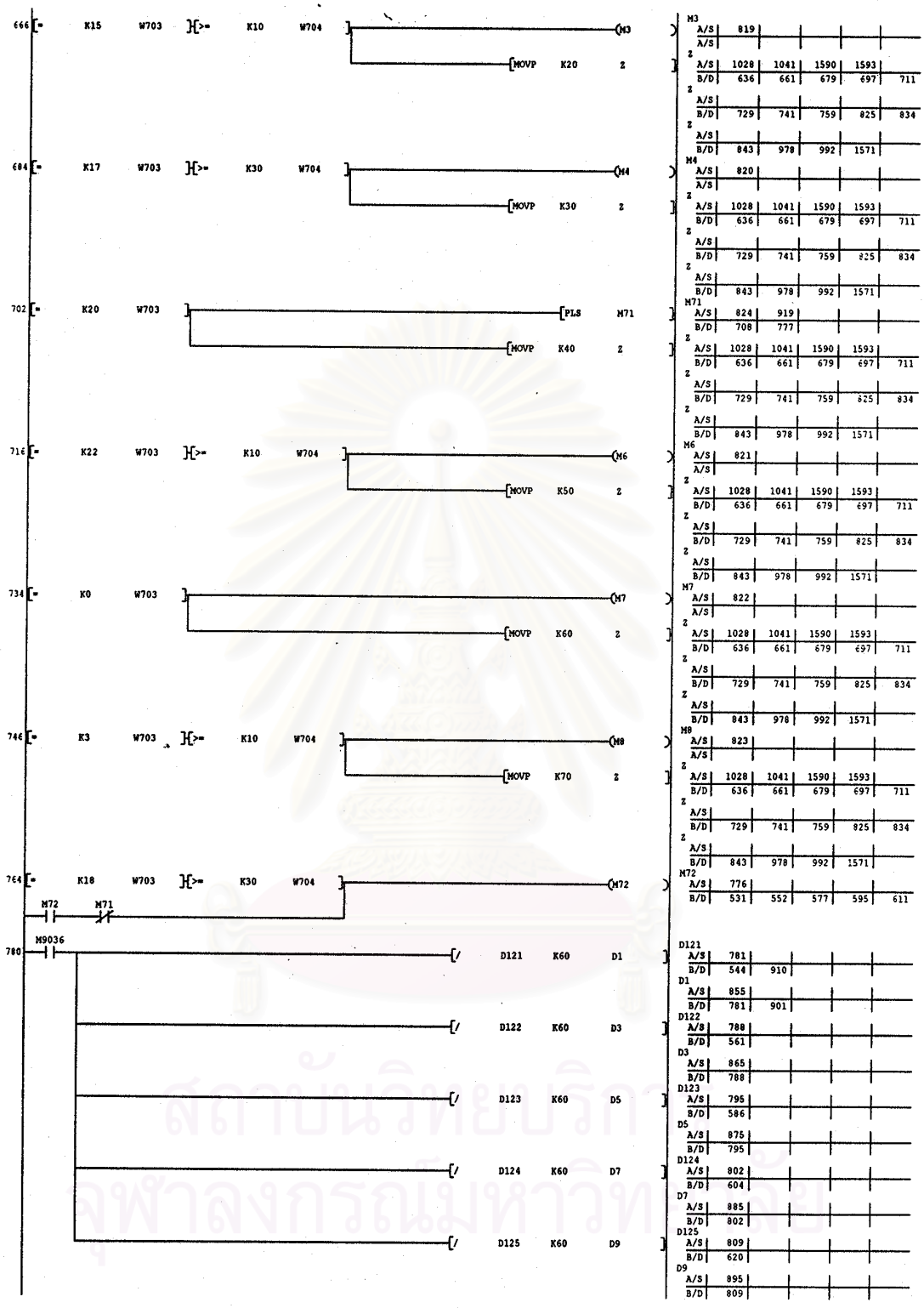


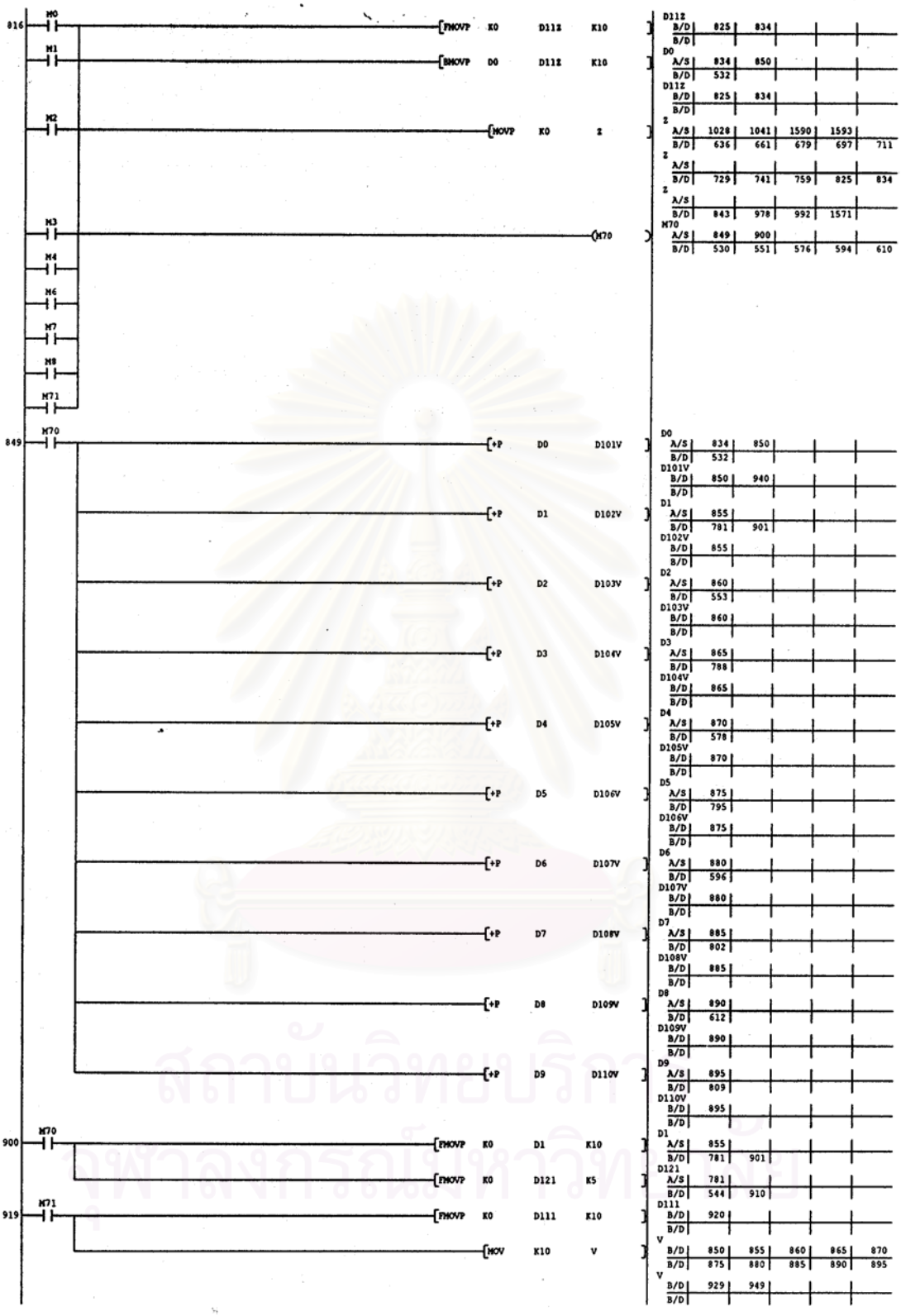
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

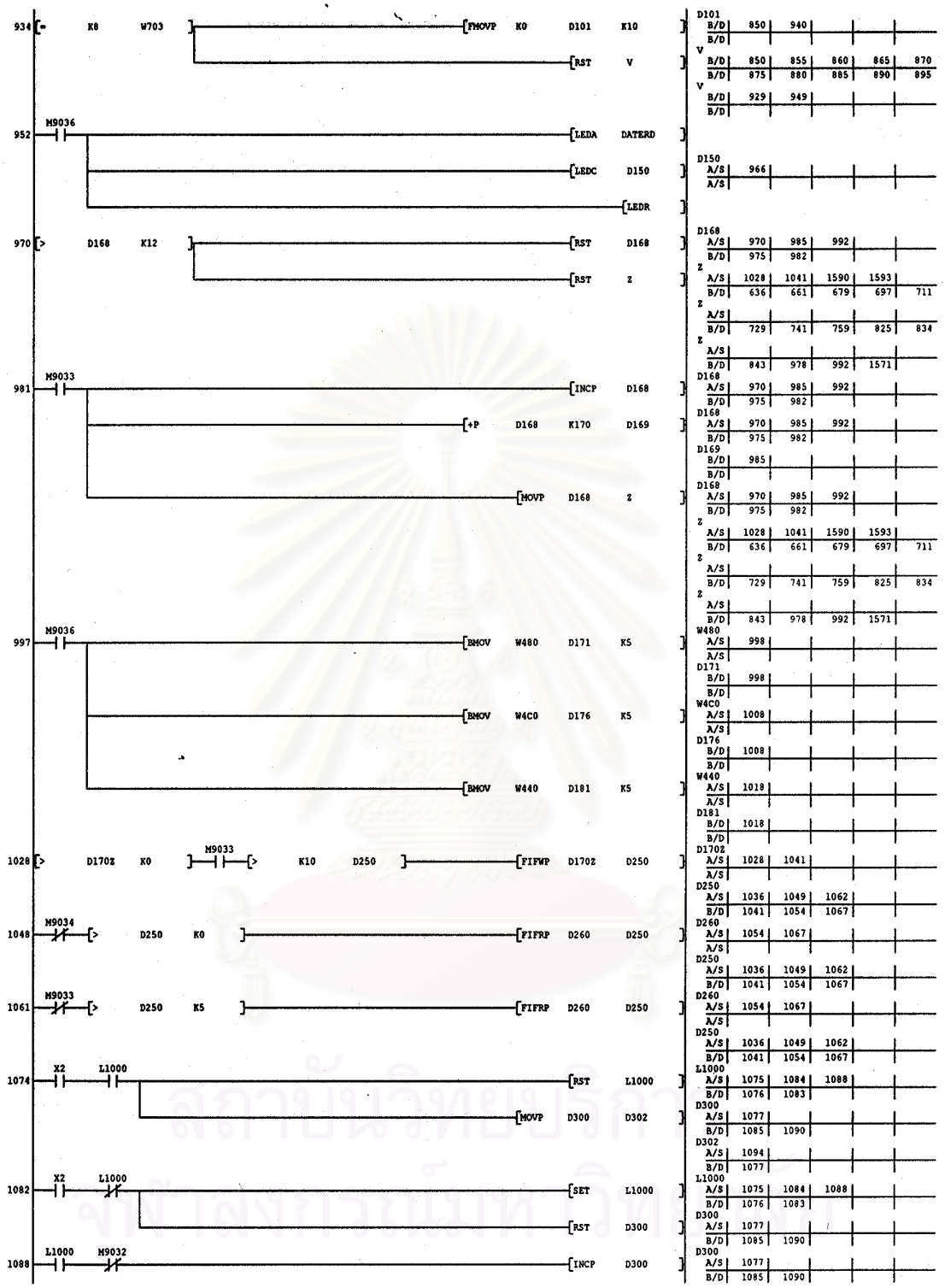

326 M11 M5 X2 Y93
330 X25 X26 M5 M22 B490 M23 X2 Y94
340 X27 M5 M24 B490 M25 X2 Y95
349 M13 M12 M5 M26 B490 X2 Y96
358 B497 M5 X2 Y97
363 X18 M5 X2 Y98
Y98 λ/S 173 λ/S
367 X2 Y99
369 B723 M9032 M5 B492 X2 Y9A
377 B3E0 X2 M99
380 T0 B780
383 L1001 L1003 B781
387 M9037 B78A
B78A λ/S 444 λ/S
390 M16 M31 B78B
B78B λ/S 446 λ/S
394 M30 B78C
397 M15 B78D
400 B3D6 B783
403 B48B B471 B453 B473 B784

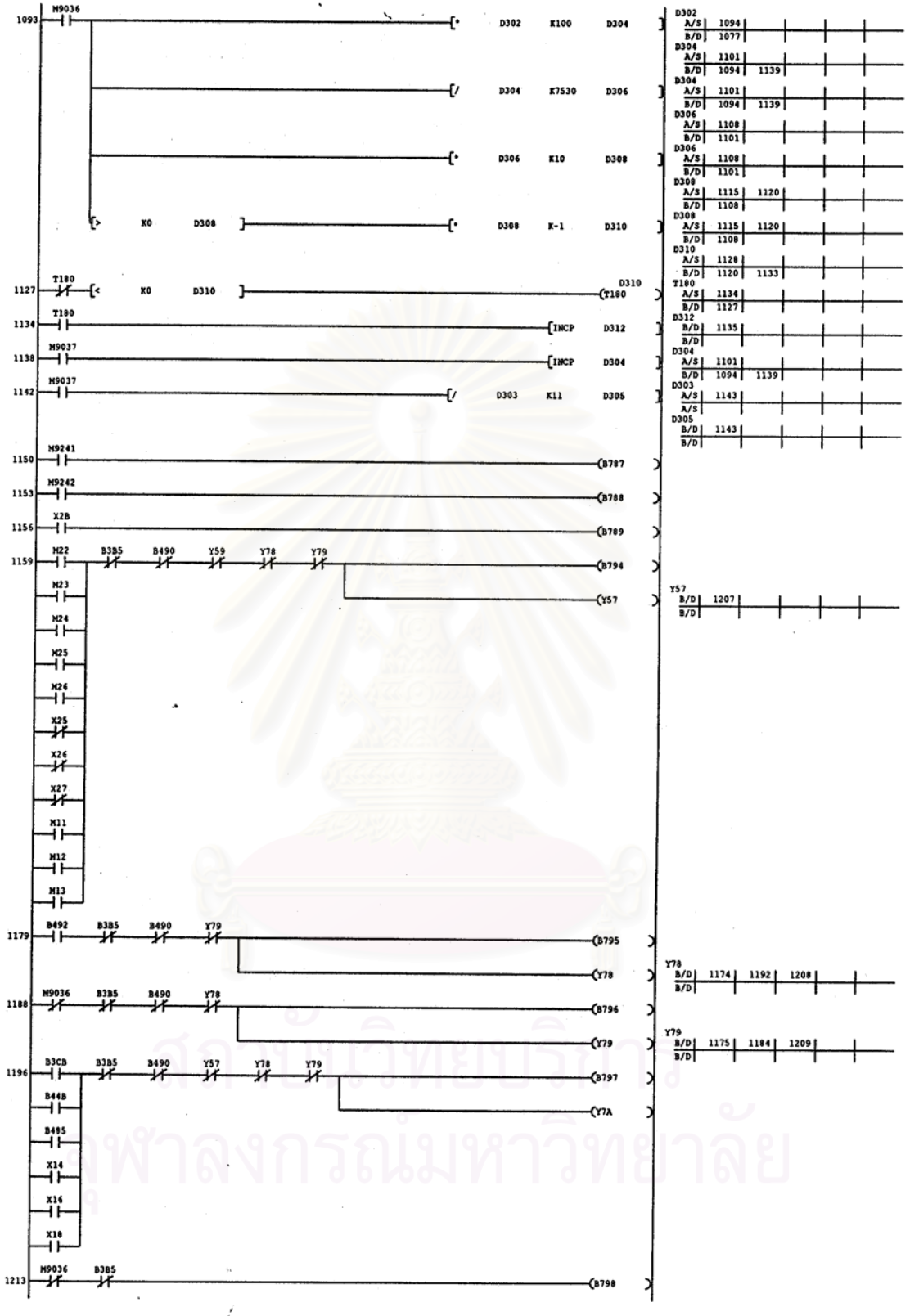

413 M50 B790
416 Y51 B791
419 B3CC B44C B486 B792
426 B3CB B44B B485 B793
433 B499 M5 X2 Y91
438 B710 B711 M5 M5
444 B78A M5 Y83 B78B Y82
451 B48D M5 Y82 Y83
456 X5 B7A0
459 X6 B7A1
462 X7 B7A2
465 X8 B7A3
468 X9 B7A4
471 X0A B7A5
474 X0B B7A6
477 X0C B7A7
480 X0D B7A8
483 X0E B7A9
486 X0F B7AA
489 X10 B7AB
492 X11 B7AC
495 X12 B7AD
498 X13 B7AE
501 X14 B7AF
504 X15 B7B0
507 X16 B7B1
510 X17 B7B2
513 X18 B7B3
516 X20 B7B5
M5 A/S 240 274 279 286 293
A/S 299 307 312 317 324
M5 A/S 328 338 347 356 361
A/S 365 375 436 440 448
M5 A/S 453
A/S
Y82 B/D 454
B/D
Y83 B/D 449
B/D

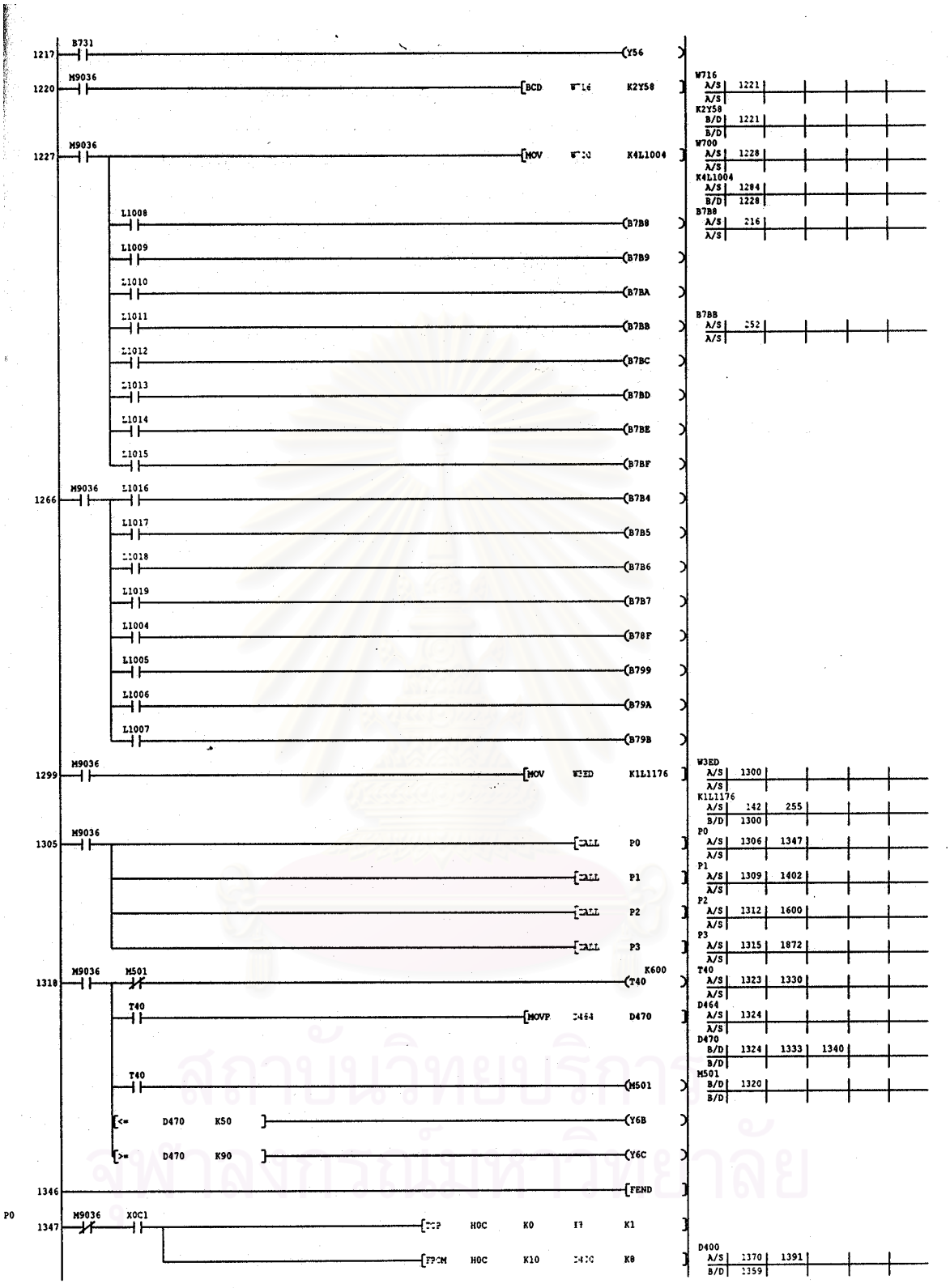

519 X1B X2C X2D X2E K600 T1
524 T1 B786
527 X14 X16 X18 M70 M72 INCP D0
T200 B493 B723 K100 T200
T200 INCP D121
547 B493 B723 M70 M72 INCP D2
T201 K100 T201
T201 INCP D122
564 X25 X26 X27 M70 M72 INCP D4
T202 K100 T202
T202 INCP D123
M9036 M11 M12 M13 M22 M23 M24 M25 M26
589 B3CB B44B B485 M70 M72 INCP D6
T203 K100 T203
T203 INCP D124
607 B3CC B44C M70 M72 INCP D8
T204 K100 T204
T204 INCP D125
623 <= K5 W703 >= K7 W703 M0
MOVP K80 Z
641 = K10 W703 >= K10 W704 M1
654 = K12 W703 M2
MOVP K10 Z
T1 A/S 524
D0 A/S 834 850 B/D 532
T200 A/S 543 B/D 536
D121 A/S 781 B/D 544 910
D2 A/S 860 B/D 553
T201 A/S 560 B/D 557
D122 A/S 788 B/D 561
D4 A/S 870 B/D 578
T202 A/S 585 B/D 582
D123 A/S 795 B/D 586
D6 A/S 880 B/D 596
T203 A/S 603 B/D 600
D124 A/S 802 B/D 604
D8 A/S 890 B/D 612
T204 A/S 619 B/D 616
D125 A/S 809 B/D 620
M0 A/S 816
Z A/S 1028 1041 1590 1593 B/D 636 661 679 697 711
Z A/S B/D 729 741 759 825 834
Z A/S B/D 843 978 992 1571
M1 A/S 817
M2 A/S 818
Z A/S 1028 1041 1590 1593 B/D 636 661 679 697 711
Z A/S B/D 729 741 759 825 834
Z A/S B/D 843 978 992 1571

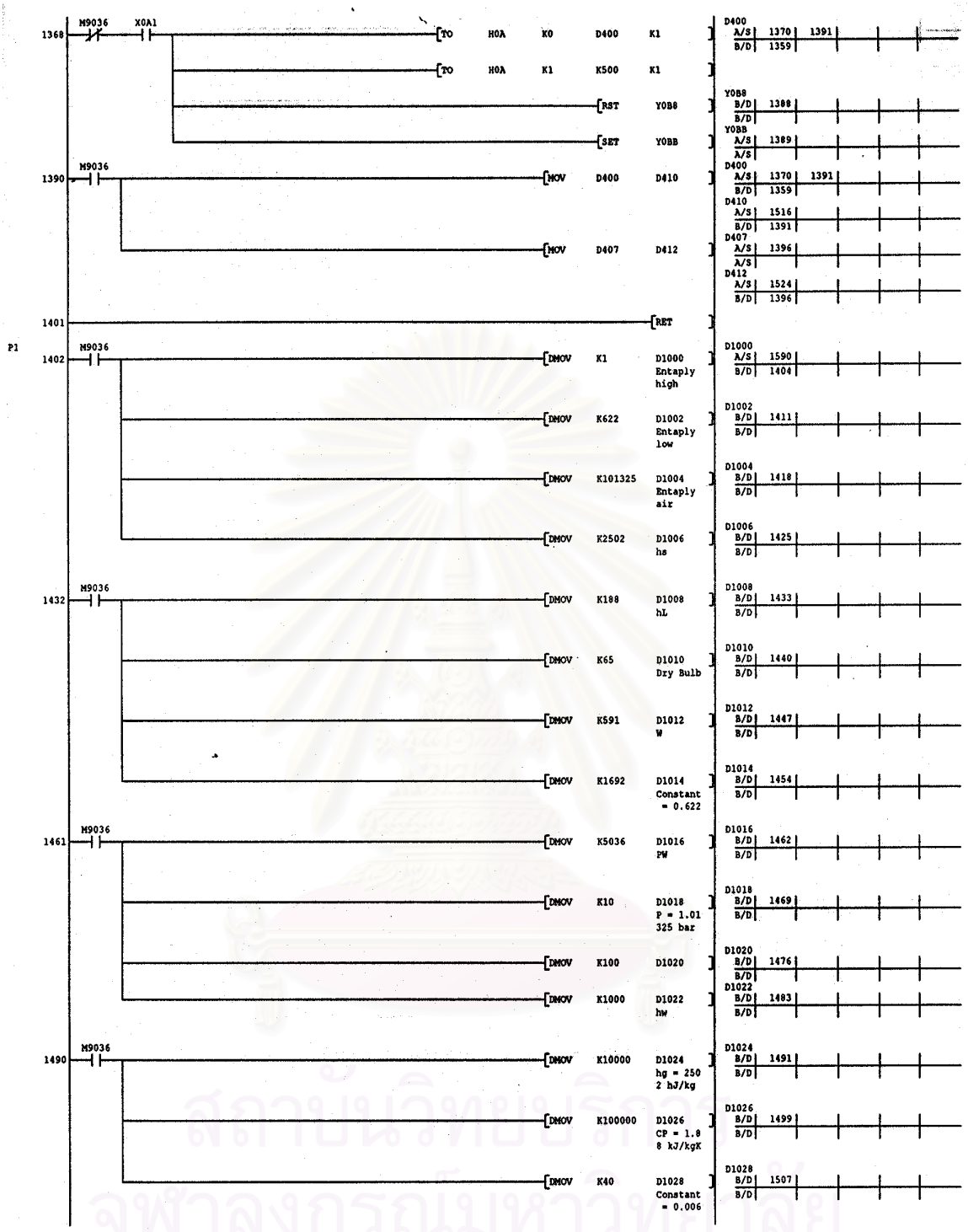

666 [= K15 W703 }[>= K10 W704]—(M3
[MOVP K20 Z
684 [= K17 W703 }[>= K30 W704]—(M4
[MOVP K30 Z
702 [= K20 W703]—[PLS M71
[MOVP K40 Z
716 [= K22 W703 }[>= K10 W704]—(M6
[MOVP K50 Z
734 [= K0 W703]—(M7
[MOVP K60 Z
746 [= K3 W703 }[>= K10 W704]—(M8
[MOVP K70 Z
764 [= K18 W703 }[>= K30 W704]—(M72
M72 M71
780 M9036
[/ D121 K60 D1
[/ D122 K60 D3
[/ D123 K60 D5
[/ D124 K60 D7
[/ D125 K60 D9
M3 A/S 819
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
M4 A/S 820
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
M71 A/S 824 919
B/D 708 777
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
M6 A/S 821
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
M7 A/S 822
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
M8 A/S 823
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
M72 A/S 776
B/D 531 552 577 595 611
D121 A/S 781
B/D 544 910
D1 A/S 855
B/D 781 901
D122 A/S 788
B/D 561
D3 A/S 865
B/D 788
D123 A/S 795
B/D 586
D5 A/S 875
B/D 795
D124 A/S 802
B/D 604
D7 A/S 885
B/D 802
D125 A/S 809
B/D 620
D9 A/S 895
B/D 809


816
M0
FMOVP K0 D111 K10
M1
BMOVP D0 D111 K10
M2
MOVP K0 Z
M3
M70
M4
M6
M7
M8
M71
849
M70
+P D0 D101V
+P D1 D102V
+P D2 D103V
+P D3 D104V
+P D4 D105V
+P D5 D106V
+P D6 D107V
+P D7 D108V
+P D8 D109V
+P D9 D110V
900
M70
FMOVP K0 D1 K10
FMOVP K0 D121 K5
919
M71
FMOVP K0 D111 K10
MOV K10 V
D111
B/D 825 834
B/D
D0
A/S 834 850
B/D 532
D111
B/D 825 834
B/D
Z
A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z
A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z
A/S
B/D 843 978 992 1571
M70
A/S 849 900
B/D 530 551 576 594 610
D0
A/S 834 850
B/D 532
D101V
B/D 850 940
B/D
D1
A/S 855
B/D 781 901
D102V
B/D 855
B/D
D2
A/S 860
B/D 553
D103V
B/D 860
B/D
D3
A/S 865
B/D 788
D104V
B/D 865
B/D
D4
A/S 870
B/D 578
D105V
B/D 870
B/D
D5
A/S 875
B/D 795
D106V
B/D 875
B/D
D6
A/S 880
B/D 596
D107V
B/D 880
B/D
D7
A/S 885
B/D 802
D108V
B/D 885
B/D
D8
A/S 890
B/D 612
D109V
B/D 890
B/D
D9
A/S 895
B/D 809
D110V
B/D 895
B/D
D1
A/S 855
B/D 781 901
D121
A/S 781
B/D 544 910
D111
B/D 920
B/D
V
B/D 850 855 860 865 870
B/D 875 880 885 890 895
V
B/D 929 949
B/D

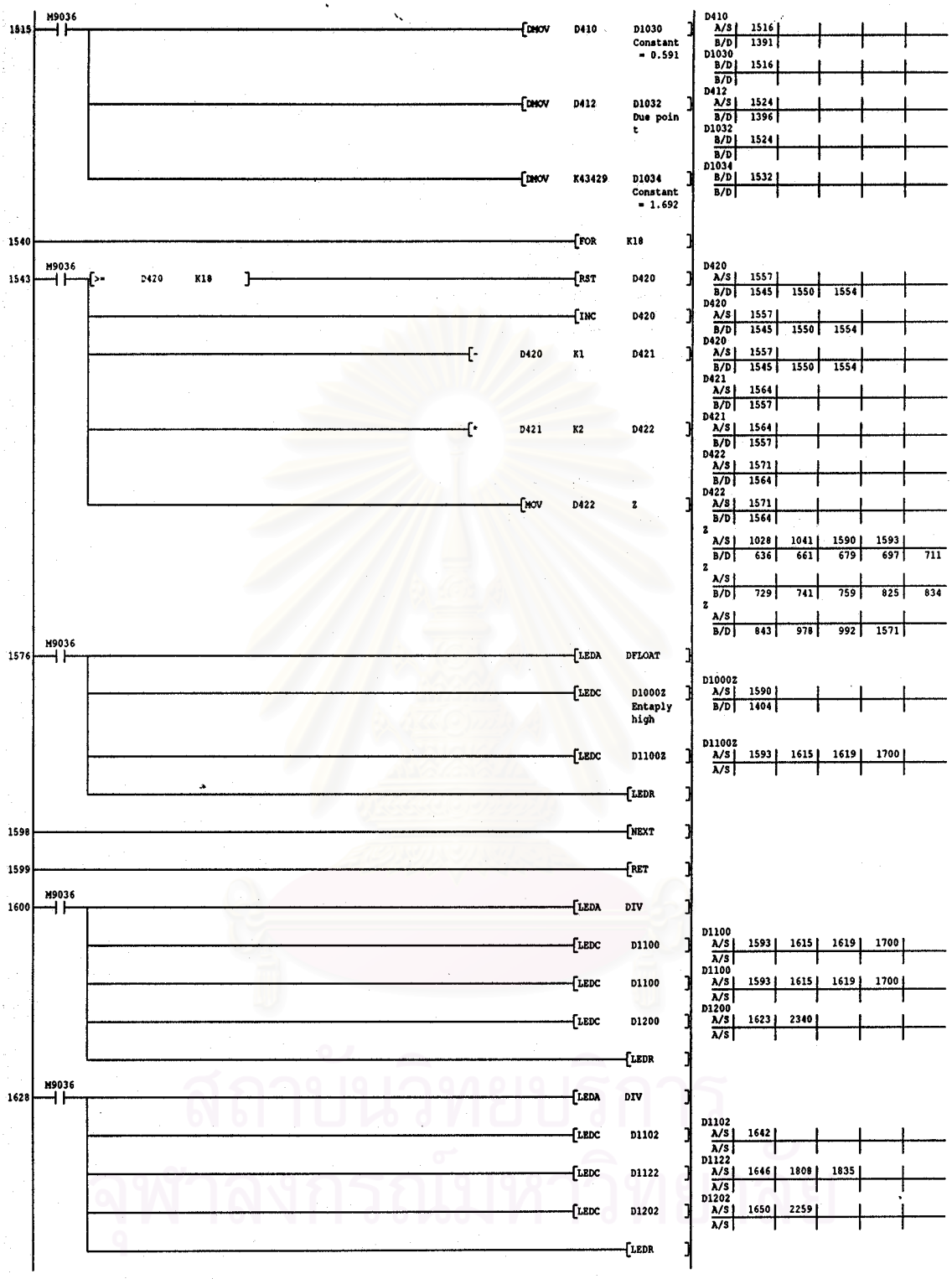

934 [= K8 W703] [FMOVP K0 D101 K10]
[RST V]
952 M9036 [LEDA DATERD]
[LEDC D150]
[LEDR]
970 [> D168 K12] [RST D168]
[RST Z]
981 M9033 [INCP D168]
[+P D168 K170 D169]
[MOVP D168 Z]
997 M9036 [BMOV W480 D171 K5]
[BMOV W4C0 D176 K5]
[BMOV W440 D181 K5]
1028 [> D170Z K0] M9033 [> K10 D250] [FIFWP D170Z D250]
1048 M9034 [> D250 K0] [FIFRP D260 D250]
1061 M9033 [> D250 K5] [FIFRP D260 D250]
1074 X2 L1000 [RST L1000]
[MOVP D300 D302]
1082 X2 L1000 [SET L1000]
[RST D300]
1088 L1000 M9032 [INCP D300]
D101 B/D 850 940
V B/D 850 855 860 865 870
B/D 875 880 885 890 895
V B/D 929 949
D150 A/S 966
D168 A/S 970 985 992
B/D 975 982
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
D168 A/S 970 985 992
B/D 975 982
D168 A/S 970 985 992
B/D 975 982
D169 B/D 985
B/D
D168 A/S 970 985 992
B/D 975 982
Z A/S 1028 1041 1590 1593
B/D 636 661 679 697 711
Z A/S
B/D 729 741 759 825 834
Z A/S
B/D 843 978 992 1571
W480 A/S 998
A/S
D171 B/D 998
B/D
W4C0 A/S 1008
A/S
D176 B/D 1008
B/D
W440 A/S 1018
A/S
D181 B/D 1018
B/D
D170Z A/S 1028 1041
A/S
D250 A/S 1036 1049 1062
B/D 1041 1054 1067
D260 A/S 1054 1067
A/S
D250 A/S 1036 1049 1062
B/D 1041 1054 1067
D260 A/S 1054 1067
A/S
D250 A/S 1036 1049 1062
B/D 1041 1054 1067
L1000 A/S 1075 1084 1088
B/D 1076 1083
D300 A/S 1077
B/D 1085 1090
D302 A/S 1094
B/D 1077
L1000 A/S 1075 1084 1088
B/D 1076 1083
D300 A/S 1077
B/D 1085 1090
D300 A/S 1077
B/D 1085 1090

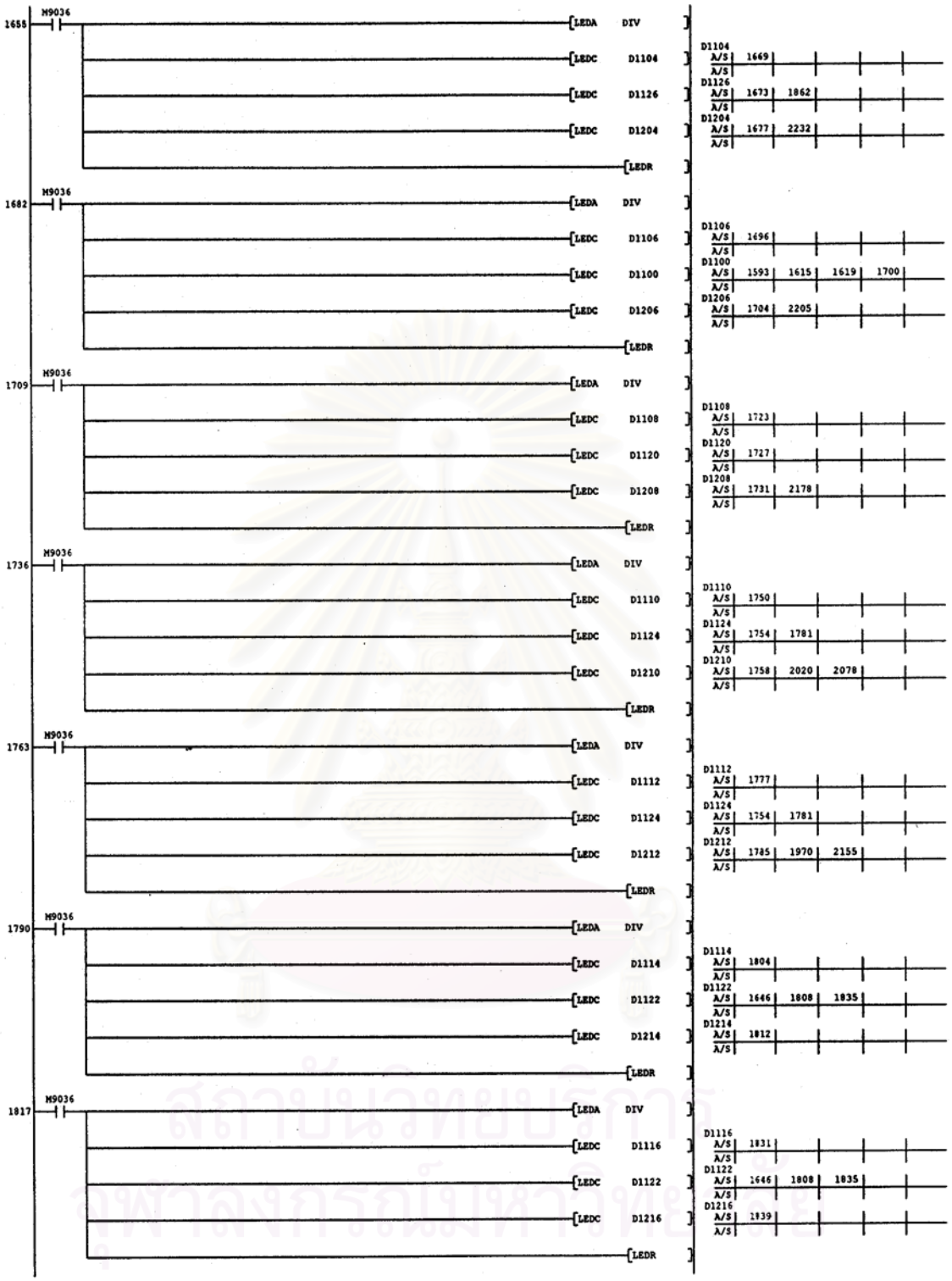

1093 M9036 [* D302 K100 D304]
[/ D304 K7530 D306]
[* D306 K10 D308]
[> K0 D308] [* D308 K-1 D310]
1127 T180 [< K0 D310] D310 (T180)
1134 T180 [INCP D312]
1138 M9037 [INCP D304]
1142 M9037 [/ D303 K11 D305]
1150 M9241 (B787)
1153 M9242 (B788)
1156 X2B (B789)
1159 M22 B3B5 B490 Y59 Y78 Y79 (B794)
(Y57)
M23
M24
M25
M26
X25
X26
X27
M11
M12
M13
1179 B492 B3B5 B490 Y79 (B795)
(Y78)
1188 M9036 B3B5 B490 Y78 (B796)
(Y79)
1196 B3CB B3B5 B490 Y57 Y78 Y79 (B797)
(Y7A)
B44B
B495
X14
X16
X18
1213 M9036 B3B5 (B798)
D302 A/S 1094 B/D 1077
D304 A/S 1101 B/D 1094 1139
D304 A/S 1101 B/D 1094 1139
D306 A/S 1108 B/D 1101
D306 A/S 1108 B/D 1101
D308 A/S 1115 1120 B/D 1108
D308 A/S 1115 1120 B/D 1108
D310 A/S 1128 B/D 1120 1133
T180 A/S 1134 B/D 1127
D312 B/D 1135 B/D
D304 A/S 1101 B/D 1094 1139
D303 A/S 1143 A/S
D305 B/D 1143 B/D
Y57 B/D 1207 B/D
Y78 B/D 1174 1192 1208 B/D
Y79 B/D 1175 1184 1209 B/D

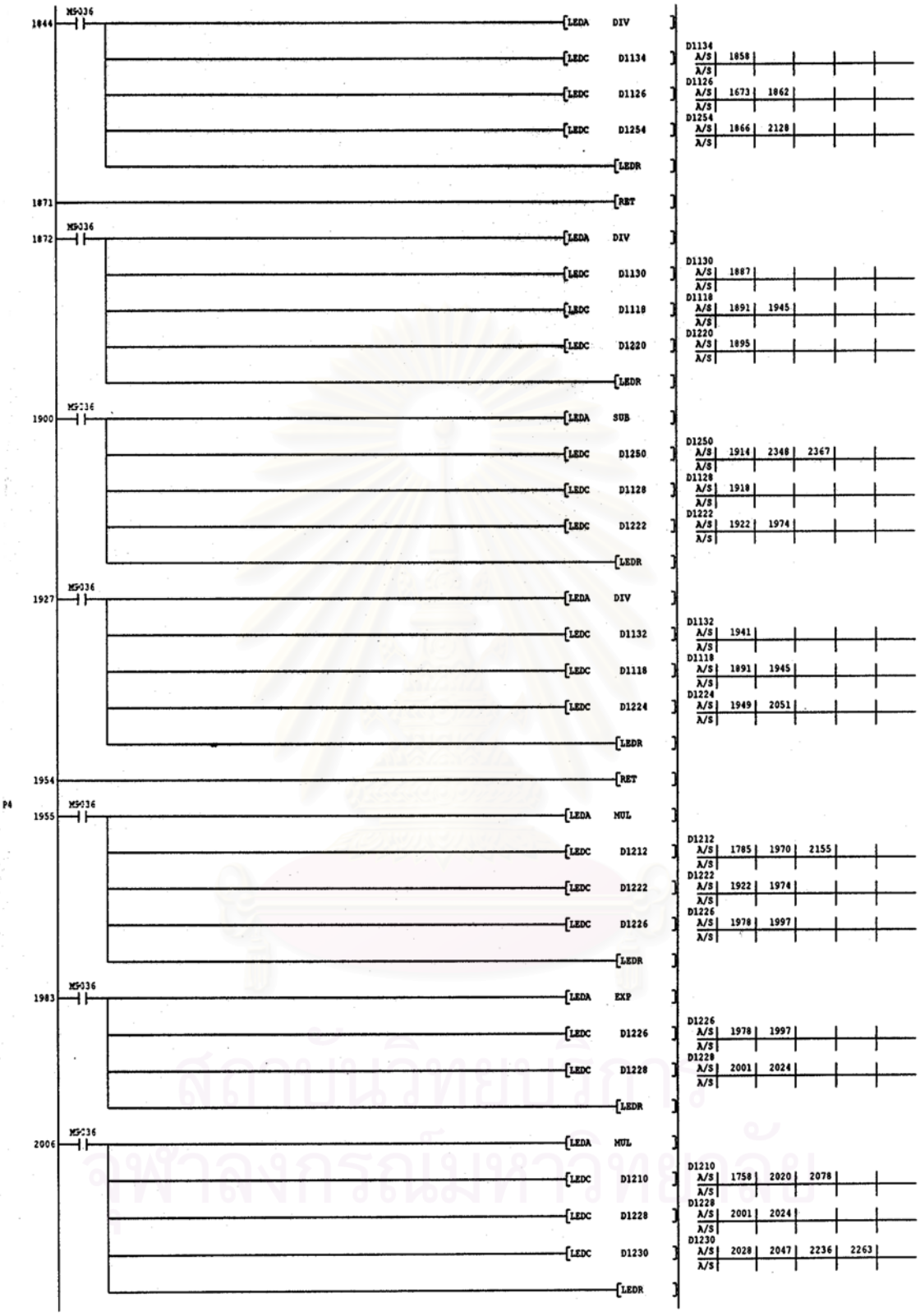

1217 B731 Y56
1220 M9036 BCD W716 K2Y50
1227 M9036 MOV W700 K4L1004
L1008 B7B8
L1009 B7B9
L1010 B7BA
L1011 B7BB
L1012 B7BC
L1013 B7BD
L1014 B7BE
L1015 B7BF
1266 M9036 L1016 B7B4
L1017 B7B5
L1018 B7B6
L1019 B7B7
L1004 B78F
L1005 B799
L1006 B79A
L1007 B79B
1299 M9036 MOV W3ED K1L1176
1305 M9036 CALL P0
CALL P1
CALL P2
CALL P3
1318 M9036 M501 K600 T40
T40 MOVP D464 D470
T40 M501
<= D470 K50 Y6B
>= D470 K90 Y6C
1346 FEND
P0
1347 M9036 X0C1 FROM H0C K0 ? K1
FROM H0C K10 D400 K8
W716 A/S 1221 A/S
K2Y50 B/D 1221 B/D
W700 A/S 1228 A/S
K4L1004 A/S 1284 B/D 1228
B7B8 A/S 216 A/S
B7BB A/S 252 A/S
W3ED A/S 1300 A/S
K1L1176 A/S 142 255 B/D 1300
P0 A/S 1306 1347 A/S
P1 A/S 1309 1402 A/S
P2 A/S 1312 1600 A/S
P3 A/S 1315 1872 A/S
T40 A/S 1323 1330 A/S
D464 A/S 1324 A/S
D470 B/D 1324 1333 1340 B/D
M501 B/D 1320 B/D
D400 A/S 1370 1391 B/D 1359

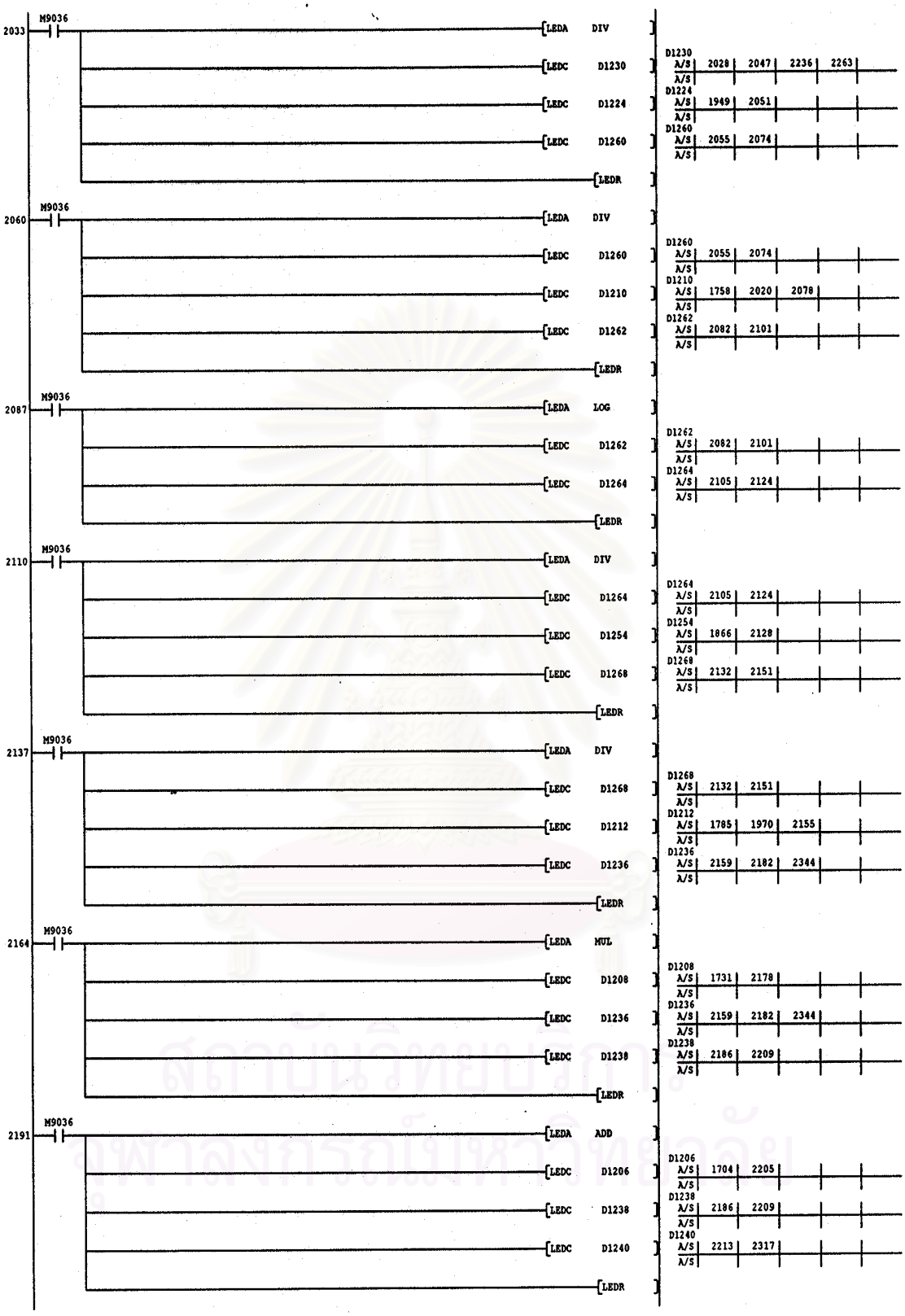


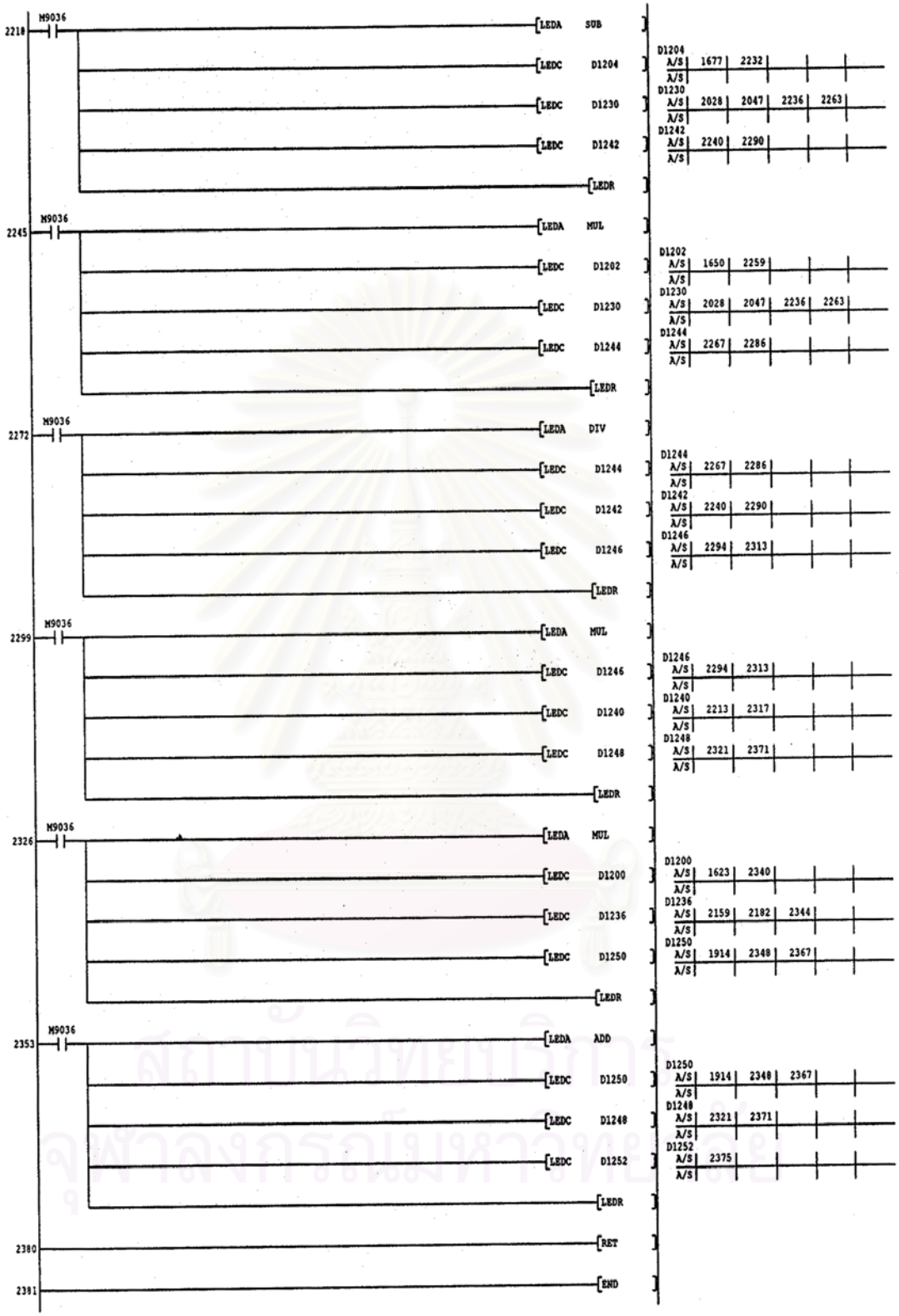
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


1515 M9036
DMOV D410 D1030 Constant = 0.591
DMOV D412 D1032 Due point
DMOV K43429 D1034 Constant = 1.692
1540 FOR K10
1543 M9036
>= D420 K10
RST D420
INC D420
- D420 K1 D421
* D421 K2 D422
MOV D422 Z
1576 M9036
LEDA DFLOAT
LEDC D1000Z Entaply high
LEDC D1100Z
LEDR
1598 NEXT
1599 RET
1600 M9036
LEDA DIV
LEDC D1100
LEDC D1100
LEDC D1200
LEDR
1628 M9036
LEDA DIV
LEDC D1102
LEDC D1122
LEDC D1202
LEDR
D410 A/S 1516 B/D 1391
D1030 B/D 1516
D412 A/S 1524 B/D 1396
D1032 B/D 1524
D1034 B/D 1532
D420 A/S 1557 B/D 1545 1550 1554
D421 A/S 1564 B/D 1557
D422 A/S 1571 B/D 1564
Z A/S 1028 1041 1590 1593 B/D 636 661 679 697 711
Z A/S B/D 729 741 759 825 834
Z A/S B/D 843 978 992 1571
D1000Z A/S 1590 B/D 1404
D1100Z A/S 1593 1615 1619 1700
D1100 A/S 1593 1615 1619 1700
D1200 A/S 1623 2340
D1102 A/S 1642
D1122 A/S 1646 1808 1835
D1202 A/S 1650 2259


1655 M9036
LEDA DIV
LEDC D1104
LEDC D1126
LEDC D1204
LEDR
D1104 λ/S 1669 λ/S
D1126 λ/S 1673 1862 λ/S
D1204 λ/S 1677 2232 λ/S
1682 M9036
LEDA DIV
LEDC D1106
LEDC D1100
LEDC D1206
LEDR
D1106 λ/S 1696 λ/S
D1100 λ/S 1593 1615 1619 1700 λ/S
D1206 λ/S 1704 2205 λ/S
1709 M9036
LEDA DIV
LEDC D1108
LEDC D1120
LEDC D1208
LEDR
D1108 λ/S 1723 λ/S
D1120 λ/S 1727 λ/S
D1208 λ/S 1731 2178 λ/S
1736 M9036
LEDA DIV
LEDC D1110
LEDC D1124
LEDC D1210
LEDR
D1110 λ/S 1750 λ/S
D1124 λ/S 1754 1781 λ/S
D1210 λ/S 1758 2020 2078 λ/S
1763 M9036
LEDA DIV
LEDC D1112
LEDC D1124
LEDC D1212
LEDR
D1112 λ/S 1777 λ/S
D1124 λ/S 1754 1781 λ/S
D1212 λ/S 1785 1970 2155 λ/S
1790 M9036
LEDA DIV
LEDC D1114
LEDC D1122
LEDC D1214
LEDR
D1114 λ/S 1804 λ/S
D1122 λ/S 1646 1808 1835 λ/S
D1214 λ/S 1812 λ/S
1817 M9036
LEDA DIV
LEDC D1116
LEDC D1122
LEDC D1216
LEDR
D1116 λ/S 1831 λ/S
D1122 λ/S 1646 1808 1835 λ/S
D1216 λ/S 1839 λ/S


1844 M9036 LEDA DIV
LEDC D1134
LEDC D1126
LEDC D1254
LEDR
D1134 A/S 1858 A/S
D1126 A/S 1673 1862 A/S
D1254 A/S 1866 2128 A/S
1871 RET
1872 M9036 LEDA DIV
LEDC D1130
LEDC D1118
LEDC D1220
LEDR
D1130 A/S 1887 A/S
D1118 A/S 1891 1945 A/S
D1220 A/S 1895 A/S
1900 M9036 LEDA SUB
LEDC D1250
LEDC D1128
LEDC D1222
LEDR
D1250 A/S 1914 2348 2367 A/S
D1128 A/S 1918 A/S
D1222 A/S 1922 1974 A/S
1927 M9036 LEDA DIV
LEDC D1132
LEDC D1118
LEDC D1224
LEDR
D1132 A/S 1941 A/S
D1118 A/S 1891 1945 A/S
D1224 A/S 1949 2051 A/S
1954 RET
P4
1955 M9036 LEDA MUL
LEDC D1212
LEDC D1222
LEDC D1226
LEDR
D1212 A/S 1785 1970 2155 A/S
D1222 A/S 1922 1974 A/S
D1226 A/S 1978 1997 A/S
1983 M9036 LEDA EXP
LEDC D1226
LEDC D1228
LEDR
D1226 A/S 1978 1997 A/S
D1228 A/S 2001 2024 A/S
2006 M9036 LEDA MUL
LEDC D1210
LEDC D1228
LEDC D1230
LEDR
D1210 A/S 1758 2020 2078 A/S
D1228 A/S 2001 2024 A/S
D1230 A/S 2028 2047 2236 2263 A/S

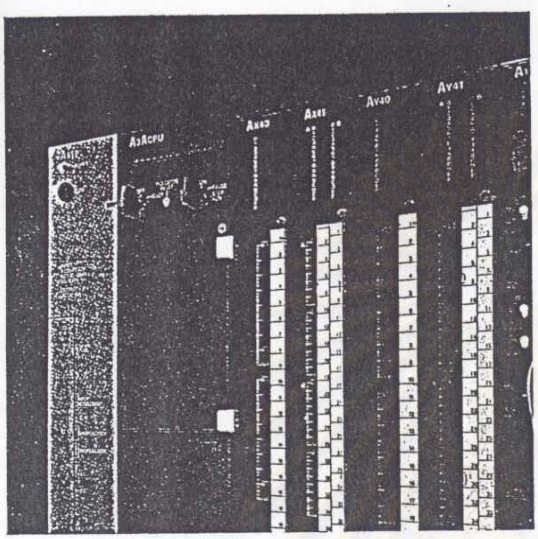

2033 M9036
LEDA DIV
LEDC D1230
LEDC D1224
LEDC D1260
LEDR
D1230 λ/S 2028 2047 2236 2263 λ/S
D1224 λ/S 1949 2051 λ/S
D1260 λ/S 2055 2074 λ/S
2060 M9036
LEDA DIV
LEDC D1260
LEDC D1210
LEDC D1262
LEDR
D1260 λ/S 2055 2074 λ/S
D1210 λ/S 1758 2020 2078 λ/S
D1262 λ/S 2082 2101 λ/S
2087 M9036
LEDA LOG
LEDC D1262
LEDC D1264
LEDR
D1262 λ/S 2082 2101 λ/S
D1264 λ/S 2105 2124 λ/S
2110 M9036
LEDA DIV
LEDC D1264
LEDC D1254
LEDC D1268
LEDR
D1264 λ/S 2105 2124 λ/S
D1254 λ/S 1866 2128 λ/S
D1268 λ/S 2132 2151 λ/S
2137 M9036
LEDA DIV
LEDC D1268
LEDC D1212
LEDC D1236
LEDR
D1268 λ/S 2132 2151 λ/S
D1212 λ/S 1785 1970 2155 λ/S
D1236 λ/S 2159 2182 2344 λ/S
2164 M9036
LEDA MUL
LEDC D1208
LEDC D1236
LEDC D1238
LEDR
D1208 λ/S 1731 2178 λ/S
D1236 λ/S 2159 2182 2344 λ/S
D1238 λ/S 2186 2209 λ/S
2191 M9036
LEDA ADD
LEDC D1206
LEDC D1238
LEDC D1240
LEDR
D1206 λ/S 1704 2205 λ/S
D1238 λ/S 2186 2209 λ/S
D1240 λ/S 2213 2317 λ/S


2210 M9036
LEDA SUB
LEDC D1204
LEDC D1230
LEDC D1242
LEDR
D1204 λ/S 1677 2232 λ/S
D1230 λ/S 2028 2047 2236 2263 λ/S
D1242 λ/S 2240 2290 λ/S
2245 M9036
LEDA MUL
LEDC D1202
LEDC D1230
LEDC D1244
LEDR
D1202 λ/S 1650 2259 λ/S
D1230 λ/S 2028 2047 2236 2263 λ/S
D1244 λ/S 2267 2286 λ/S
2272 M9036
LEDA DIV
LEDC D1244
LEDC D1242
LEDC D1246
LEDR
D1244 λ/S 2267 2286 λ/S
D1242 λ/S 2240 2290 λ/S
D1246 λ/S 2294 2313 λ/S
2299 M9036
LEDA MUL
LEDC D1246
LEDC D1240
LEDC D1248
LEDR
D1246 λ/S 2294 2313 λ/S
D1240 λ/S 2213 2317 λ/S
D1248 λ/S 2321 2371 λ/S
2326 M9036
LEDA MUL
LEDC D1200
LEDC D1236
LEDC D1250
LEDR
D1200 λ/S 1623 2340 λ/S
D1236 λ/S 2159 2182 2344 λ/S
D1250 λ/S 1914 2348 2367 λ/S
2353 M9036
LEDA ADD
LEDC D1250
LEDC D1248
LEDC D1252
LEDR
D1250 λ/S 1914 2348 2367 λ/S
D1248 λ/S 2321 2371 λ/S
D1252 λ/S 2375 λ/S
2380 RET
2381 END

ภาคผนวก ง.
คุณสมบัติของ MITSUBISHI PLC

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AnU, AnA and AnN CPUs



At the forefront of PLC design, featuring the world's first microprocessor to be developed for sequence applications. The result: lightning fast processing and response speeds.

There are 3 classes and 25 discrete CPU modules. AnNCPU, the lowest class of CPU modules, give standard performance suitable for most PLC applications and are one of the world's best selling PLCs. AnA CPU, the middle class CPU module, gives one of the world's fastest processing performances achieved by Mitsubishi Sequence Processor, a dedicated processor. The performance of AnACPU has stretched and redefined the limit of PLC application capability. Now even greater usability and functionality are realized with AnU Series CPU's. Building on the strength of AnA Series this range of CPU's further enhances networking and data manipulation tasks with extended device ranges that go well beyond the abilities of previous CPU's. More memory than before allows creation of even more complex routines and larger programs.

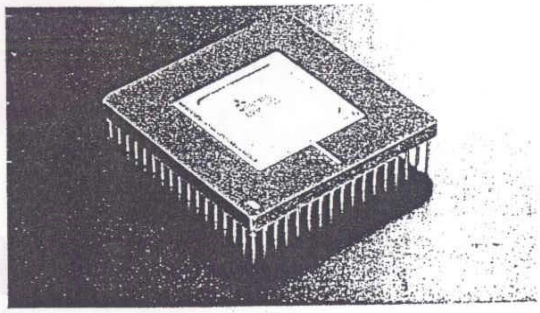
■ High speed processing

Processing speeds for sequence and numerical instructions have been made lightning quick using the MSP microprocessor. Only 150 nanoseconds for each sequence instruction is needed. High speed file register access can also be carried out in only a few micro-seconds. In addition the overhead time at the end of the program for diagnostics, house-keeping etc. has been reduced to levels previously not possible.

Processing speed

(μsec)

	A3U/A3A	A2U/A2A	A3N/A2N
LD X (Refresh mode)	0.15	0.2	1.0
OUT Y (Refresh mode)	0.3	0.4	1.0
MOV D0 D1	0.9	1.2	Approx. 50
MOV D0Z D1Z	0.9	1.2	Approx. 100
※D0 D1 D2	2.25	3.0	Approx. 100



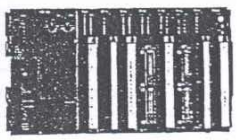
■ Extended networking functions

All A Series PLC support industry standard network systems such as Ethernet, PROFIBUS, MODBUS, and Mitsubishi's MELSECNET systems.

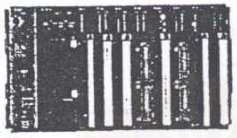
In addition, a newly developed 10M bps network, MELSECNET/10, is added to the supported network line up. All A Series CPU modules are compatible with MELSECNET/10 network and can exist in same network segment. The combination of MELSECNET/10 and AnU can offer maximum functionality and performance such as a floating master function, increased 8k bits + 8k words of cyclically refreshed network device memory, 4 network segments per PLC and so on, in addition to conventionally available cable redundancy and network diagnostic monitor.

Furthermore, the new open field network, CC-Link, is supported by all A Series PLCs.

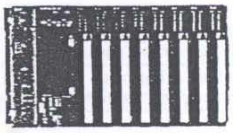
AnU, AnA and AnN CPUs



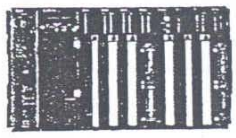
A1NCPU



A2NCPU
A2ACPU
A2UCPU



A2NCPU-S1
A2ACPU-S1
A2UCPU-S1



A3NCPU
A3ACPU
A3UCPU
A4UCPU

■ Large memory/program capacity

The A Series enables choice of memory size by removable memory cassette construction so that users can find the most economical memory size. From the smallest 16k byte memory cassette, A3NMCA-2, to the largest 1M byte, A4UMCA-128, 9 different memory cassette sizes are available. In addition, three additional E²PROM type memory cassettes are provided for AnU users. Those memory cassette have EEPROM memory as non-volatile program storage in addition to the same size of SRAM memory.

■ Large I/O control

With the highest specification model of AnN or AnA, up to 2048 I/ O can be controlled. With AnU, a CPU can control 512/ 1024/2048/4096 I/O depending on the model. This number of I/O can be directly connected to the CPU rack but, all AnU CPU models have the capacity to control 8192 I/O, this is total of the directly connected I/O plus I/O controlled through the remote I/O system of MELSECNET/10 or CC-Link.

■ Compatibility

Compatibility is maintained among the AnN, AnN and AnU CPU's. All I/O modules, power supply modules, mounting racks, special function modules are common to all these CPU models. Also, the sequence program is upwardly compatible from AnN to AnA to AnU. In addition, programs for A Series are also compatible with A2C and AnS compact PLC Series.

■ Advanced RAS and debugging functions

Seventy six diagnostic items are available. An error history log provides a list of the last 16 errors. Included is the time of error generation and details of which error occurred. CHK instructions identify the presence of user specified patterns at the PLCs input lines to identify faults in external circuits. On-line sampling trace, status latch and device memory bus monitoring functions are also available. Each of these contribute to the AnA's highly advanced performance characteristics.

■ Complete self diagnosis functions

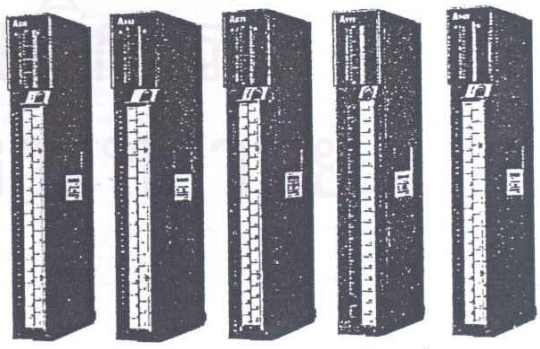
A watchdog timer (WDT) which can be set in 10 ms increments up to a maximum of 2 sec., this function monitors calculation congestion.

CPU fault detection such as arithmetic circuit check and RAM memory check.

Memory fault detection by command check and parameter check.

Automatic measurement of scan.

Comment display of detected fault (A3N only).



* Refer to ACPU (Common instructions) IBNA 66250-B for further information.

AnU, AnA and AnN CPUs

Specifications

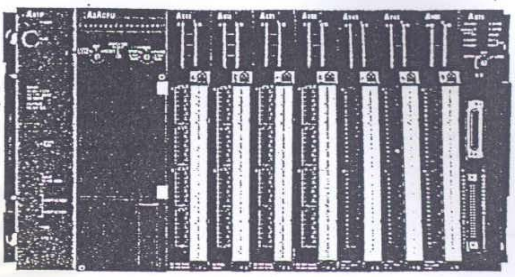
Item		A4UCPU	A3UCPU	A2UCPU-S1	A2UCPU
Control system		Repeated operation using stored program			
I/O control method		Refresh mode (direct mode can be used partially in accordance with the instruction)			
Programming language		Language dedicated to sequence control. Combined use of relay symbol type and logic symbol type.			
Number of instructions	Sequence instructions	25			
	Basic instructions	235		233	
	Application instructions	204			
Processing speed (sequence instruction)		0.15 μsec/step		0.2μsec/step	
I/O points	Total incl. remote	8192			
	Local	4096	2048	1024	512
Watchdog timer (WDT)		200 msec			
Memory capacity		1024k byte		448k byte	
Compatible memory cassette		A3NMCA-0 to 56 A3AMCA-96 A4UMCA-128 A4UMCA-8E A4UMCA-32E A4UMCA-128E	A3NMCA-0 to 56 A3AMCA-96 A4UMCA-8E, 32E	A4UMCA-8E, 32E A3NMCA-0 to 56	
Program capacity	Main	30k step	30k step	14k step	
	Sub	30k step×3	30k step	N/A	
Internal relay (M)		7144 points (M0 to 999, M2048 to 8191) (default value)			
Latch relay (L)		1048 points (L1000 to 2047) (default value)			
Link relay (B)		8192 points (B0 to 1FFF)			
Time (T)	Number of points	2048 points (default 256)			
	100 ms	T0 to T199 (0.1 to 3276.7 sec)			
	10 ms	T200 to T255 (0.01 to 327.67 sec)			
	100 ms retentive timer	None (default value) (0.1 to 3276.7 sec)			
	Extension timer	T256 to T2047			
Counter (C)	Number of points	1024 points (default 256)			
	Normal counter	C0 to C255 (range: 0 to 32767)			
	Interrupt counter	None (default value)			
	Extension counter	C256 to C1023			
Data register (D)		8192 points (D0 to D8191)			
Link register (W)		8192 points (W0 to W1FFF)			
Annunciator (F)		2048 points (F0 to F2047)			
File register (R)		Max. 8192 points (R0 to R8191)			
Accumulator (A)		2 points (A0, A1)			
Index register (V, Z)		14 points (V, V0 to V6, Z, Z1 to Z6)			
Pointer (P)		256 points (P0 to P255)			
Interrupt pointer (I)		32 points (I0 to I31)			
Special relay (M)		256 points (M9000 to M9255)			
Special register (D)		256 points (D9000 to D9255)			
Self diagnostic functions		Watch dog timer, memory error detection, CPU error detection, I/O error detection, battery error detection, etc.			
Operation mode at time of error		STOP / CONTINUE			
STOP to RUN mode		Output data at time of STOP restored/data output after operation execution			
Allowable momentary power failure		20 ms			
Current consumption (DC 5V)		0.5A	0.5A	0.4A	0.4A
Weight		0.6 kg / 1.3 lb	0.6 kg / 1.3 lb	0.5 kg / 1.1 lb	0.5 kg / 1.1 lb

AnU, AnA and AnN CPUs

A3ACPU (P21/R21)	A2ACPU-S1 (P21/R21)	A2ACPU (P21/R21)	A3NCPU (P21/R21)	A2NCPU-S1 (P21/R21)	A2NCPU (P21/R21)	A1NCPU (P21/R21)
Repeated operation using stored program						
Refresh mode (direct mode can be used partially in accordance with the instruction)			Refresh mode or direct mode (switchable)			
Language dedicated to sequence control. Combined use of relay symbol type and logic symbol type.						
25			26			
235	233		242	238		234
200			N/A			
0.15μsec/step	0.2μsec/step		1.0–2.3μsec/step in direct mode, 1.0μsec/step in refresh mode			
2048	1024	512	2048	1024	512	256
2048	1024	512	2048	1024	512	256
200 msec			10 to 2000 msec			
768k byte	448k byte		320k byte			16k byte
A3NMCA-0 to 96	A3NMCA-0 to 56		A3NMCA-0 to 40			
30k step	14k step		30k step	14k step		6k step
30k step	N/A		30k step	N/A		
7144 points (M0 to 999, M2048 to 8191) (default value)			1000 points (M0 to 999) (default value)			
1048 points (L1000 to 2047) (default value)			1048 points (L1000 to 2047) (default value)			
4096 points (B0 to FFF)			1024 points (B0 to 3FF)			
2048 points (default 256)			256 points			
T0 to T199 (0.1 to 3276.7 sec)			T0 to T199 (0.1 to 3276.7 sec)			
T200 to T255 (0.01 to 327.67 sec)			T200 to T255 (0.01 to 327.67 sec)			
None (default value) (0.1 to 3276.7 sec)			None (default value) (0.1 to 3276.7 sec)			
T256 to T2047			N/A			
1024 points (default 256)			256 points			
C0 to C255 (range: 0 to 32767)			C0 to C255 (range: 0 to 32767)			
None (default value)			None (default value)			
C256 to C1023			N/A			
6144 points (D0 to D6143)			1024 points (D0 to D1023)			
4096 points (W0 to WFFF)			1024 points (W0 to W3FF)			
2048 points (F0 to F2047)			256 points (F0 to F255)			
Max. 8192 points (R0 to R8191)				Max. 4096 points (R0 to R4095)		N/A
2 points (A0, A1)						
14 points (V, V0 to V6, Z, Z1 to Z6)			2 points (V, Z)			
256 points (P0 to P255)						
32 points (I0 to I31)						
256 points (M9000 to M9255)						
256 points (D9000 to D9255)						
Watch dog timer, memory error detection, CPU error detection, I/O error detection, battery error detection, etc.						
STOP / CONTINUE						
Output data at time of STOP restored/data output after operation execution						
20 ms						
0.6A	0.4A	0.4A	0.9A	0.73A	0.73A	0.53A
0.7 kg / 1.5 lb	0.7 kg / 1.5 lb	0.7 kg / 1.5 lb	0.65 kg / 1.4 lb	0.62 kg / 1.4 lb	0.62 kg / 1.4 lb	1.45 kg / 3.2 lb

System Configuration

A totally flexible, easy to construct system that can be configured to meet your requirements



■ Configuring your system

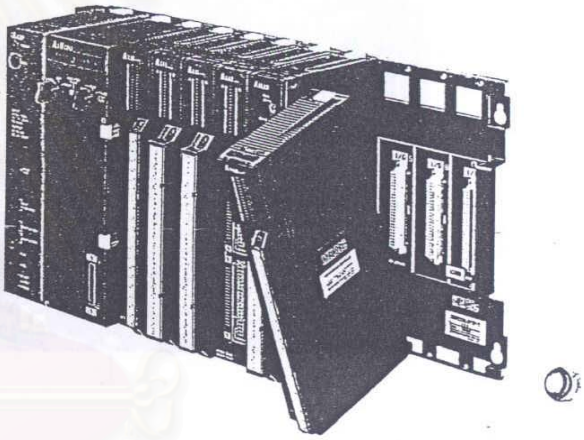
System configuration when using the AnU, AnA and AnN Series is very simple because of its well designed modular construction. Each CPU base unit must include both power supply & CPU (A1NCPU has built in power supply).

Up to 7 extension base units can then be connected to the CPU base unit. They can be installed above, below, or to the side of the CPU base unit depending on extension cable length.

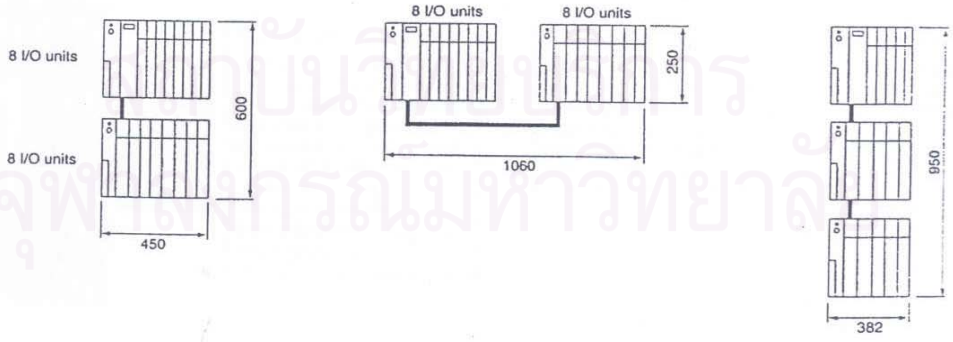
■ Securing the modules to the base units

All the modules are fitted to the base units in a very simple, but effective manner. The module is hooked on to the bottom of the base unit and then pushed back into place as shown here. A clip at the top of the module then holds the module firmly in place on the base unit.

When mounting the PLC in environments subject to shock or vibration, mounting screws can be used to fix the modules more securely to the base unit at the top and bottom.



■ Reducing panel space



System Configuration

Power supply modules

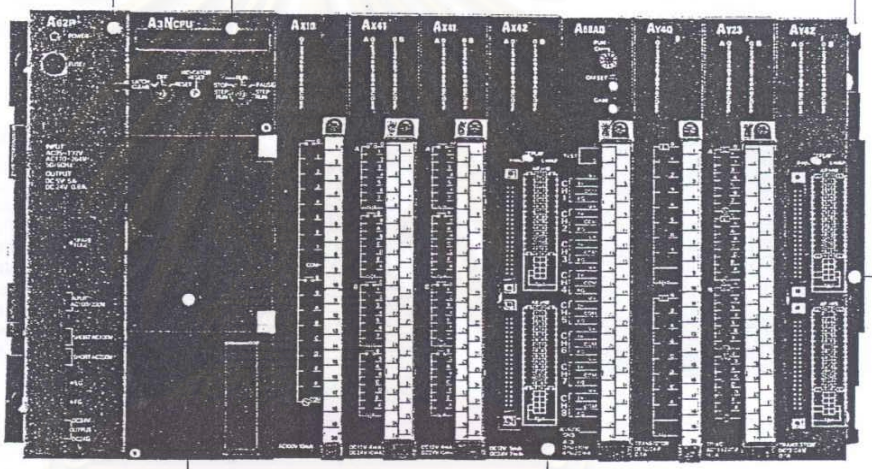
These should be selected according to the input power supply used and the total current consumption of the I/O modules and CPU modules in the CPU and/or extension base units. A61P, A62P, A61PEU, A62PEU, A63P and A65P.

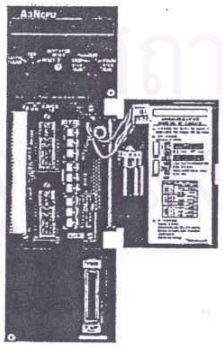
CPU modules

Selected according to functionality required and the number of I/O points to be controlled A2A, A2A-S1, A3A, A1N, A2N, A2N-S1, A3N.

CPU base unit

Selected according to the number of I/O modules required to be mounted in the same base unit as the CPU module A35B, A38B.





Memory modules

Each CPU must include a memory module. This unit contains the RAM memory into which the program for the module is written and stored. EPROMS can also be installed in these modules. Selection depends on the program size required.

I/O modules

Discrete I/O and special function modules can be installed on to the CPU base unit and extension base units in vacant I/O slots as required.

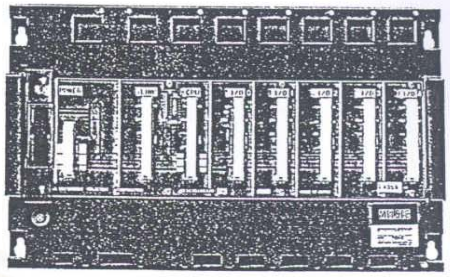
Extension base units

Up to 7 extension bases can be connected to the CPU base.

CPU Base Units and Cables

■ CPU base units

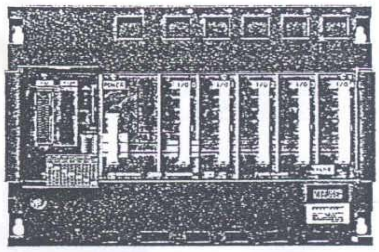
One CPU base unit is required for each AnU, AnA or AnN system. Each allows for one power supply module, one CPU module, and a maximum of either 2, 5 or 8 single slot size I/O modules. At either end of the base unit there is an expansion port for the connection of extension bases.



Item	A32B	A35B	A38B
Maximum number of I/O modules	2	5	8
Extension base connection	Not possible	Possible	Possible
Installation hole size	6mm (0.24 inch) dia. per shaped hole (for M5 screw)		
External dimensions mm (inch)	247 (9.72) x 250 (9.84) x 29 (1.14)	382 (15.04) x 250 (9.84) x 29 (1.14)	480 (18.9) x 250 (9.84) x 29 (1.14)

■ Extension base units

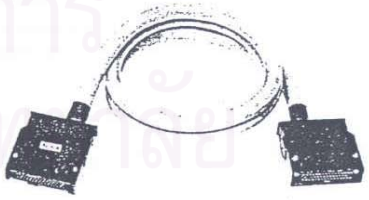
There are two different types of extension base units. One which allows for a power supply module; the other, which does not. Selection of which type should be used depends on the total 5 VDC current demand made on the power supply in the CPU base unit. If this total demand is lower than the output of the one power supply, then an additional power supply is not required and the more economical extension base unit can be used. There are two extension ports at either end of the unit and connection to other base units is made via extension cables.



Item	A65B	A68B	A55B	A58B
Maximum number I/O modules	5	8	5	8
Power supply need	Power supply required		Power supply not required	
Installation hole size	6mm (0.24 inch) dia. per shaped hole (for M5 screw)			
External dimensions mm (inch)	352 (13.86) x 250 (9.84) x 29 (1.14)	466 (18.35) x 250 (9.84) x 29 (1.14)	297 (11.69) x 250 (9.84) x 29 (1.14)	411 (16.18) x 250 (9.84) x 29 (1.14)

■ Extension cables

These extension cables are used to connect two base units together. There are three different lengths of cable available: as shown below.

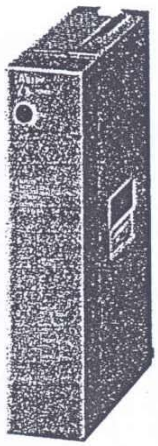


Item	AC06B	AC12B	AC30B
Cable length m (ft)	0.6m (1.97ft)	1.2m (3.94ft)	3m (9.84ft)

Power Supplies and Memory Modules

■ Power supply modules

Each A Series system requires at least one power supply module installed on the CPU base. Additional power supplies are necessary if A65B or A68B extension base units are used in the system configuration. The power supply requires an external power source of either 100/120VAC or 200/240VAC for A61P, A62P, A61PEU, A62PEU & A65P, 24VDC for A63P.



■ LVD compliant modules

From the 1st January 1997 the Low Voltage Directive (LVD) became mandatory within the EU. This directive is mainly concerned with the safety of electrical equipment operating above specified voltage levels. A61PEU, A62PEU and A63P have been newly developed to comply with relevant European safety standards EN61010-1 and EN61131-2 (applicable safety clauses only).

CE

Model number	Input voltage	Rated output
A61P	100 to 120 VAC or 200 to 240 VAC	5VDC, 8A
A61PEU		
A62P	100 to 120 VAC or 200 to 240 VAC	5 VDC, 5A & 24 VDC, 0.8A
A62PEU		
A63P	24 VDC	5 VDC, 8A
A65P	100 to 120 VAC or 200 to 240 VAC	5 VDC, 2A & 24 VDC, 1.5A

■ Memory modules & IC's

All AnU, AnA and AnN CPU's require the installation of a memory module or chip before it can be operational. The memory modules and IC's available for use are shown in the table below. Maximum memory and CPU modules to which they are applicable are indicated.

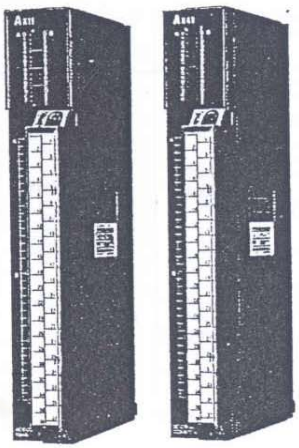
■ Memory modules

Item	A3NMCA-0	A3NMCA-2	A3NMCA-4	A3NMCA-8	A3NMCA-16	A3NMCA-24	A3NMCA-40	A3NMCA-56	A3NMCA-96	A4UMCA-128	A4UMCA-8E	A4UMCA-32E	A4UMCA-128E
RAM memory capacity	None installed	16k	32k	64k	128k	192k	320k	448k	768k	1024k	64k	256k	1024k
Number of ROM loading sockets	2 sockets for 28 pin ICs												
Loadable ROM type	4KROM, 8KROM, 16KROM												
Loadable RAM type	4KRAM	Unloadable											
Applicable CPU	A3A, A2A-S1, A2A, A3M, A3N, A2N-S1, A2N								A3A	A4U	A4U, A3U, A2U-S1, A2U		A4U

■ Memory IC's

Item	4KRAM	4KROM	8KROM	16KROM
Memory specifications	IC-RAM, read and write possible	EP-ROM, read only possible		
Memory capacity	8k byte	8k byte	16k byte	32k byte
Structure	28 pin IC package			
Remarks	When loading IC's into memory module or A1NCPU, two identical type IC's are required.			

Input Modules

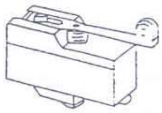


A complete range of input modules, suitable for all types of input devices.

There are over 16 different input modules available for use with the AnU, AnA & AnX Series. Covering a wide range of voltages. From AC types to DC types, and even sensor input modules. you can choose the one which is correct for your application needs. They are available in 16, 32 or 64 point densities. All of them feature LED operation indicators and screen printed wiring diagrams on the front of the module. Modules fitted with terminal blocks can easily have them removed for ease of maintenance. Connector type models are simple to wire using standard type connectors.

■ AC input modules

There are three different AC input voltage types, available: 24 VAC, 110 VAC and 230 VAC. All are available in either 16 or 32 point densities. All have terminal block assemblies which can be removed for ease of maintenance.



Limit switches

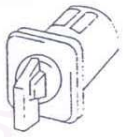
■ DC input modules

There are three different DC input voltage types, available: 12/24 VDC, 48 VDC and 100/125 VDC sink or source logic. All are available in 16 or 32 input point densities. The 12/24 VDC types also available with 64 input points/module. The 16 and 32 point modules use a removable terminal block for connection. The 64 point modules use either two 37 pin D type connectors or two FCN type connectors.

Relay contacts

■ Sensor input modules

These are for use with CMOS IC type input devices. They operate at voltage ranges of 4.5 to 5.5 VDC, and 10.2 to 26.4 VDC sink or source logic. They are available in both 16 and 32 input point densities, each of them using removable terminal blocks for connection.



Rotary switches

■ LVD compliant modules

From the 1st January 1997 the Low Voltage Directive (LVD) became mandatory within the EU. This directive is mainly concerned with the safety of electrical equipment operating above specified voltage levels. AX11EU and AX21EU have been developed to comply with relative European safety standards EN61010-1 and EN61131-2 (applicable safety clauses only).

CE

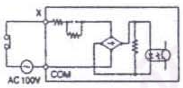
Input Modules

■ AnU, AnA and AnN input module specifications

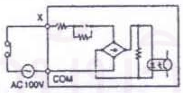
Part number	Input type	Number of Input points	Isolation method	Input voltage	Input current	Response time		Trigger voltage/current		Indication	Connection type	Points/ common	5 VDC current consumption
						OFF-ON	ON-OFF	ON	OFF				
AX10	AC	16	Photo-coupler	AC 100-120	10mA	15 ms	25 ms	80V	40V	LED	Terminal block	16	55mA
AX11		32										32	110mA
AX11EU													150mA
AX20		16		AC 200-240				160V	70V			16	55mA
AX21		32										32	110mA
AX21EU													150mA
AX31				AC 24				7V	2.7V				110mA
AX40	DC sink logic	16		DC 12/24	4/10mA	10 ms	10 ms	9.5V	6V			8	55mA
AX41		32											110mA
AX42		64			3/7mA						2 x FCN connector	32	120mA
AX50-S1	DC sink or source logic	16		DC 48	4mA			34V	10V		Terminal block	8	55mA
AX60-S1				DC 100/110/125	2mA	10 ms	20 ms	80V	20V				55mA
AX70				DC 5/12/24	3.5/2/4.5 mA	1.5 ms	3 ms	3.5/5V selectable	1.2/2V selectable				55mA
AX71		32											55mA
AX80	DC source logic	16		DC 12/24	4/10mA	10 ms	10 ms	9.5V	6V				55mA
AX80E						5.5 ms	6 ms						55mA
AX81-S1		32				10 ms	10 ms	5.6V	2.4V				110mA
AX81-S2				DC 48/60	3/4mA	20 ms	20 ms	31V	10V				110mA
AX82		64		DC 12/24	3/7mA	10 ms	10 ms	9.5V	6V		2 x 37 pin D type connector	32	120mA

■ AnU, AnA and AnN input module wiring diagram

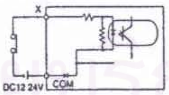
AX10, AX11



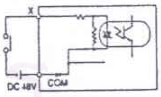
AX20, AX21



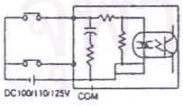
AX40, AX41, AX42



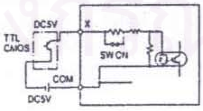
AX50-S1

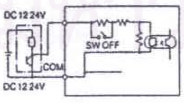


AX60-S1

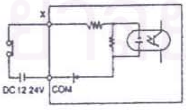


AX70, AX71

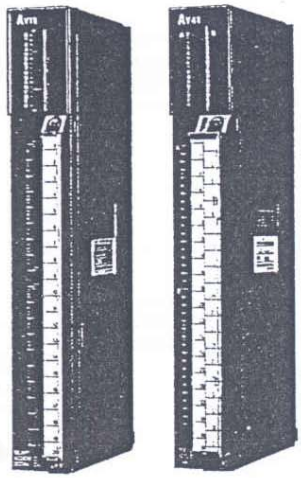




AX80, AX80E, AX81, AX81-S2



Output Modules



A full line up of output modules for all your automation needs

With over 30 types to choose from, the range of output modules available for use with the AnU, AnA and AnN Series cover nearly every automation output device you will ever use. There are four different types of output modules within the range, relay, triac/SSR, transistor, and TTL output types. Each come in 16 or 32 output point densities. The transistor output type is also available with 64 points/module. Detachable terminal blocks or connectors are used for making wiring connections and maintenance easier, and each module has LED's for output status indication.

■ Relay output modules

Relay outputs can be used from a minimum switching load of 5 VDC to a maximum switching voltage of 24 VDC or 264 VAC. All points isolated, as well as 8 points/common, with or without noise suppression, are available.

■ Triac /SSR output modules

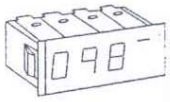
Triac output modules are for fast response applications where the rated switching voltage is between 100 and 240 VAC. There are two types of modules available. One with each output triac rated at a max. load current of 0.6 Amps, and the other with output triacs rated at 2 Amps. Both modules use a removable terminal block for wiring connections.

■ Transistor output modules

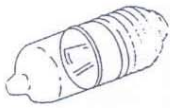
Transistor output modules are also used for fast response applications where the rated switching voltage is 12/24 VDC. They are available in sink or source logic configurations with the outputs rated at maximum load currents of 0.1, 0.5, 0.8 and 2 Amps. Modules which include electric short circuit protection are also available.

■ TTL, CMOS output modules

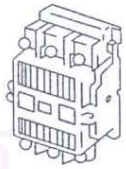
These modules can directly drive TTL or CMOS ICs. Their operating load voltage is between 4.5 and 15 VDC with a maximum load current of 16 mA per point. Two different modules are available: 16 and 32 point densities.



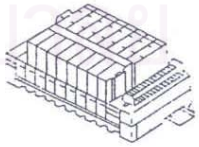
LED display



Indicator lamps



Magnetic contactors



Electronic valves

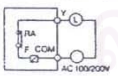
Output Modules

■ AnU, AnA and AnN output module specifications

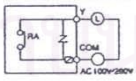
Part number	Output type	Number of input points	Isolation method	Load voltage	Load current	Response time		Indication	Connection type	Points/ common	5 VDC current consumption
						OFF-ON	ON-OFF				
AY10	Relay	16	Photo-coupler	AC 240 DC 24	2A	10ms	12ms	LED	Removable terminal block	8	150mA
AY10A										1	150mA
AY11										8	150mA
AY11A										1	115mA
AY11E										8	115mA
AY13		32									230mA
AY13E											230mA
AY15EU		24									220mA
AY20EU	Triac/SSR	16		AC 100 - 240	0.6A	1ms	0.5cycle + 1ms			4	400mA
AY22					2A					8	305mA
AY23		32			0.6A						590mA
AY40	Transistor, sink logic	16		DC 12/24	0.1	2ms	2ms				115mA
AY40A					0.3A					1	190mA
AY40P					0.1A					8	115mA
AY41		32								16	230mA
AY41P											230mA
AY42		64							2xFCN type connectors	32	290mA
AY50		16			0.5A				Removable terminal block	8	115mA
AY51		32								16	230mA
AY51-S1					0.3A						310mA
AY60	Transistor, source logic	16		DC 12/24/48	2A					8	115mA
AY60E					2A/0.8A						115mA
AY60EP				DC 12/24	2A	0.5ms	1.5ms				115mA
AY60S				DC 24/48		1ms	3ms				75mA
AY70	Transistor, sink logic			DC 5/12	16mA	1ms	1ms				100mA
AY71		32								16	200mA
AY72		64								32	300mA
AY80	Transistor, source logic	16		DC 12/24	0.5A	2ms	2ms			8	115mA
AY80EP					0.8A	0.5ms	1.5ms				115mA
AY81		32			0.5A	2ms	2ms			16	230mA
AY81EP					0.8A	0.5ms	1.5ms				230mA
AY82EP		64			0.1A				2 x 37 pin D type connectors	32	290mA

■ AnU, AnA and AnN output module wiring diagram

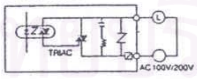
AY10, AY10A, AY13, AY13E



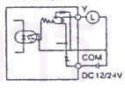
AY11, AY11A, AY11E



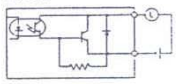
AY22, AY23



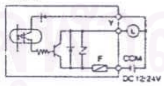
AY40, AY40P, AY41, AY41P, AY42



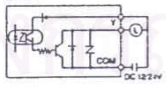
AY40A



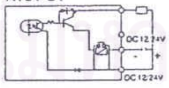
AY50



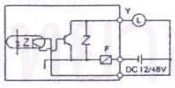
AY51



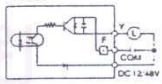
AY51-S1



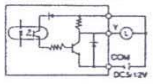
AY60



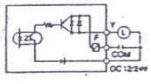
AY60E



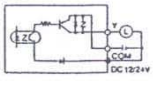
AY70, AY71, AY72



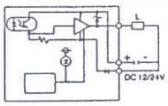
AY80



AY81

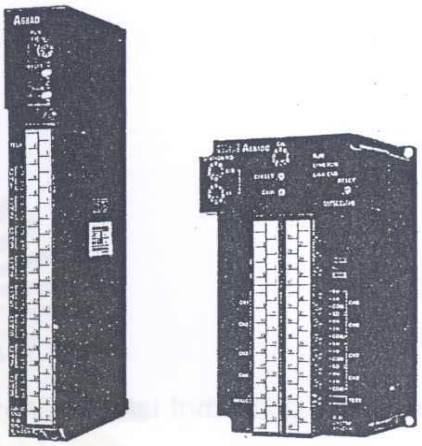


AY60EP, AY80EP, AY81EP,



Analog Input Modules

■ Analog input modules



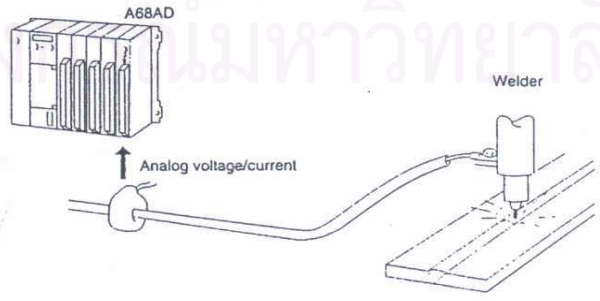
■ Intelligent A/D conversion using built-in microprocessors

Analog input modules are available for all MELSEC A Series PLCs. Each is capable of accepting either current or voltage variable input signals. These signals are then converted in to a binary value by a built-in microprocessor, and can then be used for processing within the sequence program. Input signals can be instantaneously read, or they can be sampled for user programmable time/count averaging processing. Setting offset and gain values for the converted values is also possible.

■ Analog input module specifications

Part number	A68AD	A68ADC
Applicable A Series PLC	AnA and AnN Series	A2C
Number of output channels	8 channels	
Analog output	Voltage: -10 to 0 to +10, input resistance 30k ohms Current: +4 to +20 mA, input resistance 250 ohms	
Digital input	-2048 to +2047	
Maximum resolution	Voltage: 5 mV (1/2000), Current: 20 µA (1/1000)	
Overall accuracy	±1%	
Maximum conversion time	25ms	
Absolute maximum analog output	Voltage: ±15 VDC Current: ±30 mA	
Insulation method	Photocoupler insulation between input terminals and internal circuity. No isolation between channels	
I/O points required	32 points	

■ System configuration example

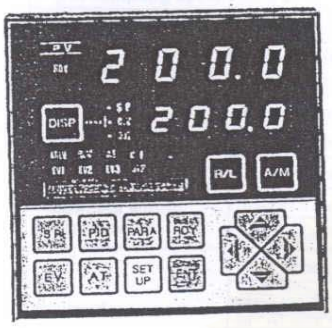


ภาคผนวก จ.

คุณสมบัติของYamatake SDC200 DigitroniK Digital Indicating Controller

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SDC 200 DigitroniK Digital Indicating Controller



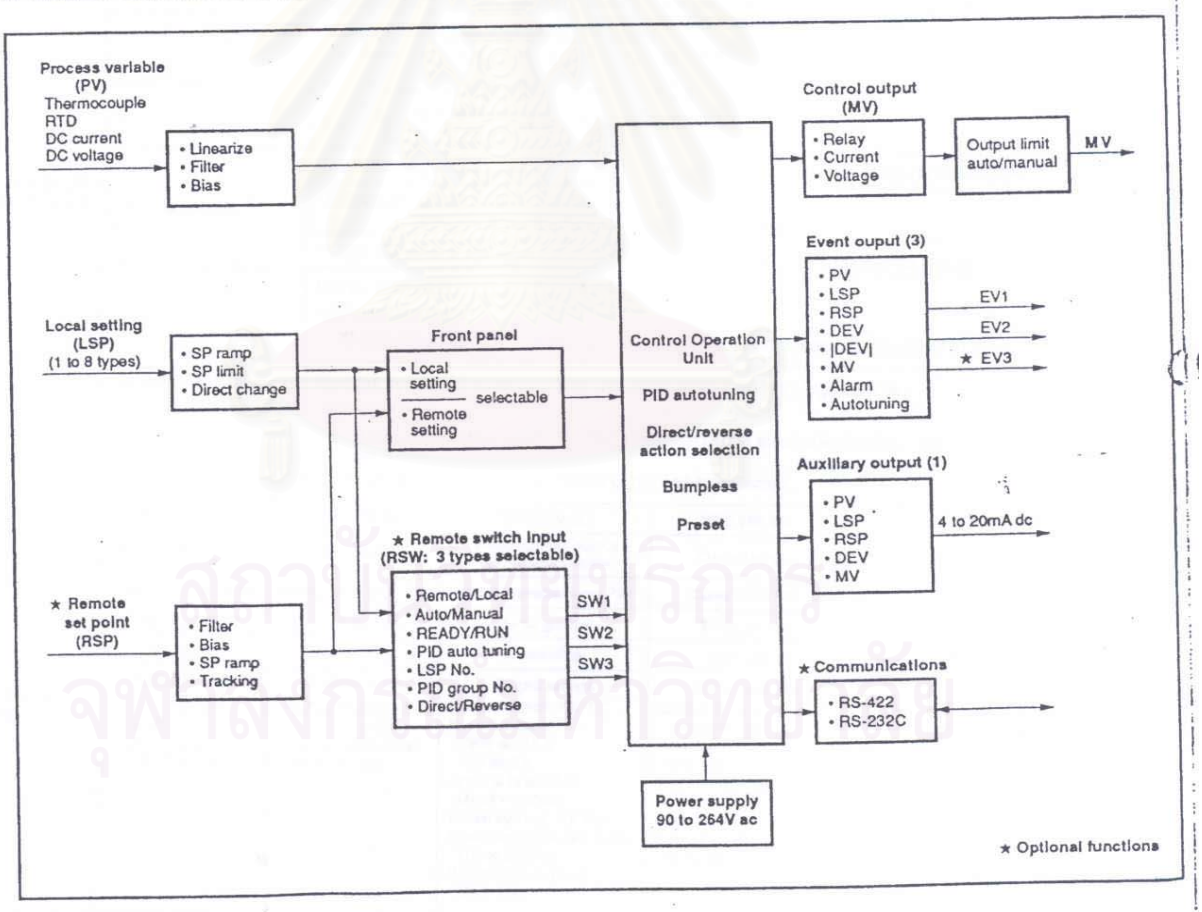
FEATURES

The DigitroniK SDC 200 is an accurate and compact (96mm x 96mm) digital indicating controller. The SDC200 is a multifunctional controller, to which a thermocouple signal, RTD signal, a DC voltage or DC current, etc. can be applied as input signals.

Its advanced PID autotuning capabilities, and heating/cooling control actions make it ideal for time proportional PID (ON/OFF), position proportional PID, continuous PID and heat/cool PID control. This instrument outputs a relay contact signal, voltage signal or current signal.

- *Accuracy up to ±0.2% FS*
- *From 1 to 8 set points*
- *Autotuning system uses up to three sets of PID control constants, as standard.*
- *Green bar OK lamp indicates normal operation at a glance*
- *Multirange system for each group of inputs.*
- *Change rate can use the SP ramp function.*
- *8 types of events can be set.*
- *Optional functions for a broad spectrum of applications.*
  - ★ *Communications*
  - ★ *Events*
  - ★ *Remote setting input*
  - ★ *External switch input*
  - ★ *Auxiliary output*

BASIC FUNCTION BLOCK DIAGRAM



SPECIFICATIONS

PV Input	Type of Input	Thermocouple, RTD, DC voltage, DC current. See the model selection guide for inputs ranges.
	Input sampling cycle	0.25 sec.
	Input digital filter	0.0 to 120.0 sec. variable (filter is off at 0.0 sec.)
	Input bias	−100 to +100U variable (U: °C, kgf/cm²G, %, and other industrial units, including decimal point positioning.
	Input Impedance	Thermocouple input: 1MΩ min.
		Voltage input: 1MΩ min.
		Current input: 100Ω max.
	Allowable wiring resistance	Thermocouple input: 250Ω max.
		RTD input: 4Ω max.
	Burnout	Thermocouple input: Upscale
		RTD input: Upscale (when resistance element or "A" wire of RTD is broken) / Current input: Downscale — Downscale: Less than −10% FS; Upscale: More than 110% FS; Overscale output value is settable.
Data display and setting	PV constant indication system	4 digits, 7-segment LED indication
	Storage system	Non-volatile EPROM
	Range	Thermocouple, RTD input: See model selection guide [type of inputs/ranges].
		Programmable range input (mV, V, mA): −1999 to +9999 (to 3 decimal places)
	Accuracy	±0.2% FS ±1U under standard conditions See the model selection guide table [type of inputs/ranges].
		Provide D19: ±0.3%FS ±1U. B18 (0 to 260°C, 0 to 500°F): ±5%FS ±1U. T44 (−200 to −45°C / −300 to −50°F): ±0.6% FS ±1U
	Setting range	Thermocouple input: 1, 0.1°C or 1°F (Differs according to the type of input and ranges.)
		RTD input: 1, 0.1°C or 1, 0.1°F (Differs according to the type of input and ranges.)
		Programmable range input (mV, V, mA): 1. 0.1, 0.01, 0.001 (to 3 decimal places)
	Setting system	Local: standard Direct change is enabled. LSP direct change: This function can change the LSP (local set point) without changing operation using the ENT key.
		Remote system: Option (remote/local selectable, RSP tracking possible) RSP tracking: This function copies RSP (remote) onto LSP (local) automatically when RSP is changed over to LSP. Whether this function is provided or not can be selected.

Control output	SDC 200 0D	SDC 200 6D	SDC 200 2G	SDC 200 5G	SDC 200 3D·AK·5K·9K·BK
	Relay contact output	Voltage output	Relay contact output for Modutrol motor	Current output	Voltage/current/relay contact output
	Time proportional PID	Time proportional PID	Position proportional PID	Continuous PID	Heat/cool PID
	3 PID groups	3 PID groups	3 PID groups	3 PID groups	One PID group each for heat and cool
	Autotuning	Autotuning	Autotuning	Autotuning	Without autotuning
	Output ratings Relay contact: SPDT Resistive load: 250V ac 5A	Output ratings Opening voltage: 22.5V dc ±10% Internal resistance: 1.5kΩ ±10%	Output ratings Relay contact: 2SPDT Resistive load: 250V ac 0.5A 24V ac 2A Applicable motors: M904 • M6284 Inrush current: 1A Max. Motor feedback resistance: 100 to 2500Ω Power consumption: 50VA Max.	Output ratings Output current: 4 to 20mA dc Allwable load resistance: 600Ω Max. Output accuracy: ±0.2% (under standard conditions) Output update cycle: 0.25 sec.	Output ratings

Type	Output 1 for heat	Output 2 for cool
3D	SPDT	SPDT
AK	4 to 20mA dc	SPDT
5K	4 to 20mA dc	4 to 20mA dc
9K	22.5V dc ±10%	SPDT
BK	4 to 20mA dc	22.5V dc ±10%

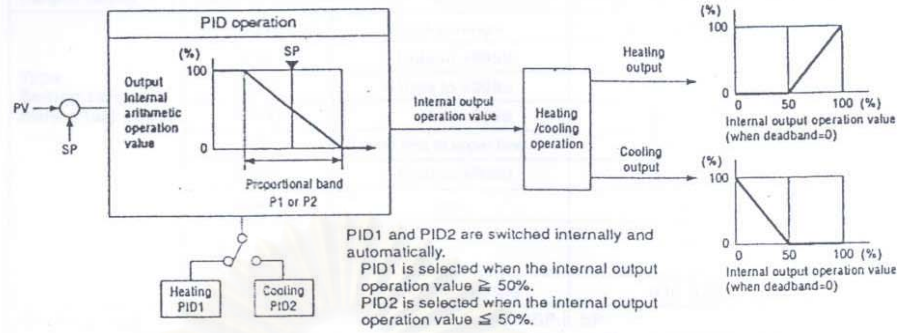
Notes: 1, 2, 3

P = 100%

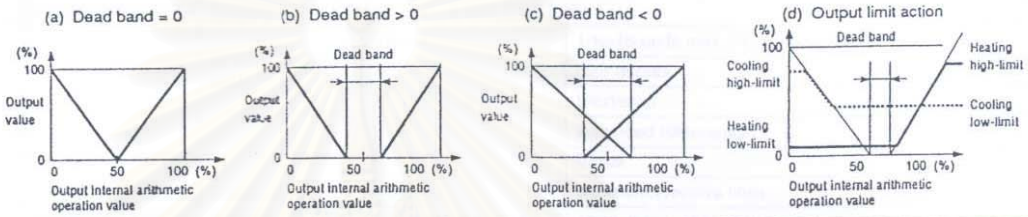
Control output

Notes: 1. Other ratings
For SPDT, same as SDC 200 0D
For 22.5V dc, same as SDC 200 6D
For 4 to 20mA dc, same as SDC 200 5G
2. Output 1 can be changed to cool, and output 2 to heat.

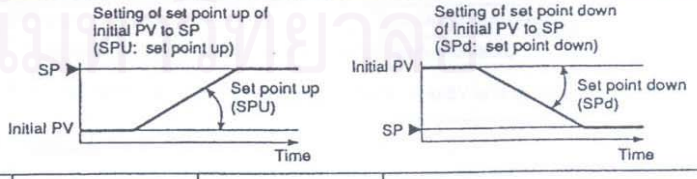
Notes: 3. Heat/cool control



PID1 and PID2 are switched internally and automatically.
PID1 is selected when the internal output operation value ≧ 50%.
PID2 is selected when the internal output operation value ≦ 50%.



Proportional band (P): %FS	SDC 200 0D	SDC 200 6D	SDC 200 2G	SDC 200 5G	SDC 200 3D·AK·5K·9K·BK
	0.0 to 999.9	0.0 to 999.9	0.1 to 999.9	0.1 to 999.9	0.1 to 999.9
	On/off control action is done when P=0.0	On/off control action is done when P=0.0	On/off control action is impossible.	On/off control action is impossible.	On/off control action is impossible.
Cycle time: Sec.	5 to 120	1 to 60	—	—	Type: 3D — Output 1 for heat: 5 to 120 — Output 2 for cool: 5 to 120 AK — — 5 to 120 5K — — — 9K — 1 to 60 — 5 to 120 BK — — 1 to 60
Integral time (I): Sec.	0 to 3600	0 to 3600	0 to 3600	0 to 3600	0 to 3600
	PD action is done when I=0.	PD action is done when I=0.	PD action is done when I=0.	PD action is done when I=0.	PD action is done when I=0.
Derivative time (D): Sec.	0 to 1200	0 to 1200	0 to 1200	0 to 1200	0 to 1200
	PI action is done when D=0	PI action is done when D=0	PI action is done when D=0	PI action is done when D=0	PI action is done when D=0
Manual reset: U	0 to 100	0 to 100	0 to 100	0 to 100	0 to 100
Differential gap: U	0 to 100	0 to 100	—	—	—
Dead zone: % output	—	—	0.5 to 25.0	—	−100 to 5.0
	% OUTPUT: Same meaning as %PB Formula to get actual dead zone value: DZ(U) = FS × PB/100 × DZ/100				
Output limiter — Lower limit: %	0 to upper limit	0 to upper limit	0 to upper limit	−10 to upper limit	0 to upper limit
Output limiter — Upper limit: %	Lower limit to 100	Lower limit to 100	Lower limit to 100	Lower limit to 110	Lower limit to 100
Set point ramp (SP ramp)	Function: Setting SP value change rate Effective when SPU≠0 and SPd≠0. Setting range: 0 to 999.9U/min. or hour 0 to 9999U/min. or hour Setting: By local SP or remote SP				
Output action direct/reverse selection	Possible	Possible	Possible	Possible	—
Auto/manual selection	Auto ↔ manual: Bumpless/preset outputs are selectable when auto/manual modes are selected. On/off action: On/off control action of 0D and 6D is possible in automatic mode.				



Event (EV1, 2)	No. of channels	Standard 2 outputs (EV1 output, EV2 output) and optional output (EV3 output) can be selected for 8 types of events. The same event can be selected twice.			
	Output action	On-off action			
	Output rating	Relay contact SPST relay Contact rating: 120V ac 1A, 240V ac 0.5A resistive load			
	Type Setting range Differential gap	Event symbol	Setting range	Differential gap	Event type
		PV	−1999 to +9999	0 to 100U	Process variable
		DEV	−1999 to +9999	0 to 100U	Deviation
		|DEV|	0 to 9999	0 to 100U	Absolute deviation
		MV	Lower limit to upper limit %	0 to 10%	Control output
		RSP	−1999 to +9999	0 to 100U	Remote set point
		Alarm	—	—	Turns on during alarm display
		Autotuning	—	—	Turns on during execution of autotuning
		SP	−1999 to +9999	0 to 100U	Actual set point
	On delay time	0 to 9999 sec. for PV, DEV, |DEV|, MV, RSP & SP			
	Stand by sequence	Selectable for PV, DEV, |DEV|, MV, RSP & SP			

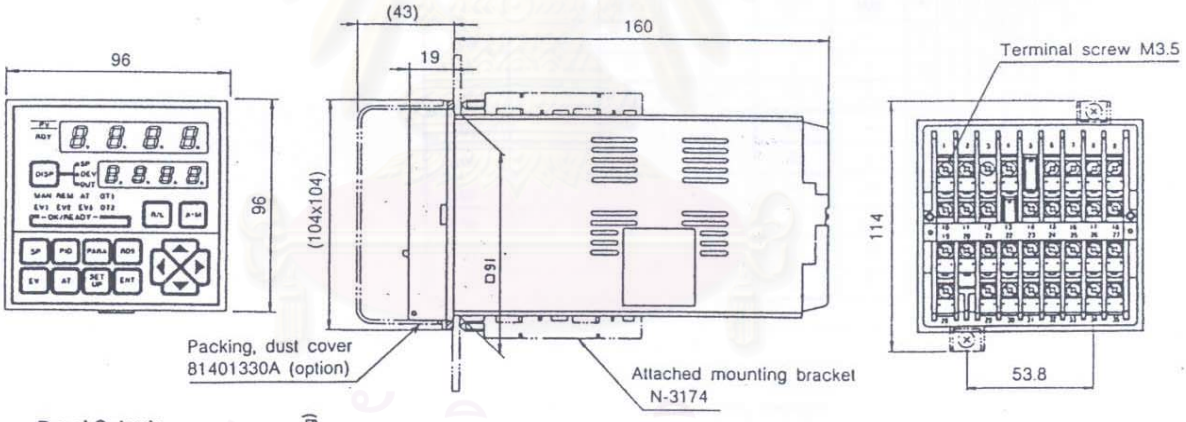
Optional function 1 Isolation: Complete isolation between input and output (except RSW input)	RS-422 communications Note: 4. CMC 400 protocol converter is used for RS-422 communications.	Communication system	Network	1-to-16 units max. multidropped (slave mode only)
			Mode	Half-duplex
			Synchronization	Start/stop
		Interface system	Transmission	Balanced (differential)
			Type	Serial
			Signal line	3 transmit/receive lines
			Transmission speed	1200, 2400, 4800, 9600bps
			Communication distance	300m max.
			Others	Conforms to RS-422.
		Data format	Character configuration	11 bits/character
			Format	1 start bit, even parity, 1 stop bit (standard)
			Data length	8-bit binary
	RS-232C communications	Communication system	Network	Peer-to-peer (slave mode only)
			Mode	Half-duplex
			Synchronization	Start/stop
		Interface system	Transmission	Unbalanced
			Type	Serial
			Signal line	3 transmit/receive lines
			Transmission speed	1200, 2400, 4800, 9600bps
			Communication distance	15m max.
			Others	Conforms to RS-232C
		Message character	Character configuration	11 bits/character
			Format	1 start bit, event parity, 1 stop bit (standard)
			Data length	8-bit, ASCII

Optional function 2	Event (EV)	EV 3	Specifications are the same as those in EV1 and EV2 except that the output contact is SPDT.
	Remote switch input (RSW)	Function	Three items can be selected from non-operation, auto/manual, remote/local, READY/RUN, AT, and LSP No. PID No., direct/reverse action.
		Input	3 channels
		Input rating	Dry contact, Off terminal voltage: 5V±1V, Turn-on current: 6mA ±2mA
	Remote setting (RSP)	Type of input	1 to 5V dc or 4 to 20mA dc selectable (4 to 20mA is default)
		Input indication accuracy	±0.2%FS±1U under standard conditions (FS: 1 to 5V or 4 to 20mA full span input)
		Input sampling cycle	0.25 sec.
		Input digital filter	0.0 to 120.0 variable (Filter is off at 0.0.)
		Input scaling	Indicating values corresponding to input 0% FS and 100% FS can be set.
		Isolation	Complete isolation between RSP input and PV input / MV output / AUX output.

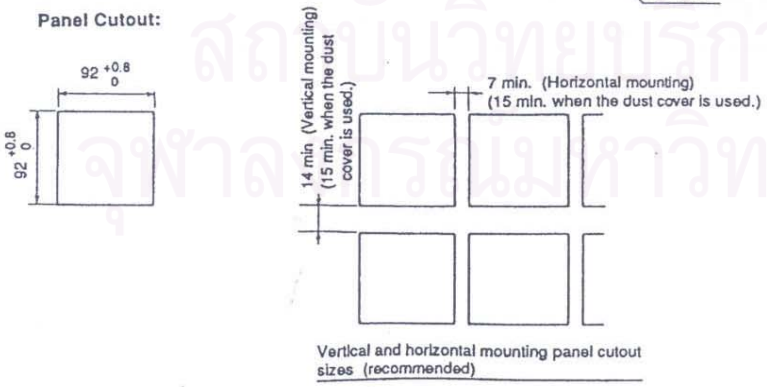
Optional function 2	Auxiliary output (AUX)	Type of output	Select one output from PV, SP, DEV, RSP and MV.
		Output rating	4 to 20mA dc Allowable load resistance: 600Ω Max.
		Output scaling	An output value corresponding to 4 to 20mA dc can be set. Reverse scaling is also possible.
		Output accuracy	±0.2% under normal conditions
		Output update cycle	0.25 sec.
General Specifications	Rated power voltage	90 to 264V ac 50Hz to 60Hz	
	Power consumption	18VA under standard conditions	
	Insulation resistance	50MΩ Min. by a 500V dc megger between case or ground terminal and power terminals	
	Dielectric strength	1500V ac, 1 min. between case or ground terminal and power terminals	
	Vibration resistance	0.5G Max. (10 to 60Hz in X, Y, and Z directions, 2 hours each)	
	Shock resistance	50G Max. in vertical direction, 3 times, while packed	
	Allowable ambient temperature	0 to 50°C	
	Storage temperature	–20 to +70°C	
	Allowable ambient humidity	10 to 90%RH	
	Construction	Mask: Multilon Case: Heat resistant ABS resin	
	Color	Black, equivalent to Munsell code N2.5	
	Mounting	Panel flush mount	
	Installation	Vertical plane ±10°	
	Weight	Approx. 1kg	
	Standard accessories	Mounting bracket: 1 set Part No. N3174 Unit indicating label: 1 sheet Part No. N3132	
	Auxiliary parts (optional)	Dust cover: Part No. 81401330A	
		Soft cover: Part No. 81403361-001	

DIMENSIONS

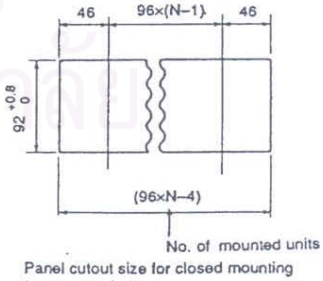
[in mm]



Panel Cutout:



Vertical and horizontal mounting panel cutout sizes (recommended)



Panel cutout size for closed mounting (recommended)

MODEL SELECTION GUIDE

I	II	III	IV	V	VI	VII

Example: SDC200 5GK09A00701

I	II	III	IV	V	VI	VII	Contents (O: Included, –: Not included)
Basic Model No.	Control action	Input type range	Power supply	Optional function 1	Optional function 2	Additional processing	
SDC 200							Digital controller
	0D						Time proportional PID: Relay contact, 250v ac 5A, resistive load
	6D						Time proportional PID: Voltage 22.5V dc ±10%
	2G						Position proportional PID: M/M drive relay contact, 250V ac 0.5A, 24V ac 0.5A, resistive load
	5G						Continuous PID: Current 4 to 20mA dc
	3D						Output 1: Time proportional PID: Relay contact 250V ac 5A, resistive load Output 2: Time proportional PID: Relay contact 250V ac 5A, resistive load
	AK						Output 1: Time proportional PID: Current 4 to 20mA dc, resistive load, max. 600Ω Output 2: Time proportional PID: Relay contact 250V ac 5A, resistive load
	5K						Output 1: Continuous PID: Current 4 to 20mA dc, resistive load, max. 600Ω Output 2: Continuous PID: Current 4 to 20mA dc, resistive load, max. 600Ω
	9K						Output 1: Time proportional PID: Voltage 22.5V dc ±10%, internal resistance 1.5kΩ ±10% Output 2: Time proportional PID: Relay contact 250V ac 5A, resistive load
	BK						Output 1: Continuous PID: Current 4 to 20mA dc, resistive load 600Ω max. Output 2: Time proportional PID: Voltage 22.5V dc ±10%, internal resistance 1.5kΩ ±10%
Selected from Table 1. ▶		F03					
			A				90 to 264V ac, 50/60Hz
				0			None
				A			RS-422 communications provided
				B			RS-232 communications provided

		Event 3	External switch input	Remote setpoint	Auxiliary output	Application control action								
		EV3	RSW	RSP	AUX	0D	2G	5G	6D	3D	AK	5K	9K	BK
00		–	–	–	–	O	O	O	O	O	O	O	O	O
01		–	O	–	–	O	O	O	O	O	O	O	O	O
02		O	O	–	–	O	–	O	O	–	–	O	–	–
03		–	O	O	–	O	O	O	O	O	O	O	O	O
04		O	O	O	–	O	–	O	O	–	–	O	–	–
05		–	O	–	O	O	O	O	O	O	O	–	O	O
06		O	O	–	O	O	–	O	O	–	–	–	–	–
07		–	O	O	O	O	O	O	O	O	O	–	O	O
08		O	O	O	O	O	–	O	O	–	–	–	–	–

01	None
D1	With test data
T1	Tropical treatment
B1	Tropical treatment with test data.
K1	With acid treatment.

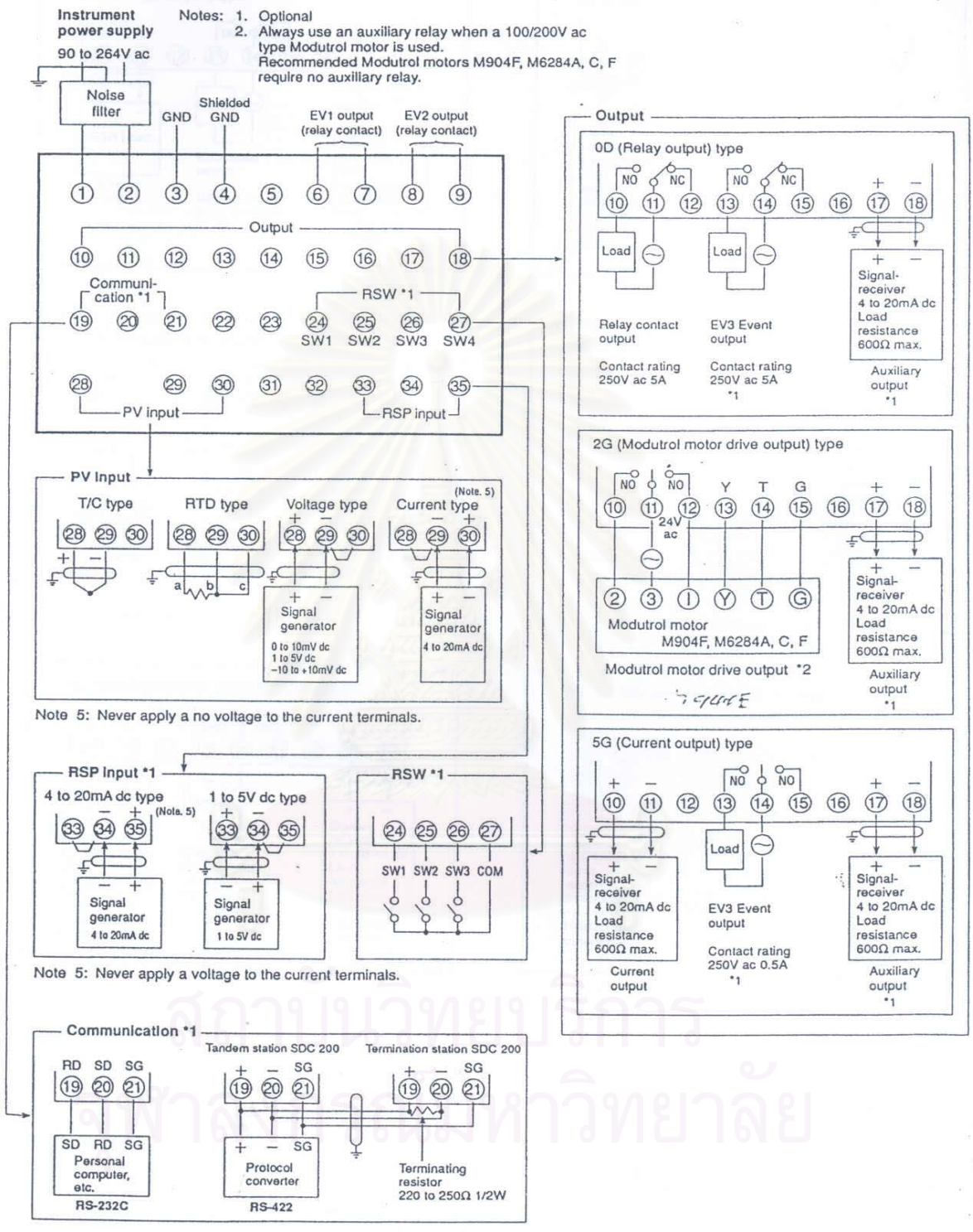
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table 1.: Type of Inputs / Ranges

Model No.	Type of Input	Range		Resolution		PV range code	Multi-range
T44	Thermocouple T(CC)	−199.9 to +300.0°C	−300 to +700°F	0.1°C	1°F	6	
K04	Thermocouple K(CA)	0.0 to 400.0°C	0 to 750°F	0.1°C	1°F	12	
J08	Thermocouple J(IC)	0 to 800°C	0 to 1600°F	1°C	1°F	2	
E08	Thermocouple E(CRC)	0 to 800°C	0 to 1800°F	1°C	1°F	1	
K08	Thermocouple K(CA)	0 to 800°C	0 to 1600°F	1°C	1°F	11	
K09	Thermocouple K(CA)	0 to 1200°C	0 to 2400°F	1°C	1°F	3	
U13	Thermocouple N	0 to 1300°C	32 to 2372°F	1°C	1°F	9	Select-able
Y13	Thermocouple PLII	0 to 1300°C	32 to 2372°F	1°C	1°F	10	
R16	Thermocouple R(PR13)	0 to 1600°C	0 to 3100°F	1°C	1°F	4	
S16	Thermocouple S(PR10)	0 to 1600°C	0 to 3100°F	1°C	1°F	5	
B18	Thermocouple B(PR30-6)	0 to 1800°C	0 to 3300°F	1°C	1°F	0	
D19	Thermocouple PR40-2	0 to 1900°C	(0 to 3400°F)	1°C	1°F	8	
W23	Thermocouple W(WRe5-26)	0 to 2300°C	0 to 4200°F	1°C	1°F	7	
F50	JIS '89 Pt100 (equivalent to IEC & DIN)	−200 to +500°C	−300 to +900°F	1°C	1°F	20	
F46	"	−199.9 to +200.0°C	−300 to +400°F	0.1°C	1°F	21	
F32	"	−100.0 to +150.0°C	−150.0 to +300.0°F	0.1°C	0.1°F	32	
F36	"	−50.0 to +200.0°C	−50.0 to +400.0°F	0.1°C	0.1°F	31	
F33	"	−40.0 to +60.0°C	−40.0 to +140.0°F	0.1°C	0.1°F	30	
F01	"	0.0 to 100.0°C	0.0 to 200.0°F	0.1°C	0.1°F	34	
F03	"	0.0 to 300.0°C	0.0 to 500.0°F	0.1°C	0.1°F	33	
F05	"	0.0 to 500.0°C	0.0 to 900°F	0.1°C	1°F	29	Select-able
P46	JIS '89 JPt100 (old JIS Pt100)	−199.9 to +200.0°C	−300 to +400°F	0.1°C	1°F	22	
P32	"	−100.0 to +150.0°C	−150.0 to +300.0°F	0.1°C	0.1°F	26	
P36	"	−50.0 to +200.0°C	−50.0 to +400.0°F	0.1°C	0.1°F	25	
P33	"	−40.0 to +60.0°C	−40.0 to +140.0°F	0.1°C	0.1°F	24	
P01	"	0.0 to 100.0°C	0.0 to 200.0°F	0.1°C	0.1°F	28	
P03	"	0.0 to 300.0°C	0.0 to 500.0°F	0.1°C	0.1°F	27	
P05	"	0.0 to 500.0°C	0.0 to 900°F	0.1°C	1°F	23	
C01	Current 4 to 20mA dc linear	Programmable	−1999 to +9999	–	–	40	
L02	Voltage −10 to +10mV dc linear	Programmable	−1999 to +9999	–	–	42	Select-able
M01	Voltage 0 to 10mV dc linear	Programmable	−1999 to +9999	–	–	41	
V01	Voltage 1 to 5V dc linear	Programmable	−1999 to +9999	–	–	45	

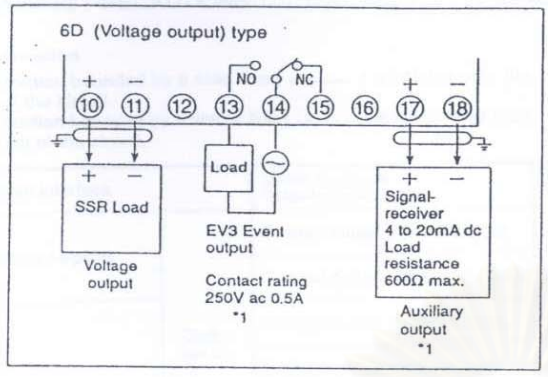
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WIRING

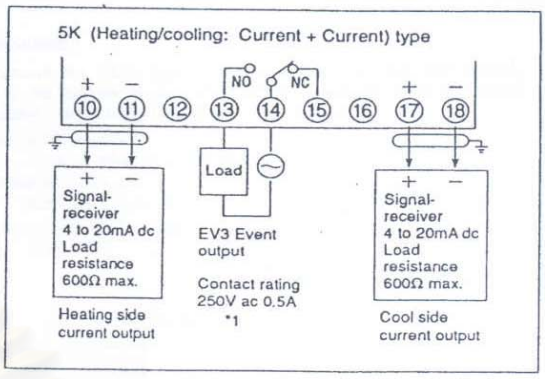

Instrument power supply
90 to 264V ac
Notes: 1. Optional
2. Always use an auxiliary relay when a 100/200V ac type Modutrol motor is used. Recommended Modutrol motors M904F, M6284A, C, F require no auxiliary relay.
Noise filter
GND
Shielded GND
EV1 output (relay contact)
EV2 output (relay contact)
Output
Communi-cation *1
RSW *1
SW1 SW2 SW3 SW4
PV input
RSP input
PV Input
T/C type
RTD type
Voltage type
Current type
(Note. 5)
Signal generator
0 to 10mV dc
1 to 5V dc
−10 to +10mV dc
Signal generator
4 to 20mA dc
Note 5: Never apply a no voltage to the current terminals.
RSP Input *1
4 to 20mA dc type
1 to 5V dc type
(Note. 5)
Signal generator
4 to 20mA dc
Signal generator
1 to 5V dc
RSW *1
SW1 SW2 SW3 COM
Note 5: Never apply a voltage to the current terminals.
Communication *1
Tandem station SDC 200
Termination station SDC 200
RD SD SG
SD RD SG
Personal computer, etc.
RS-232C
Protocol converter
RS-422
Terminating resistor
220 to 250Ω 1/2W
Output
0D (Relay output) type
NO NC
Load
Relay contact output
Contact rating 250V ac 5A
EV3 Event output
Contact rating 250V ac 5A
*1
Signal-receiver
4 to 20mA dc
Load resistance
600Ω max.
Auxiliary output
*1
2G (Modutrol motor drive output) type
Y T G
24V ac
Modutrol motor
M904F, M6284A, C, F
Modutrol motor drive output *2
5G (Current output) type
Current output
EV3 Event output
Contact rating 250V ac 0.5A

Output

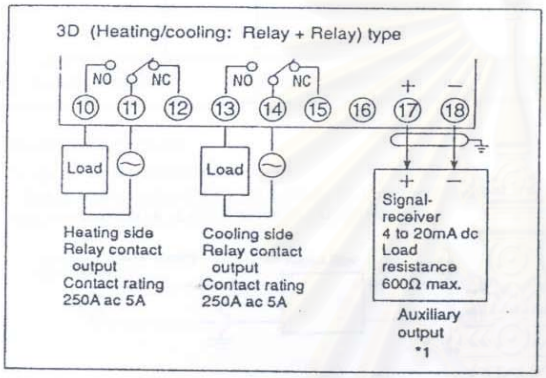
6D (Voltage output) type



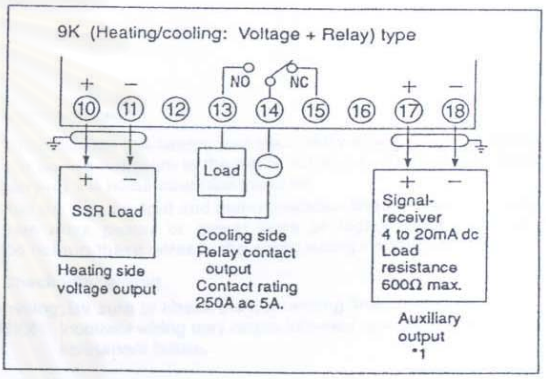
5K (Heating/cooling: Current + Current) type



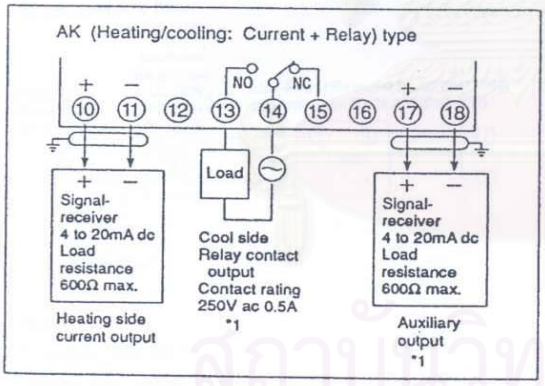
3D (Heating/cooling: Relay + Relay) type



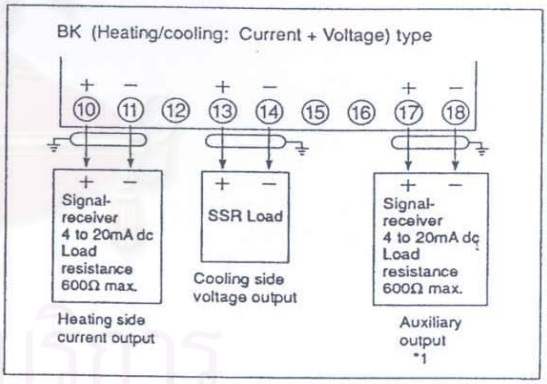
9K (Heating/cooling: Voltage + Relay) type



AK (Heating/cooling: Current + Relay) type



BK (Heating/cooling: Current + Voltage) type



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WIRING PRECAUTIONS

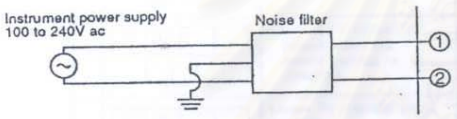
1. Isolation

The section bounded by a solid line (———) is isolated from the rest of the circuit.
The section bounded gy a dotted line (-------) is not isolated from the rest of the circuit.

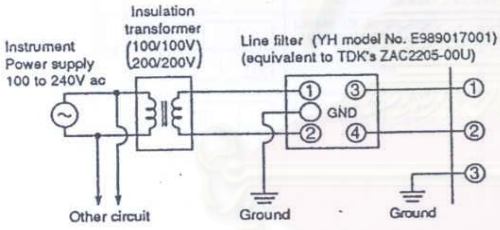
Loader interface		Motor feedback Potentiometer input
Remote setpoint	Digital circiut	Current output (Control output)
		Current output (Auxiliary output)
PV input		Voltage output (Control output)
		Relay output (Control output)
		Event output 1
		Event output 2
Remote switch input		Communication I/O

2. Power supply noise

(1) Noise reduction techniques
Always use a noise filter to suppress as much as possible the influence of noise, even if noise is not obvious.



(2) When noise is obvious
If noise is observable, suppress it by using an insulation transformer and line filter.



3. Noise

Possible noise sources are:
Relays and contacts, electromagnetic coils, solenoid valves, power lines (specifically, those higher than 100V ac), motor commutators, phase angle control SCRs, radio equipment, welding machines, high voltage ignition devices, etc.

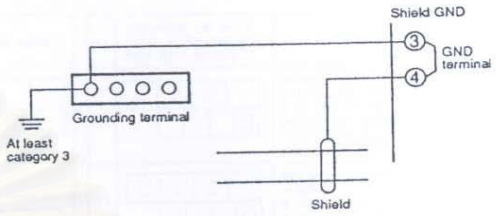
(1) Suppression techniques for quick rising noise
A CR filter is effective for quick rising noise.
Recommended filter:
YH model No. E989010001
(equivalent to Matsuo Electric 953M500333311)

(2) Suppression technique for noise with large peaks:
A varistor is effective for reducing noise with large peaks.
However, care should be taken to avoid shorting if varistor is faulty.
Recommended varistor:
YH model No. E968010471 (for 100V ac)
E968011821 (for 200V ac)

4. Grounding

Ground the SDC 200 at a single point to GND terminal 3. Connect no jumper wiring. Prepare a grounding terminal board separately if grounding of a shield wire is difficult.

Grounding type:
At least category 3 (100Ω max.)
Grounding wire:
Soft steel wire (AWG14) of more than 2mm².
Grounding wire length:
20m max.



5. Wiring operation

(1) Do not bundle the rimary and secondary power lines together, and do not run them in the same wireing conduit or duct after carrying out noise countermeasures.
(2) Run the input/output and communication lines more than 50cm from drive power or power lines of higher than 100V ac. Do not run these wires in the same wiring conduit or duct.

6. Check after wiring

After wiring, be sure to check the connecting line conditions.
CAUTION: Incorrect wiring may cause incorrect operation and instrument failure.

WORKSHEET FOR SDC200 SETTING

CLIENT:

S	D	C	2	0	0										

TAG NAME:

APPLICATION ENGINEER:	
SELL'S MAN.	
D A T E:	

1. Setup

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
1	C 1 / 0	Key lock 0: No key lock 1: SETUP change not allowable 2: Setting data are not changeable. 3: DISP only is changeable 4. LSP value change and LSP No selection are possible. DISP A/M keys can be used	C 1
2	C 2 / 0 / -	Temperature unit 0: Centigrade (°C) -1: Fahrenheit (°F) Set by T/C, RTD input	C 2
3	C 3 / 0	Control action 0: Reverse action 1: Direct action	C 3
4	C 4	Type of PV range Preset when the model number is specified.	C 4
5	C 5 / 0	Linear PV decimal point position 0: 1: 2: 3:	C 5
6	C 6 / 0	Linear PV lower limit -1999 to upper limit U	C 6
7	C 7 / 1000	Linear PV upper limit Lower limit to 9999U	C 7
8	C 8 / 0	LSP setting system 0: Only one LSP is used. 1: Only one LSP is used and an SP value is directly changed. 2: 2 to 8 LSP0 to LSP7 are used. 3: 2 to 8 LSP0 to LSP7 are used and neither SP value nor PID group is changeable.	C 8
9	C 9 / 0	SP limit lower-limit 0% to upper-limit of range	C 9
10	C 1 0 / 100	SP limit upper-limit Lower-limit to 100%FS of range	C 1 0
11	C 1 1 / 0	Setting of manipulated variable in case of PV over-range 0: Not set 1: Set	C 1 1

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
12	C 1 2 / 0	Manipulated variable in case of PV over-range 0 to 100 (Time proportion type) -10 to 110 (Current proportion type)	C 1 2
13	C 1 3 / 0	MV output in MANUAL mode 0: Bumpless 1: Preset	C 1 3
14	C 1 4 / 0	Preset manual value 0 to 100% (Time proportion type) -10 to 110% (Current proportion type)	C 1 4
15	C 1 5 / 0	MV1 value in READY mode 0 to 100% (Time proportion type) -10 to 110% (Current proportion type)	C 1 5
16	C 1 6 / 0	MV2 cool value in READY mode 0 to 100% (Time proportion type) -10 to 110% (Current proportion type)	C 1 6
17	C 1 7 / 0	READY event 0: Functions 1: Does not function	C 1 7
18	C 1 8 / 0	RSP input type 0: 4 to 20mA 1: 1 to 5V	C 1 8
19	C 1 9 / 0	RSP input lower-limit setting -1999 to 9999U	C 1 9
20	C 2 0 / 100	RSP input upper-limit setting -1999 to 9999U	C 2 0
21	C 2 1 / 0	Type of auxiliary output 0: PV 1: SP 2: DEV 3: RSP	C 2 1
22	C 2 2 / 0	Auxiliary output lower-limit setting -1999 to 9999U	C 2 2
23	C 2 3 / 100	Auxiliary output upper-limit setting -1999 to 9999U	C 2 3
24	C 2 4 / 0	READY auxiliary output 0: Output action is continued. 1: Preset READY auxiliary output	C 2 4
25	C 2 5 / 0	Preset READY auxiliary output value -1999 to 9999U	C 2 5

No	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
26	C26 0	LSP selection quantity and PID group selection by external switches 0, 2, 4, 8. PID1, 3.	C26
27	C27 0	SW1 allocation	C27
28	C28 0	SW2 allocation	C28
29	C29 0	SW3 allocation	C29
30	C30 0	Heat/cool allocation 0: 1—Heat 2—Cool 1: 1—Cool 2—Heat	C30

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
31	C31 0	Communication address 0, 1 to 254	C31
32	C32 0	Transmission speed 0 : 9600 1 : 4800 2 : 2400 3 : 1200	C32
33	C33 0	Communication code 0 : 8-bit even parity bits 1 stop bit 1 : 8-bit not parity bit 2 stop bits	C33
40	C40 0	Thermocouple cold junction compensation 0 : Internal 1 : External	C40

2. Parameter

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
1	FILt 0.0	PV filter constant 0.0 to 120.0 sec.	FILt
2	Pbia 0	PV bias -100 to 100U	Pbia
3	rFiL 0.0	RSP filter constant 0.0 to 120.0 sec.	rFiL
4	rbia 0	RSP bias -1999 to 9999U	rbia
5	cy 10	Time proportional output cycle (Output 1) 5 to 120 sec. (Relay type) 1 to 60 sec. (Voltage type)	cy
6	cy2 10	Time proportional output cycle (Output 2) 5 to 120 sec. (Relay type) 1 to 60 sec. (Voltage type)	cy2
7	outL 100	Manipulated variable change limit 1 to 100% (0.5 sec.)	outL
8	At 0	Auto tuning selection 0: AT is not run. 1: AT is run. 2: AT which scarcely cause overshooting	At
9	iout 0	Initial output 0 to 100%	iout
10	rPid 0	Reset PID 0: When SP is selected, PID operation is initialized. 1: When SP is selected, PID operation is continued.	rPid

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
11	dIFF 5	ON/OFF control differential 0 to 100U	dIFF
	dIFF 3.0	Position proportional dead zone 0.5 to 5.0%	
	dIFF 0.0	Head/cool dead zone -100 to 50.0%	
12	Et1 0	Event type Event types (See note)	Et1
13	Ed1 0	Event 1 standby 0: No event standby function is provided. 1: Event standby function is provided.	Ed1
14	Et2 0	Event 2 type Event types (See note)	Et2
15	Ed2 0	Event 2 standby 0: No event standby function is provided. 1: Event standby function is provided.	Ed2
16	Et3 0	Event 3 type Event types (See note)	Et3
17	Ed3 0	Event 3 standby 0: No event standby function is provided. 1: Event standby function is provided.	Ed3

Note 1: 0: PV direct action 1: PV reverse action 2: Deviation direct action 3: Deviation reverse action 4: Absolute value deviation direct action 5: Absolute value deviation reverse action 6: MV direct action 7: MV reverse action 8: RSP direct action 9: RSP reverse action 10: Alarm 11: Auto tuning 12: SP direct 13: SP reverse

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
18	r-tr 0	RSP tracking 0: Not provided 1: Provided	
19	r-rA 0	RSP ramp 0: Not provided 1: Provided	
20	L-rA 0	LSP ramp 0: Not provided 1: Provided	
21	SPU 0	SP ramp up 0 to 9999U/min.	
22	SPd 0	SP ramp 0 to 9999U/min.	
23	rA-t 0	SP ramp unit setting 0: U/min 1: 0.1/min 2: U/hour 3: 0.1/hour	

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
24	9.b.-L 5	Green belt lower-limit 0 to 100U	
25	9.b.-H 5	Green belt upper-limit 0 to 100U	
26	n.-CL 100	Input when motor is fully closed. 0 to 999	
27	n.-OP 900	Input when motor is fully open. 0 to 999	
28	dP	Temperature 0.1°C/°F indication 0: Not indicated. 1: Indicated.	

3. Event

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
1	E1 9999	Event 1 set point	
2	E2 9999	Event 2 set point	
3	E3 9999	Event 3 set point	
4	HYS1 5	Event 1 hysteresis 0 to 100U for those other than MV MV 0.0 to 10.0%	
5	HYS2 5	Event 2 hysteresis 0 to 100U for those other than MV MV 0.0 to 10.0%	

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
6	HYS3 0	Event 3 hysteresis 0 to 100U for those other than MV MV 0.0 to 10.0%	
7	dL1 0	Event 1 on-delay time 0 to 9999 sec.	
8	dL2 0	Event 2 on-delay time 0 to 9999 sec.	
9	dL3 0	Event 3 on-delay time 0 to 9999 sec.	

Note 1
PV : -1999 to 9999U RSP: -1999 to 9999U
DEV : -1999 to 9999U MV : -10.0 to 110.0%
|DEV|: 0 to 9999U SP : -1999 to 9999U

4. PID

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
1	P-1 1000	Proportional band 1 0.0 to 999.9% (TP) 0.1 to 999.9% (CP)	
2	I-1 0	Integral time 1 0 to 3600 sec.	
3	d-1 0	Derivative time 1 0 to 1200 sec.	
4	oL-1 0 -10	Manipulated variable lower-limit 1 0 to upper-limit % (TP) -10 to upper-limit % (CP)	

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
5	oH-1 100 110	Manipulated variable upper-limit 1 Lower-limit to 100% (TP) Lower-limit to 110% (CP)	
6	rH-1 50	Manual reset 1 0 to 100%	
7	P-2 1000	Proportional band 2 0.0 to 999.9% (TP) 0.1 to 999.9% (CP)	
8	I-2 0	Integral time 2 0 to 3600 sec.	

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
9	d - 2 0	Derivative time 2 0 to 1200 sec.	d - 2
10	oL - 2 0 -10	Manipulated variable lower-limit 2 0 to upper-limit % (TP) -10 to upper-limit % (CP)	oL - 2
11	oH - 2 100 110	Manipulated variable upper-limit 2 Lower-limit to 100% (TP) Lower-limit to 110% (CP)	oH - 2
12	rE - 2 50	Manual reset 2 0 to 100%	rE - 2
13	P - 3 . 100.0	Proportional band 3 0.0 to 999.9% (TP) 0.1 to 999.9% (CP)	P - 3

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
14	I - 3 0	Integral time 3 0 to 3600 sec.	I - 3
15	d - 3 0	Derivative time 3 0 to 1200 sec.	d - 3
15	oL - 3 0 -10	Manipulated variable lower-limit 3 0 to upper-limit % (TP) -10 to upper-limit % (CP)	oL - 3
17	oH - 3 100 110	Manipulated variable upper-limit 3 Lower-limit to 100% (TP) Lower-limit to 110% (CP)	oH - 3
18	rE - 3 50	Manual reset 3 0 to 100%	rE - 3

5. SP setting

When one LSP is used.

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
1	SP 50	LSP setting value	SP
2	rSP	RSP setting value	rSP
3	SP PId 1	PID group specification (When LSP is used.)	SP PId
4	rSP PId 1	PID group specification (When RSP is used.)	rSP PId

When eight LSP are used.

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
1	SP - 0 50	LSP 0 value	SP - 0
2	SP - 1 50	LSP 1 value	SP - 1
3	SP - 2 50	LSP 2 value	SP - 2
4	SP - 3 50	LSP 3 value	SP - 3
5	SP - 4 50	LSP 4 value	SP - 4
6	SP - 5 50	LSP 5 value	SP - 5

No.	Indication, set point value at the delivery time from factory	Item	Client's set point
7	SP - 6 50	LSP 6 value	SP - 6
8	SP - 7 50	LSP 7 value	SP - 7
9	rSP	RSP value	rSP
10	SP - 0 PId 1	PID group specification (When LSP0 is used.)	SP - 0 PId
11	SP - 1 PId 1	PID group specification (When LSP1 is used.)	SP - 1 PId
12	SP - 2 PId 1	PID group specification (When LSP2 is used.)	SP - 2 PId
13	SP - 3 PId 1	PID group specification (When LSP3 is used.)	SP - 3 PId
14	SP - 4 PId 1	PID group specification (When LSP4 is used.)	SP - 4 PId
15	SP - 5 PId 1	PID group specification (When LSP5 is used.)	SP - 5 PId
16	SP - 6 PId 1	PID group specification (When LSP6 is used.)	SP - 6 PId
17	SP - 7 PId 1	PID group specification (When LSP7 is used.)	SP - 7 PId
18	rSP PId 1	PID group specification (When RSP is used.)	rSP PId

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ชื่อ นาย อรรถพล ปิ่นโภคินทร์ เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2513 เป็นบุตรคนสุดท้อง ของครอบครัว ปิ่นโภคินทร์ มีพี่ทั้งหมด 3 คน เข้าศึกษาชั้นประถมที่โรงเรียน ซางตาครู้สศึกษา กรุงเทพ หลังจากจบการศึกษาชั้นประถมแล้วได้ไปศึกษาชั้นมัธยมต้นที่โรงเรียน วัดสุทธิวราราม กรุงเทพ จนกระทั่งจบการศึกษาในชั้นมัธยมต้น ต่อจากนั้นจึงได้ไปศึกษาต่อในระดับประกาศณียบัตรวิชาชีพ หรือ ปวช. ที่ วิทยาลัยเทคโนโลยี และ อาชีวะศึกษา วิทยาเขต พระนครเหนือ ในสาขาช่างกลโรงงาน การศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีได้สอบเข้าศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ใน คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต ในปี พ.ศ. 2531 และได้จบการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2535 หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรีแล้วได้เข้าทำงานที่ บริษัท โตโยต้ามอเตอร์ประเทศไทย จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรซ่อมบำรุง ฝ่ายผลิต 2 ต่อจากนั้นในปี พ.ศ. 2542 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ปัจจุบันนี้ได้ทำงานให้กับ บริษัท โตโยต้ามอเตอร์ประเทศไทย จำกัด ในตำแหน่ง หัวหน้าวิศวกรบำรุงรักษา ฝ่ายผลิต โรงงานสำโรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย