ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาเผาเซรามิคแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR CERAMIC FURNACE

โดย

นางสาวปิยะพร สุขพรหม

นายภวัคร วงศ์พิเชษฐ์

นายภูวนัย ปานยิ่ง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

วัน เดือน ปี 31 ต.ค. 2540

เลขทะเบียน 037013

เลขเรียกหนังสือ T38106 ป476 ร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

037013

ปีการศึกษา 2538

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิเตาเผาเซรามิคแบบอัตโนมัติ

โดย

นางสาวปิยะพร สุขพรหม 35104269

นายภวัคร วงศ์พิเชษฐ์ 35104310

นายภูวนัย ปานยิ่ง 35104321

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอุณหภูมิเตาเผาเซรามิคแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR CERAMIC FURNACE

นักศึกษา ปิยะพร สุขพรหม อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์
ภวัคร วงศ์พิเชษฐ์
ภูวนัย ปานยิ่ง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโมัติของเตาเผาเซรามิคแบบใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตเซรามิค โดยใช้ PLC (Programable Logic Control) เป็นตัวควบคุม ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติของเตาเผาประเภทนี้เป็นการพัฒนามาจากระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ manual ที่ใช้อยู่เดิม มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในกระบวนการผลิตเซรามิคให้มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยประหยัดพลังงานอีกด้วย ในการควบคุมระบบนี้จะรับสัญญาณจาก Thermocouple TYPE-R (Platinum-13% Rhodium) ไปประมวลผลใน PLC และใช้ solinoid valve ขนาด 1/2 " และขนาด 1 " เป็นตัวรับสัญญาณควบคุมจาก PLC ในการจ่ายก๊าซ LPG เข้าหัวพ่นไฟ (BURNER) ส่วนชุด DAMPER ของเตาเผาซึ่งคอยควบคุมปริมาณของอากาศที่จะเข้าเตาเผา จะมีมอเตอร์เป็นตัวขับให้วาล์วปีกผีเสื้อใน DAMPER ปิด-เปิด โดยรับสัญญาณควบคุมการทำงานจาก PLC เช่นกัน

ในการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมนี้ ได้ศึกษาและอ้างอิงจากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองการทำงานทางคณิตศาสตร์ และศึกษาผลการทำงานที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำผลที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดรูปแบบการควบคุมระบบจ่ายเชื้อเพลิงของเตาเผา ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด และทำให้เตาเผามีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

ผลการทดลองได้ว่า ระบบควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการทำงานได้ผลเป็นที่น่าพอใจและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามกราฟในทางทฤษฎีที่ต้องการ โดยมีผลคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงของกระบวนการประมาณ $\pm 3\ ^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This thesis is studied about designing and developing of automatic temperature control system for ceramic furnace which use LPG in ceramic-burning process. The process is controlled by PLC (programable logic controller) . This control system is developed from the original one ; manual system ; to save energy and make process has more efficiency and work precisely. PLC receive signal from thermocouple type R (Platinum-13% Rhodium) and use solenoid valve size 1/2" and size 1" for receive control signal from PLC. As a result , LPG which go to burner head will be controlled by solenoid valves. Not only solenoid valves but also motors that use for driving butterfly valves of damper is controlled by PLC.

To design and develope this temperature control system , we must find math model and simulate it . We will get some primary data which simplify control system's form. Ultimately , you will get the process which has more precise and high efficiency.

This experiment shows that the control system which is designed gives a good result. The temperature can be controlled and has a little error about $\pm 3\ ^{\circ}C$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้าที่
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	การวิเคราะห์การทำงานเชิงคณิตศาสตร์	3
	กฎทรงพลังงานสำหรับปริมาตรควบคุม	
	การประยุกต์กฎทรงพลังงานใช้กับระบบควบคุมอุณหภูมิ	
บทที่ 3	เตาเผาเซรามิคและการควบคุมอุณหภูมิ	15
	ลักษณะของเตาเผาเซรามิค	
	ระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาเซรามิค	
บทที่ 4	การพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้ PLC	24
	ความหมายของ PLC	
	โครงสร้างโดยทั่วไปของ PLC	
	หลักการทำงานของ PLC	
	คุณลักษณะของ PLC ที่ใช้งาน	
	การประยุกต์ใช้ PLC ในระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา	
	อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับ PLC	
	ลักษณะและรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์	
บทที่ 5	โปรแกรมและการควบคุม PLC	53
	การเขียนโปรแกรม PLC	
	รายละเอียดของโปรแกรม	
	โปรแกรมควบคุม PLC	
บทที่ 6	ผลการทดลอง	82
บทที่ 7	สรุป ข้อเสนอแนะและการวิเคราะห์	88
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
บรรณานุกรม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

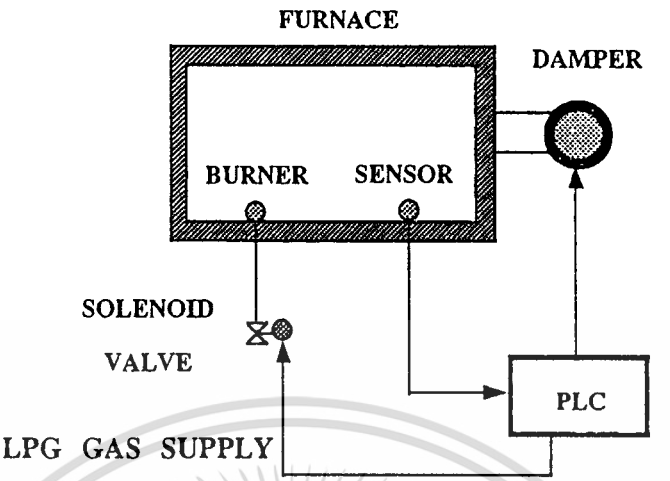
ปัจจุบัน Programmable Logic Control (PLC) โดยเข้ามาระบบควบคุมแบบซีเควนซ์ (Sequence Control) มากขึ้น เนื่องจากระบบซีเควนซ์ ซึ่งได้แก่ Relay , Timer , Converter และอื่นๆ มีข้อเสียหลายประการ คือ มีขนาดใหญ่ ใช้กำลังสูง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานก็ต้องทำการสร้างวงจรควบคุมใหม่

PLC เกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้าน Microprocessor มีส่วนอินพุท (Input) ที่สามารถต่อใช้งานเข้ากับตัวตรวจจับต่างๆ (Sensor) และ ส่วนเอาท์พุท (Output) ที่ต่อไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยสามารถสร้างวงจรหรือเงื่อนไขการทำงาน ได้จากการป้อนโปรแกรมสั่งงานที่เรียกว่า Ladder Diagram เข้าไป โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่เหมือนกับวงจรรีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ และอื่นๆ ภายหลังจากมีการเลือกสวิทช์บังคับให้ PLC เริ่มทำงาน PLC ก็จะทำงานตามขั้นตอนเหมือนกับโปรแกรมที่ผู้ใช้ป้อนเข้าไปทุกประการ โดยที่ PLC จะสร้างอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ภายในขึ้นเอง เช่น รีเลย์ ตัวตั้งเวลา และตัวนับ ด้วยซอฟท์แวร์ที่ใช้งานร่วมกันอยู่ โดยจะปรากฏอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นการทำงานที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง นอกจากนี้เงื่อนไขต่างๆที่เขียนเป็นโปรแกรมก็จะมีลักษณะคล้ายกับการต่อสายของของอุปกรณ์เหล่านี้กันเป็นวงจรขึ้นมา แต่เนื่องจากว่าเป็นการปฏิบัติการทางซอฟท์แวร์จึงทำให้ผู้ใช้สามารถแก้ไข และเพิ่มเติมวงจรได้ง่าย โดยการเปลี่ยนแปลงโปรแกรมของวงจรนั้นๆ นอกจากนี้ PLC ยังมีข้อดีคือ ราคาถูก สิ้นเปลืองเนื้อที่น้อยเพราะมีขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย ขยายระบบได้ง่าย เปลี่ยนลำดับขั้นตอนการทำงานได้ มีความน่าเชื่อถือสูง บำรุงรักษาง่าย ใช้เวลาในการทำงานน้อย ฯลฯ ดังนั้นจึงเลือกใช้ PLC เข้ามาควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาแทนการควบคุมเดิมซึ่งเป็นแบบ MANUAL

วัตถุประสงค์ในการประยุกต์ PLC ไปใช้ควบคุมอุณหภูมิในเตาเผา

เพื่อควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามกราฟระหว่างอุณหภูมิและเวลา (Temperature *vs* Time Diagram) โดยการเผาไหม้จะอยู่ในสภาวะ Reduction , Oxidation และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.1 แบบจำลองแสดงการทำงาน

โครงงานนี้เป็นโครงงานดัดแปลง ปรับปรุงเตาเผาให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะทำได้ การทดลองจะทำการทดลองกับเตาเผาจริง โดยการทำโปรแกรมจำลองการทำงานก่อน หลังจากนั้นจึงเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานจริงขึ้นใช้งาน แบบจำลองการทำงานของระบบทั้งหมดจะเป็นไปในลักษณะที่มี PLC เป็นตัวประมวลผลการทำงานทั้งหมดแล้วจึงส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงอยู่ในรูป 1.1 ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การวิเคราะห์การทำงานเชิงคณิตศาสตร์

กฎทรงพลังงานสำหรับปริมาตรควบคุม
(Conservation of Energy for Control Volume)

กฎทรงพลังงานซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน กล่าวไว้ว่า

"อัตราที่พลังงานความร้อน และพลังงานเชิงกลผ่านเข้าสู่ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ลบด้วยอัตราที่พลังงานนี้ผ่านออกจากปริมาตรควบคุมจะต้องเท่ากับอัตราที่พลังงานนี้ถูกสะสม (stored) ไว้ในปริมาตรควบคุม"

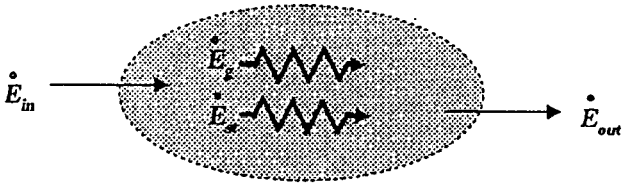
พิจารณาการนำกฎทรงพลังงานมาใช้กับปริมาตรควบคุมดังในรูป 2.1 ซึ่งขั้นแรกจะต้องกำหนดพื้นผิวควบคุมซึ่งเขียนแทนด้วยเส้นประ ขั้นต่อไปเป็นการกำหนดพลังงานขั้นต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยพลังงานที่เข้าหรือออกผ่านพื้นผิวควบคุม ($\dot{E}_{in}$ และ $\dot{E}_{out}$) และนอกจากนี้แล้วพลังงานอาจจะเข้าสู่ปริมาตรควบคุมได้โดยการแปลงมาจากพลังงานชนิดอื่น กระบวนการนี้ใช้ชื่อเรียกว่า การกำเนิดพลังงาน (Energy generation) อัตราการกำเนิดพลังงานนี้เขียนแทนด้วย $\dot{E}_g$ ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานซึ่งถูกสะสมไว้ในปริมาตรควบคุม ได้แก่ dE_{st}/dt ซึ่งเขียนแทนด้วย $\dot{E}_{st}$ ดังนั้นรูปทั่วไปของกฎทรงพลังงานเขียน ได้เป็น

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = dE_{st}/dt = \dot{E}_{st} \qquad (2.1)$$

สมการ (2.1) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ ณ เวลาใดๆ ได้ส่วนการอินทิเกรตสมการ (2.1) เทียบกับเวลาจะได้กฎทรงพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งสำหรับช่วงเวลา Δt คือ

$$E_{in} + E_g - E_{out} = \Delta E_{st} \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 ภาพแสดงกฎทรงพลังงานสำหรับปริมาตรควบคุมหนึ่งๆ

พลังงานเข้าและออก $\dot{E}_{in}$ และ $\dot{E}_{out}$ เป็นปรากฏการพื้นผิว (surface placement) นั่นคือ มันเกี่ยวพันกับกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวควบคุม ส่วนใหญ่แล้วกระบวนการเหล่านี้ ได้แก่ การนำ การพา และ/หรือ การแผ่รังสีความร้อน ในสถานะการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลผ่านพื้นผิวควบคุม $\dot{E}_{in}$ และ $\dot{E}_{out}$ จะประกอบไปด้วยพลังงานต่างๆ ที่มากับของไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม พลังงานเหล่านี้อาจได้แก่ พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ พลังงานความร้อน และงาน

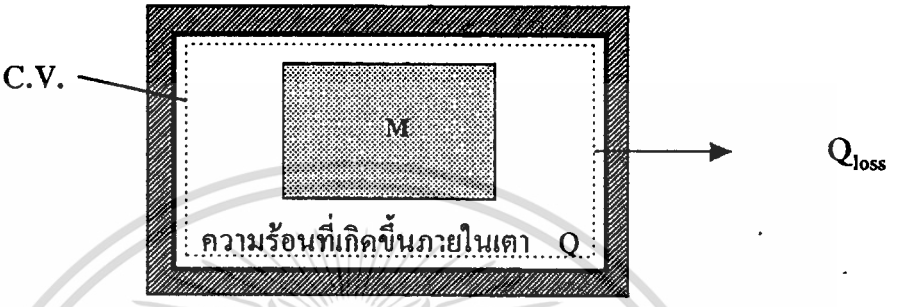
$\dot{E}_g$ หรือการกำเนิดพลังงานความร้อนนั้นเกี่ยวข้องกับอัตราของการแปลงพลังงานรูปอื่นๆ (เคมี , ไฟฟ้า , แม่เหล็กไฟฟ้า , นิวเคลียร์ ฯลฯ) มาเป็นพลังงานความร้อน $\dot{E}_g$ เป็นปรากฏการณ์เชิงปริมาตร (volumetric phenomena) นั่นคือ มันเกิดขึ้นภายในปริมาตรควบคุม และอัตราของการกำเนิดของมันแปรผันตามปริมาตร ตัวอย่างเช่น อาจมีปฏิกริยาเคมีเกิดขึ้นภายในปริมาตรควบคุม ซึ่งเป็นการแปลงพลังงานเคมีมาเป็นพลังงานความร้อน ผลสุทธิของมันคือ ทำให้พลังงานความร้อนที่สะสมภายในปริมาตรควบคุมมีปริมาณเพิ่มขึ้น เป็นต้น

$\dot{E}_{st}$ นั่นเป็นปรากฏการณ์เชิงปริมาตรเช่นเดียวกันกับ $\dot{E}_g$ แต่เพียงเกี่ยวพันกับการเพิ่มขึ้น ($\dot{E}_{st} > 0$) หรือลดลง ($\dot{E}_{st} < 0$) ของพลังงานที่สะสมอยู่ในสารซึ่งครอบคลุมอยู่ในปริมาตรควบคุม และการเพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้เป็นผลมาจากพลังงานรูปต่างๆ ที่เข้า-ออกปริมาตรควบคุมตลอดจน $\dot{E}_g$ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์กฎทรงพลังงานใช้กับระบบควบคุมอุณหภูมิ

กรณีที่ solenoid valves เปิด



รูป 2.2 ภาพแสดงเตาเผาและขอบเขตของปริมาตรควบคุมกรณีที่เปิด solenoid valve

จากรูป 2.2 M คือ มวลของวัสดุที่จะเผา ในกระบวนการผลิตมีการให้ความร้อนกับเตาเผา (Q) โดยใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในการให้ความร้อนนี้เราไม่สามารถนำความร้อนที่ให้มาใช้งานได้ทั้งหมด โดยจะมีการสูญเสียปริมาณความร้อนบางส่วนให้กับสิ่งแวดล้อมไป

จากกฎทรงพลังงานสำหรับปริมาตรควบคุม จะได้ว่า

$$E_{in} + E_g - E_{out} = \Delta E_{st} \qquad (2.2)$$

เมื่อ E_{in} คือ ปริมาณพลังงานที่ผ่านขอบเขตเข้าสู่ปริมาตรควบคุม (kJ)

E_g คือ ปริมาณพลังงานรูปอื่นที่ถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนในปริมาตรควบคุม เรียกว่า Energy generation (kJ)

E_{out} คือ ปริมาณพลังงานที่ผ่านขอบเขตออกจากปริมาตรควบคุม (kJ)

ΔE_{st} คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานสะสมภายในปริมาตรควบคุม (kJ)

กำหนดให้ ปริมาตรควบคุมเป็นดังในรูป 2.2 จะได้ว่า $E_{in} = 0$, $E_{out} = Q_{loss}$, $E_g = Q$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้ อุณหภูมิภายในเตาเผา และอุณหภูมิของมวล M มีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta E_{st} = MC\,\Delta T + mc_p\,\Delta T$$

เมื่อ C เป็น ความร้อนจำเพาะของวัสดุมวล M (kJ/kg.K)

m เป็น มวลของอากาศ (kg)

c_p เป็น ความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg.K)

จากสมการที่ 2.2 จะได้

$$Q - Q_{loss} = MC\,\Delta T + mc_p\,\Delta T$$

ในที่นี้ เนื่องจาก $mc_p\,\Delta T \ll MC\,\Delta T$ ในการคำนวณจึงไม่นำมาพิจารณา

$$\therefore \quad Q - Q_{loss} = MC\,\Delta T$$

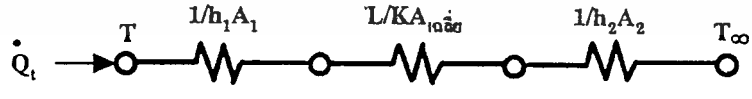
หารตลอดด้วย Δt และให้ $\Delta t \rightarrow 0$ จะได้

$$\dot{Q} - \dot{Q}_{loss} = MC\,dT/dt$$

โดยที่ $\dot{Q}_{loss}$ = ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทั้ง 6 ด้านบวกกับความร้อนที่ออกทางช่องว่างระหว่างเตาเผากับสิ่งแวดล้อม

$$= \dot{Q}_i + \dot{Q}_t$$

ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทั้ง 6 ด้าน $\dot{Q}_t$ หาได้จากวงจร



$$R_{t\ รวม} = L/KA_{เฉลี่ย} + 1/h_1A_1 + 1/h_2A_2$$

เมื่อ T เป็น อุณหภูมิภายในเตาเผา ($^\circ$C)

T_∞ เป็น อุณหภูมิภายนอกเตาเผา ($^\circ$C)

L เป็น ความหนาของผนังเตา (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K เป็น สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังเตา (W/mK)

h_1 เป็น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในเตา (W/m^2K)

h_2 เป็น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกเตา (W/m^2K)

$A_{เฉลี่ย}$ เป็น พื้นที่เฉลี่ยของเตา (m^2)

A_1 เป็น พื้นที่ภายในเตา (m^2)

A_2 เป็น พื้นที่ภายนอกเตา (m^2)

ความร้อนที่ออกทางช่องว่างระหว่างเตาเผากับสิ่งแวดล้อม $\dot{Q}_i$ จะได้ว่า

$$\dot{Q}_i = \dot{m}c_p(T-T_\infty)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

ดังนั้นจะได้ $\dot{Q}_{loss} = \dot{m}c_p(T-T_\infty)+(T-T_\infty)/ R_{t\ รวม}$

และเนื่องจาก $\dot{Q} = H\dot{m}_f = H\rho_f\dot{v}_f$

เมื่อ H คือ Heating value ของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

$\dot{m}_f$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (kg/s)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)

$\dot{v}_f$ คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง (m^3/s)

ดังนั้นจะได้ว่า

$$H\rho_f\dot{v}_f - [\dot{m}c_p(T-T_\infty)+(T-T_\infty)/ R_{t\ รวม}] = MC\ dT/dt$$

$$H\rho_f\dot{v}_f - [\dot{m}c_p+1/ R_{t\ รวม}](T-T_\infty) = MC\ dT/dt \qquad (2.3)$$

กำหนดให้

$$\overline{T} = T - T_0$$

เมื่อ T เป็น อุณหภูมิในเตาขณะเวลาใดๆ ($^\circ C$)

T_0 เป็น อุณหภูมิอ้างอิง ($^\circ C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \quad T = \bar{T} + T_0$$

$$dT/dt = d(\bar{T} + T_0)/dt = d\bar{T}/dt$$

จากสมการ 2.3 จะได้

$$H\rho_f \dot{v}_f - [\dot{m}c_p + 1/R_{t\ รวม}](\bar{T} + T_0 - T_\infty) = MC\ d\bar{T}/dt \qquad (2.4)$$

take Laplace สมการที่ 2.4 จะได้

$$H\rho_f \dot{v}_f /S - [\dot{m}c_p + 1/R_{t\ รวม}][\bar{T}(S) + (T_0 - T_\infty)/S] = MCS\ \bar{T}(S)$$

สมมติให้ $Y = [mc_p + 1/R_{t\ รวม}]$

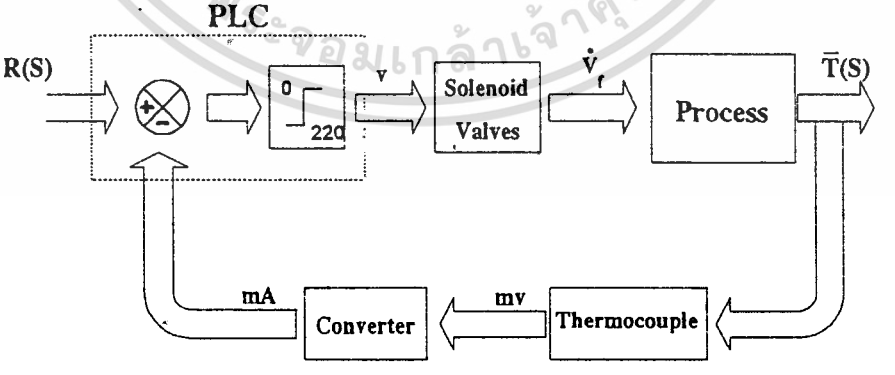
ดังนั้นจะได้ว่า

$$H\rho_f \dot{v}_f /S - Y[\bar{T}(S) + (T_0 - T_\infty)/S] = MCS\ \bar{T}(S)$$

$$[H\rho_f \dot{v}_f - Y(T_0 - T_\infty)]/S = (MCS + Y)\ \bar{T}(S)$$

$$\bar{T}(S) = [H\rho_f \dot{v}_f - Y(T_0 - T_\infty)]/S(MCS + Y)$$

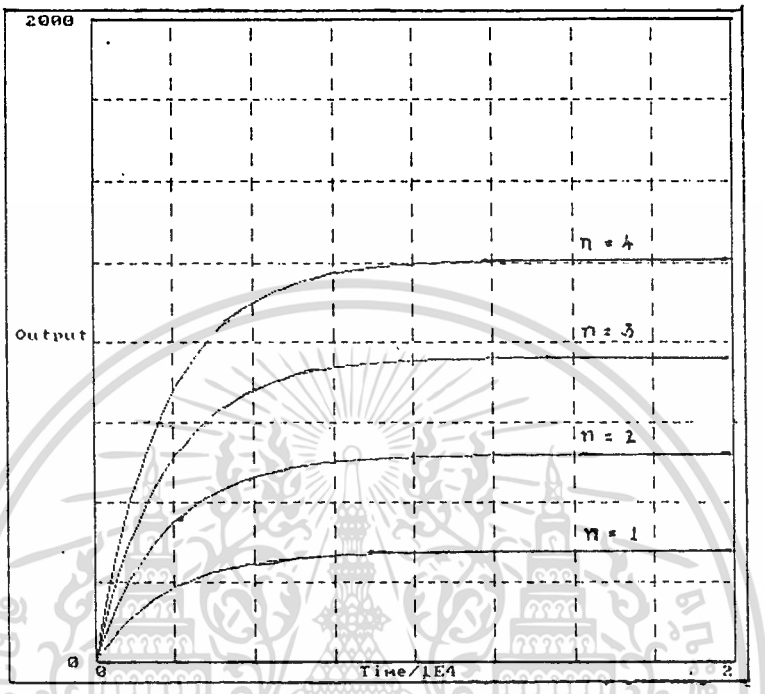
Block diagram แสดงการทำงานของระบบสามารถเขียนได้ดังนี้



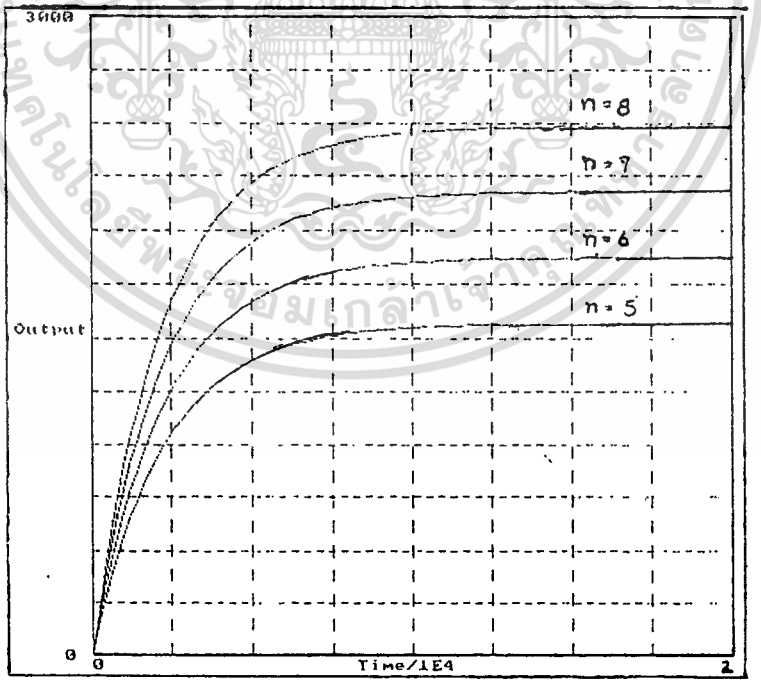
รูป 2.3 แสดง Block Diagram การทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการทำงานลักษณะต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้



(a)



(b)

รูป 2.4 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะต่าง ๆ

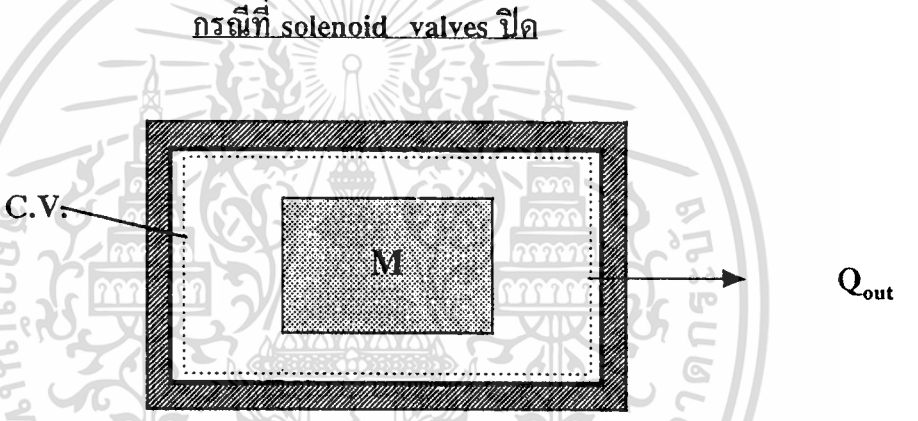
(a) จำนวนวาล์วที่เปิดตั้งแต่ 1 ถึง 4 ตัว

(b) จำนวนวาล์วที่เปิดตั้งแต่ 5 ถึง 8 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปกราฟที่ได้ สมมติที่อุณหภูมิอ้างอิง (T_0) เท่ากับ $0^{\circ}C$ จากนั้นทำการเลือกเปิด Solenoid valve จำนวนหนึ่ง แล้วนำไปหาค่า time response จะได้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง $\overline{T}(t)$ กับ t มาลักษณะหนึ่ง เมื่อเราทำการเปลี่ยนจำนวน Solenoid valve ที่เปิดไปจากเดิม จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\overline{T}(t)$ กับ t ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่ความชันของกราฟ ซึ่งคือ ความสามารถในการเร่งอุณหภูมิจะแตกต่างกัน

ดังนั้น เราจึงได้นำลักษณะที่ต่างกันตรงจุดนี้มาใช้ในการกำหนดรูปแบบของการจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงให้กับหัวพ่นไฟ (Burner) ในระบบควบคุมอุณหภูมิเตาเผาเซรามิคแบบอัตโนมัติในแต่ละช่วงของการทำงานตลอดทั้งกระบวนการผลิต



รูป 2.5 ภาพแสดงเตาเผาและขอบเขตของปริมาตรควบคุมกรณีที่ปิด solenoid valve

กำหนดให้ T คือ อุณหภูมิภายในเตาเผา ($^{\circ}C$)

T_{∞} คือ อุณหภูมิภายนอกเตาเผา ($^{\circ}C$)

จากกฎทรงพลังงานสำหรับปริมาตรควบคุม

$$E_{in} + E_g - E_{out} = \Delta E_{st} \qquad (2.2)$$

กำหนดขอบเขตของปริมาตรควบคุมดังในรูป 2.5 จะได้ว่า

E_{in} และ E_g = 0

E_{out} = Q_{out}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$-Q_{out} = \Delta E_{st}$$

$$-Q_{out} = MC\,\Delta T \quad \text{(ไม่คิดมวลของอากาศ)}$$

หารทั้งสองข้างของสมการด้วย Δt ซึ่ง $\Delta t \rightarrow 0$ จะได้ว่า

$$-\dot{Q}_{out} = MCdT/dt$$

$$\dot{Q}_{out} = -MCdT/dt \qquad (2.5)$$

โดยที่ $\dot{Q}_{out}$ = ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทั้ง 6 ด้านบวกกับความร้อนที่ออกทางช่องว่างระหว่างเตาเผากับสิ่งแวดล้อม

$$= \dot{Q}_i + \dot{Q}_t$$

ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทั้ง 6 ด้าน $\dot{Q}_t$ หาได้จากวงจร

$$R_{t\ รวม} = L/KA_{เฉลี่ย} + 1/h_1A_1$$

ความร้อนที่ออกทางช่องว่างระหว่างเตาเผากับสิ่งแวดล้อม $\dot{Q}_i$ จะได้ว่า

$$\dot{Q}_i = \dot{m}c_p(T-T_\infty)$$

เมื่อ $\dot{m}$ เป็น อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\dot{Q}_{out} = T-T_\infty / R_{t\ รวม} + \dot{m}c_p(T-T_\infty)$$

จากสมการที่ 2.5 เราจะได้ว่า

$$T-T_\infty / R_{t\ รวม} + \dot{m}c_p(T-T_\infty) = -MCdT/dt$$

$$(\dot{m}c_p + 1/R_{t\ รวม})(T-T_\infty) = -MCdT/dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ค่า $(\dot{m}c_p + 1/R_{t\,รวม}) = Y$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$Y(T-T_\infty) = -MCdT/dt$$

กำหนดให้ $\bar{T} = T - T_i$

และ $T = \bar{T} + T_i$

เมื่อ T_i คือ อุณหภูมิของเตาเผาขณะที่ solenoid valves ปิด

ดังนั้นจะได้

$$Y(\bar{T} + T_i - T_\infty) = -MCdT/dt$$

$$(\bar{T} + T_i - T_\infty) = (-MC/Y)\,(dT/dt)$$

take Laplace ทั้งสองข้างของสมการ จะได้ว่า

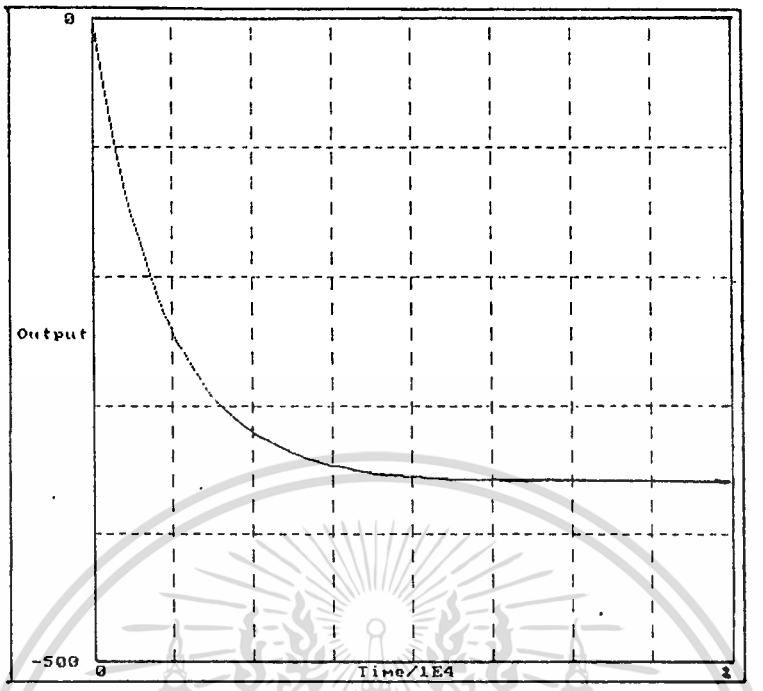
$$\bar{T}(S) + (T_i - T_\infty)/S = (-MC/Y)S\,\bar{T}(S)$$

$$[(MC/Y)S + 1]\,\bar{T}(S) + (T_i - T_\infty)/S = 0$$

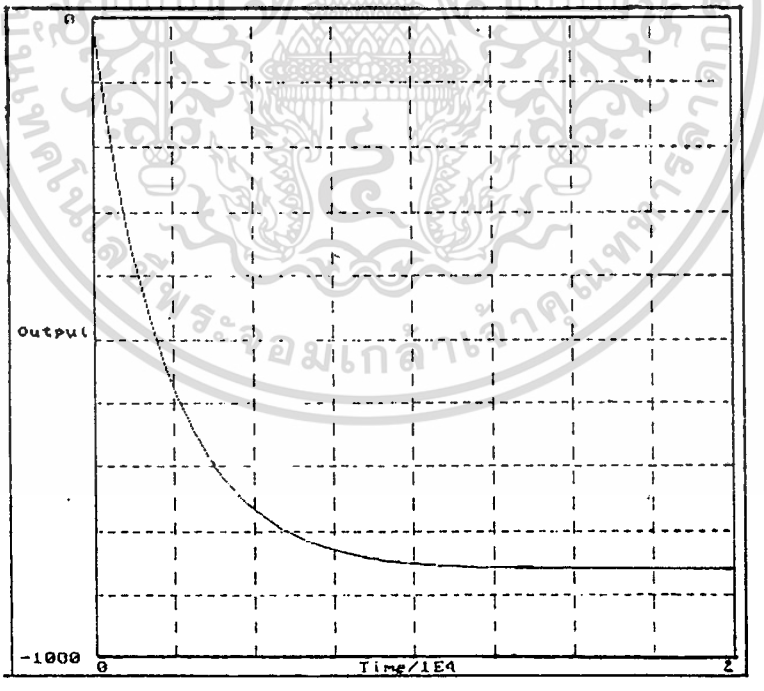
$$\boxed{\bar{T}(S) = \frac{(T_\infty - T_i)}{S[(MC/Y)S + 1]}}$$

นำสมการที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อการทำงานลักษณะต่างๆ ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูป 2.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในสภาวะต่าง ๆ ขณะทำการปิดวาล์ว

(a) เมื่ออุณหภูมิสุดท้าย เท่ากับ 400°C

(b) เมื่ออุณหภูมิสุดท้าย เท่ากับ 900°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

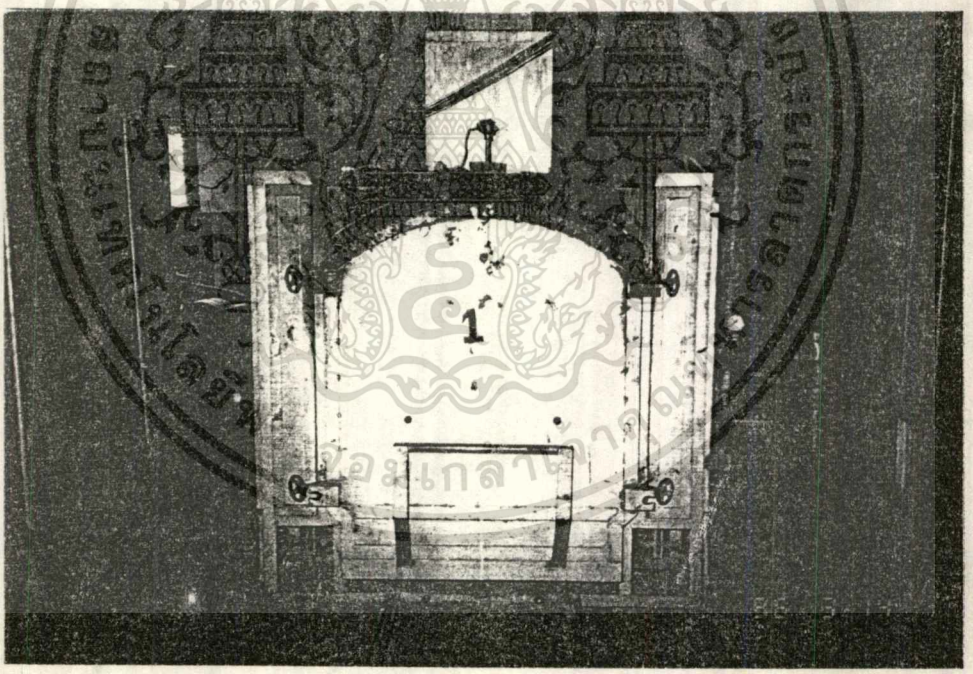
กราฟที่ได้จะมีลักษณะดังในรูป 2.6 ซึ่งเป็นตัวบอกให้ทราบว่า เมื่อเราเปิดวาล์วให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วทำการปิดวาล์ว อุณหภูมิของเตาจะค่อย ๆ ลดลง โดยในตอนแรกจะลดลงอย่างรวดเร็ว แล้วจะลดในอัตราที่ช้าลงเมื่อเวลานานขึ้น ลักษณะของกราฟดังกล่าวเป็นตัวบอกให้รู้ว่าควรจะปิดวาล์วนานเท่าไรจึงจะไม่ทำให้อุณหภูมิลดลงมากจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เตาเผาเซรามิคและการควบคุมอุณหภูมิ

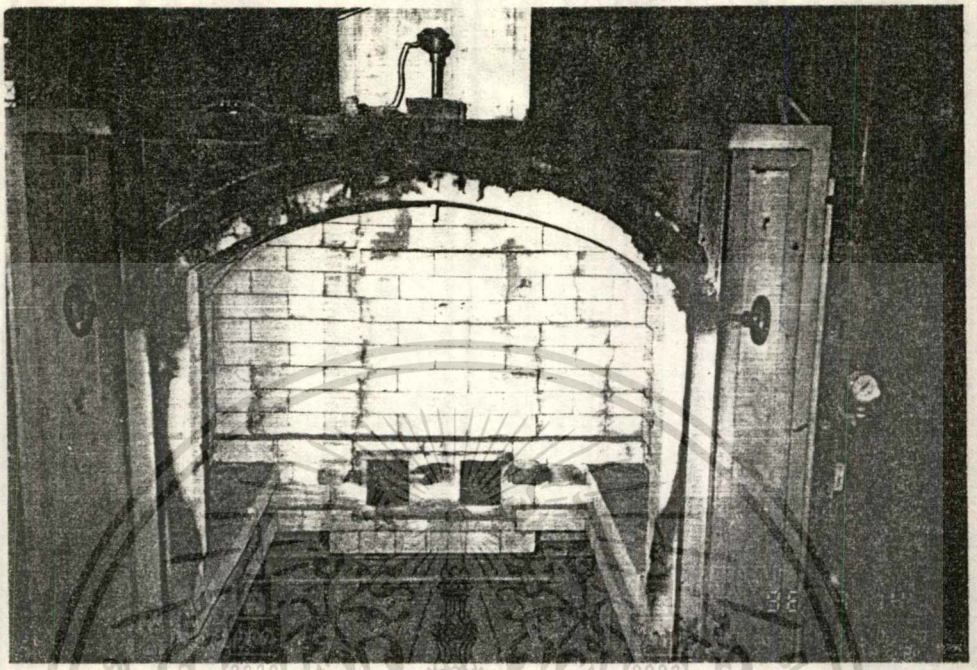
ลักษณะของเตาเผาเซรามิค

เตาเผาเซรามิคที่ใช้งาน เป็นเตาเผาประเภท Kettle ซึ่งสร้างขึ้นโดยการก่อผนังเตาขึ้นจากพื้นของโรงงาน มีขนาด กว้าง 1.74 เมตร ยาว 1.74 เมตร และสูง 2.43 เมตร ผนังของเตาเผาทำด้วยอิฐทนไฟ และเตาเผาชนิดนี้เป็นแบบ /Batch เพราะมีการป้อนชิ้นงานเป็นชุดๆ โดยการวางเรียงบนรถรางที่ใช้ป้อนชิ้นงานเข้าเตาเผา ลักษณะทั่วๆ ไปของเตาเผาเซรามิคได้แสดงไว้ในรูป 3.1-3.4



รูป 3.1 ภาพแสดงลักษณะทั่วไปของเตาเผา

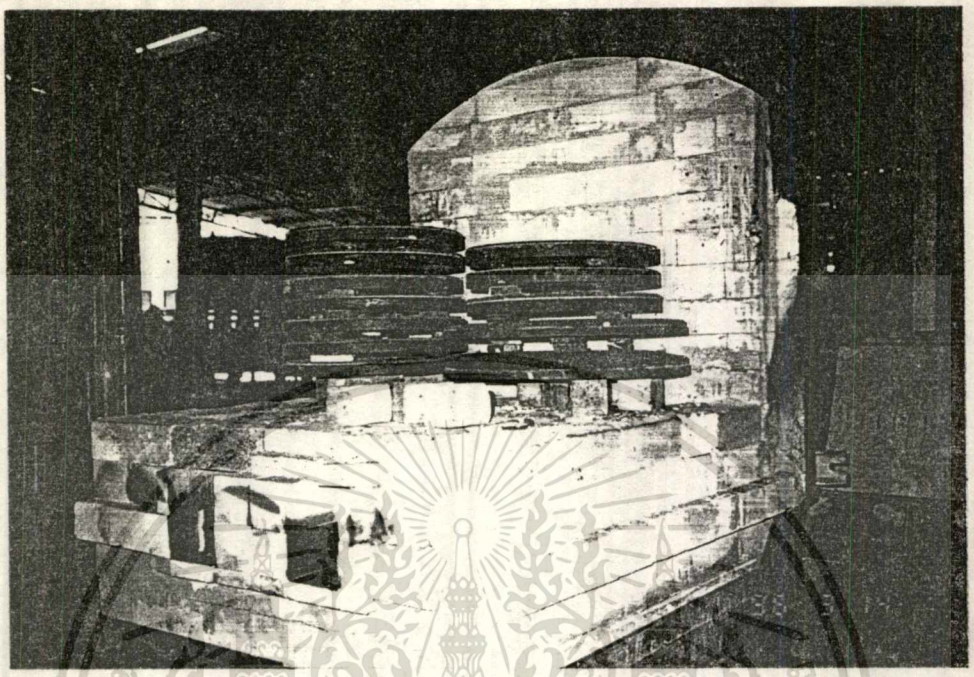
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 ภาพแสดงลักษณะภายในของเตาเผา

รูป 3.3 ภาพแสดงลักษณะผนังของเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 ภาพแสดงลักษณะของรถรางสำหรับป้อนชิ้นงานเข้าเตาเผา

รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเตาเผาเซรามิคมีดังนี้

กำลังการผลิต	การผลิตต่อBatch	1600	kg/Batch
	การผลิตต่อชั่วโมง	66.67	kg/hour
เวลาทำงาน	จำนวนการผลิต	120	Batch/year
	ชั่วโมงการทำงาน	2880	hour/year
พลังงานที่ใช้	ชนิด	LPG	
	ปริมาณต่อBatch	312	kg/batch
	ปริมาณต่อชั่วโมง	13.375	°C
	อุณหภูมิ	30	°C
	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง	16 %	
	ค่าพลังงานจำเพาะ	195	kg/ton
วัสดุเข้าเตา	ชนิด	Abasive Material	

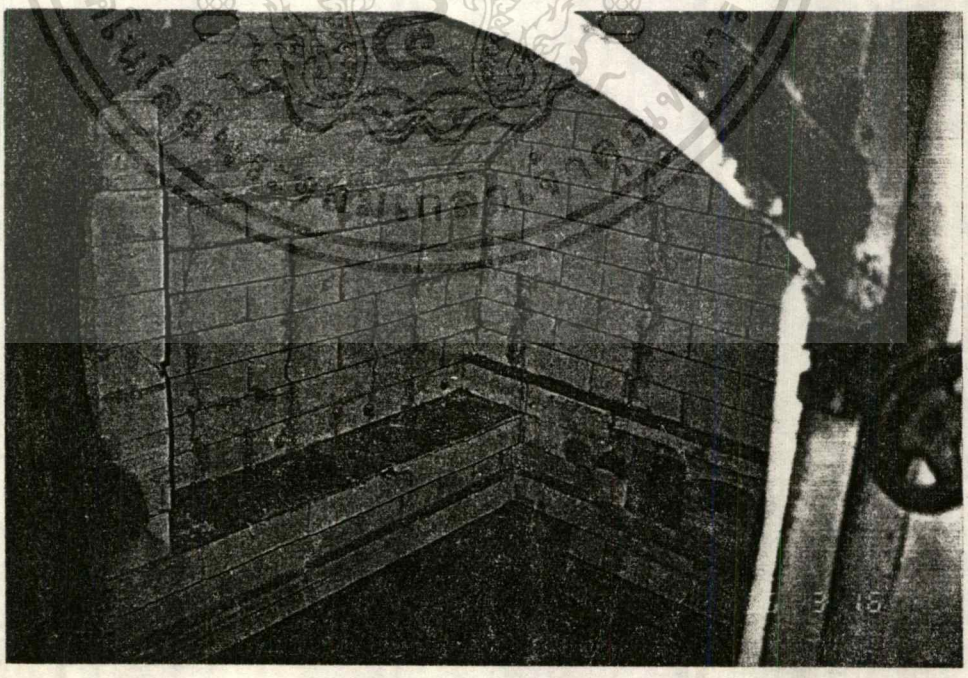
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ความชื้นเข้า	2 %	
	ความชื้นออก	0 %	
	อุณหภูมิเข้า	30	°C
	อุณหภูมิออก	400	°C
	อุณหภูมิวัสดุเผาในเตา	1260	°C
ก๊าซเสีย	อุณหภูมิเฉลี่ย	700	°C
	ปริมาณ O_2	0-16.9 %	
อุณหภูมิก๊าซที่ใช้		30	°C

ระบบควบคุมการทำงานของเตาเผาเซรามิค

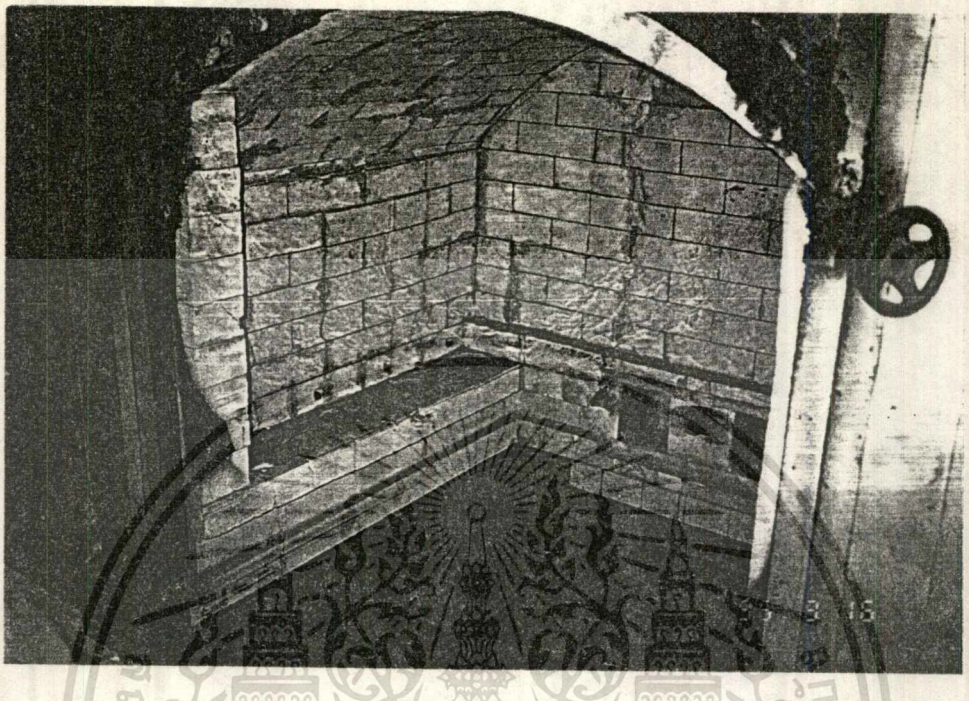
การควบคุมอุณหภูมิในการเผา (CONTROL FIRING)

ในระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาเซรามิคแบบนี้ จะใช้การควบคุมที่หัวพ่นไฟ (Burner) ในตำแหน่งต่างๆ ของเตา ดังแสดงในรูป 3.5 a และรูป 3.5 b โดยการเปิด-ปิดหัวพ่นไฟให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ใน SCHEDULE ของการเผา โดยดูจากจอแสดงผลอุณหภูมิของ THERMOCOUPLE ที่แสดง ณ จุดนั้นๆ จอแสดงผลอุณหภูมิแสดงไว้ในรูป 3.6

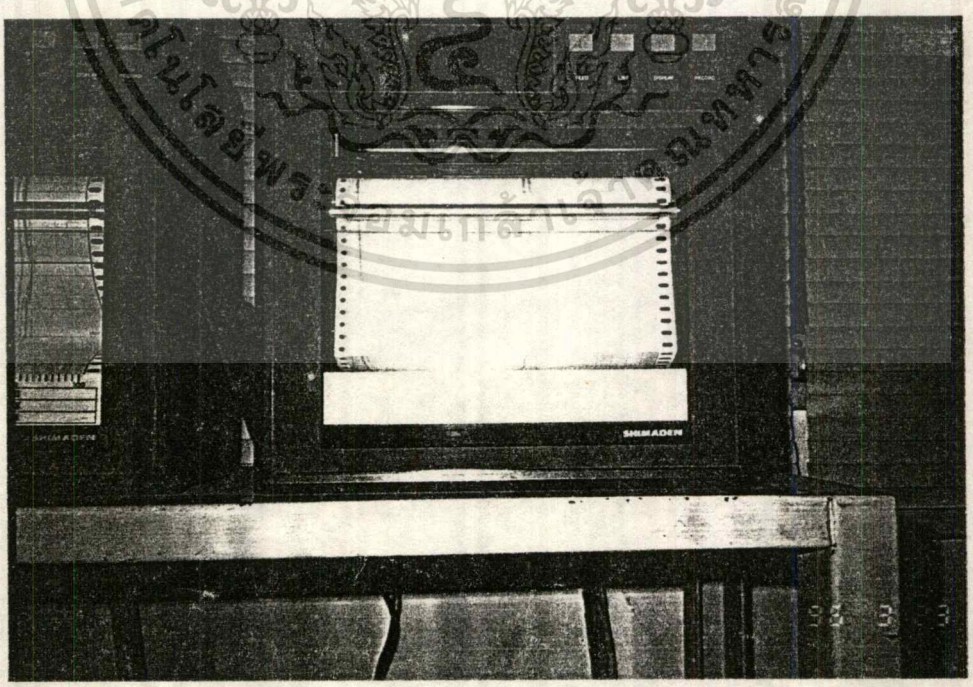


รูป 3.5 a แสดงลักษณะของหัวพ่นไฟ (BURNER) ขณะปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.5 b แสดงลักษณะของหัวพ่นไฟ (BURNER) ขณะเปิด



รูป 3.6 แสดงลักษณะของจอแสดงผลอุณหภูมิของ THERMOCOUPLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037013

การเผาโดยหลักทั่วไป เราจะมีแยกการเผาออกเป็น 2 หลักด้วยกัน คือ

1. การเผาสำหรับหินไฟ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็น หินไฟชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะใช้อุณหภูมิในการเผาในช่วงที่ 6 เท่ากับ 1260 $^{\circ}C$

2. การเผาสำหรับหินลับมีด คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็น หินลับมีดชนิดต่าง ๆ อุณหภูมิในการเผาช่วงที่ 6 เท่ากับ 1200 $^{\circ}C$

ซึ่งลักษณะของ SCHEDULE การเผาของหินลับมีด และ หินไฟจะแตกต่างกันในเรื่องของ HEATING RATE และ ช่วงเวลาในการ SOAKING แต่ในการเผายังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ เรื่องการ LOADING ขนาดของเตา ประสิทธิภาพของหัวพ่น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลในการ FIRING ซึ่งเราจะต้องมีการตรวจสอบก่อนการทำการเผาทุกครั้ง และในบางครั้งเราจำเป็นต้อง ADJUST SCHEDULE ในการเผาเป็นกรณีไป แต่อย่างไรก็ตาม SCHEDULE ในการเผาก็จะมีช่วงการเผาแบ่งออกเป็น 6 ช่วงเสมอ

ลักษณะทั่วไปของ CHART

การเผาจะแบ่งออกเป็น 6 ช่วงการเผา ซึ่งแต่ละช่วงการเผาจะมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ช่วงที่ 1

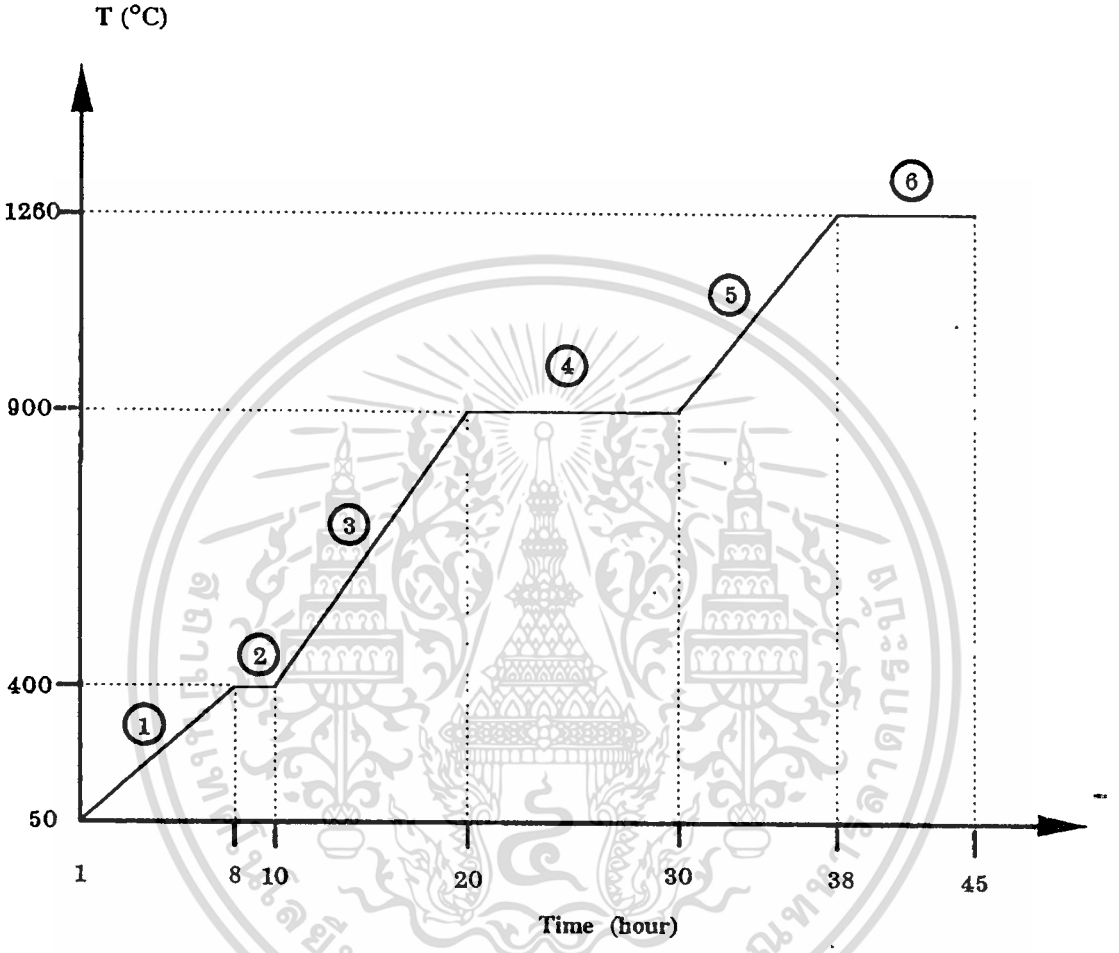
จากอุณหภูมิห้อง จนถึง T = 400 $^{\circ}C$ โดยกำหนดให้มี HEATING RATE = 40 -50 $^{\circ}C$/hr. ในช่วงนี้จะเกิดการ VAPORIZATION ของ H_2O ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ น้ำในเม็ดทราย , แรงผิวของน้ำ MECHANICAL WATER , ซึ่งการ VAPORIZATION ของ H_2O จะมีผลต่อการเผาผลิตภัณฑ์อย่างมาก ถ้ามีการ VAPORIZATION ของ H_2O ได้ดีจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาในช่วงอื่นได้ดีด้วย ซึ่งสภาวะภายในเตามีความจำเป็นมากในการระเหยของไอน้ำ ดังนั้น จึงมี BLOWER ช่วยในระบายอากาศที่มีไอน้ำให้ออกสู่สิ่งแวดล้อมของเตา แต่ในทางปฏิบัติแล้วเตาเราจะมี BLOWER ไม่ครบทุกตัว ดังนั้น เพื่อเป็นการช่วยให้เกิดการระบายของอากาศเราจึงต้องเปิด DAMPER

ช่วงที่ 2

T = 400 $^{\circ}C$ กำหนดให้อุณหภูมิคงที่ ระยะเวลาในการ SOAKING ขึ้นอยู่กับขนาดของเตา และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าเผา ฯลฯ เพื่อให้หัวพ่นในตำแหน่งต่าง ๆ มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเท่ากัน และเป็นการ MAKE SURE ให้ H_2O ระเหยออกมาหมดแล้ว และ เพื่อเตรียมให้เกิดปฏิกิริยาการสันดาษในขั้นต่อไป



รูป 3.7 กราฟแสดงกระบวนการเผาหินไฟทั่วไป

<u>ช่วงที่ 3</u>

T = 400 °C - 900 °C กำหนดให้มี HEATING RATE = 40 - 50 °C/hr ในช่วงนี้จะเกิดปฏิกิริยา OXIDATION ในพวก ORGANIC (คาร์บอเนต ซัลเฟต ฯลฯ) รวมตัวกับ O_2 ปฏิกิริยาในช่วงนี้มีความสำคัญกับผลิตภัณฑ์มาก หากเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จะเกิด DEFECT กับผลิตภัณฑ์ และจะทำให้ปฏิกิริยาในขั้นต่อไปเกิดได้ไม่สมบูรณ์ตามไปด้วย ในการควบคุมจำเป็นต้องควบคุมให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเป็นไปตาม RATE ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่ 4

ช่วงที่อุณหภูมิของเตาคงที่เท่ากับ 900 °C เป็นการยืนไฟ (SOAKING) ให้อุณหภูมิในเตา ที่ตำแหน่งหัวพ่นต่าง ๆ มีอุณหภูมิเท่า ๆ กัน และเพื่อเป็นการยืนยันให้เกิดปฏิกิริยาให้สมบูรณ์

ช่วงที่ 5

ช่วง 900 - 1260 °C เป็นช่วงที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากตัว BLINDER ซึ่งทำหน้าที่เป็น BONDING (FELDSPAR , SODIUM SILICATE etc.) จะเริ่มหลอมละลาย (FLUX) เราจึงกำหนดให้ HEATING RATE = 30 - 50 °C/hr ในช่วงการเผานี้จะเกิดปฏิกิริยา REDUCTION ซึ่งสภาวะที่เหมาะสม ภายในเตาจะต้องมี PRESSURE ที่สูงกว่า PRESSURE ของสภาวะแวดล้อม (จะมีการปิด DAMPER)

ช่วงที่ 6

อุณหภูมิในเตาจะคงที่ ที่ T = 1260 °C ระยะเวลาในการยืน (SOAKING) ที่อุณหภูมินี้จะสั้นหรือยาวจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เข้าเผา ลักษณะการ LOAD ของผลิตภัณฑ์เข้าเตา เช่น ถ้าเตากว้างจะมีระยะเวลาในการยืนไฟ (SOAKING) นาน เพื่อให้อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งหัวพ่นต่างๆ มี T เท่ากัน

สรุปลักษณะการควบคุมการทำงานของเตาเผา

ช่วงที่ 1 - 4 จะเกิดปฏิกิริยา OXIDATION ดังนั้นเราจึงต้องเปิด DAMPER และ BLOWER เพื่อให้เตามีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และได้รับ O_2 มากที่สุด เพื่อจะได้เกิดปฏิกิริยาได้ดี จะมีข้อสังเกตว่าในช่วงนี้จะมีควันเกิดขึ้น

ช่วงที่ 5 - 6 เป็นช่วงที่จะเกิดปฏิกิริยา REDUCTION โดยจะให้สภาวะในเตามี PRESSURE สูง จึงต้องปิด DAMPER โดยจะมีข้อสังเกตได้ว่าในช่วงนี้จะไม่เกิดควันในการเผาไหม้

กระบวนการผลิตเซรามิคจะมีการควบคุมสีของผลิตภัณฑ์ โดยสร้างบรรยากาศภายในเตาเผาเป็น ทั้งแบบ REDUCTION และ OXIDATION บรรยากาศทั้งสองนี้ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก บรรยากาศ REDUCTION ต้องการปริมาณ CO สูง การเผาไหม้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดออกซิเจนเมื่อเชื้อเพลิงเปลี่ยนเป็น CO ความร้อนจะให้ออกมาเพียงครึ่งเดียวของส่วนนี้ ส่วนบรรยากาศ OXIDATION ต้องใช้ O_2 สูงหรือต้องใช้อากาศมาเป็นพิเศษก็จะมีความร้อนสูญเสียทางปล่องมาก โดยเฉพาะบรรยากาศ OXIDATION แม้การสูญเสียความร้อนมากทางโรงงานควรกำหนดค่า O_2 สูงสุดที่บรรยากาศนี้สามารถทำงานให้ได้ตามควบคุม แต่อย่าให้สูงจนเกิน การควบ. คุมปริมาณออกซิเจนจะลดความสูญเสียความร้อนจากก๊าซเสียให้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้ PLC

ความหมายของ PLC

PLC หรือ Programmable Logic Controller เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะทางประเภทหนึ่ง ซึ่งถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุม และสร้างขึ้นให้ทนต่อสภาพแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะ เช่น ทนต่อสภาพอุณหภูมิที่สูงและต่ำมากๆ , ทนต่อความชื้นสูง , ระบบไฟฟ้ามีการรบกวนไม่สม่ำเสมอ , การสั่นสะเทือน เป็นต้น

ระบบควบคุมแบบนี้ใช้การเขียนโปรแกรมทำนองเดียวกันกับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดเงื่อนไขการควบคุม โดยภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมมักจะเป็นภาษาแอสเซมบลี , วงจร Ladder หรือ คำสั่งบล็อก เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้การเปลี่ยนลำดับขั้นตอนหรือเงื่อนไขของการทำงานก็สามารถทำได้โดยง่ายตามต้องการ

โครงสร้างโดยทั่วไปของ PLC

ส่วนประกอบที่สำคัญของ PLC แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

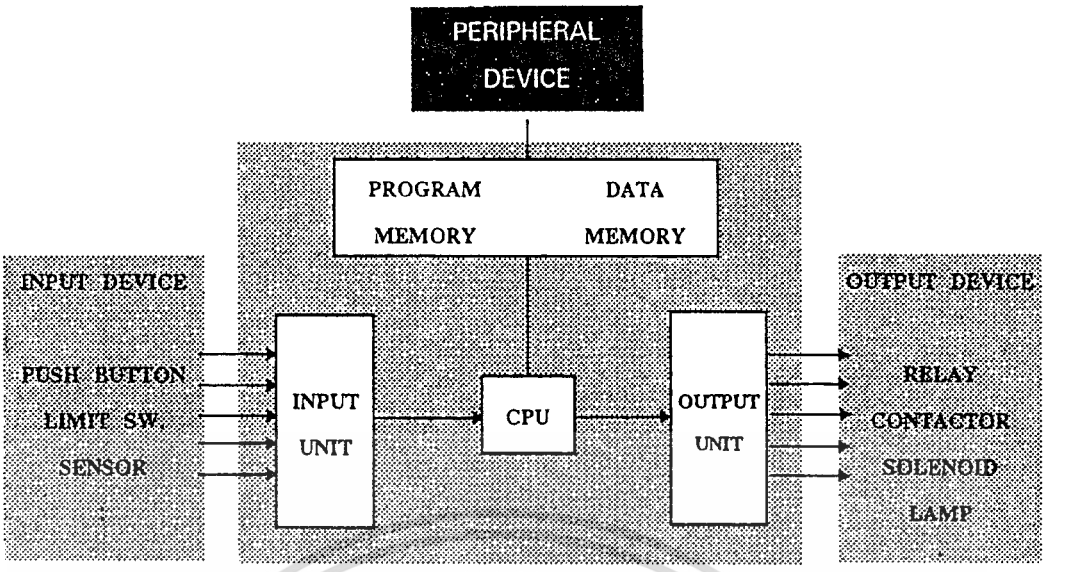
1. หน่วยประมวลผล (CPU UNIT)

2. หน่วยความจำ (MEMORY UNIT)

3. หน่วยอินพุท - เอาท์พุท (INPUT - OUTPUT UNIT)

4. อุปกรณ์ต่อร่วม (PERIPHERAL DEVICES)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.1 แสดงโครงสร้างทั่วไปของ PLC

หน่วยประมวล (CPU UNIT)

หน่วยประมวลทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยรับข้อมูลอินพุทเข้ามาทำการประมวลผลแล้วส่งผลที่ได้ออกไป จากนั้นก็จะวนกลับไปรับข้อมูลอินพุทเข้ามาอีกแล้วจะทำซ้ำ ๆ ในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

การทำงานของ CPU จะอยู่ภายใต้การควบคุมของโปรแกรมที่ผู้ใช้ป้อนเข้าไป โดยที่การทำงานในแต่ละรอบนี้ เรียกว่า การสแกน (SCANNING) สำหรับเวลาในการขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำและความเร็วของหน่วยประมวลผล ช่วงเวลาของการสแกนจะทำให้ทราบถึงความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุท-เอาท์พุทว่ามีความรวดเร็วเพียงใด

รูป 4.2 การสแกนที่มีผลตอบสนองต่ออินพุท - เอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำ (MEMORY UNIT)

เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบเพราะใช้เป็นที่เก็บโปรแกรมและข้อมูล และขนาดของหน่วยความจำจะเป็นสิ่งกำหนดความสามารถของระบบ ปกติมักจะมีขนาดวัดกันเป็นเสต็ปของคำสั่ง ในการโปรแกรมระบบที่ขนาดของหน่วยความจำมาก จะทำให้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้น

หน่วยความจำ PLC จะแบ่งเป็น

1. RAM (RANDOM ACESS MEMORY)
2. EPROM (ERASABLE PROGRAMMABLE READ ONLY MEMORY)

หน่วยความจำ RAM

เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมควบคุมที่ป้อนโดยผู้ใช้ให้กับ PLC ทั้งนี้เพราะโปรแกรมควบคุมนี้อาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไข ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำที่สามารถลบข้อมูลเดิม และนำโปรแกรมใหม่เข้าไปเก็บไว้ได้ ในการใช้งานจริง ๆ แล้วต้องมีแหล่งจ่ายไฟสำรองต่อไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลสูญหายเมื่อไฟฟ้าดับ

หน่วยความจำ EPROM

เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมที่มีการพัฒนาจนใช้งานได้ดีเป็นการถาวร และในการอัดโปรแกรมจะทำได้โดยการถ่ายข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM ลงมาสู่หน่วยความจำ EPROM โดยอาศัยเครื่องอัดโปรแกรมชนิดพิเศษ (EPROM WRITTER) ต่อร่วมกับชุดของ PLC ซึ่งจะทำให้โปรแกรมถาวรดังกล่าวในหน่วยความจำ EPROM นั้น และพร้อมที่จะนำมาติดตั้ง (INSTALL) ลงใน PLC เพื่อให้ PLC มีการทำงานตามโปรแกรมที่บรรจุ หน่วยความจำประเภทนี้โปรแกรมจะไม่มีการสูญหายเมื่อไฟดับ แต่ถ้ามีความจำเป็นที่จะลบโปรแกรมภายในก็สามารถทำได้โดยใช้เครื่องล้างโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยอินพุท-เอาท์พุท (INPUT-OUTPUT UNIT)

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะหน่วยอินพุท-เอาท์พุทแบบดิจิตอลเท่านั้น

หน่วยอินพุท (INPUT UNIT)

หน่วยอินพุททำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอก ที่เป็นสวิทช์ และตัวตรวจจับต่าง ๆ แล้วแปลงชนิดของสัญญาณขาเข้าดังกล่าวไม่ว่าจะเป็น AC , DC ให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสม เพื่อส่งเข้าไปให้แก่หน่วยประมวลผลกลาง ดังนั้นในการเลือกใช้ประเภทของอินพุทนั้นผู้ใช้ จะต้องเลือกให้เหมาะสม และถูกต้องตามประเภทของการใช้งานด้วย ไม่เช่นนั้นอาจจะเกิดความเสียหายขึ้นได้

ปกติอินพุทที่ดีจะต้องมีหน้าที่ดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณเข้า ให้เป็นระดับสัญญาณที่เหมาะสมกับระบบของ PLC

2. การส่งสัญญาณระหว่างหน่วยอินพุทกับหน่วยประมวลผล จะติดต่อกันด้วยลำแสงโดยอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทั้งนี้เพื่อแยกสัญญาณ (ISOLATE) ทางไฟฟ้าให้ออกจากกันเพื่อป้องกันไม่ให้หน่วยประมวลผลได้รับความเสียหาย เมื่อหน่วยอินพุทเกิดการลัดวงจร

3. ไม่มีการสั่นของหน้าสัมผัส (CONTACT CHATTERING)

หน่วยเอาท์พุท (OUTPUT UNIT)

หน่วยเอาท์พุททำหน้าที่รับค่าสภาวะที่ได้จากการประมวลผล เพื่อนำค่าสภาวะเหล่านี้ไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก รีเลย์ โซลีนอยด์ หลอดไฟแสดงสภาวะ เป็นต้น นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ ISOLATE สัญญาณของหน่วยประมวลผล ออกจากอุปกรณ์เอาท์พุท โดยปกติแล้ว หน่วยเอาท์พุทมีความสามารถในการขับโหลดด้วยกระแสประมาณ 1 ถึง 2 แอมแปร์ ในกรณีที่โหลดต้องการกระแสมากกว่านี้ผู้ใช้จะต้องนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์ขับ หรือขยายอีกทีหนึ่ง เช่น รีเลย์ โซลิทสเตทรีเลย์ และคอนแทคเตอร์ เป็นต้น

เอาท์พุทของ PLC จะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ผู้ใช้ต้องพิจารณาเลือกใช้งานให้ถูกต้อง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทที่ใช้กับไฟกระแสสลับเอาท์พุทประเภทนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ รีเลย์ และไทรแอด สำหรับไทรแอดนั้นเป็นสารกึ่งตัวนำจะถูกเอามาใช้กับโหลดที่มีการเปิดปิดอยู่บ่อยๆ เพื่อลดการอ๊าค เมื่อมีการตัดต่อวงจรไฟฟ้า

เอาท์พุทใช้กับไฟกระแสตรง เอาท์พุทประเภทนี้มีอยู่ 2 ชนิด ด้วยกัน คือ ชนิดรีเลย์ และทรานซิสเตอร์ สำหรับชนิดทรานซิสเตอร์ ใช้งานที่มีการเปิดปิดอยู่บ่อยๆ เช่นกัน ตลอดจนการนำไปขับโหลดที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เอาท์พุททรานซิสเตอร์แบบโอเพนคอลเลคเตอร์เป็นตัวขับ เป็นต้น

อุปกรณ์ต่อร่วม (PERIPHERAL DEVICE)

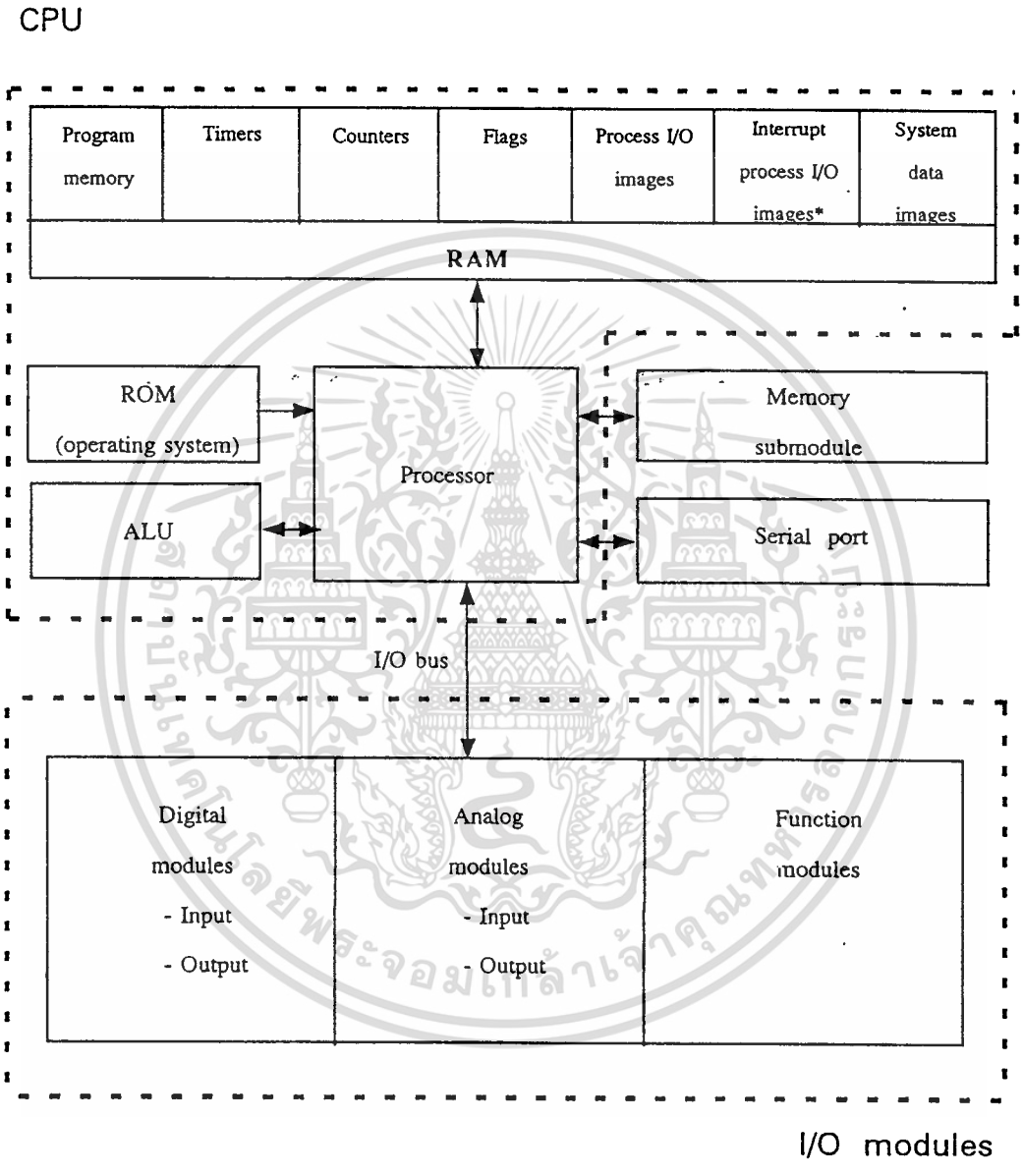
อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อร่วมกับ PLC มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดหลายประเภท ทั้งนี้ก็เพื่ออำนวยความสะดวกในการพัฒนาโปรแกรม ทำให้การเขียนโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์ด้วยเวลาอันสั้น

ประเภทและหน้าที่ของอุปกรณ์ต่อร่วมเป็นดังตารางนี้

อุปกรณ์ต่อร่วม	หน้าที่การใช้งานเกี่ยวกับโปรแกรม				
	ป้อน	แก้ไข	โหลดใหม่	พิมพ์	สภาวะ
1. PROGRAMMING CONSOLE	*	*			*
2. EPROM WRITER			*		
3. PRINTER				*	
4. GRAPHIC PROGRAMMING	*	*			*
5. CRT MONITOR	*	*			*
6. AUDIO CASSETTE			*		
7. LADDER SOFTWARE	*	*	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของ PLC



รูป 4.3 แสดงส่วนประกอบของหน่วยต่าง ๆ ใน PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU

RAM

CPU มี RAM ที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

- สามารถเปลี่ยนข้อมูลในหน่วยความจำได้อย่างไร
- ข้อมูลในหน่วยความจำจะหายไปเมื่อไม่ต่อไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่

PROGRAM MEMORY

โปรแกรมควบคุมจะถูกบรรจุไว้ในส่วนที่สงวนไว้ภายใน RAM

PROCESS I/O IMAGES (PIQ, PII, interrupt PIQ , interrupt PII)

- สถานะของสัญญานของ input module จะถูกเก็บในส่วนที่จองไว้ของ RAM ในรูปของ process input image (PII)
- ข้อมูลจาก CPU ไปที่ output module จะถูกเก็บในส่วนที่จองไว้ของ RAM ในรูปของ process output image (PIQ)
- ข้อมูลที่ได้จากหรือไปยัง function module ก็จะถูกเก็บใน process i/o image เช่นกัน
- The interrupt process i/o image (interrupt PII และ interrupt PIQ) จะถูกใช้ต่อกับ interrupt-driven และ time-controlled program processing

Timer / Counter / Flag

CPU จะมี timer และ counter จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถ set , reset , สั่งให้ทำงาน , หยุดทำงานได้จากโปรแกรม เวลาและการนับจะถูกเก็บไว้ในส่วนที่จองไว้ของ RAM ข้อมูลอื่นๆ เช่น intermediate results จะถูกเก็บไว้ในส่วนอื่นของ RAM ในรูปของ flag

ROM (ระบบการทำงาน)

ระบบปฏิบัติการจะบรรจุด้วยโปรแกรมของระบบสำหรับควบคุมการปฏิบัติการของโปรแกรมผู้ใช้จัดการ input และ output การจัดการหน่วยความจำ และการจัดการข้อมูล ฯลฯ ระบบการปฏิบัติการนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้

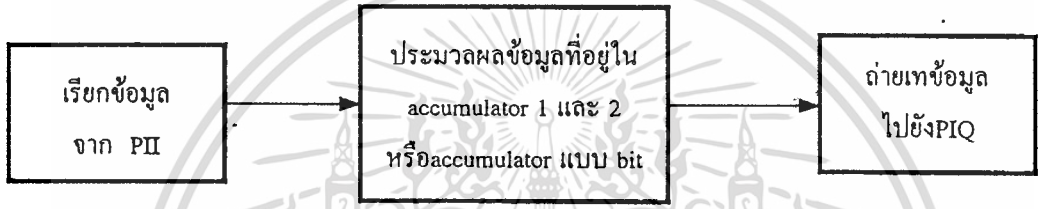
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System Data (ข้อมูลของระบบ)

ตัวแปรต่างๆ ของระบบจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนที่จองไว้ของ RAM ในรูปของ system data word โปรเซสเซอร์จะใช้ตัวแปรเหล่านี้ในการดำเนินการโปรแกรมควบคุม

ALU

ALU ประกอบด้วย accumulator สองตัว คือ accumulator 1 และ 2 ซึ่งประมวลผลคำสั่งชนิด byte และ word และยังมี accumulator แบบ bit เพื่อใช้ในการประมวลผลแบบ binary



Processor

โปรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานของคำสั่งทั้งหมดของ PLC โปรเซสเซอร์จะทำการเรียกคำสั่งที่เก็บไว้ในส่วนของโปรแกรมควบคุม และปฏิบัติตามคำสั่งเหล่านั้น ข้อมูลใน PII จะถูกประมวลผลและเก็บบันทึกไว้ใน internal timer และ counter เช่นเดียวกับสถานะของสัญญาณของ internal flag ผลลัพธ์จะเก็บไว้ใน PIQ

Memory Submodule (หน่วยความจำสำรอง)

โปรแกรมควบคุมสามารถเก็บไว้ในหน่วยความจำสำรองได้ และโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสำรองนี้ก็สามารถนำกลับมายังหน่วยความจำของโปรแกรมได้ เมื่อตอนเปิดเครื่องครั้งแรก หน่วยความจำสำรองจะนำมาเสียบกับ PLC และถอดออกเมื่อปิดสวิตช์เท่านั้น

Serial Port (พอร์ตอนุกรม)

พอร์ตอนุกรมสามารถใช้เชื่อมต่อกับ

- ไมโครคอมพิวเตอร์
- แผงควบคุม
- SINEC L1 local area network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O bus

CPU และ I/O modules แลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทางสายอนุกรม ซึ่งมีคุณลักษณะ ดังต่อไปนี้

- อนุญาตให้ยอมรับกับปัญหาที่เกิดขึ้นในการควบคุมได้
- ไม่ต้องทำการระบุ address ของการเชื่อมต่อ I/O modules
- ไม่จำเป็นต้องใช้ register เพื่อบอกการสิ้นสุดการส่งข้อมูล
- ไม่สามารถเข้าถึง modules ใด modules เป็นการเฉพาะได้

ข้อมูลจะถูกย้ายโดยใช้ shift register ในแต่ละหน่วยของข้อมูลภายใน bus ประกอบกันไปด้วย สำหรับ modules ที่ต้องการข้อมูลมากกว่า 4 bit จะมี shift register เป็นของตัวเอง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ shift register ของข้อมูลเหล่านั้น

คุณลักษณะของ PLC ที่ใช้งาน

PLC ที่นำมาใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิในครั้งนี้ ได้ใช้ PLC ของ *SEIMEN* รุ่น S5-100U โดย PLC ในรุ่นนี้มีส่วนประกอบอยู่ด้วยกันหลายส่วน คือ

1. Power Supply Modules.
2. Central Processing Units. (CPU)
3. Bus Units.
4. I/O Modules.

POWER SUPPLY MODULES

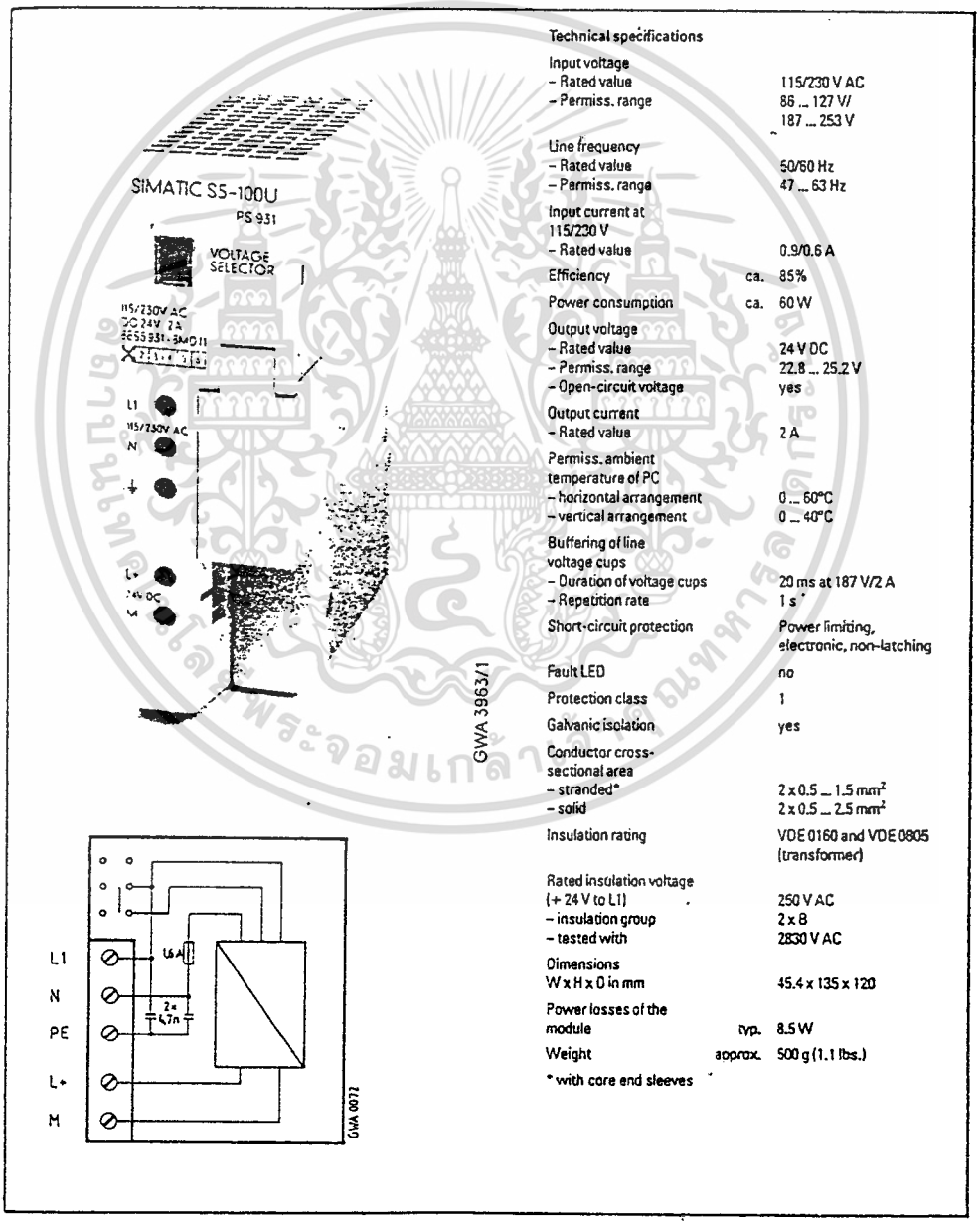
Module ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ CPU และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ sensors , actuators เป็นต้น ในระบบควบคุมนี้ใช้ PS 931 Power Supply Module ซึ่งรายละเอียดทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับ module ส่วนนี้ มีดังต่อไปนี้

- Input voltages เป็น 115 VAC หรือ 230 VAC
- Output voltages เป็น 24 VDC / 2 A
- มีตัวป้องกันสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

การเดินสายใช้งานของ Power Supply ทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อสายไฟหลักเข้าที่ขั้ว L1 , N และต่อกราวดน์เข้ากับรางซึ่งติดอยู่กับตัวตู้อีกทีหนึ่ง
- ต่อ L+ และ M เข้ากับขั้วของ CPU
- ต่อขั้วกราวดน์ของ CPU และ Power Supply เข้าด้วยกัน

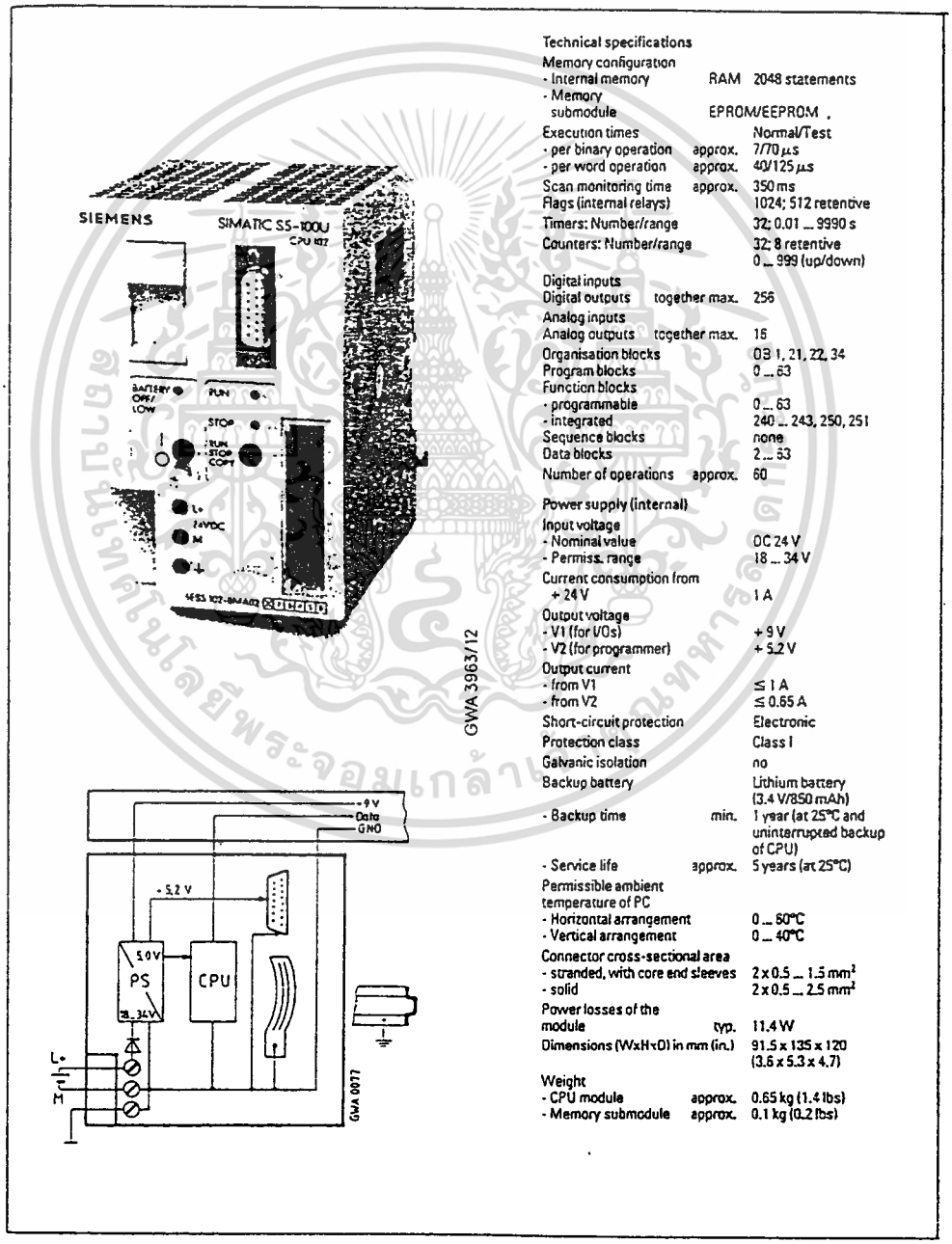


รูป 4.4 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ PS 931 Power Supply Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CENTRAL PROCESSING UNIT (CPU)

ส่วนประกอบส่วนนี้เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุด ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงาน และส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบควบคุมทั้งหมด ตามโปรแกรมที่ป้อนเก็บเอาไว้ ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ๆ สองส่วนด้วยกัน คือ หน่วยประมวลผล (Processor Unit) และหน่วยความจำ (Memory Unit) ในระบบควบคุมนี้ใช้ CPU 102 Central Processing Unit ซึ่งมีรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



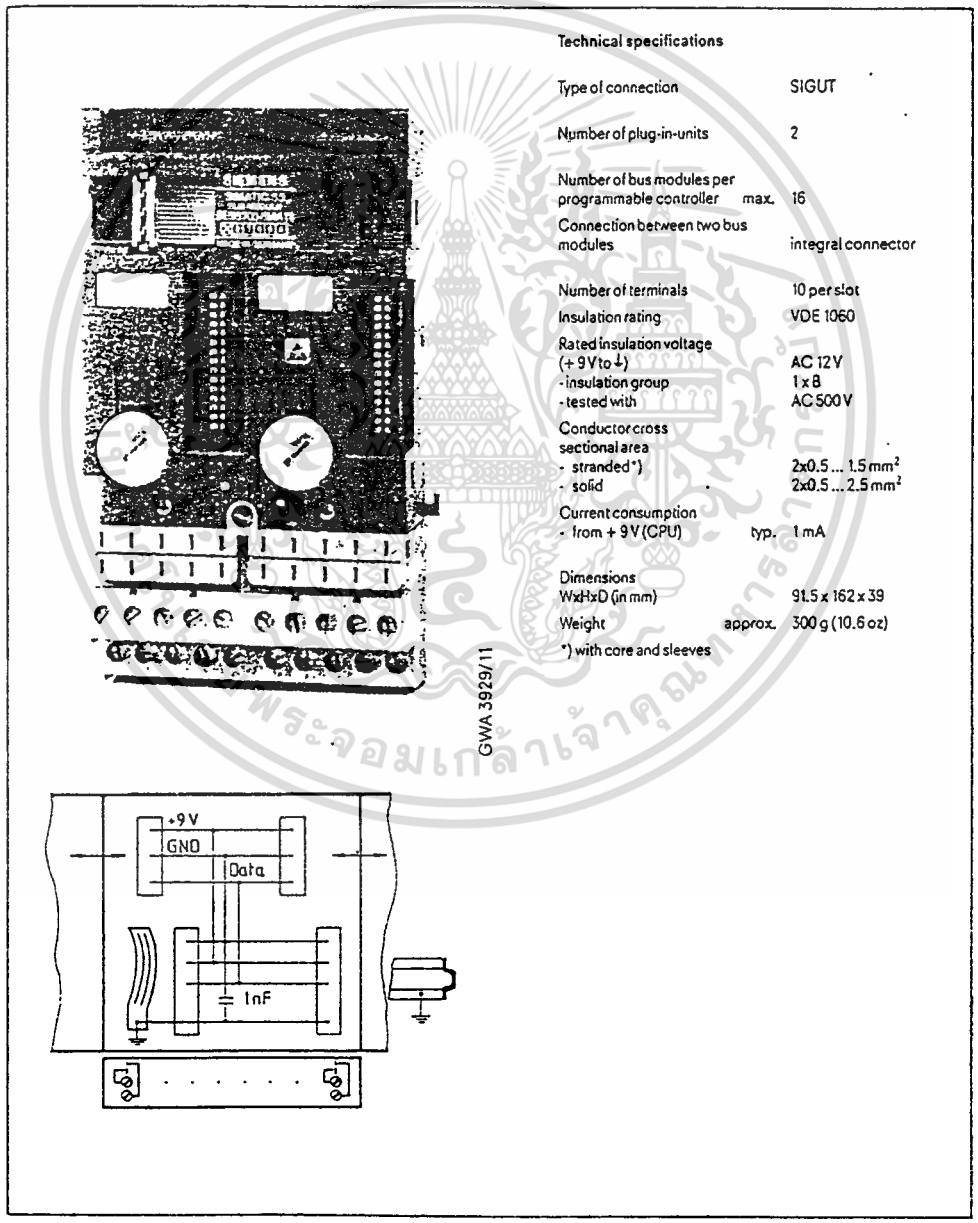
Technical specifications		
Memory configuration		
- Internal memory	RAM	2048 statements
- Memory submodule		EPROM/EEPROM
Execution times		Normal/Test
- per binary operation	approx.	7/70 µs
- per word operation	approx.	40/125 µs
Scan monitoring time	approx.	350 ms
Flags (internal relays)		1024; 512 retentive
Timers: Number/range		32; 0.01 ... 9990 s
Counters: Number/range		32; 8 retentive 0 ... 999 (up/down)
Digital inputs		
Digital outputs	together max.	256
Analog inputs		
Analog outputs	together max.	16
Organisation blocks		OB 1, 21, 22, 34
Program blocks		0 ... 63
Function blocks		
- programmable		0 ... 63
- integrated		240 ... 243, 250, 251
Sequence blocks		none
Data blocks		2 ... 63
Number of operations	approx.	60
Power supply (internal)		
Input voltage		
- Nominal value		DC 24 V
- Permiss. range		18 ... 34 V
Current consumption from + 24 V		1 A
Output voltage		
- V1 (for I/Os)		+ 9 V
- V2 (for programmer)		+ 5.2 V
Output current		
- from V1		≤ 1 A
- from V2		≤ 0.65 A
Short-circuit protection		Electronic
Protection class		Class I
Galvanic isolation		no
Backup battery		Lithium battery (3.4 V/850 mAh)
- Backup time	min.	1 year (at 25°C and uninterrupted backup of CPU)
- Service life	approx.	5 years (at 25°C)
Permissible ambient temperature of PC		
- Horizontal arrangement		0 ... 60°C
- Vertical arrangement		0 ... 40°C
Connector cross-sectional area		
- stranded, with core end sleeves		2 x 0.5 ... 1.5 mm²
- solid		2 x 0.5 ... 2.5 mm²
Power losses of the module	typ.	11.4 W
Dimensions (WxHxD) in mm (in.)		91.5 x 135 x 120 (3.6 x 5.3 x 4.7)
Weight		
- CPU module	approx.	0.65 kg (1.4 lbs)
- Memory submodule	approx.	0.1 kg (0.2 lbs)

รูป 4.5 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ CPU 102 Central Processing Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUS UNIT

ส่วนประกอบส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อส่วนประมวลผล (CPU) กับ ส่วนของ I/O Modules ของ PLC ทำให้สะดวกในการปรับเปลี่ยน เพิ่มเติม I/O Modules และยังช่วยให้ง่ายต่อการนำสัญญาณควบคุมออกไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ อีกด้วย ในระบบควบคุมนี้ใช้ Bus Unit (SIGUT Screw-type Terminals) ซึ่งมีรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้



รูป 4.6 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ Bus Unit (SIGUT Screw-type Terminals)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

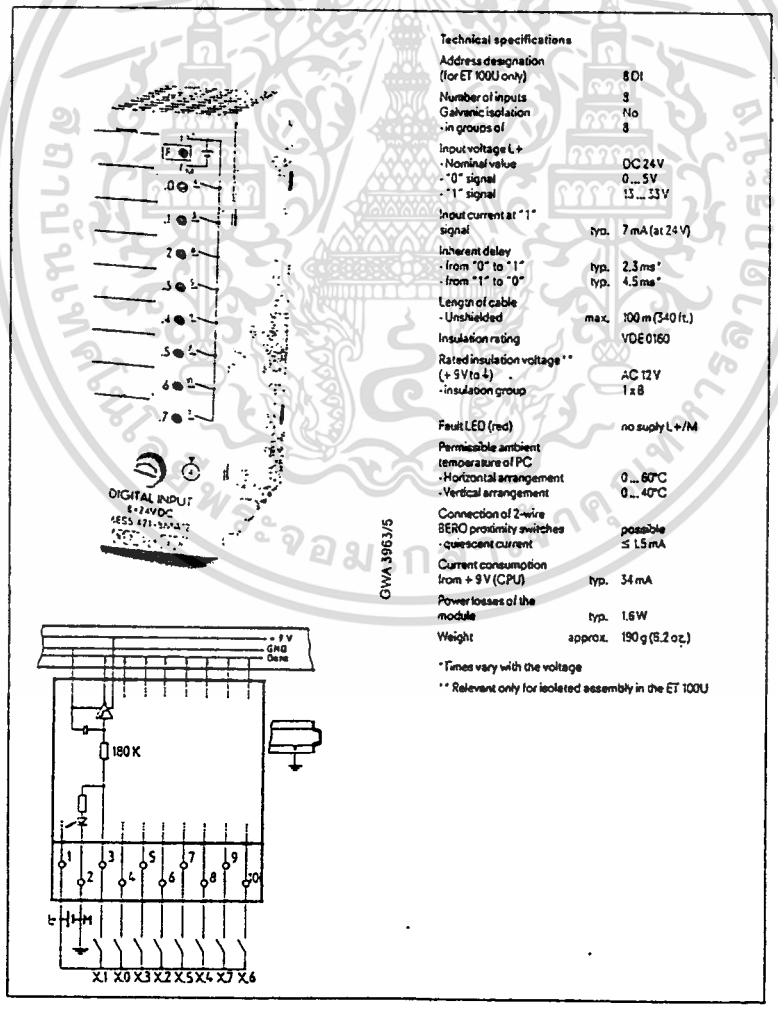
I/O MODULES

Modules นี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณควบคุมระหว่างอุปกรณ์ภายนอกที่นำมาใช้งานร่วมกับ PLC เช่น สวิทช์ , โซลีนอยด์วาล์ว เป็นต้น กับส่วนประมวลผล (CPU)

นอกจากนี้ยังทำหน้าที่รับสภาวะและค่าที่รับจากอุปกรณ์ภายนอก เช่น สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น ในระบบควบคุมนี้ใช้ I/O Module หลายแบบด้วยกัน ได้แก่

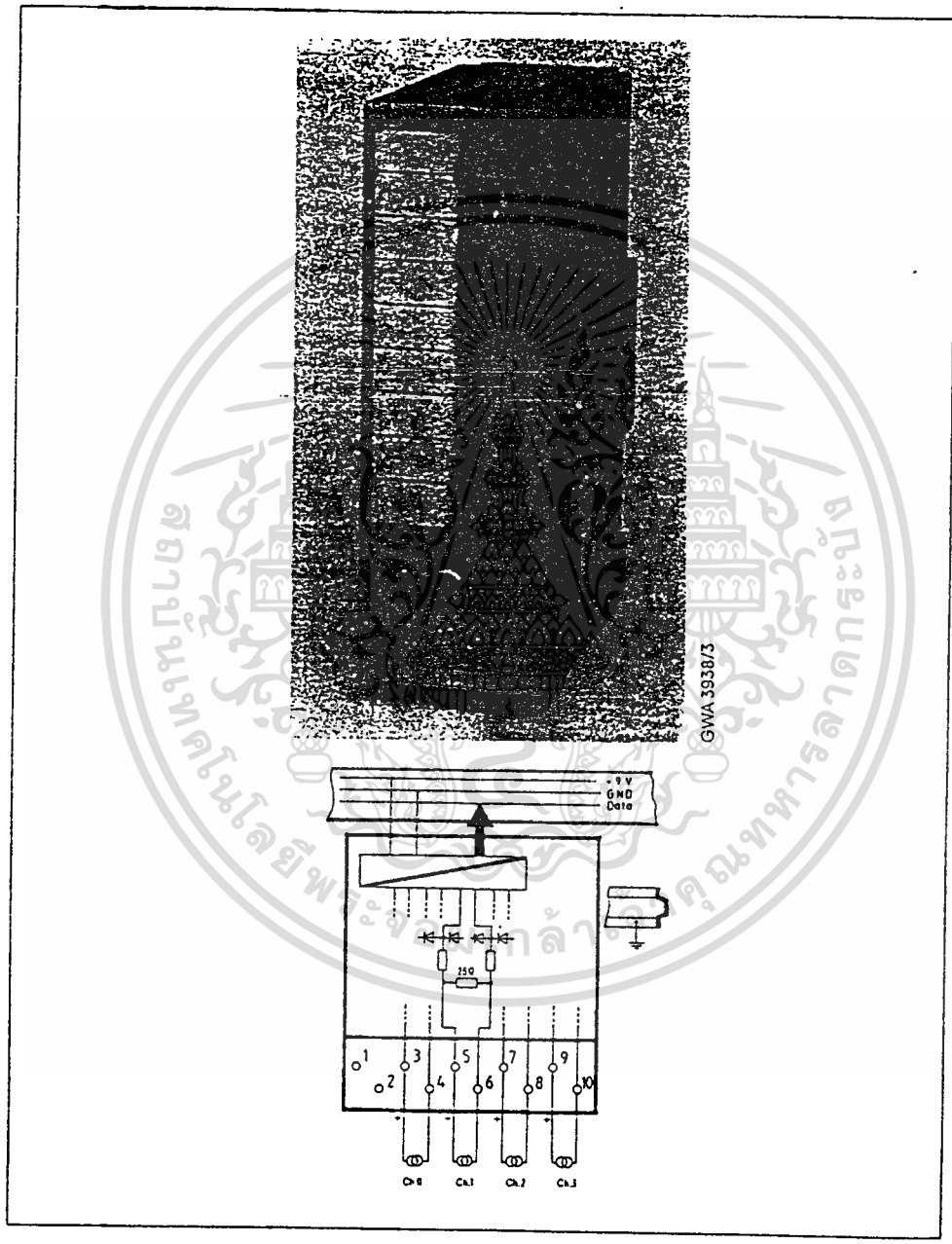
1. **Digital Input Module 8 × 24 V DC**
2. **Analog Input Module 4 × ±4 to 20 mA**
3. **Digital Output Module 8 × 24 V DC / 0.5 A**

ซึ่งมีรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้



รูป 4.7 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ Digital Input Module 8 × 24 V DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.8 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ Analog Input Module 4× ±4 to 20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

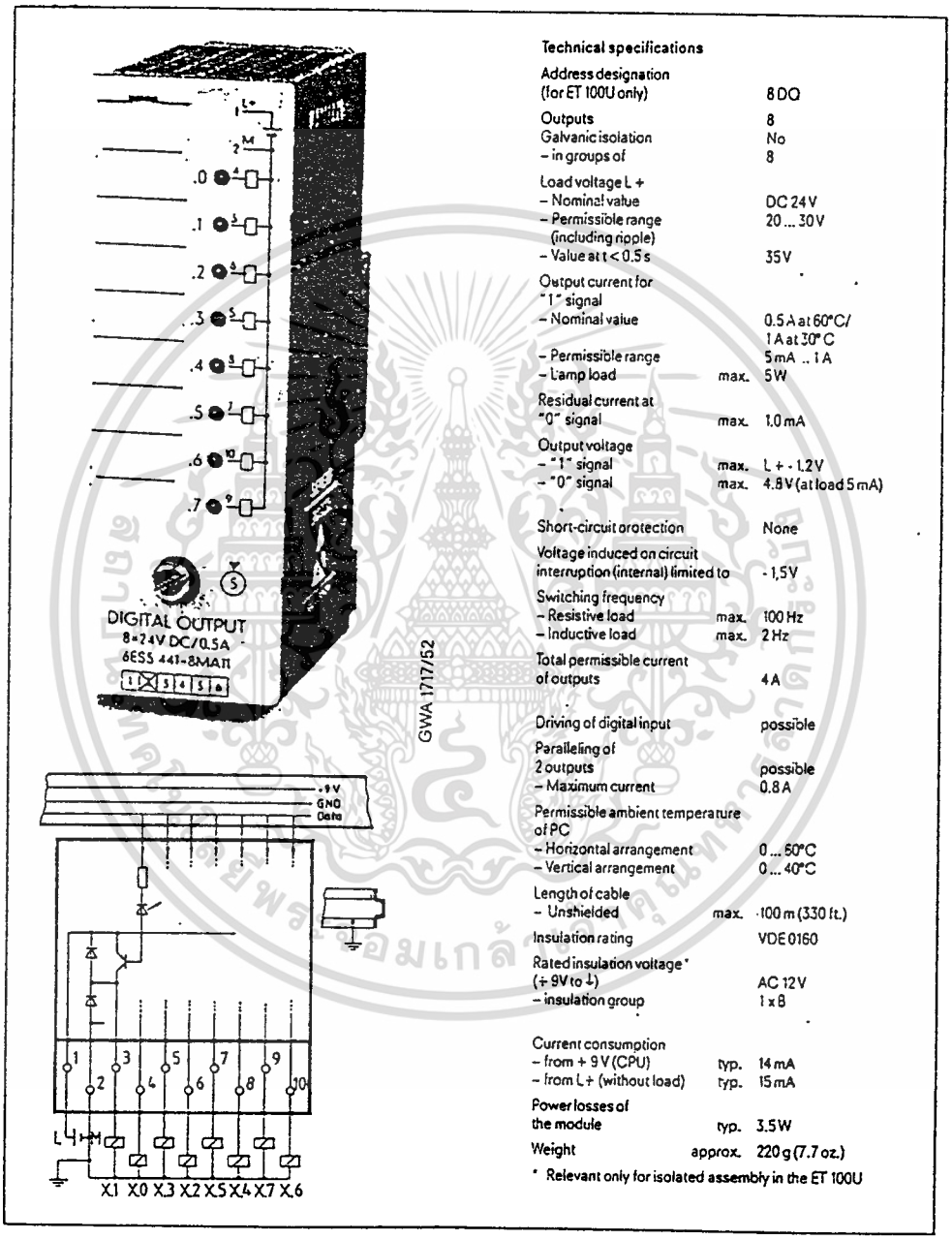
Technical Specifications

Mnemonic		4AI
Input ranges (nominal values)		± 20mA
Number of inputs		1, 2 or 4 (selectable)
Galvanic isolation		yes (inputs to grounding point; not between inputs)
Input resistance		≥ 25Ω
Connection method of sensors		two-wire connection
Digital representation of input signal		11 bits + sign (2048 units = nominal value)
Measured value representation		two's complement (left-justified)
Measuring principle		integrating
Conversion principle		voltage-time conversion (dual slope)
Integration time (adjustable for optimum noise suppression)		20ms at 50Hz 16.6ms at 60Hz
Encoding time per input		
- for 2048 units	max.	60ms at 50Hz
	max.	50ms at 60Hz
- for 4095 units	max.	80ms at 50Hz
	max.	66.6ms at 60Hz
Permissible voltage difference		
- between inputs	max.	± 1V
- between inputs and central ground point	max.	75VDC/60VAC
Max. permissible input voltage (destruction limit)		80mA
Fault indication for		
- range exceeded		yes (more than 4095 units)
- sensor wire breakage		no
- general indication of wire breakage		no
Noise suppression for f = nx (50/60Hz ± 1 %); n = 1, 2,...		
- common-mode rejection (Vpp = 1V)	min.	86dB
- series-mode rejection (peak value of noise < nominal value of inout range)	min.	40dB

Basic error limits		± 0.2 %
Operational error limits (0 to 60° C)		± 0.45 %
Single errors		
- linearity		± 0.05 %
- tolerance		± 0.05 %
- polarity reversal error		± 0.05 %
Temperature error		
- final value		± 0.01 %/K
- zero point		± 0.002 %/K
Length of cable		
- shielded	max.	200 m (660 ft.)
Supply voltage L+		none
Connection of compensating box		not possible
Insulation rating		VDE 0160
Rated insulation voltage (+9V to ⏚)		60VAC
- insulation group		1x8
- tested with		500VAC
Rated insulation voltage (inputs to + 9V)		60VAC
- insulation group		1x8
- tested with		500VAC
Current consumption		
- from + 9V (CPU)	typ.	70mA
Power losses of the module	typ.	0.7W
Weight	ca.	230 g (8 oz.)

รูป 4.8 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ Analog Input Module 4×± 4 to 20 mA (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Technical specifications

Address designation (for ET 100U only)		8 DO
Outputs		8
Galvanic isolation		No
– in groups of		8
Load voltage L +		
– Nominal value		DC 24 V
– Permissible range (including ripple)		20 ... 30 V
– Value at t < 0.5 s		35 V
Output current for "1" signal		
– Nominal value		0.5 A at 60°C/ 1 A at 30° C
– Permissible range		5 mA .. 1 A
– Lamp load	max.	5 W
Residual current at "0" signal	max.	1.0 mA
Output voltage		
– "1" signal	max.	L + - 1.2 V
– "0" signal	max.	4.8 V (at load 5 mA)
Short-circuit protection		None
Voltage induced on circuit interruption (internal) limited to		- 1,5 V
Switching frequency		
– Resistive load	max.	100 Hz
– Inductive load	max.	2 Hz
Total permissible current of outputs		4 A
Driving of digital input		possible
Paralleling of 2 outputs		possible
– Maximum current		0.8 A
Permissible ambient temperature of PC		
– Horizontal arrangement		0 ... 60°C
– Vertical arrangement		0 ... 40°C
Length of cable		
– Unshielded	max.	100 m (330 ft.)
Insulation rating		VDE 0160
Rated insulation voltage * (÷ 9V to ⏚)		AC 12 V
– insulation group		1 x 8
Current consumption		
– from + 9 V (CPU)	typ.	14 mA
– from L + (without load)	typ.	15 mA
Power losses of the module	typ.	3.5 W
Weight	approx.	220 g (7.7 oz.)

* Relevant only for isolated assembly in the ET 100U

รูป 4.9 แสดงรูปร่างลักษณะ และรายละเอียดของ Digital Output Module 8 × 24 VDC/0.5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้ PLC ในระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา

ในการนำ PLC มาประยุกต์ใช้ ในระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติของเตาเผาเซรามิคแบบนี้นั้น จะใช้ PLC เป็นส่วนประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบการทำงานทั้งหมดตลอดทั้งกระบวนการผลิต โดย PLC จะทำการตรวจวัดและเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิในแต่ละสภาวะตลอดทั้งกระบวนการผลิต จากนั้นก็จะทำการประมวลผลตามโปรแกรมควบคุมที่กำหนดไว้แล้วส่งสัญญาณออกไปควบคุมปริมาณการจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงให้กับหัวพ่นไฟ (Burner) และควบคุมปริมาณการไหลของออกซิเจนที่เข้าเตาเผา ในระหว่างกระบวนการผลิตเซรามิค เพื่อให้อุณหภูมิ และปริมาณของออกซิเจนในเตาเผามีค่าตามที่กำหนดไว้ในทางทฤษฎี อุณหภูมิภายในของเตาเผาจะเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับเวลาซึ่งมีทั้งช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และช่วงที่อุณหภูมิคงที่ โดยในที่นี้ PLC จะถูกใช้ในการควบคุมให้อุณหภูมิในเตาเผาเป็นไปตามลักษณะดังแสดงในรูปกราฟตามทฤษฎี ด้วยการทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีกหลายตัวด้วยกัน คือ Solenoid Valves ขนาด 1/2'' และ 1'' , Thermocouple TYPE-R เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับ PLC

ในระบบควบคุมที่ใช้งานนี้มีอุปกรณ์ภายนอกที่นำมาต่อใช้งานร่วมกับ PLC หลายตัวด้วยกัน ทั้งในส่วนที่เป็นอินพุท และเอาท์พุท ซึ่งแต่ละตัวก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้

THERMOCOUPLE

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงค่าของอุณหภูมิซึ่งเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานเป็นชนิด **TYPE-R Platinum-13% Rhodium / Platinum** ซึ่งเป็นแบบพิเศษ ใช้สำหรับงานที่อุณหภูมิสูง ๆ ตั้งแต่ 1200 °C ขึ้นไป ปลอกของเทอร์โมคัปเปิลทำจากเซรามิก ในรุ่นที่ใช้นี้เป็นแบบที่ใช้กับ ช่วงอุณหภูมิ 0-1400 °C ให้สัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็น 0-16 mV โดยตารางแจกแจงระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแจกแจงเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้า

Type R Thermocouple Table

Platinum - 13% Rhodium/Platinum, Electromotive force as a function of temperature

E/μV

t90/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t90/°C
0	0	5	11	16	21	27	32	38	43	49	0
10	54	60	65	71	77	82	88	94	100	105	10
20	111	117	123	129	135	141	147	153	159	165	20
30	171	177	183	189	195	201	207	214	220	226	30
40	232	239	245	251	258	264	271	277	284	290	40
50	296	303	310	316	323	329	336	343	349	356	50
60	363	369	376	383	390	397	403	410	417	424	60
70	431	438	445	452	459	466	473	480	487	494	70
80	501	508	516	523	530	537	544	552	559	566	80
90	573	581	588	595	603	610	618	625	632	640	90
100	647	655	662	670	677	685	693	700	708	715	100
110	723	731	738	746	754	761	769	777	785	792	110
120	800	808	816	824	832	839	847	855	863	871	120
130	879	887	895	903	911	919	927	935	943	951	130
140	959	967	976	984	992	1000	1008	1016	1025	1033	140
150	1041	1049	1058	1066	1074	1082	1091	1099	1107	1116	150
160	1124	1132	1141	1149	1158	1166	1175	1183	1191	1200	160
170	1208	1217	1225	1234	1242	1251	1260	1268	1277	1285	170
180	1294	1303	1311	1320	1329	1337	1346	1355	1363	1372	180
190	1381	1389	1398	1407	1416	1425	1433	1442	1451	1460	190
200	1469	1477	1486	1495	1504	1513	1522	1531	1540	1549	200
210	1558	1567	1575	1584	1593	1602	1611	1620	1629	1639	210
220	1648	1657	1666	1675	1684	1693	1702	1711	1720	1729	220
230	1739	1748	1757	1766	1775	1784	1794	1803	1812	1821	230
240	1831	1840	1849	1858	1868	1877	1886	1895	1905	1914	240
250	1923	1933	1942	1951	1961	1970	1980	1989	1998	2008	250
260	2017	2027	2036	2046	2055	2064	2074	2083	2093	2102	260
270	2112	2121	2131	2140	2150	2159	2169	2179	2188	2198	270
280	2207	2217	2226	2236	2246	2255	2265	2275	2284	2294	280
290	2304	2313	2323	2333	2342	2352	2362	2371	2381	2391	290
300	2401	2410	2420	2430	2440	2449	2459	2469	2479	2488	300
310	2498	2508	2518	2528	2538	2547	2557	2567	2577	2587	310
320	2597	2607	2617	2626	2636	2646	2656	2666	2676	2686	320
330	2696	2706	2716	2726	2736	2746	2756	2766	2776	2786	330
340	2796	2806	2816	2826	2836	2846	2856	2866	2876	2886	340
350	2896	2906	2916	2926	2937	2947	2957	2967	2977	2987	350
360	2997	3007	3018	3028	3038	3048	3058	3068	3079	3089	360
370	3099	3109	3119	3130	3140	3150	3160	3171	3181	3191	370
380	3201	3212	3222	3232	3242	3253	3263	3273	3284	3294	380
390	3304	3315	3325	3335	3346	3356	3366	3377	3387	3397	390
400	3408	3418	3428	3439	3449	3460	3470	3480	3491	3501	400
410	3512	3522	3533	3543	3553	3564	3574	3585	3595	3606	410
420	3616	3627	3637	3648	3658	3669	3679	3690	3700	3711	420
430	3721	3732	3742	3753	3764	3774	3785	3795	3806	3816	430
440	3827	3838	3848	3859	3869	3880	3891	3901	3912	3922	440
450	3933	3944	3954	3965	3976	3986	3997	4008	4018	4029	450
460	4040	4050	4061	4072	4083	4093	4104	4115	4125	4136	460
470	4147	4158	4168	4179	4190	4201	4211	4222	4233	4244	470
480	4255	4265	4276	4287	4298	4309	4319	4330	4341	4352	480
490	4363	4373	4384	4395	4406	4417	4428	4439	4449	4460	490
500	4471	4482	4493	4504	4515	4526	4537	4548	4558	4569	500
510	4580	4591	4602	4613	4624	4635	4646	4657	4668	4679	510
520	4690	4701	4712	4723	4734	4745	4756	4767	4778	4789	520
530	4800	4811	4822	4833	4844	4855	4866	4877	4888	4899	530
540	4910	4922	4933	4944	4955	4966	4977	4988	4999	5010	540
550	5021	5033	5044	5055	5066	5077	5088	5099	5111	5122	550
560	5133	5144	5155	5166	5178	5189	5200	5211	5222	5234	560
570	5245	5256	5267	5279	5290	5301	5312	5323	5335	5346	570
580	5357	5369	5380	5391	5402	5414	5425	5436	5448	5459	580
590	5470	5481	5493	5504	5515	5527	5538	5549	5561	5572	590

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้งานเพื่อการค้า ยกเว้นได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าหน้าที่ประจำสถานีตำรวจภูธรค้าขายการใช้ ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการค้า และห้ามดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแจกแจงเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้า

Type R Thermocouple Table

Platinum - 13% Rhodium/Platinum, Electromotive force as a function of temperature

E/μV

t90/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t90/°C
600	5583	5595	5606	5618	5629	5640	5652	5663	5674	5686	600
610	5697	5709	5720	5731	5743	5754	5766	5777	5789	5800	610
620	5812	5823	5834	5846	5857	5869	5880	5892	5903	5915	620
630	5926	5938	5949	5961	5972	5984	5995	6007	6018	6030	630
640	6041	6053	6065	6076	6088	6099	6111	6122	6134	6146	640
650	6157	6169	6180	6192	6204	6215	6227	6238	6250	6262	650
660	6273	6285	6297	6308	6320	6332	6343	6355	6367	6378	660
670	6390	6402	6413	6425	6437	6448	6460	6472	6484	6495	670
680	6507	6519	6531	6542	6554	6566	6578	6589	6601	6613	680
690	6625	6636	6648	6660	6672	6684	6695	6707	6719	6731	690
700	6743	6755	6766	6778	6790	6802	6814	6826	6838	6849	700
710	6861	6873	6885	6897	6909	6921	6933	6945	6956	6968	710
720	6980	6992	7004	7016	7028	7040	7052	7064	7076	7088	720
730	7100	7112	7124	7136	7148	7160	7172	7184	7196	7208	730
740	7220	7232	7244	7256	7268	7280	7292	7304	7316	7328	740
750	7340	7352	7364	7376	7389	7401	7413	7425	7437	7449	750
760	7461	7473	7485	7498	7510	7522	7534	7546	7558	7570	760
770	7583	7595	7607	7619	7631	7644	7656	7668	7680	7692	770
780	7705	7717	7729	7741	7753	7766	7778	7790	7802	7815	780
790	7827	7839	7851	7864	7876	7888	7901	7913	7925	7938	790
800	7950	7962	7974	7987	7999	8011	8024	8036	8048	8061	800
810	8073	8086	8098	8110	8123	8135	8147	8160	8172	8185	810
820	8197	8209	8222	8234	8247	8259	8272	8284	8296	8309	820
830	8321	8334	8346	8359	8371	8384	8396	8409	8421	8434	830
840	8446	8459	8471	8484	8496	8509	8521	8534	8546	8559	840
850	8571	8584	8597	8609	8622	8634	8647	8659	8672	8685	850
860	8697	8710	8722	8735	8748	8760	8773	8785	8798	8811	860
870	8823	8836	8849	8861	8874	8887	8899	8912	8925	8937	870
880	8950	8963	8975	8988	9001	9014	9026	9039	9052	9065	880
890	9077	9090	9103	9115	9128	9141	9154	9167	9179	9192	890
900	9205	9218	9230	9243	9256	9269	9282	9294	9307	9320	900
910	9333	9346	9359	9371	9384	9397	9410	9423	9436	9449	910
920	9461	9474	9487	9500	9513	9526	9539	9552	9565	9578	920
930	9590	9603	9616	9629	9642	9655	9668	9681	9694	9707	930
940	9720	9733	9746	9759	9772	9785	9798	9811	9824	9837	940
950	9850	9863	9876	9889	9902	9915	9928	9941	9954	9967	950
960	9980	9993	10006	10019	10032	10046	10059	10072	10085	10098	960
970	10111	10124	10137	10150	10163	10177	10190	10203	10216	10229	970
980	10242	10255	10268	10282	10295	10308	10321	10334	10347	10361	980
990	10374	10387	10400	10413	10427	10440	10453	10466	10479	10493	990
1000	10506	10519	10532	10546	10559	10572	10585	10599	10612	10625	1000
1010	10638	10652	10665	10678	10692	10705	10718	10731	10745	10758	1010
1020	10771	10785	10798	10811	10825	10838	10851	10865	10878	10891	1020
1030	10905	10918	10932	10945	10958	10972	10985	10998	11012	11025	1030
1040	11039	11052	11065	11079	11092	11106	11119	11132	11146	11159	1040
1050	11173	11186	11200	11213	11227	11240	11253	11267	11280	11294	1050
1060	11307	11321	11334	11348	11361	11375	11388	11402	11415	11429	1060
1070	11442	11456	11469	11483	11496	11510	11524	11537	11551	11564	1070
1080	11578	11591	11605	11618	11632	11646	11659	11673	11686	11700	1080
1090	11714	11727	11741	11754	11768	11782	11795	11809	11822	11836	1090
1100	11850	11863	11877	11891	11904	11918	11931	11945	11959	11972	1100
1110	11986	12000	12013	12027	12041	12054	12068	12082	12096	12109	1110
1120	12123	12137	12150	12164	12178	12191	12205	12219	12233	12246	1120
1130	12260	12274	12288	12301	12315	12329	12342	12356	12370	12384	1130
1140	12397	12411	12425	12439	12453	12466	12480	12494	12508	12521	1140
1150	12535	12549	12563	12577	12590	12604	12618	12632	12646	12659	1150
1160	12673	12687	12701	12715	12729	12742	12756	12770	12784	12798	1160
1170	12812	12825	12839	12853	12867	12881	12895	12909	12922	12936	1170
1180	12950	12964	12978	12992	13006	13019	13033	13047	13061	13075	1180
1190	13089	13103	13117	13131	13145	13158	13172	13186	13200	13214	1190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

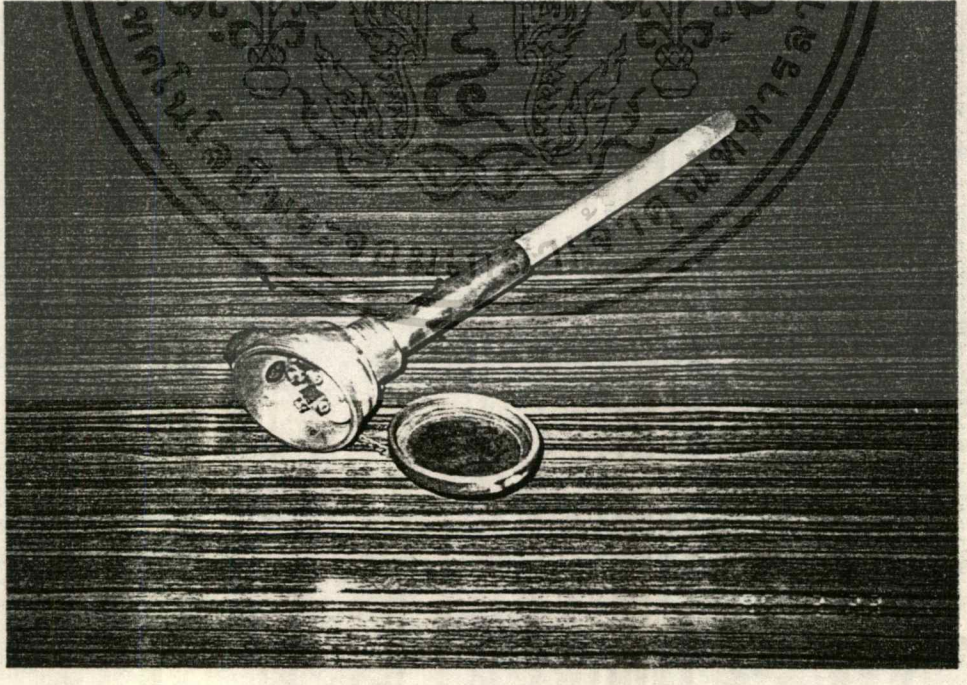
ตารางแจกแจงเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้า

Type R Thermocouple Table

Platinum - 13% Rhodium/Platinum, Electromotive force as a function of temperature

E/μV

t90/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	t90/°C
1200	13228	13242	13256	13270	13284	13298	13311	13325	13339	13353	1200
1210	13367	13381	13395	13409	13423	13437	13451	13465	13479	13493	1210
1220	13507	13521	13535	13549	13563	13577	13590	13604	13618	13632	1220
1230	13646	13660	13674	13688	13702	13716	13730	13744	13758	13772	1230
1240	13786	13800	13814	13828	13842	13856	13870	13884	13898	13912	1240
1250	13926	13940	13954	13968	13982	13996	14010	14024	14038	14052	1250
1260	14066	14081	14095	14109	14123	14137	14151	14165	14179	14193	1260
1270	14207	14221	14235	14249	14263	14277	14291	14305	14319	14333	1270
1280	14347	14361	14375	14390	14404	14418	14432	14446	14460	14474	1280
1290	14488	14502	14516	14530	14544	14558	14572	14586	14601	14615	1290
1300	14629	14643	14657	14671	14685	14699	14713	14727	14741	14755	1300
1310	14770	14784	14798	14812	14826	14840	14854	14868	14882	14896	1310
1320	14911	14925	14939	14953	14967	14981	14995	15009	15023	15037	1320
1330	15052	15066	15080	15094	15108	15122	15136	15150	15164	15179	1330
1340	15193	15207	15221	15235	15249	15263	15277	15291	15306	15320	1340
1350	15334	15348	15362	15376	15390	15404	15419	15433	15447	15461	1350
1360	15475	15489	15503	15517	15531	15546	15560	15574	15588	15602	1360
1370	15616	15630	15645	15659	15673	15687	15701	15715	15729	15743	1370
1380	15758	15772	15786	15800	15814	15828	15842	15856	15871	15885	1380
1390	15899	15913	15927	15941	15955	15969	15984	15998	16012	16026	1390
1400	16040	16054	16068	16082	16097	16111	16125	16139	16153	16167	1400



รูป 4.10 แสดงลักษณะของ Thermocouple TYPE R ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLENOID VALVE

โซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการไหลของก๊าซ หรือของเหลวภายในท่อ เปิด - ปิดโดยใช้คอยล์ไฟฟ้า ในระบบควบคุมนี้จะรับสัญญาณควบคุมการเปิด - ปิดมาจากสัญญาณเอาท์พุทของ PLC โซลินอยด์วาล์วที่ใช้เป็นโซลินอยด์วาล์วของ ***DANFOSS*** วาล์วที่ใช้มีสองแบบด้วยกัน คือ

1. แบบ ***EVIS 15 OL*** ขนาด 1/2" - ใช้สำหรับควบคุมการไหลของก๊าซที่ท่อทางเข้าหัวพ่นไฟแต่ละหัว จำนวน 8 ตัวด้วยกัน มีรายละเอียดเฉพาะดังนี้
   - อัตราการไหลเชิงปริมาตร 4 m^3/h (at p = 1 bar)
   - ความดันที่ใช้งานอยู่ในช่วง 0.3-10 bar
   - คอยล์ที่นำมาใช้งานเป็นแบบ 10 Watt 220 V AC

รูป 4.11 แสดงลักษณะของโซลินอยด์วาล์วแบบ *EVIS 15 OL*ขนาด 1/2"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบ *EVIS 25 OL* ขนาด 1" - ใช้สำหรับควบคุมการไหลของก๊าซที่ไหลเข้าท่อเมนหลัก มีรายละเอียดเฉพาะดังนี้

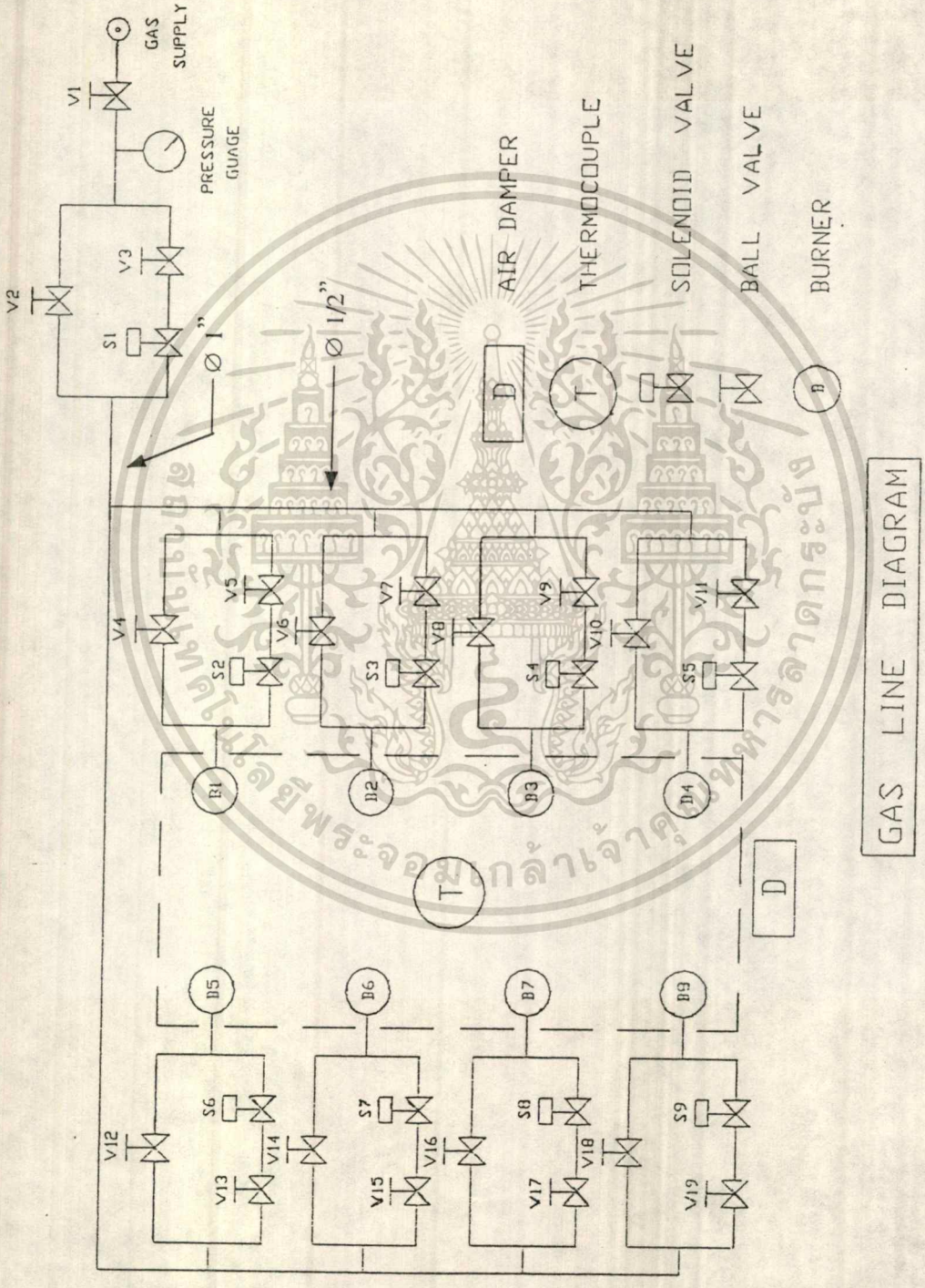
- อัตราการไหลเชิงปริมาตร 11 m^3/h (at p = 1 bar)
- ความดันที่ใช้งานอยู่ในช่วง 0.3-10 bar
- คอยล์ที่นำมาใช้งานเป็นแบบ 10 Watt 220 V AC

รูป 4.12 แสดงลักษณะของโซลินอยด์วาล์วแบบ *EVIS 25 OL*ขนาด 1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะและรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์

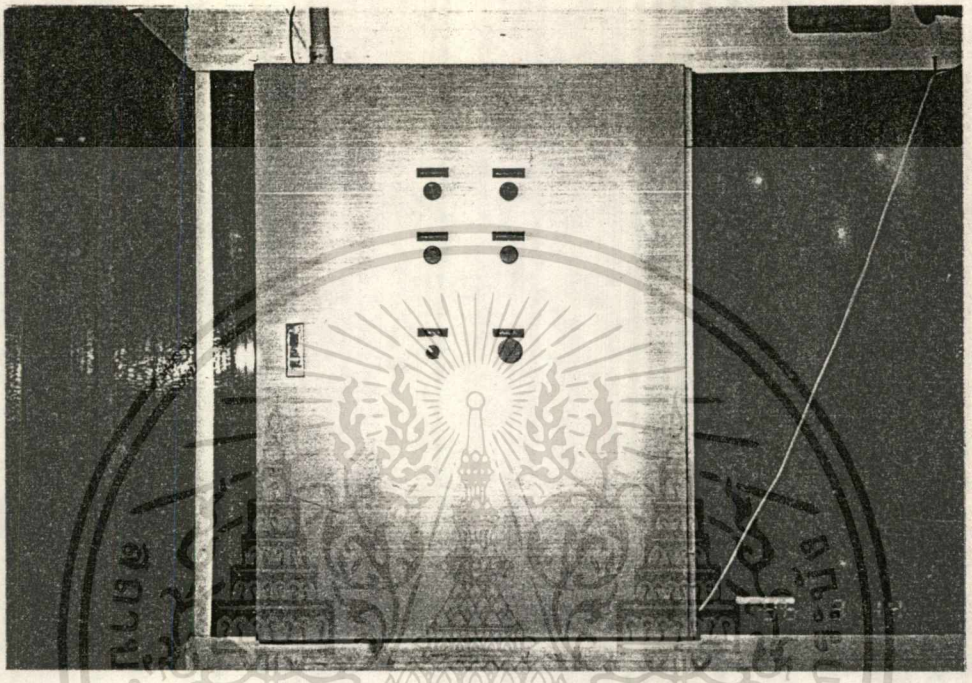
การติดตั้งอุปกรณ์พวกโซลินอยด์วาล์ว จะติดตั้งในลักษณะตามรูปแบบของ Gas Line Diagram (รูป 4.12) แล้วเดินสายไฟจากคอยล์ของโซลินอยด์วาล์วแต่ละตัวไปเข้าสู่ตู้ควบคุมเพื่อต่อเข้ากับชุดโมดูล Digital Output ของ PLC ต่อไป



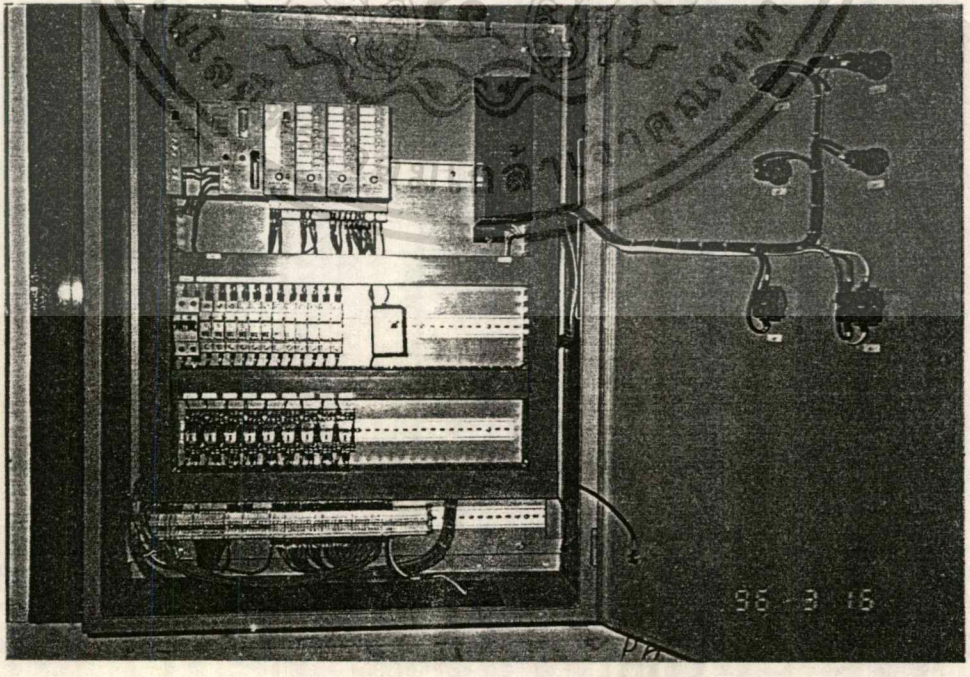
รูป 4.13 แสดงลักษณะรูปแบบของ Gas Line Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของตู้ควบคุมที่ใช้งานอยู่นั้นมีรูปแบบ รายละเอียดของตำแหน่งการวางอุปกรณ์ และการเดินสายเข้า - ออกของอุปกรณ์แสดงไว้ดังต่อไปนี้

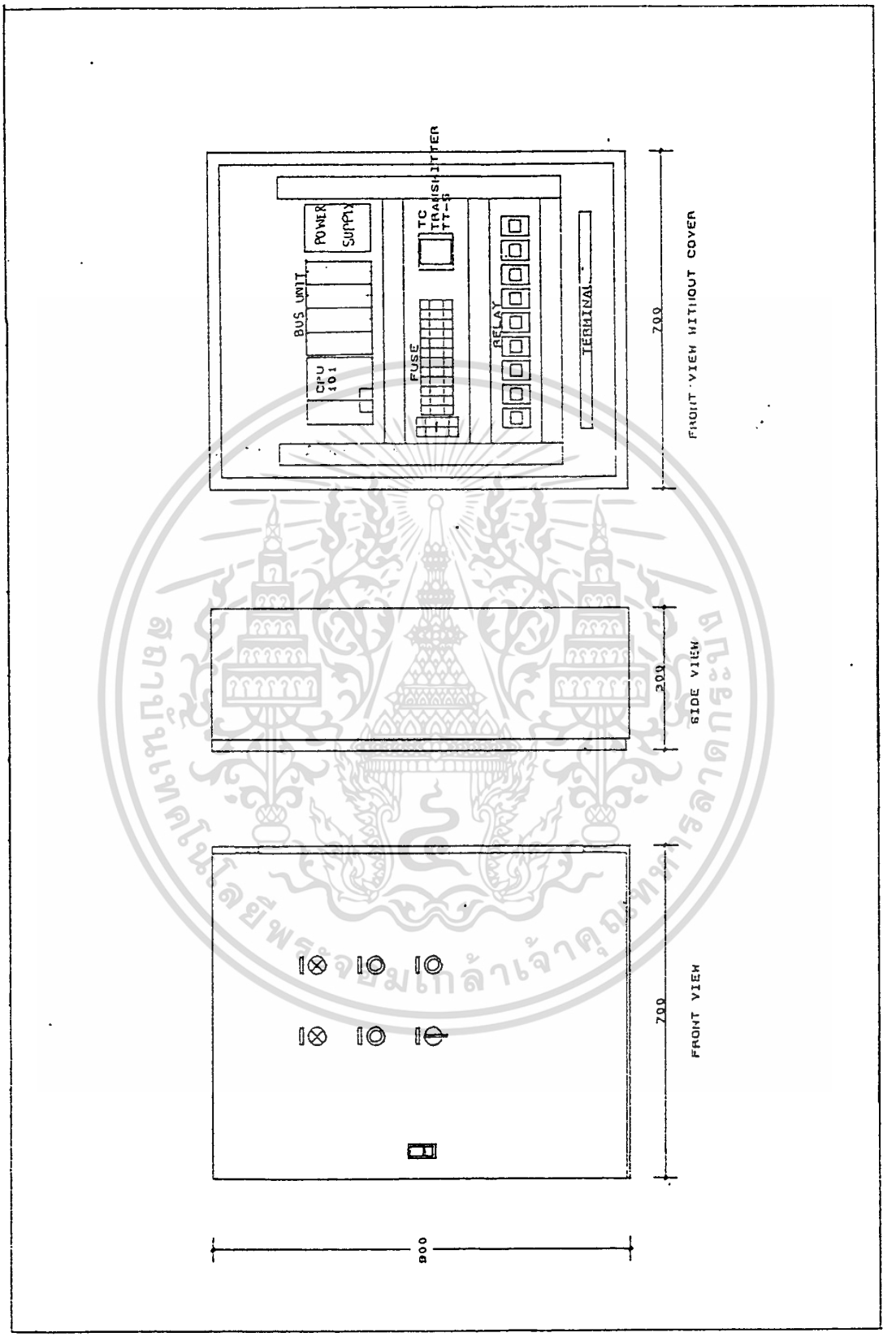


รูป 4.14 แสดงลักษณะภายนอกของตู้ควบคุม



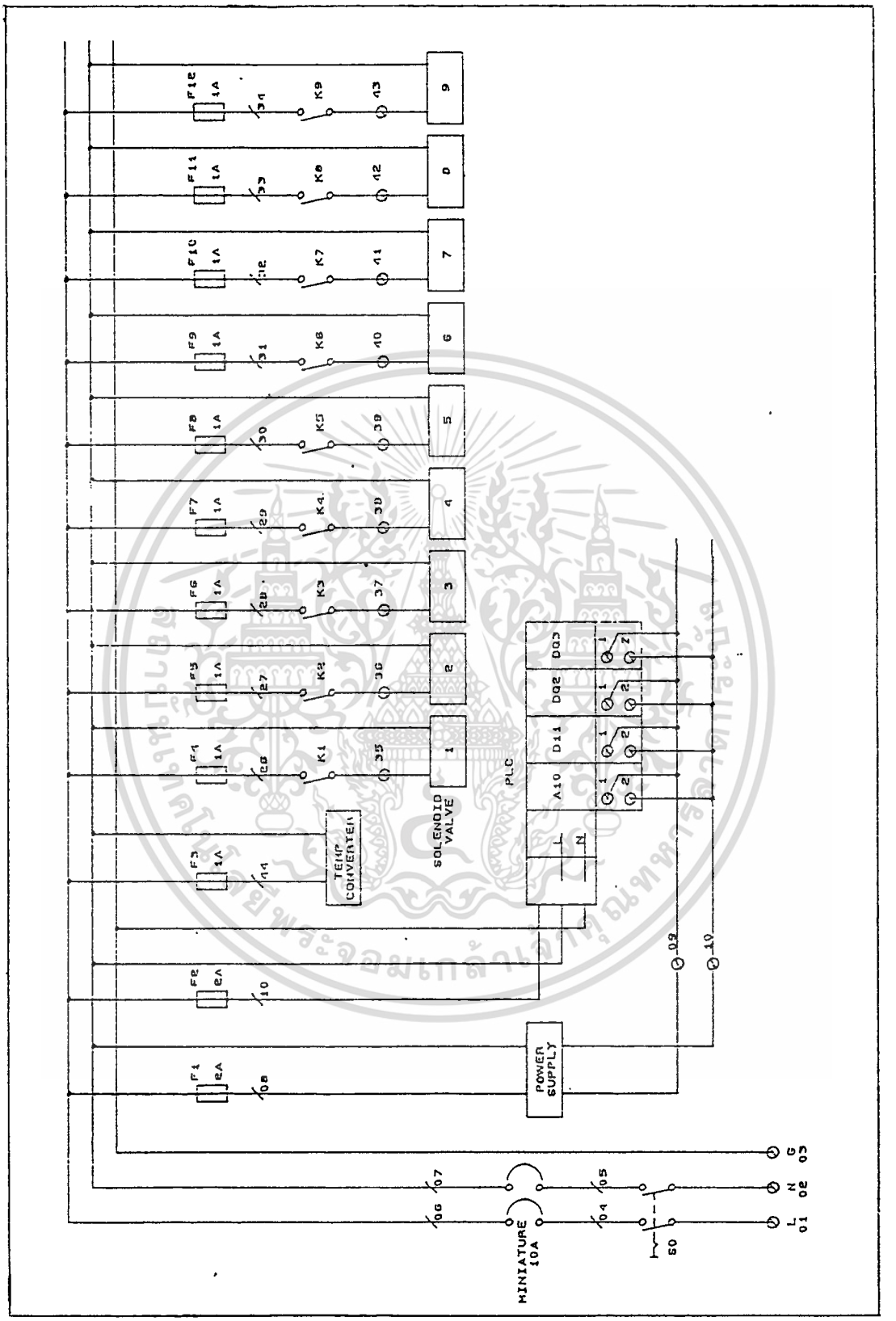
รูป 4.15 แสดงลักษณะภายในของตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



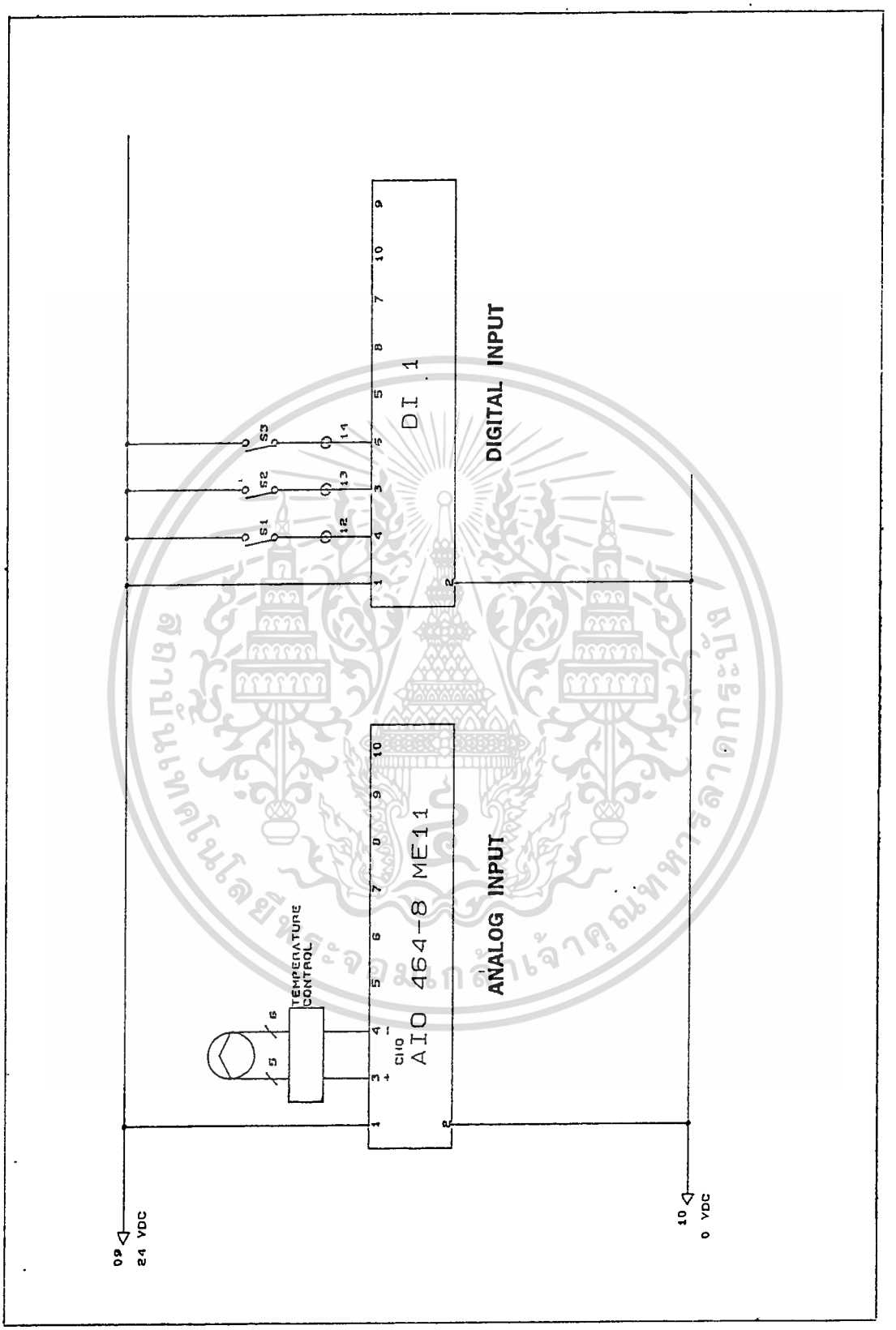
รูป 4.16 แสดงแบบการเดินสายไฟเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



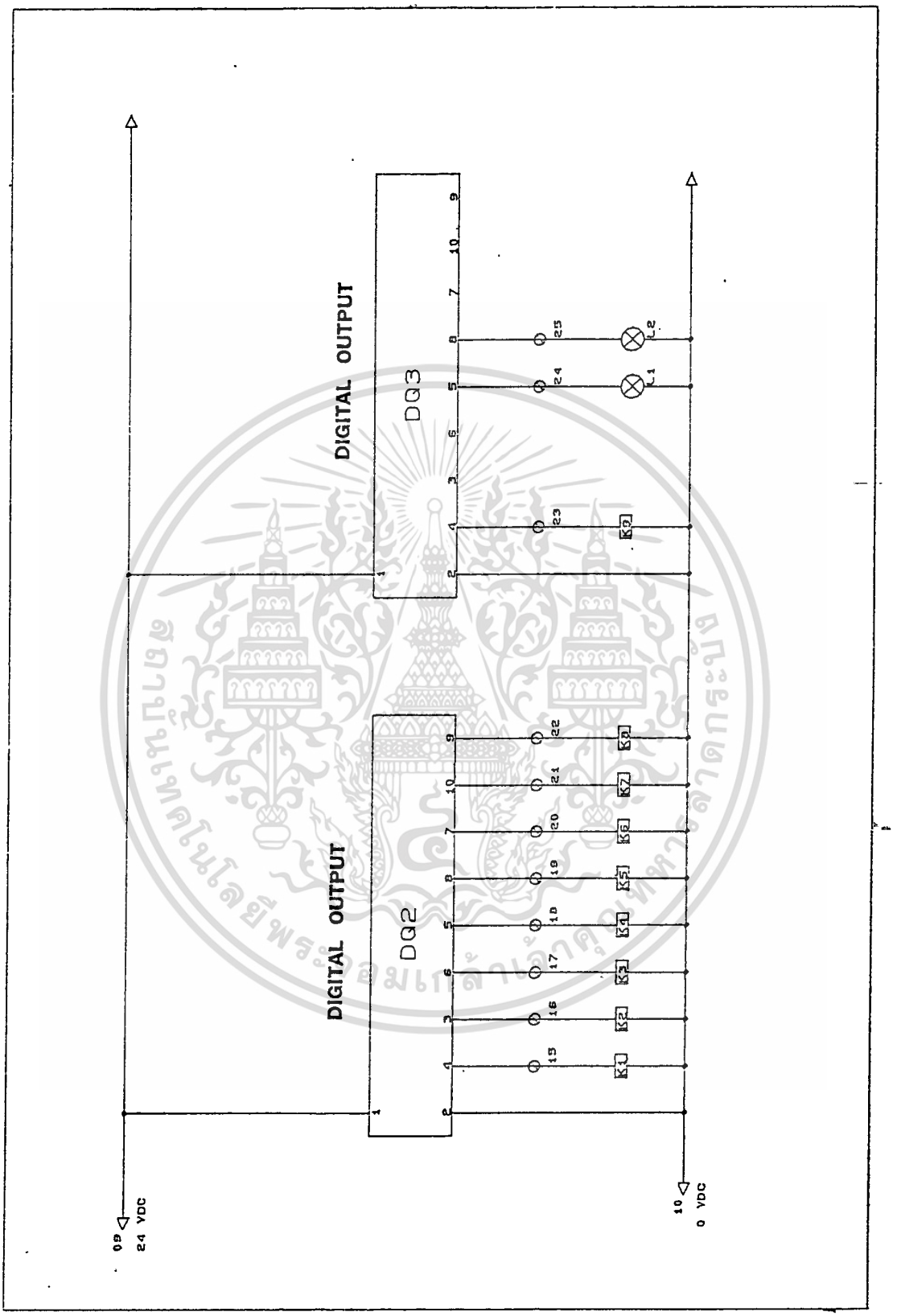
รูป 4.16 แสดงแบบการเดินสายไฟเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ควบคุม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



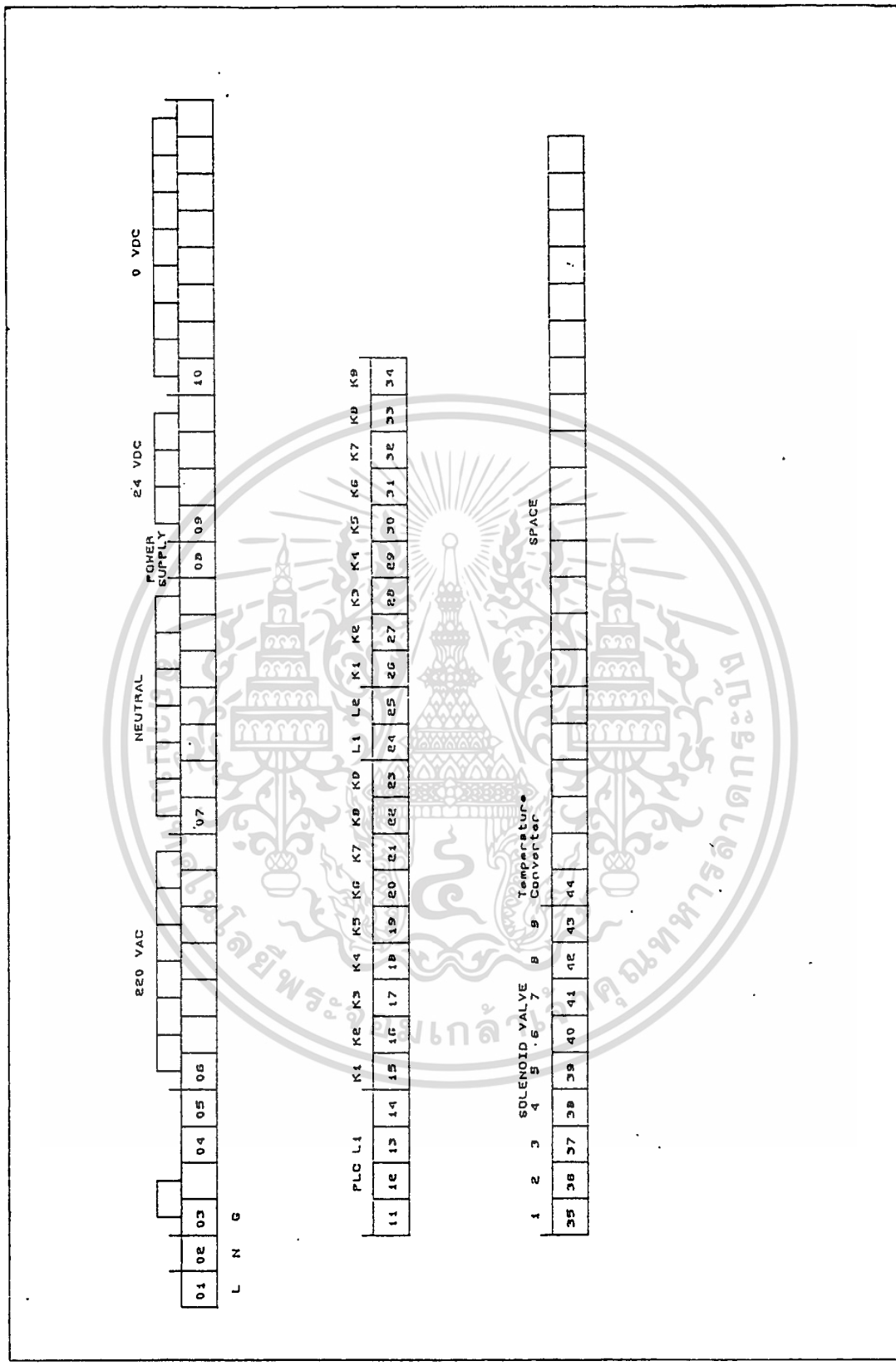
รูป 4.16 แสดงแบบการเดินสายไฟเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ควบคุม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.16 แสดงแบบการเดินสายไฟเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ควบคุม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามมิให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.16 แสดงแบบการเดินสายไฟเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ควบคุม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
โปรแกรมและการควบคุม PLC

สิ่งที่ต้องการในการควบคุม ก็คือ สามารถทำให้อุณหภูมิของเตามีความใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ตามทฤษฎี ซึ่งความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาของกระบวนการที่กำหนดไว้ตามทฤษฎีจะเป็นดังกราฟรูป 3.7 กราฟจะแบ่งเวลาออกเป็นช่วง ๆ ทั้งหมด 6 ช่วง มีทั้งช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลา และช่วงที่อุณหภูมิคงที่ จากลักษณะดังกล่าวเราต้องทำให้ PLC รู้ว่าขณะนั้นเป็นช่วงใด และอุณหภูมิของกระบวนการควรเป็นเท่าไร เราจะกำหนดค่าเริ่มต้นให้ PLC ค่าหนึ่งแล้วทำการบวกค่าอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ถ้าเป็นช่วงที่อุณหภูมิคงที่ก็ไม่ให้มีการบวกค่าอุณหภูมิ แน่นอนว่าการบวกค่าไปเรื่อย ๆ เช่นนี้อาจทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นในช่วงที่อุณหภูมิคงที่จึงต้องมีการเซตค่าอุณหภูมิที่คงที่อันนั้นให้ PLC รู้ เพื่อจะได้ลดความผิดพลาดที่จะสะสมเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนครั้งของการบวกมากขึ้น ค่าอุณหภูมิที่ได้นี้จะนำไปใช้เปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิในเตาที่เทอร์โมคัปเปิลวัดมาได้ เพื่อจะนำไปใช้ในการควบคุม โซลินอยด์วาล์ว ต่อไป

จากเหตุผลดังที่กล่าวข้างต้นจึงแบ่งโปรแกรมออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้ คือ

- ส่วนที่เกี่ยวกับการกำหนดค่าของโมดูลที่เป็นอินพุทแบบอนาล็อก
- ส่วนที่เกี่ยวกับการเซตค่าเริ่มต้นและค่าอุณหภูมิที่คงที่
- ส่วนที่เกี่ยวกับการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 6 ช่วง
- ส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างค่าอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนดไว้ตามทฤษฎี
- ส่วนที่เกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขเพื่อนำไปควบคุมเอาต์พุท

เพื่อความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้น ก่อนเข้าไปถึงรายละเอียดของโปรแกรมจะขออธิบายเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมของ PLC ก่อน

การเขียนโปรแกรม PLC

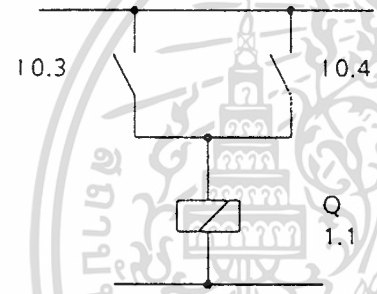
ภาษาที่ใช้มีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

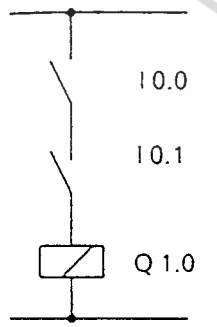
1. LADDER (LAD) - เป็นรูปแบบที่มีลักษณะคล้ายกับการนำเอาสัญลักษณ์ของหน้าคอนแทค และคอยล์ในวงจรไฟฟ้ามาเรียงตัวต่อกันในลักษณะต่าง ๆ เพื่อให้เกิดเงื่อนไขในการควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งานตามต้องการ และเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. STATEMENT LIST (STL) - เป็นรูปแบบที่มีการนำเอาตัวอักษรในภาษาอังกฤษมาเรียงตัวต่อกันในลักษณะต่าง ๆ เพื่อแทนความหมายของคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้งานกันอยู่ ซึ่งเรียกว่า "Mnemonic" โดยในการเขียนโปรแกรมในลักษณะนี้จะเขียนคำสั่งต่าง ๆ ทีละบรรทัดเรียงกันตามลำดับ เพื่อทำให้เกิดคำสั่งที่จะนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้ตามต้องการ การเขียนโปรแกรมในลักษณะนี้สามารถเขียนโปรแกรมคำสั่งที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ได้

ตัวอย่างของการเขียนโปรแกรมทั้งสองรูปแบบสามารถแสดงให้เห็นได้ดังนี้

Schematic Circuit Diagram	STL	Signal Status of Q 1.1		
	O I0.3 O I0.4 = Q 1.1	I0.3	I0.4	Q 1.1
		0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1

Schematic Circuit Diagram	STL	Signal Status of Q 1.0		
	A I0.0 A I0.1 Q A 1.0	I0.0	I0.1	Q 1.0
		0	0	0
		0	1	0
		1	0	0
		1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนโปรแกรมใช้งานนั้นจะมีการนำเอา Software AG90 เข้ามาใช้ เพื่อช่วยให้การเขียนโปรแกรม และการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง แก้ไขโปรแกรมสามารถทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้ Software AG90 ในการเขียนโปรแกรมสามารถดูได้ใน ภาคผนวก

ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Software AG90 ของ PLC นั้น จะมีการเขียนโปรแกรมเก็บไว้ในรูป Block ต่าง ๆ ซึ่งจะมีทั้ง Block ที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุม และ Block ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ทำให้เกิดความสะดวกในการแยกโปรแกรมซึ่งมีความซับซ้อนออกเป็นส่วนๆ ช่วยให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายยิ่งขึ้น

Block ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมมี 4 รูปแบบ คือ

1. **Organization Block (OB)** - Block นี้จะเป็นตัวทำกลางเชื่อมต่อระหว่างระบบปฏิบัติการกับโปรแกรมควบคุมเข้าด้วยกัน OB1 จะเป็นBlockเดียวที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม ใช้สำหรับการทำให้มีการทำงานไปตามลำดับของโปรแกรมและให้มีการวนรอบของโปรแกรม ส่วนBlockอื่นๆ เช่น OB21 , OB22 , OB34 จะมีอยู่แล้วในตัว PLC ซึ่งจะใช้ทำหน้าที่อื่น เช่น เริ่มต้นการทำงานของเครื่อง PLC
2. **Program Block (PB)** - เป็น Block ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมการควบคุมซึ่งไม่มีความซับซ้อนมากนัก
3. **Function Block (FB)** - เป็น Block ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมการควบคุมเช่นเดียวกับ Program Block แต่สามารถเขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ง่ายกว่า เช่นโปรแกรมที่มีการคูณหรือการหาร แต่Block นี้สามารถเขียนโปรแกรมโดยการเขียนด้วย STL เท่านั้น
4. **Data Block (DB)** - โดยใช้ Block ในการกำหนดและการเก็บค่าของตัวแปรและค่าคงที่ที่ใช้ในโปรแกรมควบคุม ซึ่งจะเรียกตัวที่เก็บแต่ละตัวว่า Data Word (DW)

รายละเอียดของโปรแกรม

OB1 โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ในการเริ่มโปรแกรมการทำงาน และการวนรอบให้มาเริ่มต้นโปรแกรมใหม่เมื่อมีการทำโปรแกรมครบรอบแล้ว โปรแกรมจะเริ่มโดยการ Jump ไปที่ Block PB2 เมื่อทำ Block PB2 เสร็จก็จะไปทำ Block FB0 , PB0 , FB1 , FB2 , FB3และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB1 ตามลำดับ เมื่อทำจนครบแล้วก็จะกลับมาทำซ้ำแบบเดิมไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเสร็จสิ้นการทำงาน

Block ต่าง ๆ จะมีหน้าที่ดังนี้ คือ

- PB2 ใช้ในการกำหนดค่าต่างๆ ที่เกี่ยวกับการรับค่าสัญญาณ Analog จากเทอร์โมคัปเปิล
- FB0 ใช้ในการเซ็ทค่าเริ่มต้นและค่าของอุณหภูมิที่คงที่ในแต่ละช่วง
- PB0 ใช้ในการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่วงต่าง ๆ ทั้งหมดหลายช่วง
- FB1 และ FB2 ใช้ในการตั้งค่าให้เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาตามกระบวนการที่ได้กำหนดไว้
- FB3 ใช้ในการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิในเตากับค่าอุณหหภูมิของกระบวนการที่ต้องการ
- PB1 ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขเพื่อนำไปใช้ควบคุมโซลินอยค์วาล์ว

PB2 โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ในการกำหนดค่าต่างๆเกี่ยวกับารรับค่าสัญญาณ Analog โดยจะรับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 0-1400 °C สัญญาณไฟฟ้าที่รับมาจากเทอร์โมคัปเปิลจะถูกแปลงให้เป็นค่าอุณหภูมิโดยมีการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่คือเมื่อสัญญาณไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นก็จะมากขึ้น ค่าอุณหภูมิที่ได้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนหนึ่ง (ในที่นี้ คือ FW64) และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

FB0 โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ในการเซ็ทค่าเริ่มต้น เช่น ค่าของอุณหภูมิเริ่มต้น ค่าต่างๆที่ต้องใช้ในตอนเริ่มต้นโปรแกรม และใช้ในการเซ็ทค่าของอุณหภูมิที่คงที่ในแต่ละช่วง

ในตำแหน่งที่ 0005 ถึง 000A เป็นการเซ็ทสภาวะเริ่มต้นก่อนการทำงานตามโปรแกรม

ที่ตำแหน่ง 000C โปรแกรมจะ Jump ไปที่ Address M001 เพื่อทำการเซ็ทค่าอุณหภูมิเริ่มต้นจาก DW2 ไปไว้ที่ DW1 ซึ่งเป็นตัวเก็บค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามเวลา

ที่ตำแหน่ง 000F โปรแกรมจะ Jump ไปที่ Address M002 เพื่อทำการเซ็ทค่าอุณหภูมิที่คงที่ 400°C ซึ่งเก็บไว้ใน DW3 ไปไว้ที่ DW1 ใน Address M003 และ M004 ก็จะเป็นลักษณะเดียวกันคือ จะเซ็ทค่าอุณหภูมิที่คงที่ 900°C และ 1260°C ไปไว้ที่ DW1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB0 โปรแกรมในส่วนนี้ใช้ในการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่วง ๆ ออกเป็น 6 ช่วง

เมื่อมีการกดสวิทช์เริ่มต้น จะทำให้เกิดการเริ่มต้นการทำงาน จะทำให้มีการเซ็ทค่าการนับให้กับ Counter C0 ถึง C5 รวมทั้งเซ็ทค่าให้ Flag0.0 (F 0.0) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้กระบวนการดำเนินอยู่ Counter C0 ใน Segment 3 จะถูกลดค่าลงทุกๆ 1 นาที โดยจะมีสัญญาณจาก F1.2 เป็นตัวส่งสัญญาณมาลดค่า ซึ่ง F 1.2 นี้ จะเป็นเสมือนสัญญาณ Pulse ซึ่งสร้างมาจาก Segment 15 ถึง Segment 17 ลดค่าลงซึ่งเมื่อ C0 ได้รับสัญญาณ Pulse จนครบ 481 ครั้ง ซึ่งเป็นเวลาเท่ากับ 8 ชั่วโมง F 2.0 ใน Segment 3 จะมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ F 3.0 ใน Segment 9 ซึ่งเป็นตัวบอกว่ากระบวนการในขณะนั้นอยู่ในช่วงที่ 1 มีค่าเป็นศูนย์ไปด้วย เป็นอันว่าเสร็จสิ้นกระบวนการในช่วงที่ 1 หลังจากนั้น F 1.3 ซึ่งเป็นสัญญาณ Pulse ที่สร้างมาจาก Segment 18 ถึง Segment 20 ก็จะทำการลดค่าของ Counter C1 จนครบ 121 ครั้ง ซึ่งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงก็จะทำให้ F 2.1 มีค่าเป็นศูนย์ ส่งผลให้ F 3.1 ซึ่งเป็นตัวบอกว่าขณะนั้นกระบวนการอยู่ในช่วงที่ 2 มีค่าเป็นศูนย์ไปด้วย เป็นอันจบกระบวนการในช่วงที่ 2 ในช่วงอื่น ๆ ก็จะเป็นในลักษณะเช่นเดียวกันนี้ ดังนั้นโปรแกรมในส่วนนี้จึงเป็นตัวที่ให้ PLC รู้ว่าขณะนั้นกระบวนการอยู่ในช่วงใด

FB1 โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ในการตั้งค่าอุณหภูมิตามเวลาโดยการบวกค่าไปเรื่อยๆ เมื่อ Timer ตั้งเวลาจนครบ 72 วินาที โปรแกรมจะ Jump ไปที่ Address M001 เพื่อทำการบวกค่าเพิ่มทีละ 1 ˚C จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 50 ˚C ต่อชั่วโมง

FB2 โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ในการตั้งค่าอุณหภูมิตามเวลาโดยการบวกค่าไปเรื่อยๆ เช่นเดียวกับFB1 แต่ Timer จะตั้งเวลาจนครบ 80 วินาที โปรแกรมจึงจะ Jump ไปที่ Address M001 เพื่อบวกค่าเพิ่มทีละ 1˚C ในส่วนนี้อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น 45˚C ต่อชั่วโมง

FB3 โปรแกรมในส่วนนี้ใช้ในการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิในเตากับค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ให้มีการเช็คอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาที โดยให้มีการเซ็ทค่าให้กับ Timer

ในตำแหน่งที่ 0006 เมื่อเวลาครบ 10 วินาที ก็จะมีให้ Jump ไปที่ M001 เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ

ใน Adrress ที่ M002 จะใช้ในการเปรียบเทียบค่าในช่วงที่ 1 ซึ่งเป็นสเต็ปดังนี้คือ ช่วงผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ 1 ถึง -2 ˚C ,ช่วงผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ -2 ถึง -5 ˚C และช่วงผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ -5 ˚C ลงมาซึ่งจะนำช่วงผลต่างนี้ไปใช้เป็นเงื่อนไขในการเปิดวาล์วว่าควรจะเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วเป็นจำนวนเท่าไร ในช่วงเวลาอื่นก็เช่นเดียวกัน จะมีการเปรียบเทียบค่า โดยใช้ช่วงผลต่างของอุณหภูมิมาใช้เป็นเงื่อนไขในการควบคุมวาล์วเช่นเดียวกัน

PB1 โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ในการควบคุมวาล์ว และอุปกรณ์เอาท์พุทอื่นๆ F0.0 ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้กระบวนการดำเนินอยู่ จะถูกแสดงด้วยหลอดไฟที่ตำแหน่งเอาท์พุท Q 2.0 ซึ่งดูได้จาก Segment 1

เงื่อนไขใน Segment 4 ถึง Segment 6 จะอยู่ในช่วงที่ 1 ซึ่งจะเป็นสัญญาณให้เปิดวาล์ว 2 , 4 และ6 ตัวตามลำดับ

เงื่อนไขใน Segment 7 ถึง Segment 8 จะอยู่ในช่วงที่ 2 ซึ่งจะเป็นสัญญาณให้เปิดวาล์ว 2 และ 4 ตัว ตามลำดับ

ในช่วงอื่น ๆ ตั้งแต่ 3 ถึง 6 ก็เป็นลักษณะเดียวกัน

ใน Segment 20 ถึง Segment 23 เป็นการรวมเงื่อนไขที่ใช้ในการเปิดวาล์วในแต่ช่วงที่เหมือนกันเป็น 2 , 4 , 6 และ 8 ตัวตามลำดับ

ในช่วงที่เปิดวาล์ว 2 ตัว จะใช้วาล์วตัวที่ 2 และ 7 ซึ่งควบคุมโดยเอาท์พุทที่ตำแหน่ง Q 2.2 และ Q 2.7 ตามลำดับ

ในช่วงที่เปิดวาล์ว 4 ตัว จะใช้วาล์วตัวที่ 2 , 4 , 5 และ 7 ซึ่งควบคุมโดยเอาท์พุทที่ตำแหน่ง Q 2.2 , Q 2.4 , Q 2.5 และ Q 2.7 ตาม ดับ

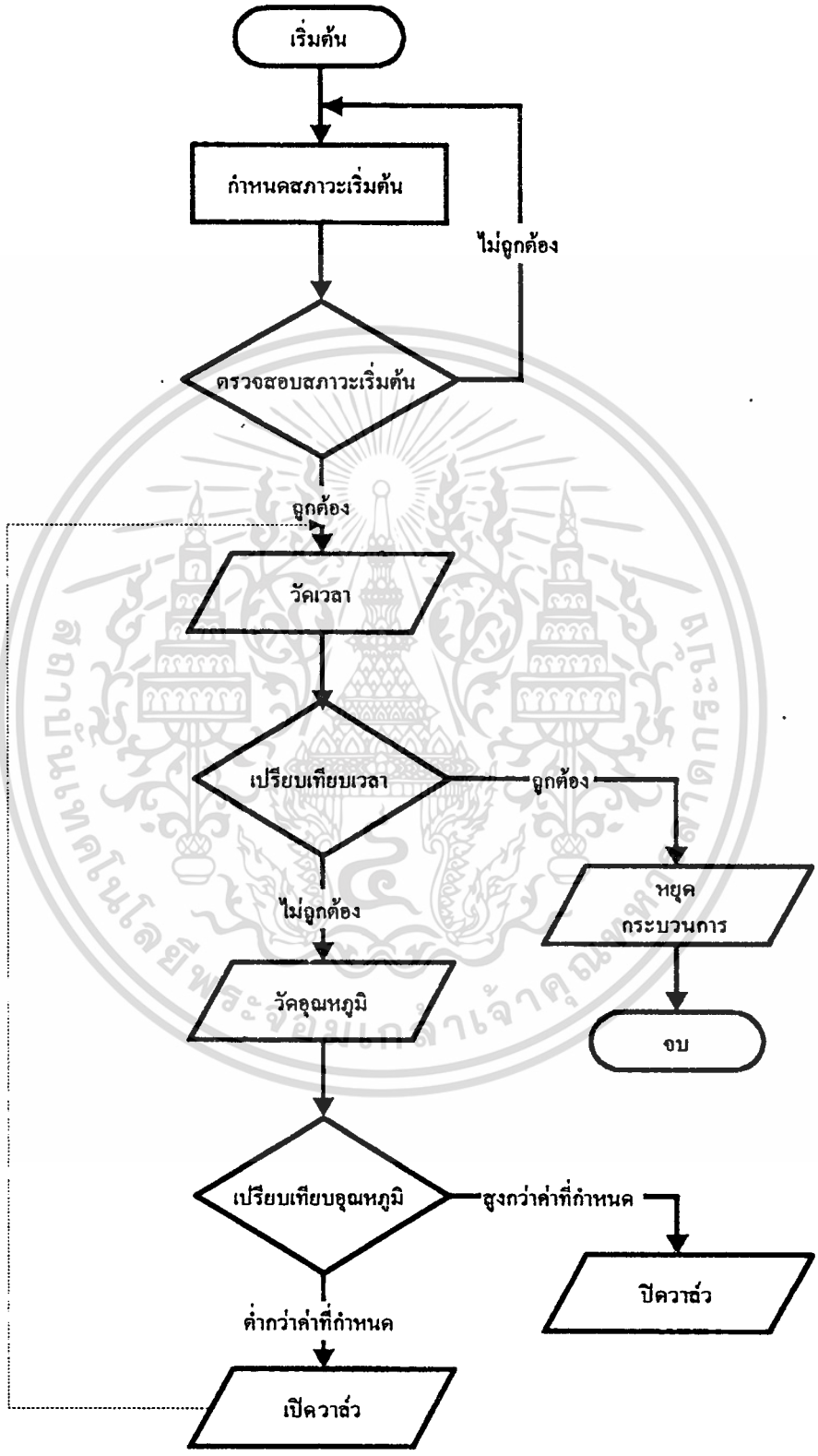
ในช่วงที่เปิดวาล์ว 6 ตัว จะใช้วาล์วตัวที่ 1 , 2 , 4 , 5 , 7 และ 8 ซึ่งควบคุมโดยเอาท์พุทที่ตำแหน่ง Q 2.1 , Q 2.2 , Q 2.4 , Q 2.5 , Q 2.7 และ Q 3.0 ตามลำดับ

ในช่วงที่เปิดวาล์ว 8 ตัว จะใช้วาล์วทุกตัว ซึ่งควบคุมโดยเอาท์พุทที่ตำแหน่ง Q 2.1 , Q 2.2 , Q 2.3 , Q 2.4 , Q 2.5 , Q 2.6 , Q 2.7 และ Q 3.0 ตามลำดับ

เมื่อมีเงื่อนไขสิ้นสุดกระบวนการก็จะทำให้หลอดไฟสิ้นสุดกระบวนการติดเพื่อแสดงว่าจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุม PLC



รูป 5.1 แสดง Flow Chart การทำงานของโปรแกรมควบคุม PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุม PLC

โปรแกรมควบคุมที่ใช้งานมีโครงสร้างและลักษณะของการทำงานเหมือนกับที่แสดงไว้ใน Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม PLC (รูป 5.1) ส่วนในรายละเอียดของโปรแกรมควบคุม PLC นั้นจะประกอบด้วย Block ต่าง ๆ หลาย Block ด้วยกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งรายละเอียดของตัวโปรแกรมทั้งหมด มีดังต่อไปนี้

ตารางแสดงตำแหน่งหน่วยของอินพุท/เอาท์พุท

ตำแหน่ง	หน่วยอินพุท/เอาท์พุท	รายละเอียด
I 1.0	หน่วยอินพุท	สวิตช์เริ่มการทำงาน
I 1.1	หน่วยอินพุท	สวิตช์ฉุกเฉิน
I 1.2	หน่วยอินพุท	สวิตช์จบการทำงาน
IW 64	หน่วยอินพุทแบบอนาลอก	ค่าอุณหภูมิของเตาเผา
Q 2.0	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วหลัก
Q 2.1	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 1
Q 2.2	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 2
Q 2.3	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 3
Q 2.4	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 4
Q 2.5	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 5
Q 2.6	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 6
Q 2.7	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 7
Q 3.0	หน่วยเอาท์พุท	โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 8
Q 3.3	หน่วยเอาท์พุท	หลอดไฟแสดงการทำงาน
Q 3.4	หน่วยเอาท์พุท	หลออดไฟสิ้นสุดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงาน

OB 1 A:WORK@@ST.S5D LEN=20
PAGE 1

```
SEGMENT  1          0000
0000       :JU  PB   2
0001       :JU  FB   0
0002 NAME  :INITIAL
0003       :JU  PB   0
0004       :O   F    3.0
0005       :O   F    3.2
0006       :JC  FB   1
0007 NAME  :ADD1
0008       :A   F    3.4
0009       :JC  FB   2
000A NAME  :ADD2
000B       :JU  FB   3
000C NAME  :COMPARE
000D       :JU  PB   1
000E       :BE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 2 B:WORK@@ST.S5D LEN=16
PAGE 1

SEGMENT 1 0000

```
                    FB 250
                     +--------------+
                     !   RLG:AE     !
+0                --!BG          XA !-- FW 64
0,3               --!KNKT        FB !-- F 120.0
+1400             --!OGR         BU !-- F 121.0
+0                --!UGR            !   :BE
F 50.0            --!EINZ           !
                     +--------------+
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FB 0 B:WORK@@ST.S5D LEN=51
PAGE

SEGMENT 1 0000
NAME :INITIAL

```
0005       :AN  F     2.5
0006       :R   F     0.3
0007       :AN  F     2.5
0008       :R   F     0.4
0009       :AN  F     2.5
000A       :R   F     0.5
000B       :AN  F     0.0
000C       :JC  =M001
000D       :AN  F     0.3
000E       :A   F     3.1
000F       :JC  =M002
0010       :AN  F     0.4
0011       :A   F     3.3
0012       :JC  =M003
0013       :AN  F     0.5
0014       :A   F     3.5
0015       :JC  =M004
0016       :BEU
0017 M001  :C   DB    2
0018       :L   DW    2
0019       :T   DW    1
001A       :R   F     5.4
001B       :BEU
001C M002  :C   DB    2
001D       :L   DW    3
001E       :T   DW    1
001F       :S   F     0.3
0020       :R   F     5.4
0021       :BEU
0022 M003  :C   DB    2
0023       :L   DW    4
0024       :T   DW    1
0025       :S   F     0.4
0026       :R   F     5.5
0027       :BEU
0028 M004  :C   DB    2
0029       :L   DW    5
002A       :T   DW    1
002B       :S   F     0.5
002C       :R   F    10.4
002D       :BE
```

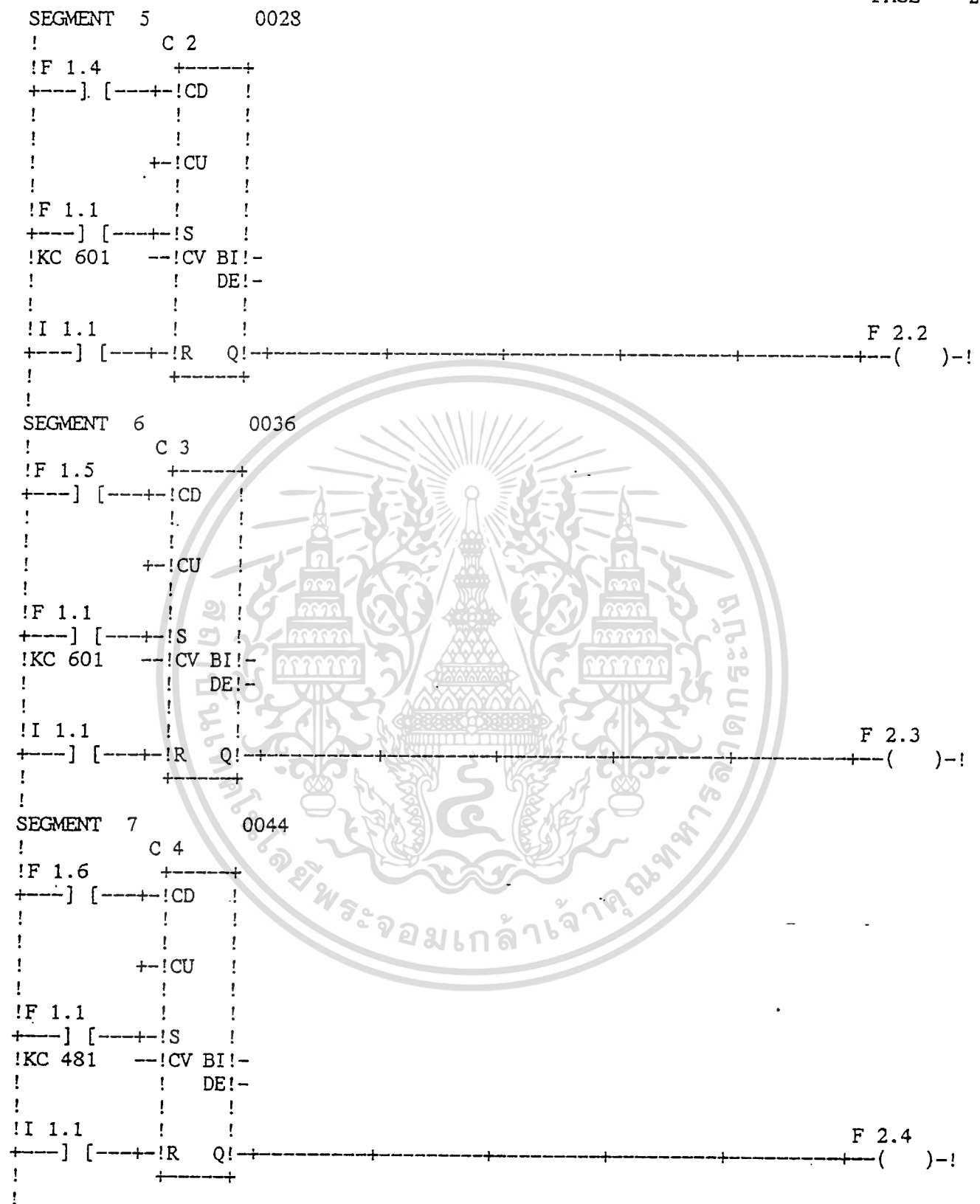
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 0 B:WORK@@ST.S5D LEN=309
PAGE 1

```
SEGMENT  1          0000
!
!I 1.0     I 1.1     Q 3.4                                                F 0.0
+---] [---+---]/[---+---]/[---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!         !
!F 0.0    !
+---] [---+
!
SEGMENT  2          0008
!
!I 1.0     F 2.5                                                          F 1.1
+---] [---+---]/[---+--------+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  3          000C
!           C 0
!F 1.2       +-----+
+---] [---+-!CD   !
!         !  !     !
!         !  !     !
!         +-!CU   !
!           !     !
!F 1.1       !     !
+---] [---+-!S    !
!KC 481   --!CV BI!-
!           !   DE!-
!           !     !
!I 1.1      !     !                                                        F 2.0
+---] [---+-!R   Q!-+--------+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!         +-----+
!
SEGMENT  4          001A
!           C 1
!F 1.3       +-----+
+---] [---+-!CD   !
!         !  !     !
!         !  !     !
!         +-!CU   !
!           !     !
!F 1.1       !     !
+---] [---+-!S    !
!KC 121   --!CV BI!-
!           !   DE!-
!           !     !
!I 1.1      !     !                                                        F 2.1
+---] [---+-!R   Q!-+--------+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!         +-----+
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 0 B:WORK@@ST.S5D LEN=309
PAGE 2



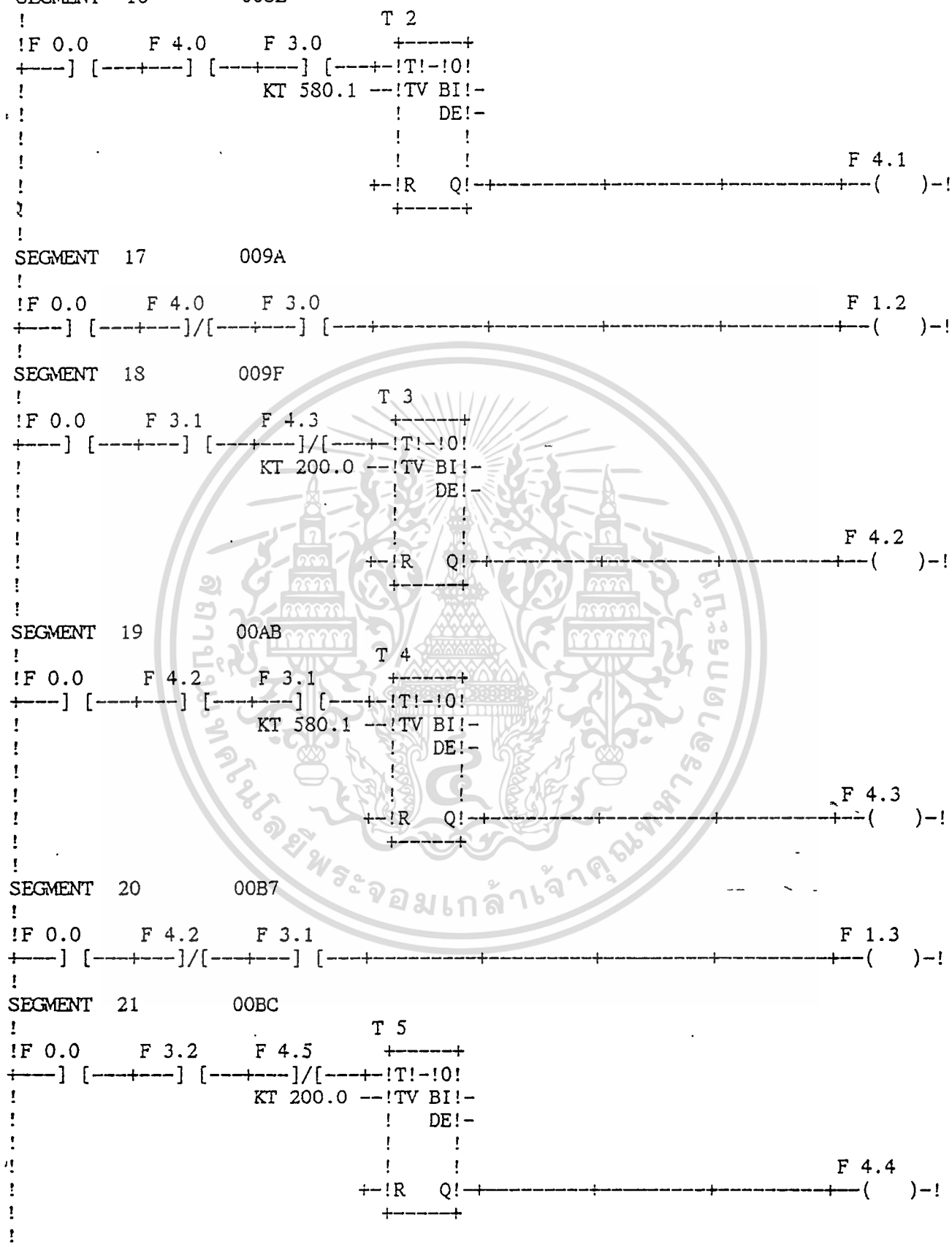
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 0 B:WORK@@ST.S5D LEN=309
PAGE 3

```
SEGMENT  8          0052
!           C 5
!F 1.7       +-----+
+---] [---+-!CD   !
!         !  !     !
!         !  !     !
!         +-!CU   !
!            !     !
!F 1.1       !     !
+---] [---+-!S    !
!KC 481   --!CV BI!-
!            !   DE!-
!            !     !
!I 1.1       !     !                                                F 2.5
+---] [---+-!R   Q!-+--------+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!            +-----+
!
SEGMENT  9          0060
!
!F 2.0     F 2.1     F 2.2     F 2.3     F 2.4     F 2.5     F 0.0     F 3.0
+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+--(    )-!
!
SEGMENT  10         0069
!
!F 2.0     F 2.1     F 0.0                                            F 3.1
+---]/[---+---] [---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  11         006E
!
!F 2.1     F 2.2     F 0.0                                            F 3.2
+---]/[---+---] [---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  12         0073
!
!F 2.2     F 2.3     F 0.0                                            F 3.3
+---]/[---+---] [---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  13         0078
!
!F 2.3     F 2.4     F 0.0                                            F 3.4
+---]/[---+---] [---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  14         007D
!
!F 2.4     F 2.5     F 0.0                                            F 3.5
+---]/[---+---] [---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  15         0082
!                              T 1
!F 0.0     F 3.0     F 4.1     +-----+
+---] [---+---] [---+---]/[---+-!T!-!0!
!                  KT 200.0 --!TV BI!-
!                              !   DE!-
!                              !     !
!                              !     !                                F 4.0
!                            +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                            +-----+
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 0 B:WORK@@ST.S5D LEN=309
PAGE 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 0 B:WORK@@ST.S5D LEN=309
PAGE 5

```
SEGMENT  22          00C8
!                                  T 6
!F 0.0      F 4.4      F 3.2       +-----+
+---] [---+---] [---+---] [---+---!T!-!0!
!                     KT 580.1 --!TV BI!-
!                                !   DE!-
!                                !     !
!                                !     !                                F 4.5
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                                +-----+
!
SEGMENT  23          00D4
!
!F 0.0      F 4.4      F 3.2                                             F 1.4
+---] [---+---]/[---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  24          00D9
!                                  T 7
!F 0.0      F 3.3      F 4.7       +-----+
+---] [---+---] [---+---]/[---+---!T!-!0!
!                     KT 200.0 --!TV BI!-
!                                !   DE!-
!                                !     !
!                                !     !                                F 4.6
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                                +-----+
!
SEGMENT  25          00E5
!                                  T 8
!F 0.0      F 4.6      F 3.3       +-----+
+---] [---+---] [---+---] [---+---!T!-!0!
!                     KT 580.1 --!TV BI!-
!                                !   DE!-
!                                !     !
!                                !     !                                F 4.7
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                                +-----+
!
SEGMENT  26          00F1
!
!F 0.0      F 4.6      F 3.3                                             F 1.5
+---] [---+---]/[---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  27          00F6
!                                  T 9
!F 0.0      F 3.4      F 5.1       +-----+
+---] [---+---] [---+---]/[---+---!T!-!0!
!                     KT 200.0 --!TV BI!-
!                                !   DE!-
!                                !     !
!                                !     !                                F 5.0
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                                +-----+
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PB 0                                B:WORK@@ST.S5D                    LEN=309
                                                                      PAGE    6

SEGMENT  28         0102
!                                  T 10
!F 0.0     F 5.0     F 3.4        +-----+
+---] [---+---] [---+---] [---+-!T!-!0!
!                    KT 580.1 --!TV BI!-
!                               !   DE!-
!                               !     !
!                               !     !                                F 5.1
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                               +-----+
!
SEGMENT  29         010E
!
!F 0.0     F 5.0     F 3.4                                              F 1.6
+---] [---+---]/[---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
SEGMENT  30         0113
!                                  T 11
!F 0.0     F 3.5     F 5.3        +-----+
+---] [---+---] [---+---]/[---+-!T!-!0!
!                    KT 200.0 --!TV BI!-
!                               !   DE!-
!                               !     !
!                               !     !                                F 5.2
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                               +-----+
!
SEGMENT  31         011F
!                                  T 12
!F 0.0     F 5.2     F 3.5        +-----+
+---] [---+---] [---+---] [---+-!T!-!0!
!                    KT 580.1 --!TV BI!-
!                               !   DE!-
!                               !     !
!                               !     !                                F 5.3
!                              +-!R   Q!-+--------+--------+--------+--(    )-!
!                               +-----+
!
SEGMENT  32         012B
!
!F 0.0     F 5.2     F 3.5                                              F 1.7
+---] [---+---]/[---+---] [---+--------+--------+--------+--------+--(    )-!
!
!
!                                                                     :BE
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FB 1 B:WORK@@ST.S5D LEN=26
PAGE 1

```
SEGMENT  1          0000
NAME :ADD1

0005        :A   F     0.0
0006        :AN  F     5.4
0007        :L   KT  720.1
0009        :SE  T     0
000A        :AN  T     0
000B        :JC  =M001
000C        :S   F     5.4
000D        :BEU
000E M001   :C   DB    2
000F        :L   DW    6
0010        :L   DW    1
0011        :+F
0012        :T   DW    1
0013        :R   F     5.4
0014        :BE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FB 2 B:WORK@@ST.S5D LEN=26
PAGE

SEGMENT 1 0000
NAME :ADD2

```
0005       :A   F    0.0
0006       :AN  F    5.5
0007       :L   KT 800.1
0009       :SE  T   13
000A       :AN  T   13
000B       :JC  =M001
000C       :S   F    5.5
000D       :BEU
000E M001  :C   DB   2
000F       :L   DW   6
0010       :L   DW   1
0011       :+F
0012       :T   DW   1
0013       :R   F    5.5
0014       :BE
```

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FB 3 B:WORK@@ST.S5D LEN=143
PAGE 1

```
SEGMENT  1          0000
NAME :COMPARE

0005       :A   F    5.7
0006       :L   KT 100.1
0008       :SE  T   14
0009       :A   F    0.0
000A       :AN  T   14
000B       :JC  =M001
000C       :R   F    5.7
000D       :BEU
000E M001  :C   DB   2
000F       :L   DW   1
0010       :L   DW  24
0011       :>=F
0012       :=   F   11.0
0013       :A   F    3.0
0014       :JC  =M002
0015       :A   F    3.1
0016       :JC  =M003
0017       :A   F    3.2
0018       :JC  =M004
0019       :A   F    3.3
001A       :JC  =M005
001B       :A   F    3.4
001C       :JC  =M006
001D       :A   F    3.5
001E       :JC  =M007
001F       :BEU
0020 M002  :C   DB   2
0021       :L   FW  64
0022       :L   DW   1
0023       :-F
0024       :T   DW   7
0025       :L   DW   7
0026       :L   DW   8
0027       :<F
0028       :=   F    6.0
0029       :L   DW   7
002A       :L   DW   9
002B       :>=F
002C       :=   F    6.1
002D       :L   DW   7
002E       :L   DW  10
002F       :>=F
0030       :=   F    6.2
0031       :S   F    5.7
0032       :BEU
0033 M003  :C   DB   2
0034       :L   FW  64
0035       :L   DW   1
0036       :-F
0037       :T   DW   7
0038       :L   DW   7
0039       :L   DW  11
003A       :<F
003B       :=   F    6.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
003C       ;L   DW   7
003D       :L   DW  12
003E       :>=F
003F       :=   F    6.4
0040       :S   F    5.7
0041       :BEU
0042 M004  :C   DB   2
0043       :L   FW  64
0044       :L   DW   1
0045       :-F
0046       :T   DW   7
0047       :L   DW   7
0048       :L   DW  13
0049       :<F
004A       :=   F    6.5
004B       :L   DW   7
004C       :L   DW  14
004D       :>=F
004E       :=   F    6.6
004F       :L   DW   7
0050       :L   DW  15
0051       :>=F
0052       :=   F    6.7
0053       :S   F    5.7
0054       :BEU
0055 M005  :C   DB   2
0056       :L   FW  64
0057       :L   DW   1
0058       :-F
0059       :T   DW   7
005A       :L   DW   7
005B       :L   DW  16
005C       :<F
005D       :=   F    7.0
005E       :L   DW   7
005F       :L   DW  17
0060       :>=F
0061       :=   F    7.1
0062       :L   DW   7
0063       :L   DW  18
0064       :>=F
0065       :=   F    7.2
0066       :S   F    5.7
0067       :BEU
0068 M006  :C   DB   2
0069       :L   FW  64
006A       :L   DW   1
006B       :-F
006C       :T   DW   7
006D       :L   DW   7
006E       :L   DW  19
006F       :<F
0070       :=   F    7.3
0071       :L   DW   7
0072       :L   DW  20
0073       :>=F
0074       :=   F    7.4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0075       :S   F    5.7
0076       :BEU
0077 M007  :C   DB   2
0078       :L   FW  64
0079       :L   DW   1
007A       :-F
007B       :T   DW   7
007C       :L   DW   7
007D       :L   DW  21
007E       :<F
007F       :=   F    7.5
0080       :L   DW   7
0081       :L   DW  22
0082       :>=F
0083       :=   F    7.6
0084       :L   DW   7
0085       :L   DW  23
0086       :>=F
0087       :=   F    7.7
0088       :S   F    5.7
0089       :BE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 1 B:WORK@@ST.S5D LEN=214

PAGE 1

```
SEGMENT  1          0000
!
!F 0.0                                                                Q 2.0
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  2          0003
!
!F 0.0     F 3.0                                                      F 5.6
+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!                   !
!F 0.0     F 5.6    !
+---] [---+---] [---+
!
SEGMENT  3          000A
!
!F 5.6                                                                Q 3.3
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  4          000D
!
!F 3.0     F 6.0     F 6.1     F 6.2                                   F 8.0
+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  5          0013
!
!F 3.0     F 6.0     F 6.1     F 6.2                                   F 8.1
+---] [---+---] [---+---]/[---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  6          0019
!
!F 3.0     F 6.0     F 6.1     F 6.2                                   F 8.2
+---] [---+---] [---+---]/[---+---]/[---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  7          001F
!
!F 3.1     F 6.3     F 6.4                                             F 8.3
+---] [---+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  8          0024
!
!F 3.1     F 6.3     F 6.4                                             F 8.4
+---] [---+---] [---+---]/[---+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  9          0029
!
!F 3.2     F 6.5     F 6.6     F 6.7                                   F 8.5
+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  10         002F
!
!F 3.2     F 6.5     F 6.6     F 6.7                                   F 8.6
+---] [---+---] [---+---]/[---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  11         0035
!
!F 3.2     F 6.5     F 6.6     F 6.7                                   F 8.7
+---] [---+---] [---+---]/[---+---]/[---+---------+---------+---------+--(    )-!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 1 B:WORK@@ST.S5D LEN=214
PAGE 2

```
SEGMENT  12        003B
!
!F 3.3     F 7.0     F 7.1     F 7.2                                  F 9.0
+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  13        0041
!
!F 3.3     F 7.0     F 7.1     F 7.2                                  F 9.1
+---] [---+---] [---+---]/[---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  14        0047
!
!F 3.3     F 7.0     F 7.1     F 7.2                                  F 9.2
+---] [---+---] [---+---]/[---+---]/[---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  15        004D
!
!F 3.4     F 7.3     F 7.4                                            F 9.3
+---] [---+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  16        0052
!
!F 3.4     F 7.3     F 7.4                                            F 9.4
+---] [---+---] [---+---]/[---+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  17        0057
!
!F 3.5     F 7.5     F 7.6     F 7.7                                  F 9.5
+---] [---+---] [---+---] [---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  18        005D
!
!F 3.5     F 7.5     F 7.6     F 7.7                                  F 9.6
+---] [---+---] [---+---]/[---+---] [---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  19        0063
!
!F 3.5     F 7.5     F 7.6     F 7.7                                  F 9.7
+---] [---+---] [---+---]/[---+---]/[---+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  20        0069
!
!F 8.0                                                               F 10.0
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 8.3    !
+---] [---+
!         !
!F 8.5    !
+---] [---+
!         !
!F 9.0    !
+---] [---+
!         !
!F 9.5    !
+---] [---+
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB 1 B:WORK@@ST.S5D LEN=214
PAGE 3

```
SEGMENT  21        0070
!
!F 8.1                                                              F 10.1
+---] [---+--------+--------+--------+--------+--------+--------+--(   )-!
!         !
!F 8.4    !
+---] [---+
!         !
!F 8.6    !
+---] [---+
!
SEGMENT  22        0075
!
!F 8.2                                                              F 10.2
+---] [---+--------+--------+--------+--------+--------+--------+--(   )-!
!         !
!F 8.7    !
+---] [---+
!         !
!F 9.1    !
+---] [---+
!         !
!F 9.3    !
+---] [---+
!         !
!F 9.6    !
+---] [---+
!
SEGMENT  23        007C
!
!F 9.2                                                              F 10.3
+---] [---+--------+--------+--------+--------+--------+--------+--(   )-!
!         !
!F 9.4    !
+---] [---+
!         !
!F 9.7    !
+---] [---+
!
SEGMENT  24        0081
!
!F 10.2                                                             Q 2.1
+---] [---+--------+--------+--------+--------+--------+--------+--(   )-!
!         !
!F 10.3   !
+---] [---+
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SEGMENT  25          0085
!
!F 10.0                                                              Q 2.2
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 10.1   !
+---] [---+
!         !
!F 10.2   !
+---] [---+
!         !
!F 10.3   !
+---] [---+
!
SEGMENT  26          008B
!
!F 10.3                                                              Q 2.3
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
SEGMENT  27          008E
!
!F 10.1                                                              Q 2.4
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 10.2   !
+---] [---+
!         !
!F 10.3   !
+---] [---+
!
SEGMENT  28          0093
!
!F 10.1                                                              Q 2.5
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 10.2   !
+---] [---+
!         !
!F 10.3   !
+---] [---+
!
SEGMENT  29          0098
!
!F 10.3                                                              Q 2.6
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SEGMENT  30          009B
!
!F 10.0                                                                  Q 2.7
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 10.1   !
+---] [---+
!         !
!F 10.2   !
+---] [---+
!         !
!F 10.3   !
+---] [---+
!
SEGMENT  31          00A1
!
!F 10.2                                                                  Q 3.0
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 10.3   !
+---] [---+
!
SEGMENT  32          00A5
!
!F 0.0     F 11.0    I 1.4                                               F 11.1
+---]/[---+---] [---+---]/[---+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 11.1   !
+---] [---+---------+
!
SEGMENT  33          00AD
!
!F 0.0     I 1.3                                                         F 11.2
+---]/[---+---]/[---+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 11.2   !
+---] [---+
!
SEGMENT  34          00B4
!
!F 11.1                                                                  Q 3.5
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!         !
!F 11.2   !
+---] [---+
!
SEGMENT  35          00B8
!
!I 1.1                                                                   F 10.4
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!                   !
!F 2.5     I 1.2    !
+---]/[---+---] [---+
!                   !
!F 10.4              !
+---] [---+---------+
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SEGMENT  36          00BF
!                      F 10.5
!F 3.0                 +-----+
+---] [---+---------+-!S    !
!                      !     !
!F 2.5      I 1.2      !     !
+---]/[---+---] [---+-!R   Q!-
!                      +-----+
!
SEGMENT  37          00C6
!
!F 2.5      F 10.4     F 10.5                                                F 11.3
+---]/[---+---]/[---+---] [---+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!           !
!F 11.3     !
+---] [---+
!
SEGMENT  38          00CE
!
!F 11.3                                                                      Q 3.4
+---] [---+---------+---------+---------+---------+---------+---------+--(    )-!
!
!
!                                                                          :BE
!
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB2 B:WORK@@ST.S5D LEN=30 /4

PAGE

```
  0:    KF = +00000;
  1:    KF = +00000;
  2:    KF = +00100;
  3:    KF = +00400;
  4:    KF = +00900;
  5:    KF = +01260;
  6:    KF = +00001;
  7:    KF = +00000;
  8:    KF = +00001;
  9:    KF = -00002;
 10:    KF = -00005;
 11:    KF = +00001;
 12:    KF = -00002;
 13:    KF = +00001;
 14:    KF = -00001;
 15:    KF = -00004;
 16:    KF = +00001;
 17:    KF = -00002;
 18:    KF = -00007;
 19:    KF = +00002;
 20:    KF = -00001;
 21:    KF = +00001;
 22:    KF = -00002;
 23:    KF = -00007;
 24:    KF = +01050;
 25:
```

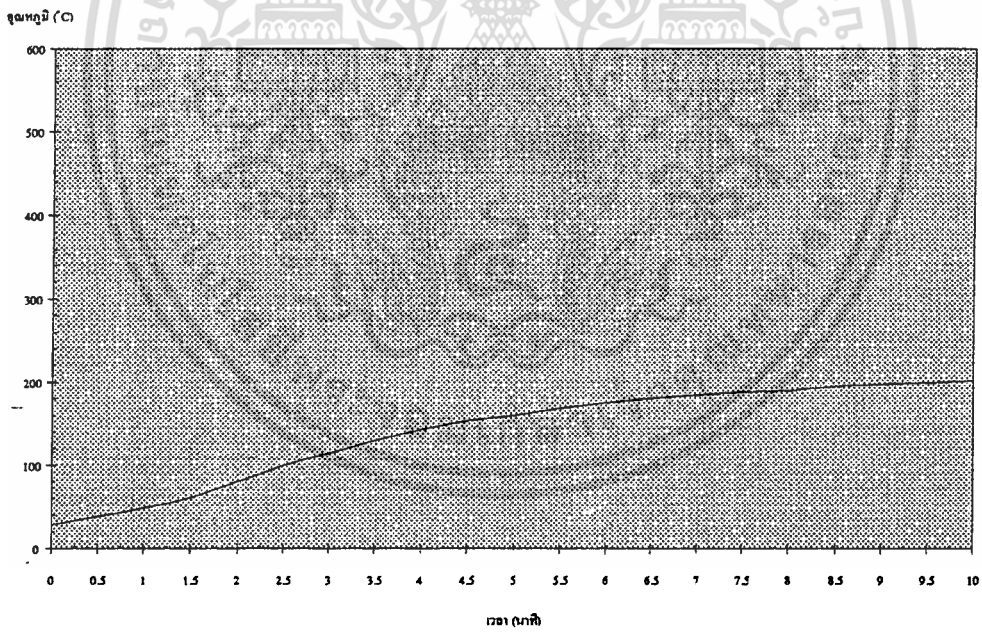
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งส่วนแสดงผลการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งเพื่อแสดงอุณหภูมิในเตาว่ามีแนวโน้มเช่นไร และอีกส่วนหนึ่งเพื่อดูผลการทำงานของโปรแกรมควบคุม ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในส่วนหลังนี้จะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงการทำงานให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการทดลองเพื่อดูแนวโน้มการเพิ่มของอุณหภูมิในเตานั้น จะทำการทดลองโดยการสร้างแบบการทดลองให้มีการเก็บผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามเวลา โดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนวาล์วที่เปิดในแต่ละครั้งของการทดลองให้แตกต่างกัน ซึ่งจะได้ผลดังกราฟต่อไปนี้

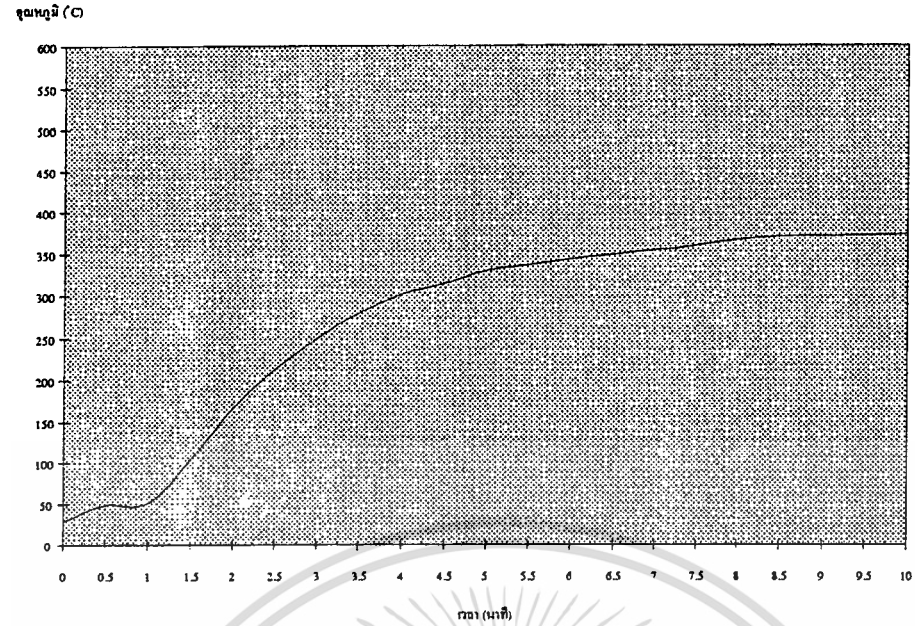
กราฟแสดงผลของอุณหภูมิในเตาเผาขณะเปิดหัวพ่นไฟจำนวนต่าง ๆ กัน



(a)

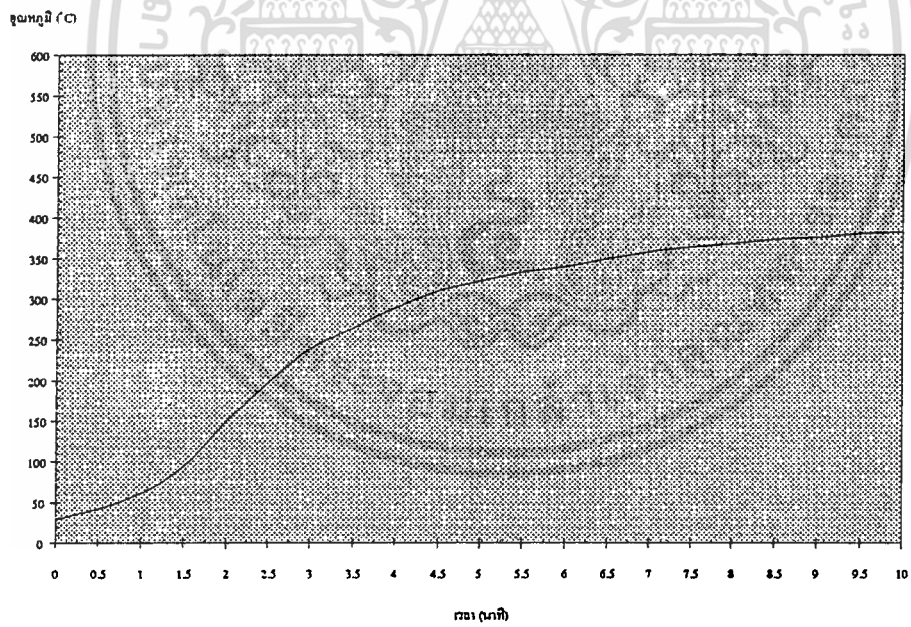
เปิดหัวพ่นไฟจำนวน 2 หัว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 " ที่ P = 20 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

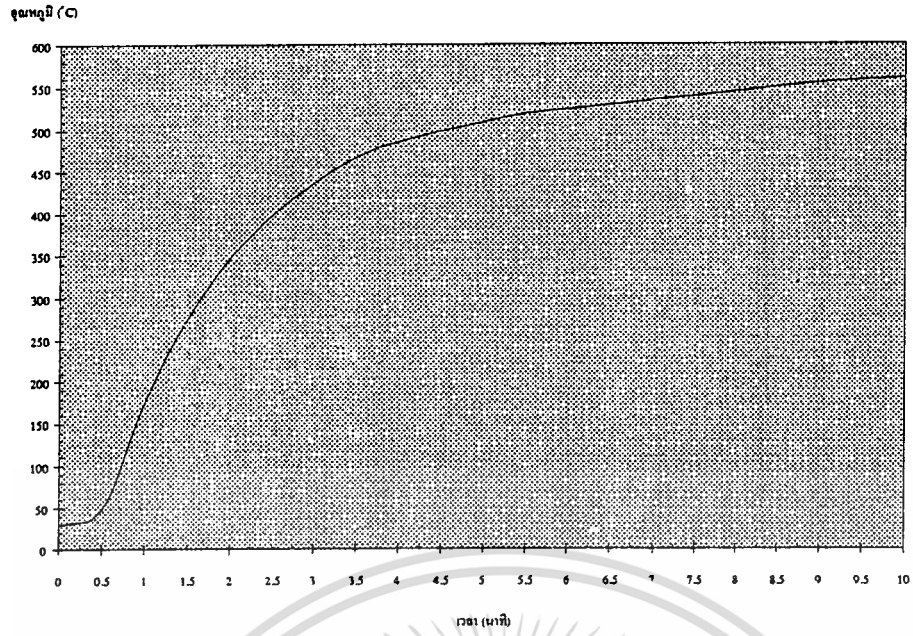
เปิดหัวพ่นไฟจำนวน 4 หัว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 " ที่ P = 20 bar



(c)

เปิดหัวพ่นไฟจำนวน 6 หัว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 " ที่ P = 20 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d)

เปิดหัวพ่นไฟจำนวน 8 หัว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 " ที่ P = 20 bar

ผลที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่า แนวโน้มของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเพิ่มของอุณหภูมิที่ได้ทำการจำลองแบบไว้ในบทที่ 2 คือ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และจะค่อย ๆ ช้าลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ในการกำหนดจำนวนวาล์วที่เปิดในแต่ละช่วงเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนดไว้นั้น ข้อมูลส่วนหนึ่งก็จะนำมาจากกราฟการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาที่ได้สร้างแบบจำลองไว้ ซึ่งความถูกต้องนั้นจะไม่ดีเท่ากับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง แต่การทดลองจริงนั้นต้องใช้เวลานานและสิ้นเปลืองอย่างมาก เพราะแต่ละครั้งของการทดลองนั้นต้องใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมินาน และใช้วัตถุดิบซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงในการเผา อีกทั้งยังต้องทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอและมีความถูกต้องแม่นยำ

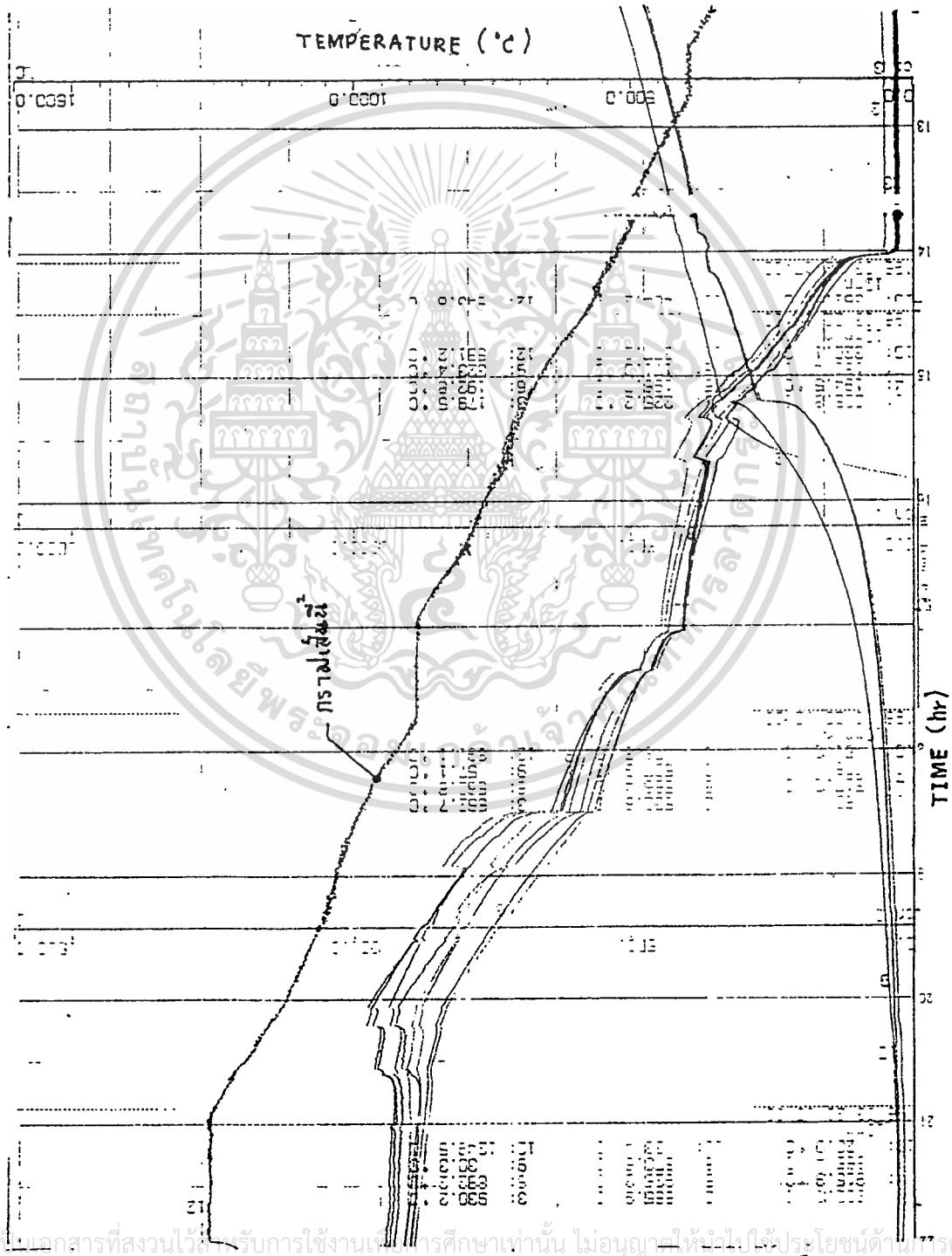
จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทำให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นต้องมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการทำงานได้ เพื่อให้ระยะเวลาในการทดลองแต่ละครั้งในแต่ละช่วงของกระบวนการทำงานสั้นลงกว่าระยะเวลาที่ต้องใช้งานในกระบวนการทำงานจริง เพื่อความเหมาะสมและสะดวกแก่การเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ในการนำโปรแกรมไปใช้งานจริงจะมีการบันทึกผลเป็นกราฟด้วยเครื่องบันทึกผล (Detector) ซึ่งจะทำการบันทึกค่าทุก ๆ 30 วินาที ตลอดการทำงาน ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

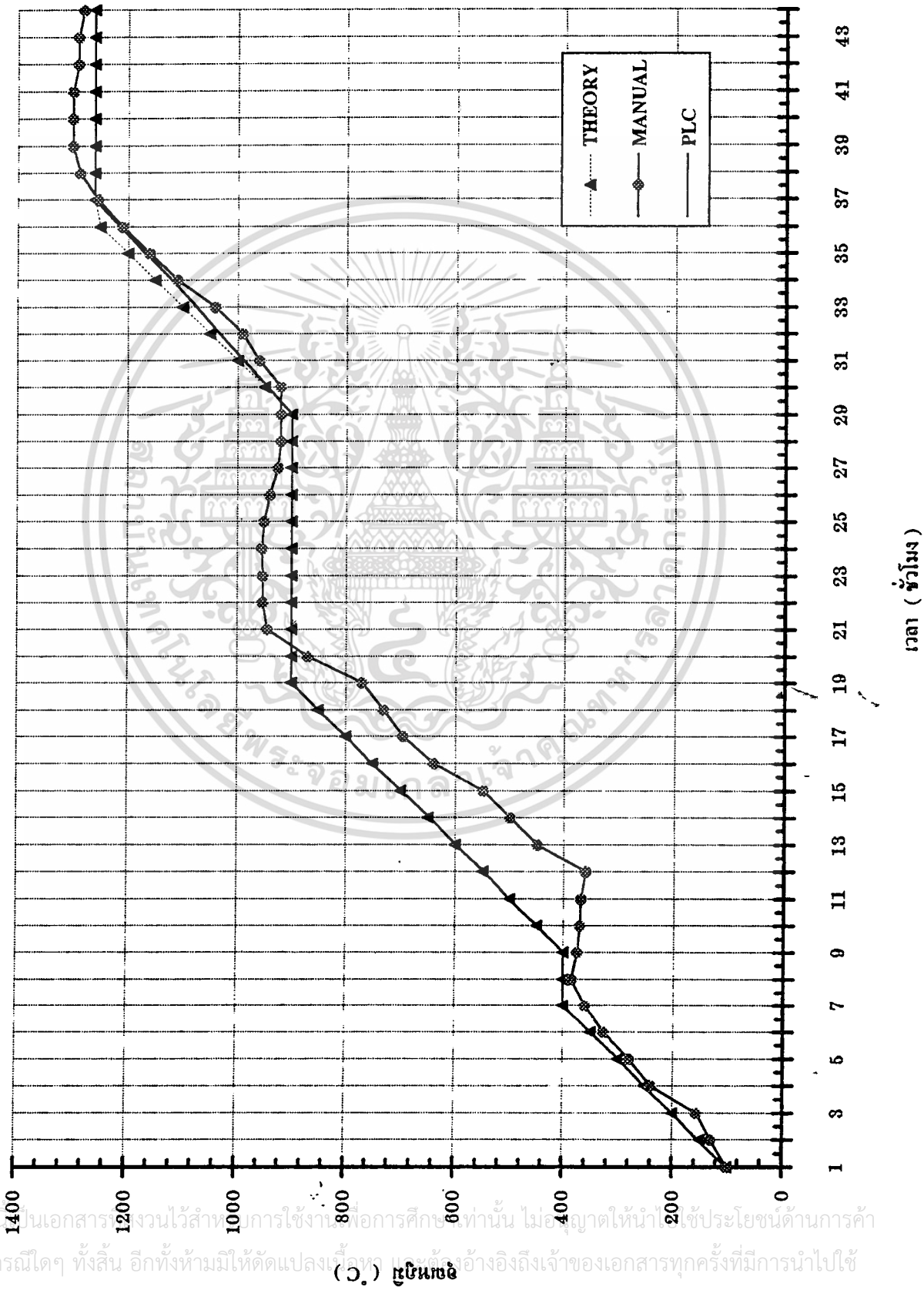
ในการนำโปรแกรมไปใช้งานจริงจะมีการบันทึกผลเป็นกราฟด้วยเครื่องบันทึกผล (Detector) ซึ่งจะทำการบันทึกค่าทุก ๆ 30 วินาที ตลอดการทำงาน ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีลักษณะดังนี้

กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองใช้โปรแกรม PLC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิจากการควบคุมในลักษณะต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบกราฟทั้งสองรูปข้างต้น จะเห็นว่า ช่วงแรก ๆ ทั้งในช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและช่วงที่ยืนอุณหภูมิคงที่ จะให้ผลของการควบคุมยังไม่ค่อยดีนัก แต่ก็เป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับในการนำไปใช้งานได้ ไม่ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ที่เผา ส่วนในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นการควบคุมให้ผลที่มีความแม่นยำมากขึ้น

จากกราฟที่ได้เราสามารถนำไปใช้ประกอบในการพิจารณาเพื่อปรับปรุงระบบควบคุมการทำงานให้มีประสิทธิภาพดียิ่ง ๆ ขึ้นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
บทสรุป ข้อเสนอแนะและการวิเคราะห์

จากการใช้ PLC เข้ามาควบคุมการปิด-เปิดโซลินอยด์วาล์ว ในการจ่ายก๊าซ LPG เข้าไปเผาไหม้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาแทนการควบคุมแบบ Mannual พบว่าการควบคุมอุณหภูมิได้ผลใกล้เคียงกับอุณหภูมิของกระบวนการที่ต้องการในทางทฤษฎี

ในช่วงอุณหภูมิต่ำตั้งแต่เริ่มต้น จนถึง 600°C จะเปิดไฟเลี้ยง 4 ตัว โดยอุณหภูมิที่ได้จะมีการแกว่งเล็กน้อยแต่สามารถควบคุมให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

ส่วนในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะเปิดไฟเลี้ยง 8 ตัว การควบคุมได้ค่อนข้างแม่นยำ เพราะอุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นและลดลงขณะปิด-เปิด วาล์ว น้อย ทำให้อุณหภูมิที่ได้มีค่าถูกต้องทั้งในช่วงที่ยืนไฟ และ ในช่วงที่เร่งอุณหภูมิ

ปัญหาที่พบ คือ ไม่สามารถเปิดไฟเลี้ยงพร้อมกันครั้งเดียวทั้ง 8 ตัวได้ เพราะในช่วงแรก ๆ ซึ่งอุณหภูมิไม่สูงมากนัก การเปิดไฟเลี้ยงทุกตัวจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ถึงแม้จะหรี่ไฟเลี้ยงให้น้อยที่สุดก่อนจะดับแล้วก็ตาม จึงต้องกำหนดจำนวนไฟเลี้ยง และต้องมีคนคอยเปิดไฟเลี้ยงให้เหมาะสมตามช่วงของอุณหภูมิดังกล่าวไว้ข้างต้น นอกจากนี้การเปิดไฟเลี้ยงต้องทำในระดับที่เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้ไฟดับในขณะดำเนินกระบวนการได้

เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ จะเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าตั้งแต่ 0-14 mV ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากจึงมีการคลาดเคลื่อนในบางครั้ง และเมื่อนำสัญญาณนั้นไปประมวลผลใน PLC หรือนำมาแสดงที่จอ display โดยเฉพาะในช่วงต้นๆ จะมีค่าผิดพลาดค่อนข้างมาก แต่ช่วงที่อุณหภูมิสูงๆ ขึ้นไป สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจะมากขึ้นค่าที่คลาดเคลื่อนจึงลดลง ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิจึงค่อนข้างแม่นยำ

กราฟของอุณหภูมิได้มาจากการบันทึกของ Detector โดยรับสัญญาณไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิล แล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นค่าอุณหภูมินำมาบันทึกผลเป็นกราฟ แต่ Detector ที่ใช้งานนั้นติดตั้งห่างจากเทอร์โมคัปเปิลมากและเทอร์โมคัปเปิลมีสัญญาณไฟฟ้าต่ำดังนั้นกราฟที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนในช่วงต้นๆ กระบวนการมากกว่ากระบวนการในช่วงหลังที่มีสัญญาณไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงาน สามารถทำได้โดย

เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบอุณหภูมิของตัวควบคุม (PLC) ให้มากขึ้นกว่าเดิม เพื่อลดความแกว่งของอุณหภูมิให้น้อยลง

เพิ่มความละเอียดของการรับค่าอุณหภูมิของตัวควบคุม (PLC) ให้มากยิ่งขึ้น เพื่อลดความผิดพลาดในการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิให้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Creating a Program: Programming with STEP 5

2.2.1 Programming

Ready to start?

The software of the STEP 5 AG 90 package is in the directory S5_AG90. The PC or PG is switched on and is displaying the system prompt C:\ > .

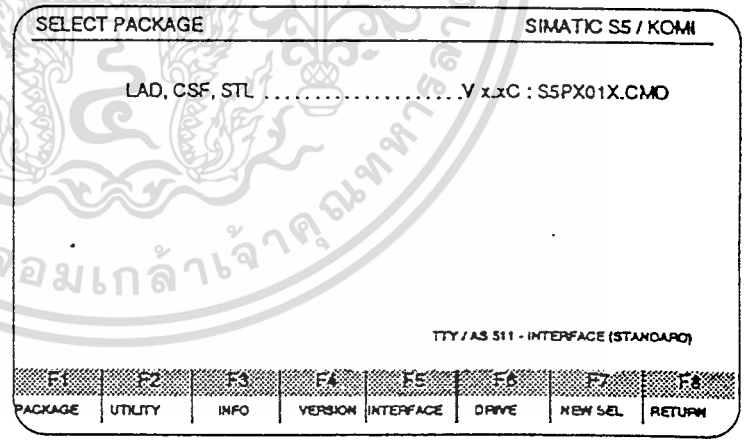
Type in the characters CD S5_AG90
Press the **return** key.

The PG then displays C:\ S5_AG90 >

Type in the characters S5
Press the **return** key.

The SELECT PACKAGE menu appears on the screen:.

Package selection screen form



You can obtain information about the package by pressing F3 (INFO). The HELP key explains the functions of the softkey menu. In response to the prompt *continue:*

Press the **enter** key.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

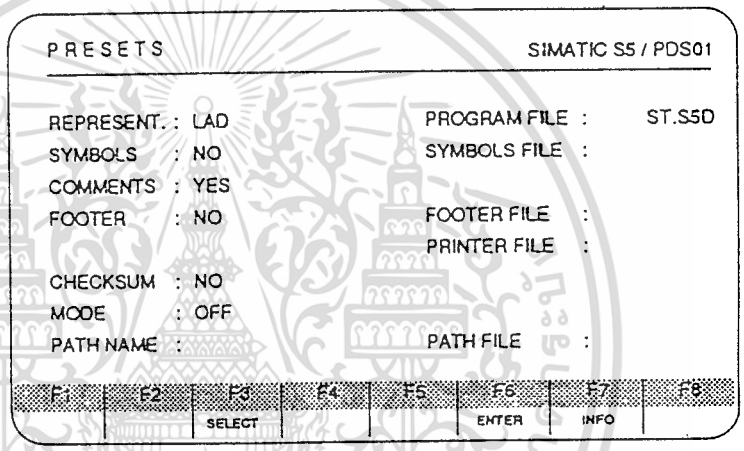
SELECT PACKAGE

Select the LAD, CSF, STL package with the cursor and enter your selection with

F1 (PACKAGE) or with the enter key.

The PRESETS screen form now appears.

Presets screen form



PRESETS

The cursor flashes in the input field for the PROGRAM FILE. Type in the following string:

C: TEST
Press the return key.

The PG fills in the remaining characters.

Move the cursor to the left to the REPRESENT. field by pressing **SHIFT** and **TAB** simultaneously.

Using **F3** (SELECT) you can select between the different types of representation, LAD, CSF and STL.

Select the LAD method of representation with this key.
Press **F3** (SELECT) several times until LAD is displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

You have now selected all the presets necessary for our example. Do not change the defaults, COMMENTS: YES and MODE: OFF for this example.

Note

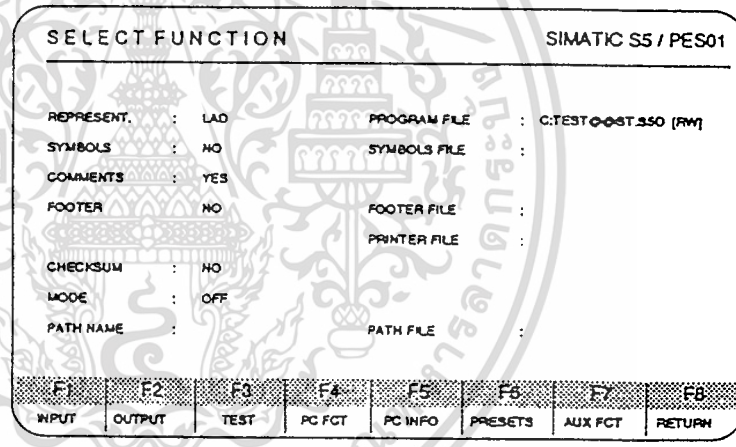
With F7 (INFO) you can display brief information about all the terms on the screen.

Enter the PRESETS

Press F6 (ENTER) or
Press the enter key.

The SELECT FUNCTION form now appears on the screen..

Function selection screen form



SELECT FUNCTION

To input the program "opening and closing a garage door" for the first time, select the INPUT mode with F1.

Select function

Press F1 (INPUT).
Press F1 (BLOCK).

At the lower edge of the screen the command line appears:

INPUT DEVICE: BLOCK:

Fill in the command line

Note

The HELP key provides you with brief information about possible inputs at the position indicated by the cursor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Complete the command line with the following characters:

FD, since you are in the preset program file on the hard disk.

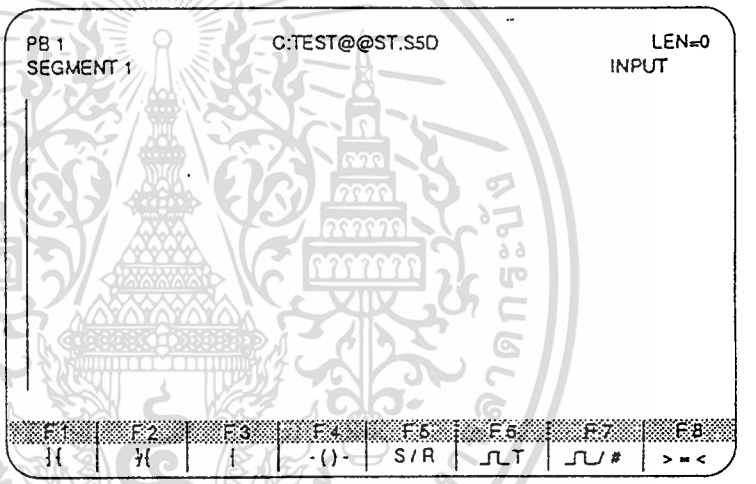
Input

PB1, as block identifier. You want the program for controlling the garage door to be stored in PB1 as a ladder diagram.

Press the **enter** key.

The screen then appears as follows:

Screen form for input in LAD



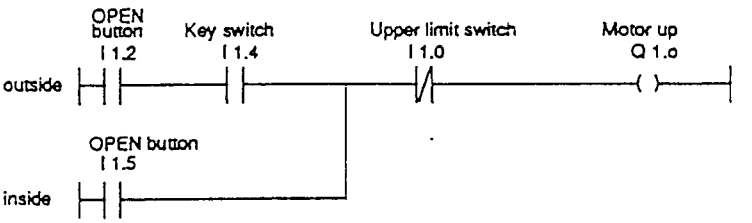
Meaning of the symbols in the softkey menu

You can display explanations of the assignment of the function keys F1 to F8 by pressing the **HELP** key.

Input the logic operations for controlling the opening of the garage door in segment 1.

Opening the garage door from inside *or* from outside:

Ladder diagram for inputting segment 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Press F1 (NO contact).

The cursor is located in the input field of the NO contact.
If you have accidentally pressed a different function key, e.g. F2, you can clear the incorrect segment with the break key and then press F1 again.

Identify operands

Type in I 1.2 for the NO contact with the alphanumeric keyboard.
Press the return key.

The cursor then jumps to the output at the end of the line.

Type in Q 1.0 for the output.

Press the return key.

Position the cursor to input the NO contact I 1.4

Position the cursor on the junction after the NO contact I 1.2
Press F1 (NO contact).
Type in I 1.4 for the NO contact.
Press the return key.

Position the cursor to input the NC contact I 1.0

Position the cursor on the junction after the normally open contact I 1.4.
Press F2 (NC contact)
Type in I 1.0.
Press the return key.

Enter the parallel branch

Move the cursor to the left until it is positioned on the I of input I 1.2 by pressing SHIFT and TAB simultaneously (or press the double line arrow key left) three times.

The cursor is now positioned at the start of the first branch.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Press the **cursor down** key four times.

The cursor is now below the first branch.

Press F1 (NO contact).
Press **TAB**.
Press F3 to close the branch.

The cursor is now positioned in the input field for the NO contact in the parallel branch.

Input I 1.5.
Press the **return** key.

You have now programmed the first segment (see screen on the following page).

Corrections

Ways of correcting incorrect inputs

Wrong operand

Position the cursor on the operand and overwrite it. You can delete individual characters with the delete key or space bar.

Wrong contact

Position the cursor on the junction before the incorrect contact, replace the incorrect contact with the correct contact by pressing the appropriate function key (F1 or F2).

Delete a contact

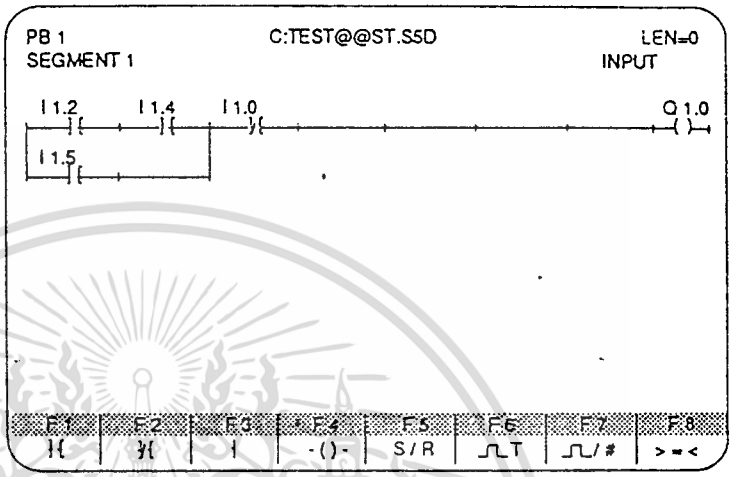
Position the cursor in front of the contact and press the delete key.

Insert a contact

Position the cursor after the contact behind which you want to insert a contact,
press the **horizontal expand** key,
insert a new contact with the appropriate function key.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladder diagram opening the garage door



Complete the first segment

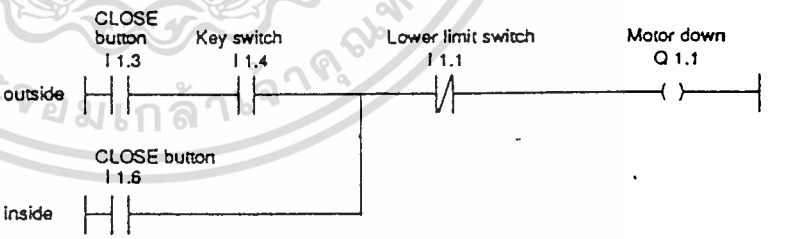
Press the segment end key (***)

SEGMENT 2 now appears on the screen.

Input the logic operations for closing the garage door in segment 2.

Closing the garage door from outside *or* from inside

Ladder diagram for inputting segment 2

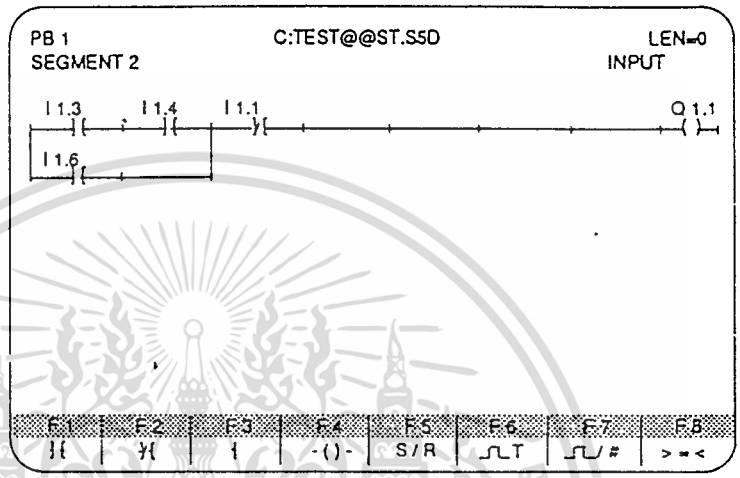


The programming is analogous to the procedure in the first segment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

You then obtain the following ladder diagram on the screen:

Ladder diagram closing the garage door



Complete and store the block

Press the **enter** key

The PG then displays the SELECT FUNCTION screen form.

Display the program block on the screen and re-check it

Select the OUTPUT mode:

Press F2 (OUTPUT)
Press F2 (BLOCK)

Fill in the command line

OUTPUT DEVICE: FD BLOCK: PB1 SEARCH: PTR:

Press the **enter** key.

The first segment of the block is displayed on the screen.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Change segments

Within a block, you can fetch the various segments belonging to the block onto the screen:

To display the next segment:

> Press + (on some PGs this key is +1)

To display the previous segment:

> Press - (on some PGs this key is -1)

To page within a segment, use the keys for rolling the screen contents if the segment is longer than one screen page.

Change method of representation

In the OUTPUT mode, you can change the method of representation of your program as required:

> Press F7 (->LAD, ->CSF, ->STL).

2.2.2 Comments

In this section, we will show you how to enter segment titles and comments so that you can add information to your program.

Enter segment titles

Ready to start?

> Press COM once.

The cursor jumps to the line for the segment title.
You can now write a comment up to 32 characters long, e.g. write the following comments for segment 1:

> **Open from outside or inside**
> Press the **return** key.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For segment 2:

Press + (or +1) to change to segment 2.
Press the COM key.

Write the following:

Close from the outside or inside

This comment is 32 characters long and the cursor automatically exits the input field.

Store the segment title in comment block PC 1

Press the enter key.

The PG displays the SELECT FUNCTION screen form.

Press the break key.

When you press the break key, you skip function selection and obtain the command line completed as it was after you last called it.

Press the enter key.

The PG displays segment 1 of your program block PB 1 on the screen.

Enter a segment comment

Press COM twice.

Segment comment

The characters $1 and @↑ appear on the screen as the segment identifier. This identifier allows the unique assignment between the segment and comment. You must not modify or delete this identifier. The cursor is now flashing in the input field for the comment and you can begin to type in your text.

Move the cursor with the cursor keys.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comment for segment 1

```
PB 1                          C:TEST@@ST.S5D          LEN=21
SEGMENT 1 0000                Open from outside or inside    OUTPUT

$1 @
Comment for segment 1

Opening the garage door from outside:
turn key switch                                   (I 1.4)
and press OPEN button                             (I 1.2)
or

Opening the door from inside:
press the OPEN button                             (I 1.5)
Providing the door has not reached the            (I 1.0)
upper limit switch, the motor opens               (Q 1.0)
the door.

| F1     | F2     | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 |
| INSERT | DELETE |    |    |    |    |    |    |
```

When you press the return key, an arrow pointing upwards is displayed; you cannot enter any further characters after the arrow.

Press the enter key.

Follow the same procedure for the second segment: fetch the segment, press COM twice and type in the following text:

Comment for segment 2

```
PB 1                          C:TEST@@ST.S5D          LEN=21
SEGMENT 2 0008                Close from the outside or inside OUTPUT

$2 @
Comment for segment 2

Closing the garage door from outside:
turn key switch                                   (I 1.4)
and press CLOSE button                            (I 1.3)
or
Closing the door from inside:
press the CLOSE button                            (I 1.6)
Providing the door has not reached the            (I 1.1)
lower limit switch, the motor closes              (Q 1.1)
the door.|

| F1     | F2     | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 |
| INSERT | DELETE |    |    |    |    |    |    |
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Store the segment comment in the documentation block #PBDO.001

Press the enter key.

The ladder diagram is once again displayed on the screen.

Press the enter key again.

The block and segment comment are stored and the SELECT FUNCTION screen form is displayed.

DIR

2.2.3 Outputting the Directory

You now have three blocks on the hard disk:

the program block	PB1	(ladder diagram),
the comment block	PC1	(segment title),
the documentation block	#PBDO.001	(segment comment).

If you want to display the directory of your program file TEST@@ on the screen, select the AUXILIARY functions in the SELECT FUNCTION screen form:

Press F7 (AUX FCT).
Press F3 (DIR).

Fill in the command line

OUTPUT DIR FROM SOURCE: FD BLOCK:

Press the enter key.

You then obtain the directory of your program file TEST@@ with all blocks.

Exit the AUXILIARY functions

Press F8 (RETURN).

The PG once again displays the SELECT FUNCTION screen form.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 Programming Organization Block OB 1

Before you can run your new program on a programmable controller (PLC) you must program the PB 1 call in OB 1. The program block is then called cyclically.

Programming OB 1

Ready to start?

The SELECT FUNCTION screen form is displayed.

Press F1 (INPUT).
Press F1 (BLOCK).

Fill in the command line

INPUT DEVICE: FD BLOCK: OB1

Press the **enter** key.

Switch over from LAD to STL

Segment 1 for inputting in LAD is displayed. Since an unconditional block call (JU) can only be programmed in STL, switch over to the STL method of representation as follows:

Type in :STL.
Press the **return** key.

The characters :STL appear in the first line of the input field. The cursor is positioned below the letter S.

Press the **cursor down** key.

You enter the unconditional PB 1 call in this line.

Type in the characters **JU PB 1**.
Press the **return** key.
Type in the characters **BE** for the block end.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Store the block

Press the **enter** key,
or press the **return** key.

The PG displays the SELECT FUNCTION screen form.

2.2.5 Transferring (Copying) Blocks

Transferring blocks to the PLC

When you want to run your program on the programmable controller, you must transfer the blocks OB 1 and PB 1 to the PLC (comment blocks are not transferred).

Ready to start?

A hardware link exists between the PG and PLC.
PRESETS: PROGRAM FILE: e.g. C:TEST@@
MODE: ON
The PG is displaying the SELECT FUNCTION screen form.

Call the TRANSFER function

Press **F7** (AUX FCT)
Press **F1** (TRANSFER)

Fill in the command line

TRANS SOURCE: FD BLOCK: A TO DEST: PC BLOCK:

Execute the TRANSFER function

Press the **enter** key

If a block with the same name already exists in the PLC RAM, the PG asks: *Overwrite block?*

YES: > press the **enter** key, or
NO: > press the **break** key.

Return to function selection

Press **F8** (RETURN).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 Backing-up on Diskette

If you want to back-up the program you have created, follow the steps below.

Ready to start?

You have inserted an **empty**, formatted disk in drive A and the drive is closed.
The SELECT FUNCTION screen form is displayed.

Call and execute the TRANSFER function

Saving the program

Press F7 (AUX FCT).
Press F1 (TRANSFER).

Fill in the command line

TRANS SOURCE: C:TEST BLOCK: F TO DEST: A:TEST

Use the HELP key: F = whole program file.

Press the enter key.

The PG displays the message *transfer active*.
To make sure that the transfer was correct, check the directory of the diskette.

Directory of the diskette in drive A

Ready to start?

The auxiliary functions are loaded (function key F7 (AUX FCT) in the select function menu).
To display the contents of the diskette in drive A, you must set the drive and program file name. You can change the program file as follows without having to return to the presets:

Displaying the directory

Press F6 (PRG FILE).
Specify the drive and the required name, e.g. A:TEST.
Press the **enter** key.

Display the directory of the diskette in drive A

Press F3 (DIR).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fill in the command line

```
OUTPUT DIR FROM SOURCE: FD    BLOCK:    PTR:
```

Press the **enter** key.

All the blocks are listed on the screen.

2.2.7 Print out the Complete Program File

Ready to start?

PRESETS: the program file to be printed is set. A printer of the type PT88 is connected. (If you have a different type of printer, you must set the required parameters for your printer using the PRINTER utility and specify the name of the printer file in the PRESETS.)
The PG is displaying the SELECT FUNCTION screen form.

Print blocks

Printing out the program file

Press F2 (OUTPUT).
Press F2 (BLOCK).

Fill in the command line

```
OUTPUT DEVICE: FD   BLOCK: A        SEARCH:    PTR: *
```

* = standard printout

The HELP key lists further options for the printout.

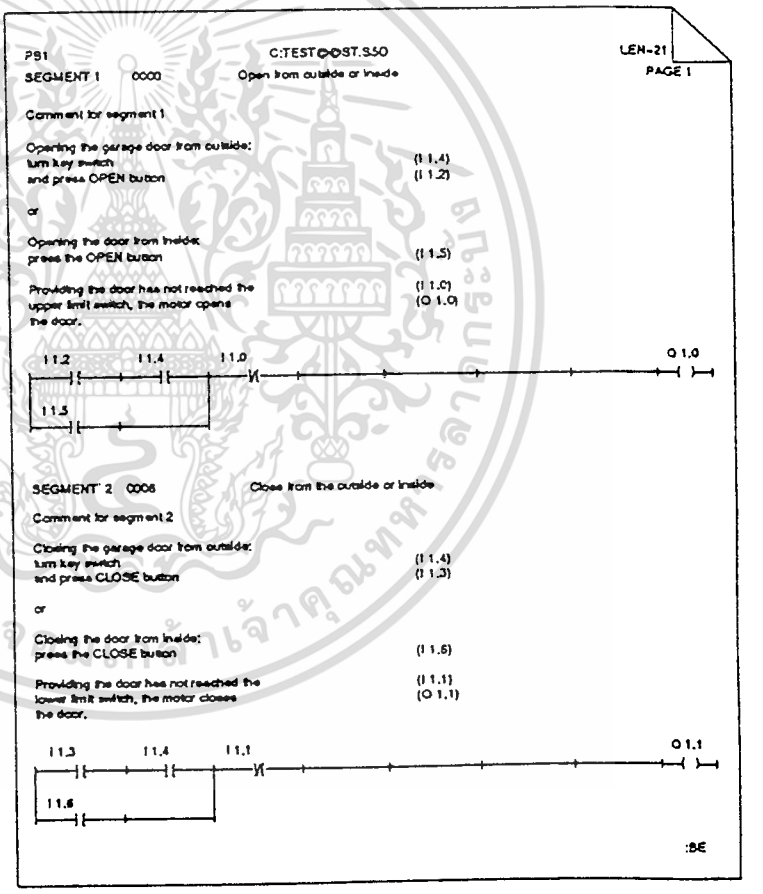
1:	printout in	normal print
2:	printout in	condensed print with margin
3:	printout in	super condensed print

Press the **enter** key.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If you make your entries in the way described, your printout should appear as shown below. If this is so, then your first session at the PG can be considered a success.
Congratulations!

PT88 printout of the STEP 5 program "automatic opening and closing of a garage door".



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I PC Keyboard with S5 Assignment

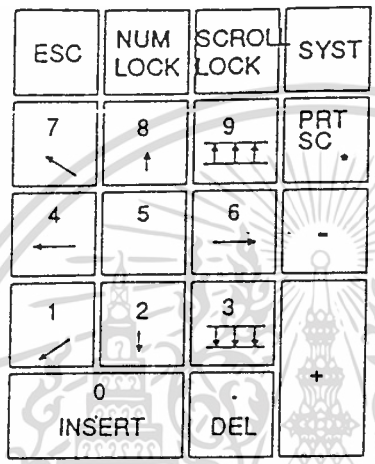
Keyboard of a PC (example)

S5 key assignment of a PC (example)

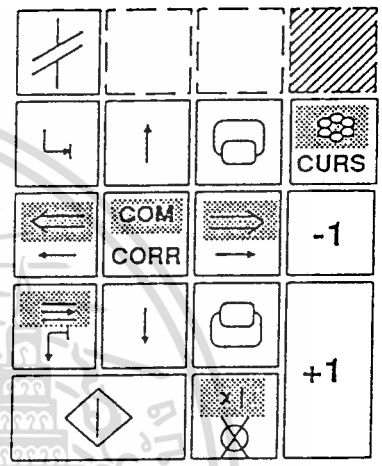
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cursor control

PC 16-20

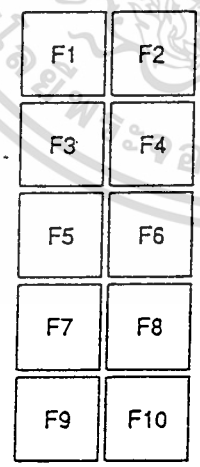


S5 assignment

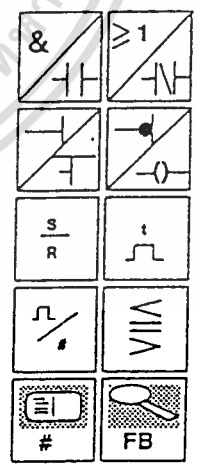


Function keys

PC



S5 assignment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

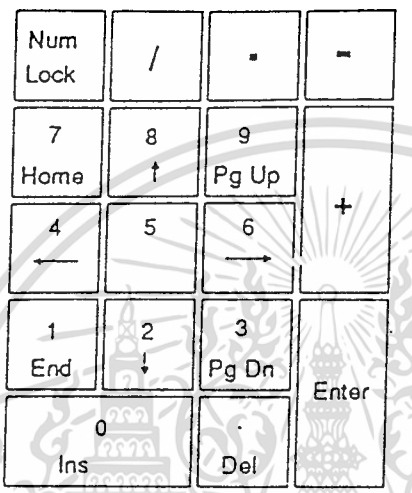
II MFII Keyboard (IBM AT) with S5 Assignment

S5 pin assignment of the MFII keyboard (IBM-AT)

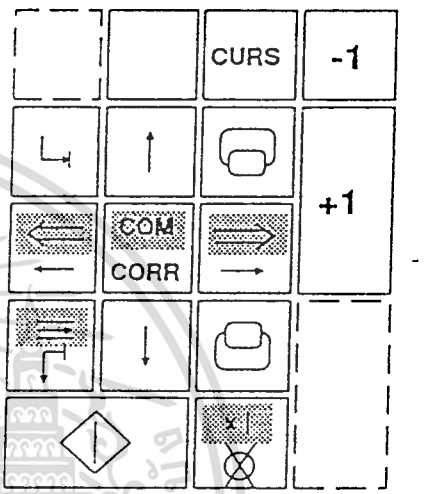
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cursor control

MFII keyboard (IBM-AT)

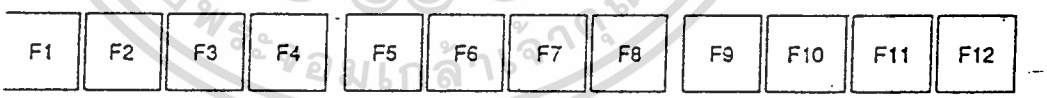


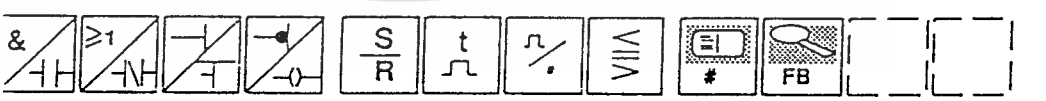
S5 assignment



Function keys

MFII keyboard (IBM-AT) S5 assignment





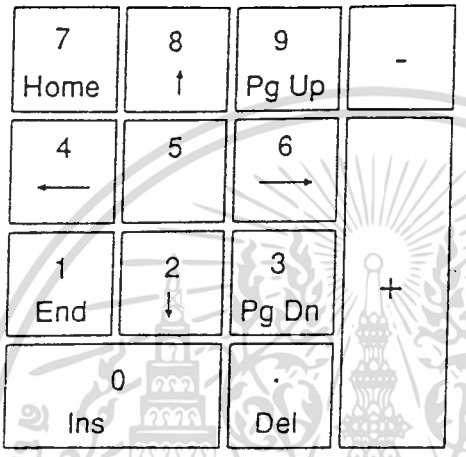
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III MF Keyboard (IBM-XT) with S5 Assignment

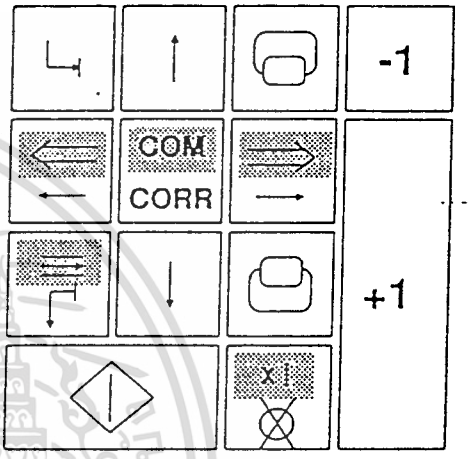
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cursor control

MF keyboard (IBM-XT)

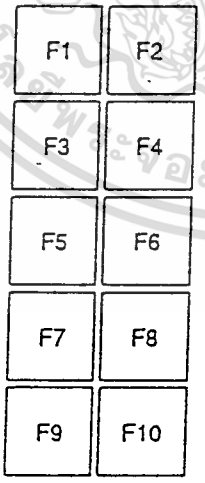


S5 assignment

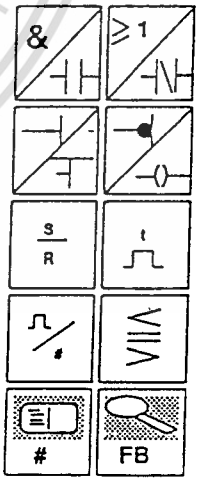


Function keys

MF keyboard (IBM-XT)



S5 assignment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed explanation of the keys

The enter key completes input and stores the data or screen contents. If the programmer prompts a reaction or confirmation from you, e.g. *exit S5 command interpreter?* pressing this key corresponds to "yes".

If you press the return key after, for example, completing an input field, you confirm your input and the cursor jumps to the next input field.

The break key aborts the currently active function or procedure, e.g. printing out or displaying blocks. Any data you have input are neither entered nor saved. When a prompt is displayed on the screen, you can answer "no" by pressing the break key.

If you want to enter a title for a block, press this key. The cursor then jumps to the title line of the segment or data block. Complete your title input by pressing the return key.

In the graphic methods of representation, the cursor jumps to the input fields of the operands and symbols if automatic cursor control is activated.

Using the HELP key, you can obtain information about input fields, the fields marked by the cursor and the contents of the screen form.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With this key, you can switch over from the German character set to the international character set and vice-versa. If the LED is lit in the key, the German character set is selected. The German character set cannot be used in STEP 5 (umlauts).

When you press the hardcopy key, the screen content is printed out.

With this key, you can call the correction mode, e.g. to make corrections in the selected block.

When you press this key in the "STL" method of representation, you can switch over between the display of operand comments and statement comments.

This is a special key for the GRAPH 5 package. Using this key, you switch over to the zoom-in function. Using the zoom-in function, you can program the steps and transitions of a GRAPH 5 sequencer. This key has no function in the STEP AG 90 package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

* ขอขอบคุณ ท่าน รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในด้านวิชาการและคำปรึกษาต่าง ๆ

* ขอขอบคุณ คุณก่อศักดิ์ และคุณศิริพร จงเสรีสกุล จากบริษัท KM & AA ซึ่งให้ความช่วยเหลือในด้านเงินทุนและสถานที่ในการจัดทำโครงงาน

* ขอขอบคุณ ท่าน อ.จำลอง ปราบแก้ว , ท่าน อ.สุทธิพงศ์ ศรีกรารมณ์ , คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ทุกท่าน ซึ่งให้ความสะดวกในการขอสถานที่จัดทำเอกสารประกอบการทำงาน และให้ความช่วยเหลือ แนะนำในเรื่องต่าง ๆ มาโดยตลอด

* ขอขอบคุณ พี่เดี้ยง , พี่ป้อม และพี่ๆ ท่านอื่นๆ ทุกท่าน จากบริษัทเบอร์ลี่ยุคเกอร์ ซึ่งให้คำแนะนำและข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์

* ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ร่วมสถาบัน ซึ่งให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ตลอดมา โดยเฉพาะ เพื่อนเอ้ , เพื่อนพุฒ และน้องมังกร ที่ให้ความอนุเคราะห์ยานพาหนะในการเดินทางไปทำโครงงานเป็นครั้งคราวไป

* สุดท้ายต้องขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ที่รักและเคารพยิ่งของพวกเรา ที่ทำให้พวกเราก้าวมาถึงวันนี้ได้

##########

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Frank P. Incropera and David P. Dewitt , **Introduction to Heat Tranfer** ; 2nd Ed. , New York : John Wiley & Sons , Inc. , 1976
2. Katsuhiko Okata , **Modern Control Engineering** ; 2nd Ed. , Englewood Cliffs , N.J. : Prentice Hall , Inc. , 1990
3. สุพรรณ กุลพาณิชย์ , **Programmable Controller เทคนิคและการใช้งานเบื้องต้น เล่ม 1** , พ.ศ. 2533
4. สุเธียร เกียรติสุนทร , **หลักการทำงานและเทคนิคการประยุกต์ใช้งาน PC/PLC** , พ.ศ. 2531
5. SEIMENS , **SIMATIC S5 100U Programmable Controller Manual** , 1988
6. SEIMENS , **SIMATIC S5 STEP 5 AG 90 Package Manual** , 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้