

ชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม

บทคัดย่อ
ของ
เกศแก้ว ไกรวงศ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2547

เกศแก้ว ไกรวงศ์. (2546). ชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม. ปริญญา
นิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .
คณะกรรมการควบคุม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีดา เพชรมีศรี, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปัญชา
ศิลป์สกุลสุข.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง ด้วยการ
โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจและควบคุมค่า
อุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงโดยใช้เทอร์มอคัปเปิลชนิด K โดยจะควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ 3
ระดับ คืออุณหภูมิที่ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการแกว่งของอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละ
ระดับไม่เกินร้อยละ 1 ดังนั้นชุดควบคุมอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรมมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้
ควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงได้ตามต้องการ

THE PROGRAMMABLE TEMPERATURE CONTROLLER OF THE FURNACE

AN ABSTRACT

BY

KEATKAEW KRAIWONG

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University

May 2004

Keadkaew Kraiwong. (2003) *The Programmable Temperature Controller of the Furnace*.
Master thesis , M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate School , Srinakharinwirot
University. Advisor Committee : Asst. Prof. Prida Pecharamisri, Asst. Prof.
Buncha Silskulsuk .

The purpose of this research is to construct the programmable temperature controller of the furnace by using microcontroller ,AT89C51 chip. The microcontroller will read and control temperature of the furnace at constant values : 500 700 and 900 celsius respectively by using thermocouple type K. We found that the average fluctuation of the temperature is less than 1 % so this device has enough efficiency to control the furnace's temperature.

ชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม

ปริญญาโท
ของ
เกษตรศาสตร์
เกรงศรี

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

พฤษภาคม 2547

ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญาบัตร
เรื่อง

ชุดควบคุมคุณภาพของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม

ของ
นางสาวเกศแก้ว ไกรวงศ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร ณะพานนท์)
วันที่ เดือน พ.ศ.

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีดา เพชรศรี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลป์สกุลสุข)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรมล ปิยะนิละผลิน)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ สมศักดิ์ มณีรัตน์กุล)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยช่วยเหลือ และด้วยความอนุเคราะห์อย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีดา เพชรมีศรี ประธานควบคุมปริญญาโท และผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลป์สกุลสุข กรรมการควบคุมปริญญาโท ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรมล ปิตะนีละผลิน และอาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตน์กุล ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาโท ตลอดจนให้คำแนะนำและแก้ไขปริญญาโท ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.พงษ์แก้ว อุตมสมุทรรักษ์ ที่อนุเคราะห์คำปรึกษาแก้ไขบทคัดย่อ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญาโทจนสำเร็จ

ขอขอบคุณคุณอรุณ อัฐเมือง และคุณเสริมสุข รัตแรง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และอาจารย์ท่านอื่นๆ โรงเรียนพุทธรังสีพิบูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโท วิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา คุณปู่ย่า คุณอาคุณ และทุกๆ คนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เกษแก้ว ไกรวงศ์

สารบัญ

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 1 บทนำ..... | 1 |
| ภูมิหลัง..... | 1 |
| จุดมุ่งหมายของการวิจัย..... | 2 |
| ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| ความสำคัญของงานวิจัย..... | 3 |
| 2 ทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| ไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 4 |
| เตาเผาอุณหภูมิสูง..... | 13 |
| เทอร์มอคัปเปิล..... | 16 |
| วงจรขยายสัญญาณไม่กลับทาง..... | 19 |
| ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล..... | 21 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 22 |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 23 |
| การเก็บรวบรวมข้อมูลและการศึกษาค้นคว้า..... | 23 |
| อุปกรณ์ในงานวิจัย..... | 23 |
| ขั้นตอนการทดลอง..... | 26 |
| 4 ผลการวิจัย..... | 31 |
| 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ..... | 39 |
| บรรณานุกรม..... | 41 |
| ภาคผนวก..... | 44 |
| ประวัติย่อผู้วิจัย..... | 78 |

บัญชีตาราง

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเตาเผาอุณหภูมิสูงกับเวลา..... | 31 |
| 2 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส..... | 36 |
| 3 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส..... | 37 |
| 4 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส..... | 38 |
| 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าจากเทอร์มอคัปเปิล อุณหภูมิของเตาเผา ความต่างศักย์ไฟฟ้าจากวงจรรขยายสัญญาณ และค่าตัวเลข ฐานสิบหก ที่เวลาต่างๆ..... | 73 |

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) และคอมพิวเตอร์ (Computer) และได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรา โดยเป็นส่วนประกอบในระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดเล็ก ทำการแก้ไขและออกแบบได้ง่าย ดังนั้นจึงมีแนวโน้มว่าในอนาคตไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้ามามีบทบาทและพบเห็นได้มากขึ้น

ปัจจุบันนี้ได้มีบริษัทที่ทำการวิจัยและผลิตชิพ(Chip)ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นจำนวนมาก บริษัทหนึ่งที่ทำกรวิจัยและพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือบริษัทอินเทล (Intel) ซึ่งได้สร้างชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้นมาหลายตระกูล ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตระกูลก็ผลิตออกมาหลายรุ่นที่มีความเหมาะสมในการใช้งานควบคุมได้แตกต่างกัน

ตัวอย่างเช่นตระกูลMCS-48 ตระกูลMCS-51 และตระกูล MCS-96 เป็นต้น สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-48 เหมาะกับการควบคุมระบบที่มีขนาดเล็ก ไม่มีความซับซ้อนมากนัก ส่วนตระกูลMCS-51มีหลายรุ่นเช่นชิพเบอร์80C52AH 80C51AH 80C31AH 80C32AH 89C51และ89C52เป็นต้นซึ่งเหมาะกับการควบคุมระบบขนาดกลางที่มีความซับซ้อนและต้องการความเร็วในการทำงานสูงพอสมควรเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนตระกูลMCS-96เหมาะกับการควบคุมระบบขนาดใหญ่ซึ่งมีความละเอียดและซับซ้อนมาก ต้องการการประมวลผลที่มีความเร็วสูงมาก เช่น ควบคุมหุ่นยนต์ เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นที่นิยมใช้กันมาก ทั้งนี้เพราะระบบหรืออุปกรณ์มีขนาดกลางพบเห็นได้ทั่วไปและสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรืออาจใช้ควบคุมระบบที่มีขนาดเล็กแต่ต้องการเสถียรภาพและความเร็วในการทำงานสูง ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัวในตระกูลนี้จะมีการทำงานพื้นฐานที่เหมือนกัน นั่นคือใช้คำสั่งเหมือนกันทุกประการ มีขนาดของชิพเท่ากันเพื่อให้สามารถใช้แทนกันได้ ส่วนรายละเอียดที่ต่างกันของชิพแต่ละเบอร์ที่ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นเรื่อยๆ ได้แก่จำนวนคำสั่งที่เพิ่มมากขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรม ความเร็วในการประมวลผลเพิ่มขึ้น มีวงจรภายในชิพเพิ่มมากขึ้น เช่น มีวงจรรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพิ่มขึ้น มีวงจรไทมเมอร์ (Timer) หรือเคาน์เตอร์ (Counter) เพิ่มขึ้น มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายในชิพเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับงานหรือระบบที่ต้องการนำไปใช้

ควบคุมมากที่สุด จึงนับได้ว่าชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ได้รับการพัฒนาไปค่อนข้างมาก และได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51เบอร์ AT89C51ของบริษัทAtmel เพื่อประยุกต์การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิ โดยเลือกควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงเป็นกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้ใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงที่ได้ ออกแบบและสร้างไว้โดย นายโกวิทย์ บุณยะกาญจน ซึ่งเป็นผลงานวิจัยสำหรับปริญญาโท เรื่อง "การออกแบบและการสร้างเตาปลูกผลึกโซลันเดียม" ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

นายโกวิทย์ บุณยะกาญจน ได้สร้างเตาเผาอุณหภูมิสูงและทดลองหาคุนสมบัติของเตาด้วยการปรับอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงด้วยวิธีปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงปรับค่า (Variac) จึงเกิดปัญหาว่าเมื่อมีการใช้งานเตาเผาอุณหภูมิสูงนี้จะเกิดความไม่สะดวกในการควบคุมอุณหภูมิของเตาคือผู้ใช้จะต้องปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าตลอดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองและออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51ให้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่หลอดความร้อน (Heater) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจค่าอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงตลอดเวลาที่ใช้ งานและควบคุมการเปิดปิดสวิตช์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดความร้อนเพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิของเตาให้คงที่ตามต้องการ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ภาษาแอสเซมบลี (Assembly Language) ซึ่งเป็นภาษาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เนื่องจากสามารถศึกษาและตรวจสอบผลการทำงานได้อย่างชัดเจน

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

สร้างชุดอุปกรณ์และเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51 ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง

ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบวงจรต่อเชื่อมเตาเผาอุณหภูมิสูงกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51
2. เขียนโปรแกรมคำสั่งสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง
3. ทดสอบการทำงานของวงจรและโปรแกรมเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เป็นขั้นๆ ที่ระดับอุณหภูมิ 500 700 และสูงสุดที่ 900 องศาเซลเซียส

ความสำคัญของงานวิจัย

1. ได้ชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สามารถนำชุดควบคุมอุณหภูมิและโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กับการทดลองในทางฟิสิกส์เรื่องอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ

บทที่ 2

ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไมโครคอนโทรลเลอร์

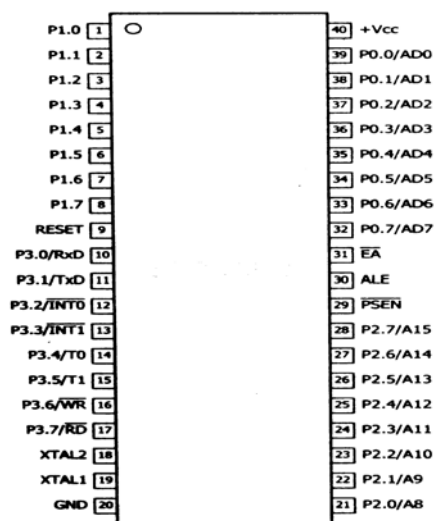
ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยว (Single Chip Microcontroller) คือ แผงวงจรรวมหรือไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่ถูกออกแบบขึ้นมาให้มีขนาดเล็กเพียงชิปเดียว เหมาะสำหรับใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ โดยสามารถทำงานตามชุดคำสั่งที่กำหนดให้ทำได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวตระกูล MCS-51 ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือเบอร์ AT89C51 ของบริษัทAtmelซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำภายในแบบแฟลช(Flash Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์ ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบข้อมูลได้ใหม่ถึงพันครั้ง โดยไม่ต้องใช้หน่วยความจำแบบอีพรอม (EPROM) ภายนอก และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

1. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51ผลิตโดยบริษัท Atmel มีคุณสมบัติสำคัญพื้นฐานเช่น มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมอยู่ในชิปที่สามารถเขียนและลบได้หลายๆครั้งจำนวน 4 กิโลไบต์ ซึ่งสะดวกในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโปรแกรมและมีพื้นที่เพียงพอต่อการใช้งานในงานวิจัยนี้ ใช้ได้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำเพียง 5 โวลต์ชุดเดียว ทั้งยังสามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมด(Mode)ของการทำงานปกติ และการประหยัดพลังงาน

1.1 โครงสร้างภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เป็นวงจรรวมแบบ DIP (Dual Inline Package) มีขาอยู่ข้างละ 20 ขา รวมทั้งหมด 40 ขา โดยรายละเอียดการใช้งานขาต่างๆ มีดังนี้

- (1) ขา 40 เป็นขา Vcc ที่ใช้สำหรับต่อเข้ากับที่ป้อนไฟ 5 โวลต์
- (2) ขา 20 เป็นขา Vss ที่ต่อลงกราวด์ (Ground)
- (3) ขา 32 ถึง 39 (มี 8 ขา) เป็นพอร์ต 0 (Port 0) เรียงกันไปตั้งแต่ P0.0 P0.1... ถึง P0.7 แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) สำหรับใช้งานทั่วไป และใช้เป็นขาติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้เมื่อต้องการขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นด้วยการเพิ่มหน่วยความจำภายนอก



ภาพประกอบ 1 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

ที่มา: วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล (ม.ป.ป.). *เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช*. : 11.

(4) ขา 1 ถึง 8 (มี 8 ขา)เป็นขาพอร์ต 1 (Port 1) คือ P1.0 P1.1 ...ถึง P1.7 พอร์ตนี้ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหน้าทีเดียวเท่านั้น

(5) ขา 21 ถึง 28 (มี 8 ขา)เป็นขาพอร์ต 2 (Port 2) คือ P2.0 P2.1.... ถึง P2.7 แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป และใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

(6) ขา 10 ถึง 17 (มี 8 ขา)เป็นขาพอร์ต 3 (Port 3) คือ P3.0 P3.1ถึง P3.7 แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปและเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังนี้

- P3.0 เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรมหรือเรียกว่า RXD (Serial Input Port)
- P3.1เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรมหรือเรียกว่า TXD (Serial Output Port)

- P3.2 ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะภายนอก 0 หรือเรียกว่า INTO (External Interrupt)
- P3.3 ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะภายนอก 1 หรือเรียกว่า INT1 (External Interrupt)
- P3.4 ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไบต์ของสัญญาณT0หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้ เรียกว่า T0 (Timer/Counter 0 External Input)
- P3.5 ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 1 ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับ T0หรือเรียกว่า T1 (Timer/Counter 1 External Input)
- P3.6 ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอกหรือขาWR (External Data Memory Write Strobe)
- P3.7 ขาสัญญาณควบคุมการอ่านสำหรับหน่วยความจำภายนอกหรือขาRD (External Data Memory Read Strobe)

(7) ขา 9 เป็นขา RST ใช้สำหรับรีเซ็ต (Reset) การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

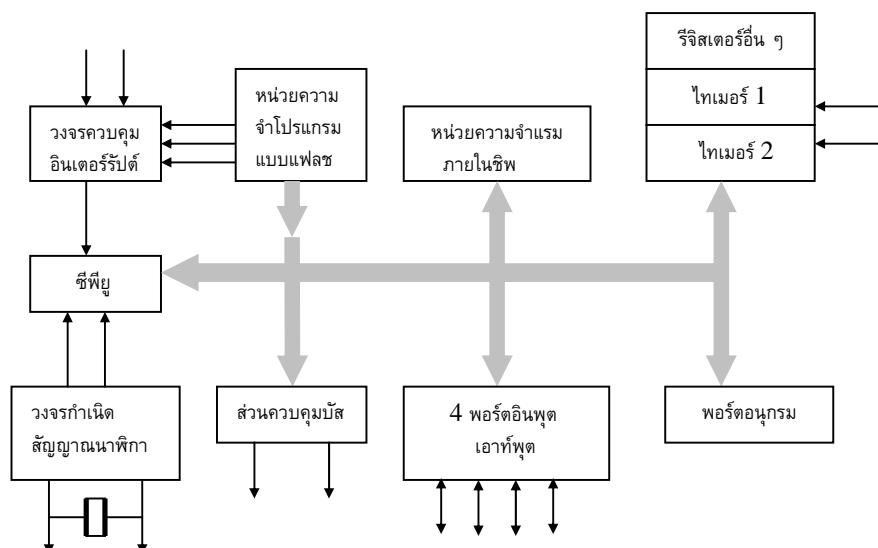
(8) ขา 30 เป็นขา ALE (Address Latch Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณเอาต์พุตและใช้เป็นสัญญาณควบคุมการแลชต์ (latch) สัญญาณตำแหน่งที่ออกมาจากพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก

(9) ขา 29 เป็นขา PSEN (Program Store Enable) ใช้เมื่อต้องการอ่านคำสั่งที่จะนำไปใช้งานจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

(10) ขา 31 เป็นขา EA (External Access) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

(11) ขา 19 และขา 18 เป็นขา XTAL1 และ XTAL2 ตามลำดับ เป็นขาสำหรับต่อคริสตอล(Crystal)เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 โครงสร้างภายใน โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51 ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง(Central processing unit) หน่วยควบคุม(Control unit) หน่วยอินพุต/เอาต์พุต (Input/output unit) และที่สำคัญคือมีหน่วยความจำ(Memory)และรีจิสเตอร์(Registers) นอกจากนี้ยังมีวงจรถ่ายสร้างสัญญาณนาฬิกาดังภาพประกอบ 2



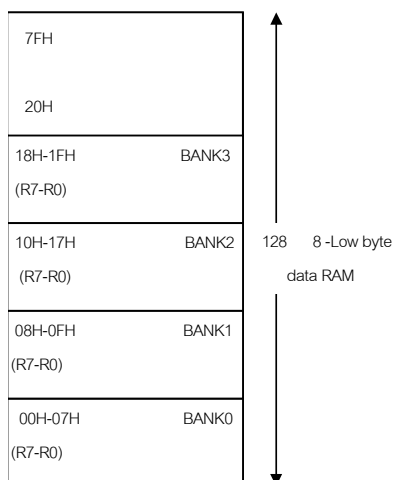
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

1.2.1 หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 มี 2 แบบคือ

- หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Program Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมการทำงาน ซึ่งหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบแฟลช (Flash ROM) อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 จำนวน 4 กิโลไบต์ ซึ่งสามารถลบและเขียนใหม่ได้ทันที ตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมภายในนี้อยู่ที่ 0000H ถึง 0FFFH

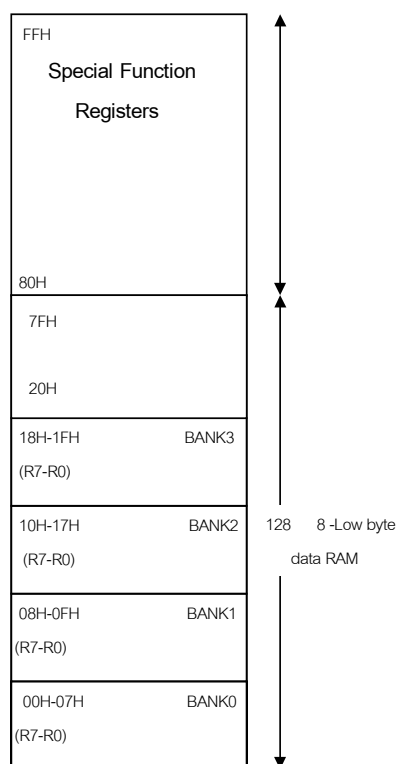
- หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับพักเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน หน่วยความจำแบบนี้เป็นหน่วยความจำชนิด RAM (Random Access Memory) ซึ่งอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 จำนวน 128 ไบต์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH โดยที่ตำแหน่ง 00H - 1FH เป็นรีจิสเตอร์แบงก์ (Register bank) จำนวน 4 แบงก์คือแบงก์ 0 (Bank0) แบงก์ 1 (Bank1) แบงก์ 2 (Bank2) และแบงก์ 3 (Bank3) แต่ละแบงก์มี 8 รีจิสเตอร์คือ R0 R1 R2 R3 ..จนถึง R7 ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลชั่วคราวแบบ 8 บิต และตั้งแต่ 20H - 7FH เป็นหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้



ภาพประกอบ 3 การจัดหน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

1.2.2 รีจิสเตอร์ใช้งานหน้าที่พิเศษ (Special Function Register : SFR)

ภายในชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ยังมีรีจิสเตอร์ใช้งานในหน้าที่พิเศษ เรียกว่ารีจิสเตอร์ SFR มีตำแหน่งอยู่ระหว่าง 80H – 0FFH สามารถเข้าถึงได้โดยตรง (Direct Addressing) พื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ซึ่งซ้อนทับส่วนบนของหน่วยความจำข้อมูลภายใน รายละเอียดของรีจิสเตอร์ SFR มีดังนี้



ภาพประกอบ 4 การจัดหน่วยความจำข้อมูลภายในและรีจิสเตอร์ทำงานพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

- รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW) มีตำแหน่ง 0D0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บสถานะบิตต่างๆ เอาไว้ดังนี้

| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CY | AC | F0 | RS1 | RS0 | OV | - | P |

| บิต | สัญลักษณ์ | ตำแหน่ง | รายละเอียด |
|-----|-----------|---------|--|
| 7 | CY | 0D7H | แฟลกทด (Carry Flag) |
| 6 | AC | 0D6H | แฟลกทดเสริม (Auxiliary Carry flag) |
| 5 | F0 | 0D5H | แฟลกใช้งานทั่วไป |
| 4 | RS1 | 0D4H | บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select1) |

| | | | |
|---|-----|------|--|
| 3 | RS0 | 0D3H | บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select0) |
| 2 | OV | 0D2H | บิตเกิน (Overflow) |
| 1 | - | 0D1H | สงวนไว้ (ไม่ใช่) |
| 0 | P | 0D0H | บิตพาริตี (Parity) |

- แอ็กคิวมูเลเตอร์ (Accumulator : ACC) มีขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 0E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล หรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้ให้แก่ซีพียู (CPU) เพื่อทำการประมวลผลต่อไป เรียกสั้นๆ ว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC รีจิสเตอร์นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

- รีจิสเตอร์ B มีขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 0F0H มีหน้าที่พิเศษคือ หากต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ ต้องนำข้อมูลที่ต้องการคูณหรือหารมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำคำสั่งคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป และสามารถใช้อีจิสเตอร์ B นี้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้ และยังสามารเข้าถึงในระดับบิตได้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) มีขนาด 16 บิตมีหน้าที่แจ้งตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่าดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนตามที่กำหนดไว้หรือไม่

- สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP) มีขนาด 8 บิตอยู่ที่ตำแหน่ง 81H ใช้ในการเก็บค่าตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อยหรือกระโดดจากโปรแกรมย่อยกลับมาโปรแกรมหลักเมื่อมีการรีเซต(Reset)เกิดขึ้น

- รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือดาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer : DPTR) มีขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีตำแหน่งอยู่ที่ 82H สำหรับ DPL และ 83H สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DPTR นี้ใช้ในการเก็บค่าตำแหน่งของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

- รีจิสเตอร์พอร์ต (Port Register) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มี 4 ตัวคือรีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 อยู่ที่ตำแหน่ง 80H รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 อยู่ที่ตำแหน่ง 90H รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 อยู่ที่ตำแหน่ง 0A0H และ รีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 อยู่ที่ตำแหน่ง 0B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต

เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง

- รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 99H ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้าของวงจรรีจิสเตอร์อนุกรมที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (Transmit Buffer Register) และ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (Receive Buffer Register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TXD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RXD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- รีจิสเตอร์ไทมเมอร์ (Timer register) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต แบ่งเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ไทมเมอร์ใช้ในการเก็บค่าตัวนับหรือเคาน์เตอร์ (Counter) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลาหรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายในบางที่เรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่า รีจิสเตอร์ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ มี 2 ตัว แบ่งเป็น T0 หรือ Timer 0 และ T1 หรือ Timer 1 ในรีจิสเตอร์ยังแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทมเมอร์ไบต์ต่ำ (TL) และรีจิสเตอร์ไทมเมอร์ไบต์สูง (TH) โดยรีจิสเตอร์ TLO อยู่ที่ตำแหน่ง 8AH รีจิสเตอร์ TH0 อยู่ที่ตำแหน่ง 08BH ในขณะที่ TL1 และ TH1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8CH และ 8DH

- รีจิสเตอร์ควบคุม (Control register)

- รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของ วงจรรีจิสเตอร์อนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

- รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรรีจิสเตอร์อนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

- รีจิสเตอร์ TCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

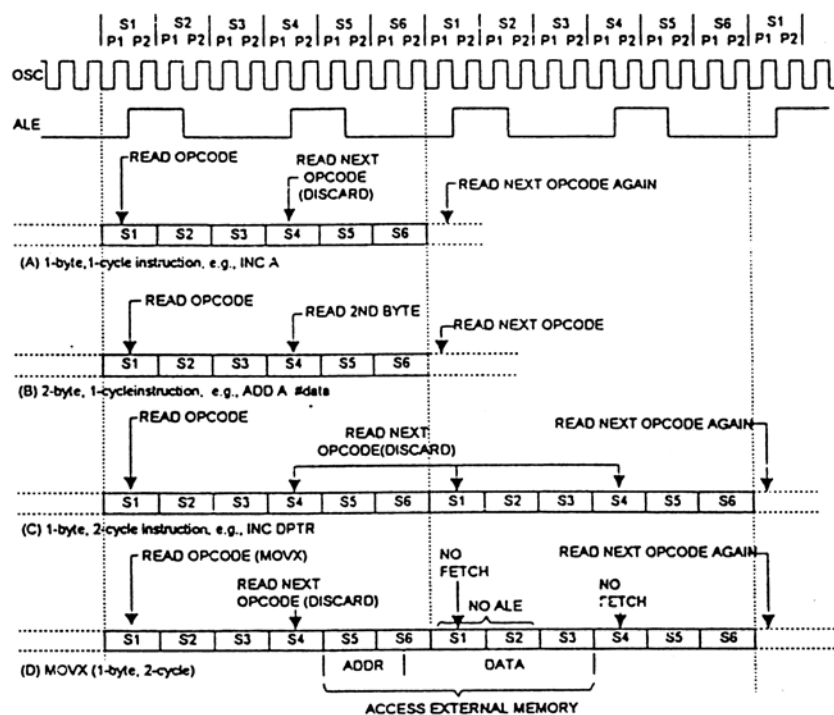
- รีจิสเตอร์ TMOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะในการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

- รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt : การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับใช้ในการกำหนด

ลักษณะการตอบสนองการอินเทอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเทอร์รัปต์

2. จังหวะการทำงานของ MCS-51

การทำงานของ MCS-51 ผู้ใช้จะต้องเขียนโปรแกรมเป็นภาษาแอสเซมบลีที่เก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ละคำสั่งอาจจะประกอบด้วย 1 หรือ 2 หรือ 3 ไบต์ (Byte) ก็ได้ จังหวะเวลาในการทำงานคือการเริ่มต้นด้วยจังหวะการเฟตช์(Fetch)คำสั่งและตามด้วยจังหวะการทำงานหรือเอ็กซีคิวต์(Execute)ซึ่งการทำงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์



ภาพประกอบ 5 แสดงลำดับสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

ที่มา:พิพัฒน์ เลาสงคราม. (2537). ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51. : 160.

จากภาพประกอบ 5 ในหนึ่งแมชชีนไซเคิล (Machine Cycle) คือช่วงเวลาตั้งแต่ S1 ถึง S6 ซึ่งจะใช้เวลา 12 คาบของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ หากใช้ออสซิลเลเตอร์ความถี่ 12 MHz จะได้ว่าใน 1 แมชชีนไซเคิลใช้เวลา 1 ไมโครวินาที ดังนั้นการทำงานใน 1 คำสั่งต่ำสุดจะกินเวลาเพียง 1 ไมโครวินาที

ภาพประกอบ 5 (A) แสดงการทำงานของคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ ทำงานเสร็จภายใน 1 แมชชีนไซเคิล

ภาพประกอบ 5 (B) แสดงการทำงานของคำสั่ง ADD A,# data ซึ่งเป็นคำสั่ง 2 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จภายใน 1 แมชชีนไซเคิล

ภาพประกอบ 5 (C) แสดงการทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จภายใน 2 แมชชีนไซเคิล

ภาพประกอบ 5 (D) แสดงการทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จภายใน 2 แมชชีนไซเคิล

เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)

เตาเผาอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการหลอมโลหะ ในอดีตใช้เชื้อเพลิงจำพวกถ่านหิน ไม้ฟืน เป็นแหล่งให้ความร้อนในการหลอมหรือเผา ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมาก และต้องหาจากทรัพยากรธรรมชาติ มีผลทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม เตาเผาอุณหภูมิสูงดังกล่าวนี้ให้ความร้อนไม่คงที่และขนาดของเตาใหญ่มาก ปัจจุบันได้นำเอาลวดความร้อนมาเป็นแหล่งให้ความร้อนแทนแหล่งเชื้อเพลิง โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ลวดความร้อน

1. เตาเผาอุณหภูมิสูงแบ่งตามแหล่งให้ความร้อน

1.1 เตาแก๊ส (Gaseous Fuel Furnace) เตาชนิดนี้จะใช้การเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในการผลิตความร้อน เช่น โพรเพน (Propane) ไฮโดรเจน (Hydrogen) เป็นต้น

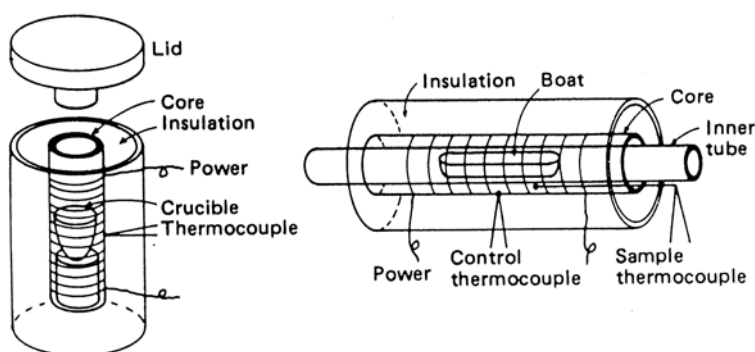
1.2 เตาไฟฟ้า เตาชนิดนี้จะให้ความร้อนโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ลวดความร้อนประกอบด้วย

1.2.1 เตาไฟฟ้าแบบลวดความต้านทาน (Resistance-heat Furnace) เตาอุณหภูมิสูงชนิดนี้ใช้ลวดความร้อนที่มีความต้านทานสูงเป็นแหล่งให้ความร้อน โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ลวดความร้อน และลวดความร้อนนั้นจะให้ความร้อนออกมา

1.2.2 เตาไฟฟ้าที่ใช้แท่งซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide muffle Furnace) เตาอุณหภูมิสูงชนิดนี้ใช้ลดความร้อนที่ทำด้วยแท่งซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยจะให้อุณหภูมิได้ประมาณ 1500 องศาเซลเซียส

1.2.3 เตาไฟฟ้าที่ใช้ลดความร้อนโมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ (Molybdenum Disilicide Box-Furnace) เตาชนิดนี้เป็นเตาที่ใช้ลดความร้อนที่มีส่วนประกอบเป็นเซรามิก(Ceramic) คือ โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์

1.2.4 เตาไฟฟ้าที่ใช้ท่อกราไฟต์ (Graphite-tube Furnace) เป็นสารคาร์บอนที่อยู่ในรูปกราไฟต์ มีลักษณะเป็นท่อหรือกระบอกกลวง การจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องป้องกันความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้าที่ปลายแต่ละด้านของท่อทรงกระบอก เตาเผาอุณหภูมิสูงชนิดที่วางตามแนวนอนมีลักษณะโครงสร้างภายนอกคล้ายกับเตาที่ใช้ในงานวิจัย ดังภาพประกอบ 6



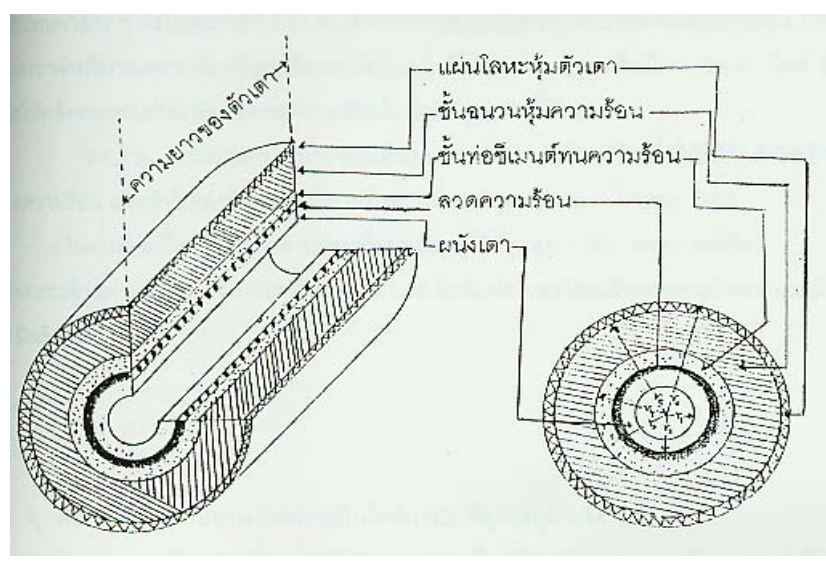
ภาพประกอบ 6 ลักษณะของเตาไฟฟ้าที่ใช้ท่อกราไฟต์ (Core) เป็นตัวให้ความร้อน

ที่มา: พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และคณะ. (2543). การพัฒนาเตาอุณหภูมิสูงแบบปรับอากาศได้ สำหรับการเผาผลาญ. : 4.

2. เตาเผาอุณหภูมิสูงที่ใช้ในงานวิจัย

เตาเผาอุณหภูมิสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเตาไฟฟ้าแบบลดความต้านทาน โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ลดความร้อน และลดความร้อนนั้นจะให้ความร้อนออกมา ลักษณะเตาเป็นทรงกระบอกตามแนวนอน ผนังเตาใช้ท่ออลูมินาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5.6 เซนติเมตร

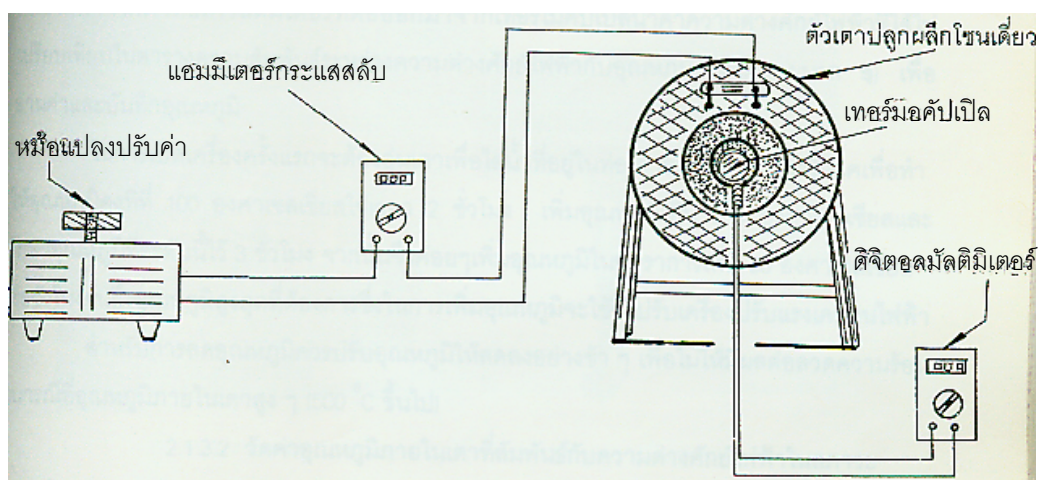
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.3 เซนติเมตร ความยาวเตา 60 เซนติเมตร ปริมาตรช่องว่างภายในเตา 871.32 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผนังเตาหุ้มด้วยแผ่นใยเซรามิก(Ceramic Fiber) ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1600 องศาเซลเซียส ผนังด้านนอกทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร หุ้มรอบตัวเตา เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ฝาปิดเตาหล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ C-16 ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1600 องศาเซลเซียส ประกบติดกับขาสแตนเลส ใช้ลวดความร้อนแคนทัล เอเอฟ (Kanthal-AF) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร มีความต้านทาน 1.78 โอห์มต่อเมตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 9.09 แอมแปร์ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2000 วัตต์ ให้ อุณหภูมิได้สูงสุด 1200 องศาเซลเซียส โครงสร้างเตาแสดง ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ภาคตัดขวางแสดงการวางชั้นวัสดุที่ประกอบเป็นเตาเผาอุณหภูมิสูง

ที่มา: โกวิทย์ บุญยะกาญจน. (2539). การออกแบบและสร้างเตาปลูกผลึกโซลิตเดี่ยว. : 36.

การทำงานของเตาเผาอุณหภูมิสูงใช้หม้อแปลงปรับค่าเป็นตัวควบคุมเผาอุณหภูมิภายในเตา โดยสามารถปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 260 โวลต์ และใช้เทอร์มอคัปเปิลชนิด R เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเตาเผาอุณหภูมิสูง

ที่มา: โกวิทย์ บุญยะกาญจน. (2539). การออกแบบและสร้างเตาปลุกผลึกโซนเดี่ยว. : 41.

เตาเผาอุณหภูมิสูงนี้สามารถให้ความร้อนที่ตำแหน่งกึ่งกลางเตาประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้อุณหภูมิได้สูงสุด และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวของท่อเตาจะค่อยๆ ลดลงจากกึ่งกลางเตาจนถึงตำแหน่งปลายท่อเตาทั้งสองข้าง

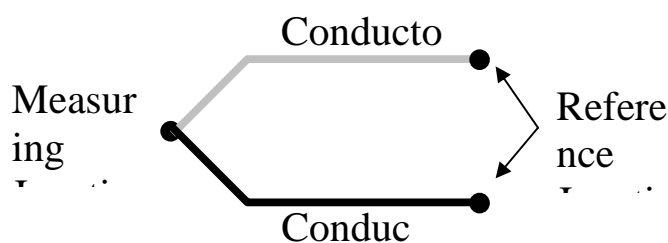
เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิมีหลายประเภท เช่น เทอร์มอมิเตอร์ (Thermometer) เทอร์มอมิเตอร์แบบหลอดแก้ว เทอร์โมคัปเปิล ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer) เป็นต้น เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดอื่น โดยสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ อุณหภูมิต่ำสุดใกล้ศูนย์องศาสัมบูรณ์ และสูงสุดถึง 2000 องศาเซลเซียส

หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล เป็นไปตามปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือถ้าเผาโลหะแท่งหนึ่งให้ร้อนที่ปลายข้างหนึ่ง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองข้างของแท่งโลหะจะทำให้สมดุลของอิเล็กตรอน (Electron) ภายในแท่งโลหะเปลี่ยนไป อิเล็กตรอนส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่จากปลายด้านที่อุณหภูมิสูงกว่าไปรวมอยู่ที่ปลายด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ

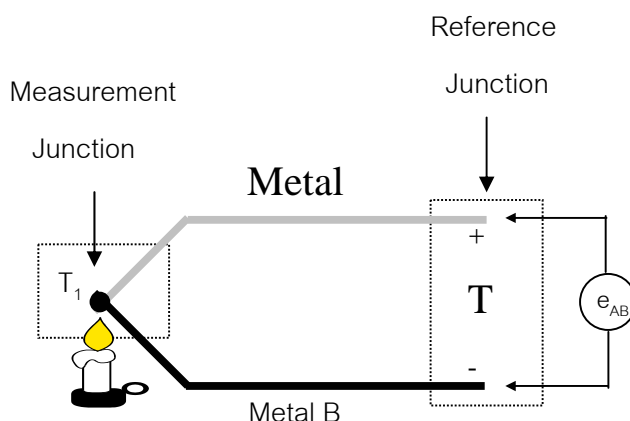
กว่า ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของแท่งโลหะ ขนาดของความต่างศักย์ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและความแตกต่างของอุณหภูมิ

เทอร์มอคัปเปิลคืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ประกอบด้วยตัวนำไฟฟ้า(Conductor) ซึ่งเป็นโลหะหรือโลหะผสมสองชนิดที่แตกต่างกันทางโครงสร้างอะตอม โดยนำปลายข้างหนึ่งมาเชื่อมต่อกันลักษณะของการเชื่อมต่อของเทอร์มอคัปเปิลเป็นดังภาพประกอบ 9 จุดที่เชื่อมต่อเรียกว่า จุดวัดอุณหภูมิ(Measuring Junction) และปลายอีกข้างหนึ่งปล่อยให้เรียกว่า จุดอ้างอิง (Reference Junction)



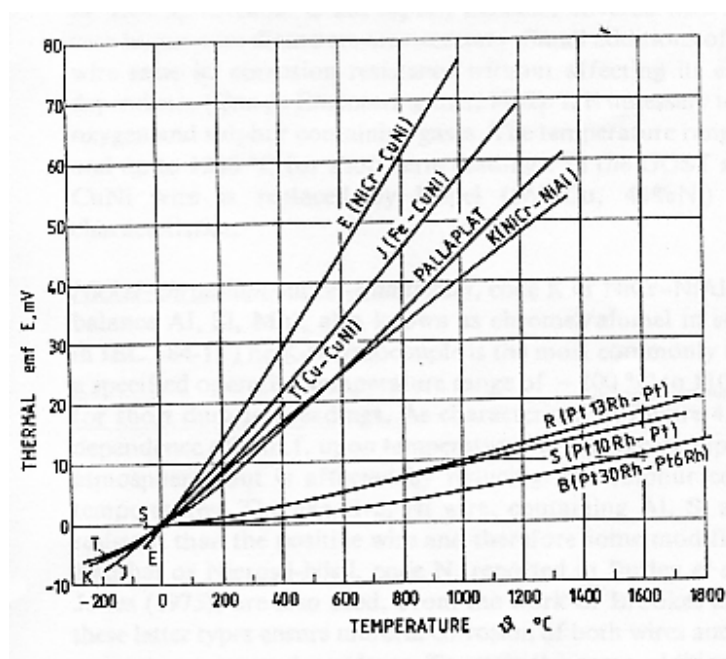
ภาพประกอบ 9 เทอร์มอคัปเปิล

เทอร์มอคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกัน จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างที่ตำแหน่งจุดอ้างอิงของเทอร์มอคัปเปิลดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 หลักการทำงานของเทอร์มอคัปเปิล

ในการใช้งานเทอร์มोकัปเปิลวัดอุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้นั้นจะแปลงเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าของเทอร์มोकัปเปิลแต่ละชนิดไม่ได้เปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น แต่จะคล้ายกราฟพาราโบลา (Parabolic Curve) ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้า

ที่มา: L Michalski K Eckersdorf and J McGhee. (1991). *Temperature Measurement*. : 50.

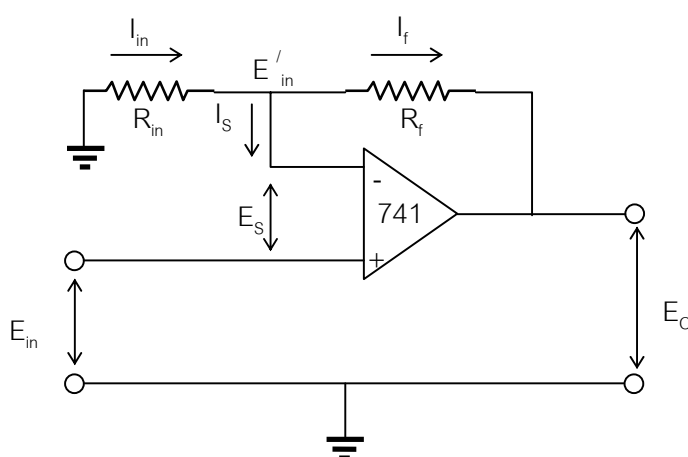
เทอร์มोकัปเปิลส่วนใหญ่มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน IEC 584-1 (IEC 584 Part 1 International Electro-technical Commission) ซึ่งได้แบ่งเทอร์มोकัปเปิลออกเป็น 7 ชนิด ตามชนิดวัสดุที่ใช้ทำเทอร์มोकัปเปิล ได้แก่ เทอร์มोकัปเปิลชนิด T (Copper/Constantan) เทอร์มोकัปเปิลชนิด E (Nikel-Chromium/ Constantan) เทอร์มोकัปเปิลชนิด J (Iron/ Constantan) เทอร์มोकัปเปิลชนิด K (Nikel-Chromium/Nickel-Aluminium) เทอร์มोकัปเปิลชนิด S (Platinum-10%Rhodium/Platinum) เทอร์มोकัปเปิลชนิด R (Platinum-13%Rhodium/Platinum) และ

เทอร์มอคัปเปิลชนิด B (Platinum-30%Rhodium/Platinum-6%Rhodium) สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้
เทอร์มอคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

เทอร์มอคัปเปิลชนิด K โลหะที่ใช้คือ นิกเกิล – โครเมียม(Nickel -Chromium) และนิกเกิล –
อะลูมิเนียม (Nickel – Aluminium) NiCr – NiAl (90%Ni,10%Cr - 95%Ni, Al or Si) หรือรู้จักกัน
ทั่วไปในชื่อ โครเมล(Cromel)/อลูเมล(Alumel) เทอร์มอคัปเปิลชนิดนี้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ
-250 องศาเซลเซียส ถึง 1100 องศาเซลเซียส และอาจขยายได้ถึง 1300 องศาเซลเซียส

วงจรรขยายสัญญาณไม่กลับทาง (Non-inverting Op Amp)

เนื่องจากเทอร์มอคัปเปิลซึ่งใช้วัดอุณหภูมิจากเตาเผาอุณหภูมิสูงจะแปลงค่าอุณหภูมิ
เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงต้องขยายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้สูงขึ้น โดยเลือกใช้วงจรรขยาย
สัญญาณไม่กลับทาง ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 12 วงจรรขยายสัญญาณไม่กลับทาง

จากภาพประกอบ 12 สัญญาณที่ต้องการขยายเข้าที่ทางเข้าบวก ที่ทางเข้าลบเป็น
สัญญาณที่แบ่งมาจากทางออกโดยวงจรแบ่งศักย์ไฟฟ้าที่มีตัวต้านทาน R_f และ R_{in} จากการที่ไม่มี
กระแสไหลเข้าที่ขั้วทางเข้า ($I_s = 0$) ความต่างศักย์ระหว่างขั้วทางเข้าเท่ากับศูนย์ ($E_s = 0$) จึงทำ
ให้ศักย์ไฟฟ้า $E_{in} = E'_{in}$ ได้กระแสทางเข้าคือ

$$I_{in} = \frac{E'_{in}}{R_{in}}$$

หรือ

$$I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}} \dots\dots\dots(1)$$

ความต้านทานที่ทางเข้าของออปแอมป์สูงมาก จะทำให้ $I_S = 0$

$$I_{in} = I_f \dots\dots\dots(2)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} E_O &= I_f \blacksquare R_{in} + R_f \text{ ()} \\ &= I_{in} \blacksquare R_{in} + R_f \text{ ()} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

แทนค่า I_{in} จากสมการ 1 ลงในสมการ 3 ได้

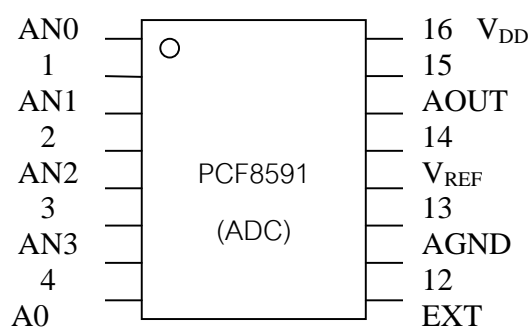
$$E_O = \frac{E_{in}}{R_{in}} \blacksquare R_{in} + R_f \text{ ()} \dots\dots\dots(4)$$

เขียนในรูปอัตราขยายได้เป็น

$$\frac{E_O}{E_{in}} = \frac{\blacksquare R_{in} + R_f \text{ ()}}{R_{in}} \dots\dots\dots(5)$$

ตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อก(Analog)เป็นสัญญาณดิจิทัล(Digital)

ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกจากเทอร์มอคัปเปิลให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ในงานวิจัยนี้ใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ซึ่งมีช่องการแปลงสัญญาณขนาด 8 บิต 4 ช่องสัญญาณ และทำงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 2.5 ถึง 6 โวลต์



ภาพประกอบ 13 การจัดขา PCF8591

ไอซีเบอร์ PCF8591 เป็นไอซีแบบ 16 ขา คือ

- ขา 1-4 (AN0-AN3) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณแอนะล็อก
- ขา 5-7 (A0-A2) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลตำแหน่งทางฮาร์ดแวร์(Hardware) ปกติต่อกราวด์ ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ต้องต่อขา A0-A2 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด

- ขา 8 (Vss) เป็นขาต่อกราวด์
- ขา 9-10 (SDA,SCL) เป็นขาเชื่อมต่อบัส
- ขา 11 (OSC) เป็นขาสำหรับต่อสัญญาณนาฬิกาภายนอก
- ขา 12 (EXT) เป็นขาสำหรับเลือกสัญญาณนาฬิกา
- ขา 13 (AGND) เป็นขากราวด์แรงดันอ้างอิง
- ขา 14 (V_{REF}) เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V
- ขา 15 (AOOUT) เป็นขาเอาต์พุต
- ขา 16 (V_{DD}) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2V ถึง +6V ปกติใช้ +5V

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2539 โกวิทช์ บุญยะกาญจน ได้ออกแบบและสร้างเตาปลูกผลึกโซนเดี่ยวรูปทรงกระบอกตามแนวนอนประเภทลดความต้านทานที่ให้ความร้อนโดยอ้อมด้วยพลังงานไฟฟ้า การทำงานของเตาใช้หม้อแปลงปรับค่าเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิภายในเตา สามารถปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 260 โวลต์ มีเทอร์มอคัปเปิลชนิด R เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยจะวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวนอนของเตา

ปี พ.ศ. 2541 ต่อตระกูล ใจสุข และสมคิด ไชยยศ ได้สร้างเครื่องควบคุมการปิด-เปิดไฟอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตั้งเวลาปิด-เปิดได้โดยผ่านคีย์บอร์ด สามารถควบคุมอุปกรณ์ได้ 4 อุปกรณ์ ใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกประเภทที่ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ ไม่จำเป็นต้องเป็นไฟฟ้าแสงสว่างอย่างเดียว และสามารถตรวจสอบได้ว่าอุปกรณ์อยู่ในสภาวะปิดหรือเปิด หากต้องการปรับเปลี่ยนสภาวะก็สามารถทำได้ทันที

ปี พ.ศ. 2541 ศุภฤกษ์ เลิศไกร และสกวรัตน์ ทองประยูร ได้สร้างเครื่องควบคุมการปิด-เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์ที่มีอยู่ตามบ้านเรือนให้เกิดประโยชน์สูงสุด ระบบที่ออกแบบนี้เป็นระบบที่ป้องกันการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจากการลัดวงจรใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเมื่อออกไปทำธุระนอกบ้าน และเป็นการป้องกันภัยได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่สามารถตั้งอุณหภูมิและรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ตามความต้องการ

ปี พ.ศ. 2542 ศักดา กุศลพูนจิต และสุขสันต์ การทิพย์ ได้สร้างชุดควบคุมอุณหภูมิแบบตั้งโปรแกรม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความร้อน และใช้ไอซีตรวจจับอุณหภูมิเบอร์ DS1820 ซึ่งให้อาตัพุดออกมาเป็นดิจิตอล วัดอุณหภูมิในย่าน 0 องศาเซลเซียส ถึง 120 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการศึกษาค้นคว้า

1. ศึกษาค้นคว้าการทำงานของเตาเผาอุณหภูมิสูง
2. ศึกษาค้นคว้าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ศึกษาค้นคว้าการทำงานของเทอร์มอคัปเปิล
4. ศึกษาค้นคว้าการเขียนโปรแกรมคำสั่งที่ใช้สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ

ควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยใช้ภาษาแอสแซมบลี

อุปกรณ์ในงานวิจัย

1. ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

งานวิจัยนี้ได้ประกอบชุดควบคุมอุณหภูมิมินิบอร์ดของเนกประสงค์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (EX-51) ของบริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์จำกัด ซึ่งส่วนประกอบของชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังต่อไปนี้

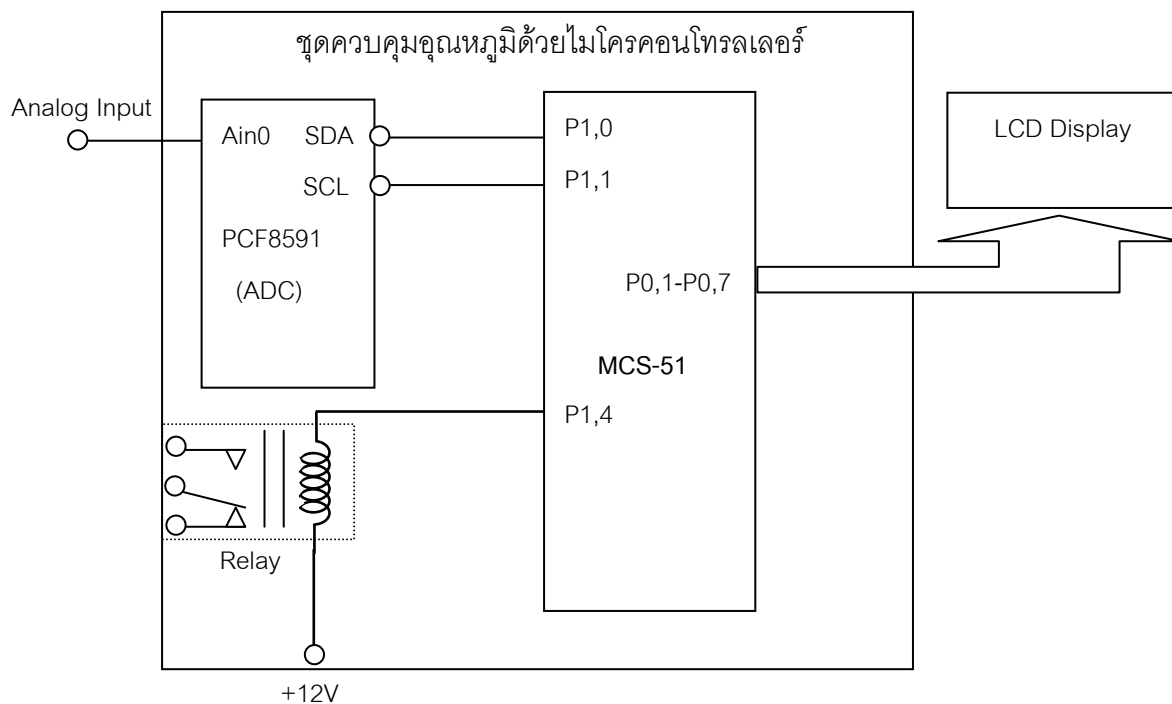
1.1 ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ของบริษัท Atmel มีหน่วยความจำแบบแฟลชจำนวน 4 กิโลไบต์ มีพอร์ตการใช้งาน 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 พอร์ต 1 พอร์ต 2 และพอร์ต 3 โดยพอร์ต 0 ใช้เป็นพอร์ตแสดงผล พอร์ต 1 เป็นพอร์ตอินพุตข้อมูล และควบคุมสวิทช์รีเลย์ในการเปิดปิดหลอดความร้อนของเตา ส่วนพอร์ต 3 ใช้ต่อร่วมกับส่วนแสดงผล เพื่อเป็นตัวกำหนดสถานะการรับเขียนอ่านข้อมูล และเป็นตัวเซตการทำงาน

1.2 ส่วนแสดงผล เป็นแบบ LCD(Liquid Crystal Displays)ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด (16 1)

1.3 สวิตช์รีเลย์ (Relay Switch) ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่หลอดความร้อนของเตาเผาอุณหภูมิสูง

1.4 ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเบอร์ PCF8591

ภาพประกอบ 14 แสดงส่วนประกอบของชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

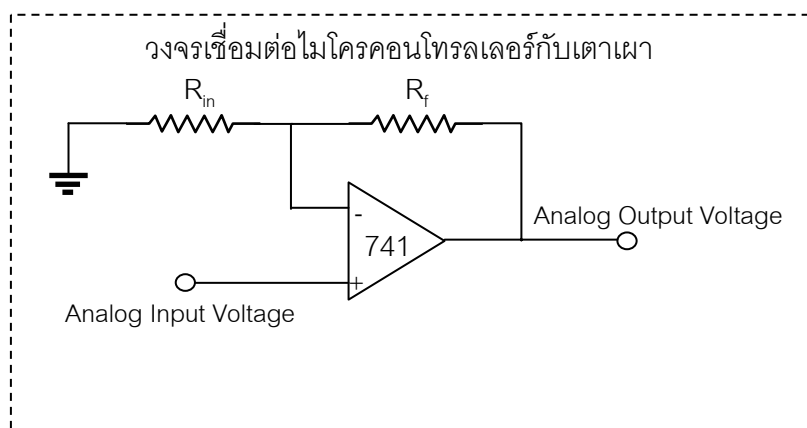


ภาพประกอบ 14 ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2. วงจรเชื่อมต่อเตาเผาอุณหภูมิสูงกับไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากเทอร์มอคับเปิลซึ่งใช้วัดอุณหภูมิจากเตาเผาอุณหภูมิสูงจะแปลงค่าอุณหภูมิเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า(Voltage)ที่มีค่าน้อยประมาณ 37.33 มิลลิโวลต์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จึงต้องขยายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้ให้สูงขึ้นประมาณ 4.5 โวลต์ ด้วยวงจขยายสัญญาณไม่กลับทาง หรือขยายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นตามต้องการดังภาพประกอบ

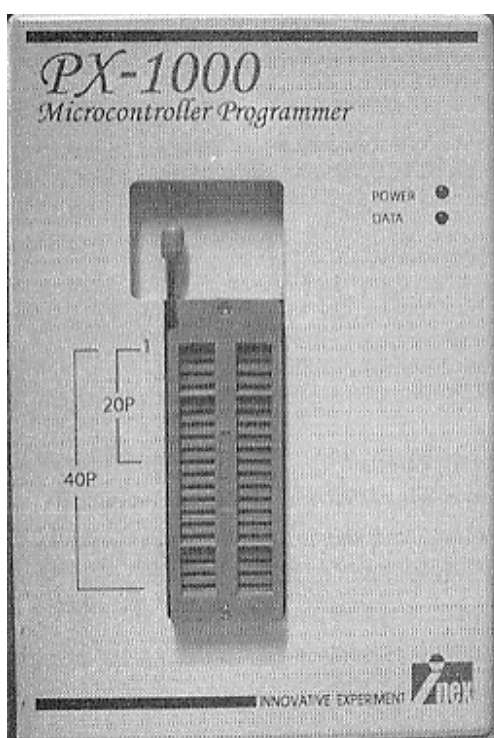
15



ภาพประกอบ 15 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเตาเผา

3. เครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PX-1000 ของบริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเขียน (Write) โปรแกรม หรือโปรแกรมคำสั่งควบคุม อุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้นลงบนชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ซึ่งต้องใช้งานร่วมกับโปรแกรม flash-X ที่มีฟังก์ชันการทำงานสำหรับการเขียนและการอ่านข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำอื่นๆ ที่สามารถเขียนและอ่านได้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel



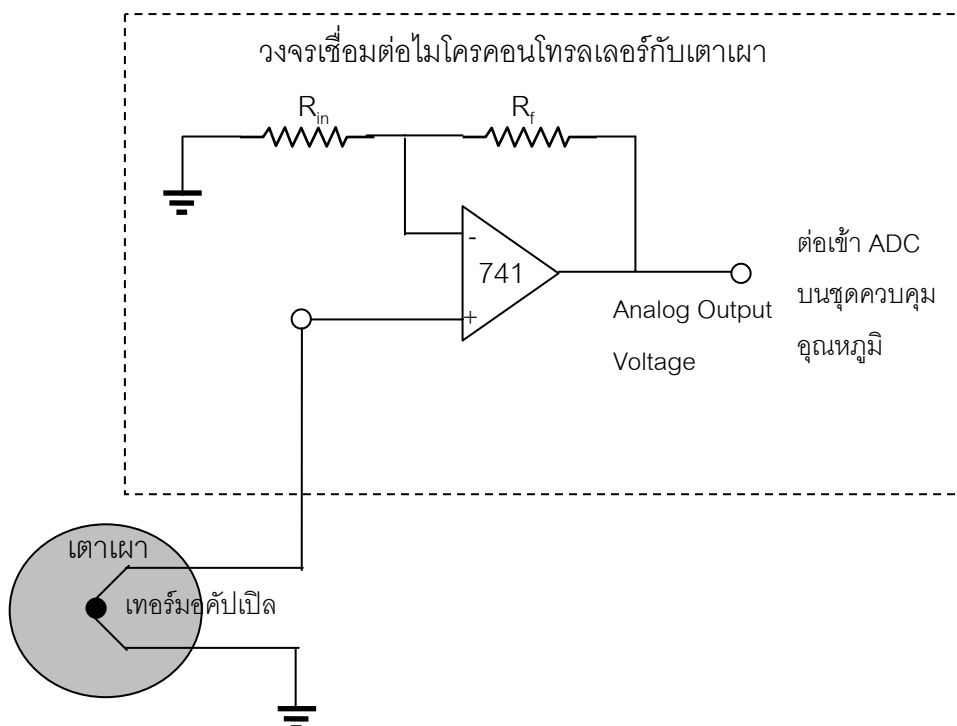
ภาพประกอบ 16 เครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา: วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และชัยวัฒน์ ลี้มพรจิตรวิไล (ม.ป.ป.). *เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช*. หน้า 184.

ขั้นตอนการทดลอง

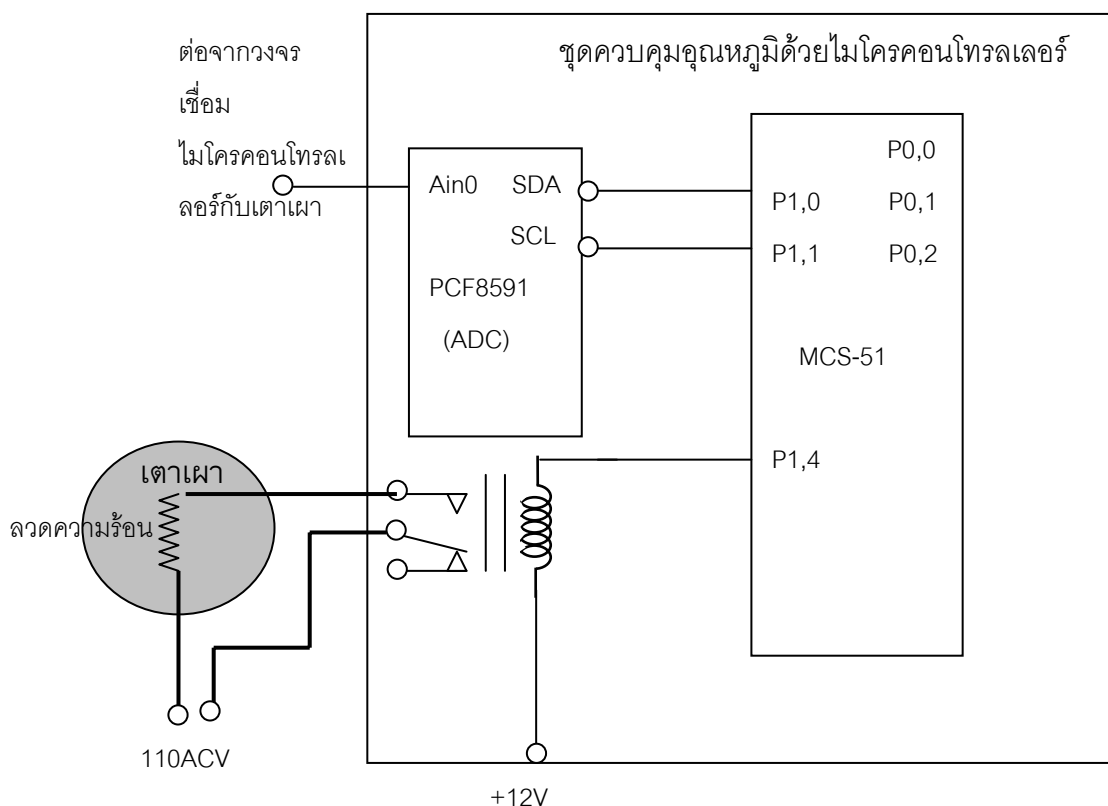
ตอนที่ 1 ขั้นตอนการประกอบเครื่องมือ

1. ประกอบเทอร์มอคัปเปิลซึ่งเป็นหัววัดอุณหภูมิเข้ากับวงจรเชื่อมต่อเตาเผาอุณหภูมิสูงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังภาพประกอบ 17



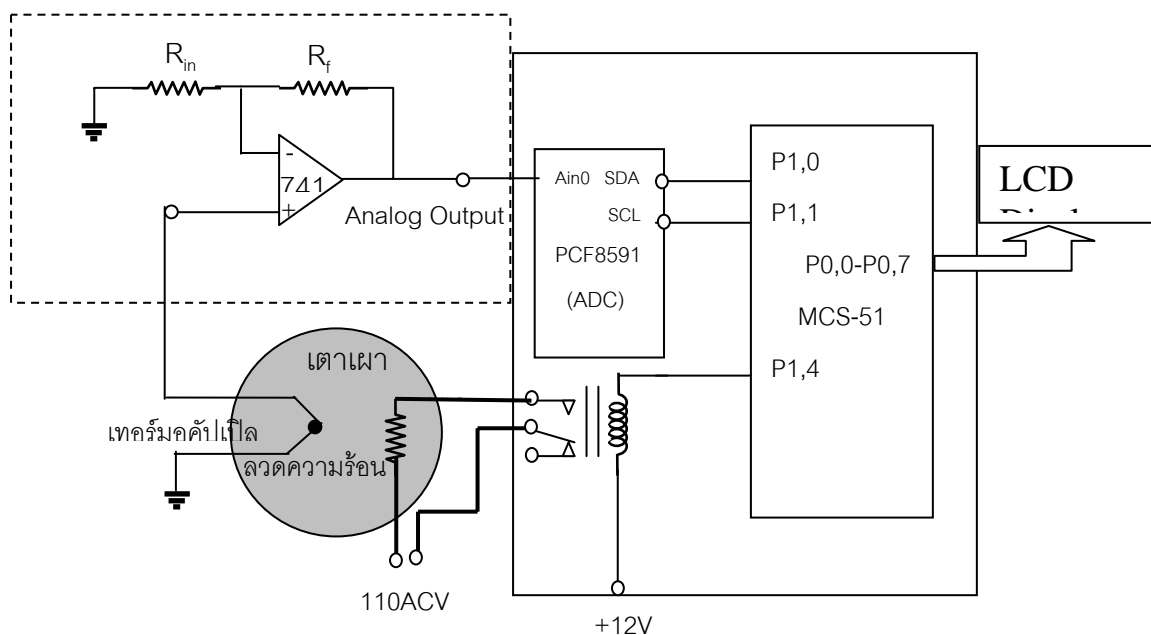
ภาพประกอบ 17 แสดงการต่อเทอร์มอคัปเปิลกับวงจรเชื่อมต่อระหว่างเตาเผาอุณหภูมิสูงกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2. ประกอบชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับขดลวดความร้อนของเตาเผาอุณหภูมิสูงผ่านทางสวิตช์รีเลย์บนชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงการต่อขดลวดความร้อนจากเตาเผาผ่านทางรีเลย์บนชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3. จากข้อ 1 และ 2 จะได้ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบเข้ากับวงจรเชื่อมต่อเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยต่อสายสัญญาณแอนะล็อกของความต่างศักย์ไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อเข้ากับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลบนชุดควบคุมอุณหภูมิ และต่อขดลวดความร้อนของเตาเผาอุณหภูมิสูง ผ่านทางสวิตช์รีเลย์บนชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังภาพประกอบ 19



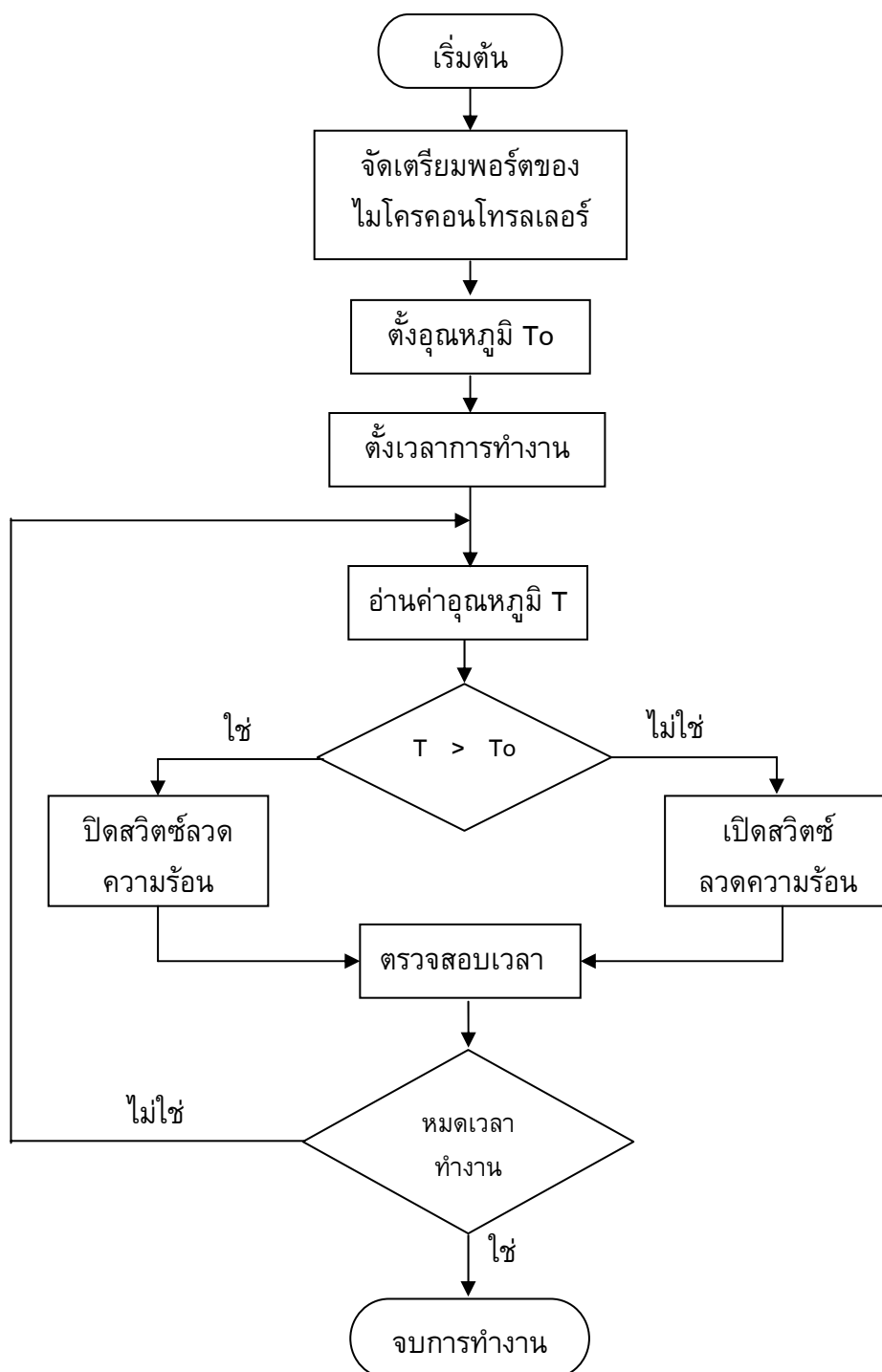
ภาพประกอบ 19 การต่อสายสัญญาณแอนะล็อกของความต่างศักย์ไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อเข้ากับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล(ADC) และต่อขดลวดความร้อนของเตาเผาผ่านทางรีเลย์บนชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตอนที่ 2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมอุณหภูมิ

เขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมอุณหภูมิลงชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านเครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PX-1000 โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี ซึ่งเป็นภาษาที่มีชุดคำสั่งที่อยู่ในรูปของรหัสสีโมนิก(Mnemonic)ซึ่งเป็นคำสั่งย่อสั้นๆและตัวแปรดำเนินการ(operand)ที่เป็นรีจิสเตอร์หรือตัวเลขตัวอย่างเช่น `MOVA,#00H` `MOV R0,#0AFH` เป็นต้น โดยคำสั่ง `MOV` เป็นรหัสสีโมนิก และ `A,#00H` `R0,#0AFH` คือตัวแปรดำเนินการ คำสั่งสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายชุดดังนี้

1. คำสั่งย้ายข้อมูล เช่น `MOV A,Rn` `MOVX A,@Rn` `MOV direct,A` เป็นต้น
2. คำสั่งแลกเปลี่ยนข้อมูล เช่น `XCH A,Rn` `XCH A,@Rn` `XCHD A,@Rn` เป็นต้น
3. คำสั่งทางคณิตศาสตร์ เช่น `ADD A,#data` `SUBB A,#data` `MUL AB` เป็นต้น
4. คำสั่งทางลอจิก เช่น `ALN A,#data` `ORL A,Rn` `XRL A,#data` เป็นต้น
5. คำสั่งการกระโดด เช่น `AJMP addr` `JMP @A+DPTR` เป็นต้น
6. คำสั่งเรียกและออกจากโปรแกรมน้อย เช่น `ACALL addr` `LCALL addr` เป็นต้น

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำสั่งควบคุมอุณหภูมิเตาเผาอุณหภูมิสูงให้คงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ แสดงไว้ในแผนผังการทำงาน (Flow Chart) ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แสดงขั้นตอนการทำงาน

ตอนที่ 3 ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาและปรับปรุงโปรแกรมคำสั่ง

1. ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาให้คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของเตาเผาให้คงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ
2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงกับเวลา โดยเริ่มเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเตาเผา ทุกๆ 5 นาทีตั้งแต่เริ่มต้นจนอุณหภูมิของเตาเผาคงที่ที่ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส
3. วิเคราะห์หาร้อยละของการแกว่งของอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงจากระดับอุณหภูมิที่กำหนด 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4. ปรับแก้โปรแกรมและทดสอบจนกระทั่งได้ร้อยละของการแกว่งของอุณหภูมิเตาเผาอุณหภูมิสูงในระดับอุณหภูมิที่กำหนดไม่เกิน 1%

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบการใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ และโปรแกรมสำหรับควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการเก็บข้อมูลการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง ทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เริ่มต้นจนอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงคงที่ที่ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาช่วงอุณหภูมิละ 1 ชั่วโมง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงกับเวลา แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงกับเวลา

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง (องศาเซลเซียส) |
|----------------|--|
| 0 | 0 |
| 5 | 8 |
| 10 | 21 |
| 15 | 38 |
| 20 | 54 |
| 25 | 71 |
| 30 | 89 |
| 35 | 103 |
| 40 | 118 |
| 45 | 132 |
| 50 | 145 |
| 55 | 157 |
| 60 | 185 |
| 65 | 248 |
| 70 | 314 |

ตาราง 1 (ต่อ)

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง (องศาเซลเซียส) |
|----------------|--|
| 75 | 376 |
| 80 | 433 |
| 85 | 476 |
| 90 | 502 |
| 95 | 499 |
| 100 | 501 |
| 105 | 500 |
| 110 | 503 |
| 115 | 504 |
| 120 | 503 |
| 125 | 500 |
| 130 | 501 |
| 135 | 504 |
| 140 | 502 |
| 145 | 500 |
| 150 | 507 |
| 155 | 538 |
| 160 | 575 |
| 165 | 609 |
| 170 | 636 |
| 175 | 665 |
| 180 | 693 |
| 185 | 705 |
| 190 | 702 |
| 195 | 699 |
| 200 | 705 |

ตาราง 1 (ต่อ)

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง (องศาเซลเซียส) |
|----------------|--|
| 205 | 703 |
| 210 | 704 |
| 215 | 704 |
| 220 | 703 |
| 225 | 705 |
| 230 | 702 |
| 235 | 705 |
| 240 | 708 |
| 245 | 734 |
| 250 | 756 |
| 255 | 784 |
| 260 | 797 |
| 265 | 814 |
| 270 | 830 |
| 275 | 844 |
| 280 | 856 |
| 285 | 868 |
| 290 | 880 |
| 295 | 890 |
| 300 | 895 |
| 305 | 894 |
| 310 | 895 |
| 315 | 896 |
| 320 | 897 |
| 325 | 896 |
| 330 | 897 |

ตาราง 1 (ต่อ)

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง (องศาเซลเซียส) |
|----------------|--|
| 335 | 895 |
| 340 | 896 |
| 345 | 895 |
| 350 | 896 |
| 355 | 896 |

นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงกับเวลาจากตาราง 1 เขียนกราฟได้ดังภาพประกอบ 21

จากผลการทดสอบชุดควบคุมอุณหภูมิ และโปรแกรมสำหรับควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิสูงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ นำข้อมูลคำนวณหาร้อยละของการแกว่งของอุณหภูมิในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงของการควบคุมอุณหภูมิ ให้คงที่ที่ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นไปตามตาราง 2 ตาราง 3 และตาราง 4 ตามลำดับ

ตาราง 2 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | การแกว่งของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ร้อยละของการแกว่งของ อุณหภูมิ |
|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 502 | 2 | 0.4 |
| 499 | 1 | 0.2 |
| 501 | 1 | 0.2 |
| 500 | 0 | 0 |
| 503 | 3 | 0.6 |
| 504 | 4 | 0.8 |
| 503 | 3 | 0.6 |
| 500 | 0 | 0 |
| 501 | 1 | 0.2 |
| 504 | 4 | 0.8 |
| 502 | 2 | 0.4 |
| 500 | 0 | 0 |

การแกว่งของอุณหภูมิในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงของการควบคุมอุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.4

ตาราง 3 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส

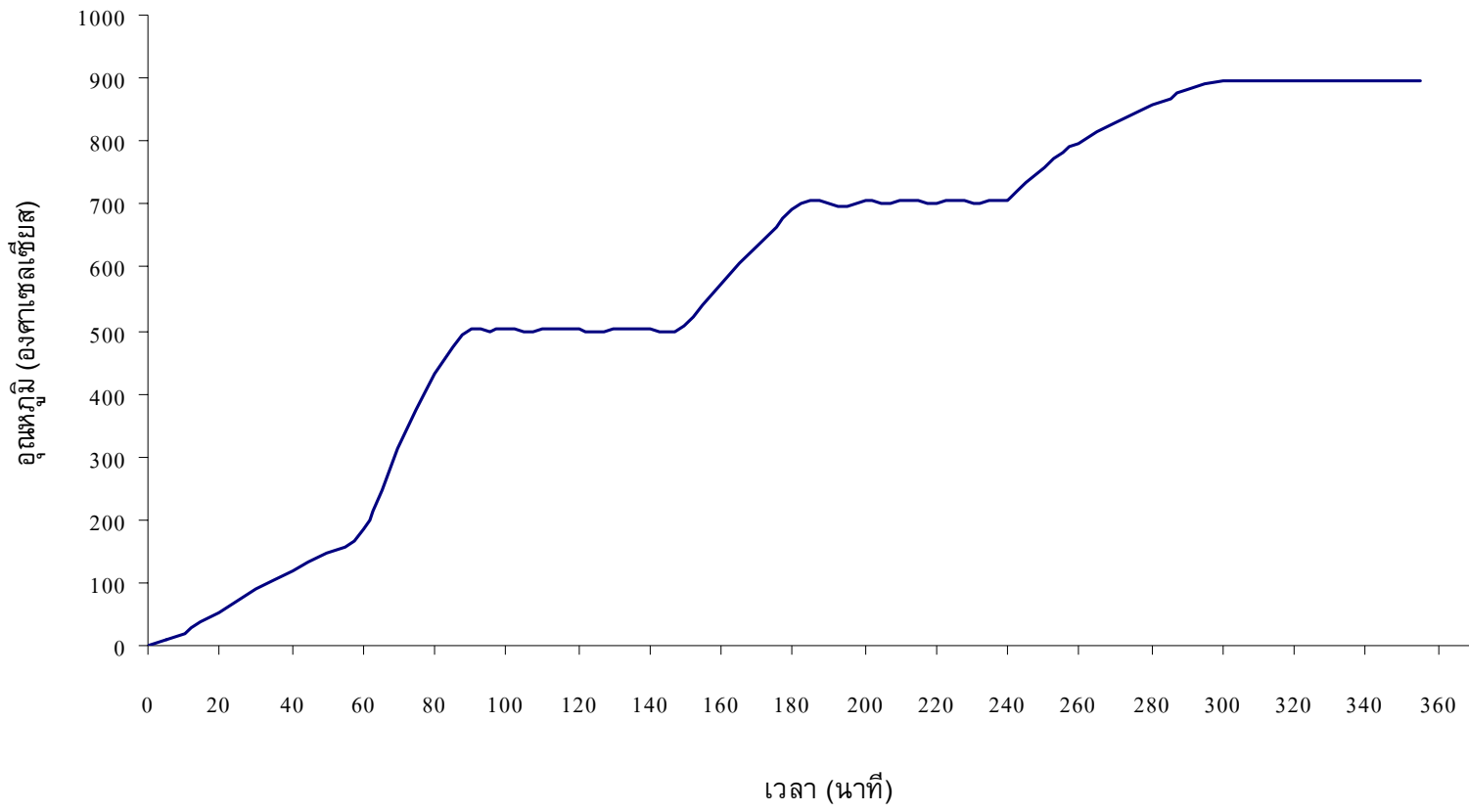
| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | การแกว่งของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ร้อยละของการแกว่งของ อุณหภูมิ |
|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 693 | 7 | 1 |
| 705 | 5 | 0.7 |
| 702 | 2 | 0.3 |
| 699 | 1 | 0.1 |
| 705 | 5 | 0.7 |
| 703 | 3 | 0.4 |
| 704 | 4 | 0.6 |
| 704 | 4 | 0.6 |
| 703 | 3 | 0.4 |
| 705 | 5 | 0.7 |
| 702 | 2 | 0.3 |
| 705 | 5 | 0.7 |

การแกว่งของอุณหภูมิในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงของการควบคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.5

ตาราง 4 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | การแกว่งของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ร้อยละของการแกว่งของ อุณหภูมิ |
|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 895 | 5 | 0.6 |
| 894 | 6 | 0.7 |
| 895 | 5 | 0.6 |
| 896 | 4 | 0.4 |
| 897 | 3 | 0.3 |
| 896 | 4 | 0.4 |
| 897 | 3 | 0.3 |
| 895 | 5 | 0.6 |
| 896 | 4 | 0.4 |
| 895 | 5 | 0.5 |
| 896 | 4 | 0.4 |
| 896 | 4 | 0.4 |

การแกว่งของอุณหภูมิในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงของการควบคุมอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.5



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

เขียนโปรแกรมคำสั่งสำหรับควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 และทำการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิและโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ ตั้งแต่เริ่มต้นจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเตาเผาอุณหภูมิสูง จนกระทั่งอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส ควบคุมให้คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าการแกว่งของอุณหภูมิในช่วงนี้เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.4 จากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึง 700 องศาเซลเซียส ควบคุมให้คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าการแกว่งของอุณหภูมิในช่วงนี้เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.5 จากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 900 องศาเซลเซียส และควบคุมให้คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าการแกว่งของอุณหภูมิในช่วงนี้เฉลี่ยร้อยละ 0.5 ผลการทดสอบโปรแกรมคำสั่งควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง ให้คงที่ได้ตามที่กำหนดไว้ โดยค่าการแกว่งของอุณหภูมิไม่เกินร้อยละ 1

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด ค่าการแกว่งของอุณหภูมิไม่เกินร้อยละ 1 ในการวิจัยนี้ได้ทดลองและปรับแก้โปรแกรมคำสั่งให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม ณ ระดับอุณหภูมิที่กำหนด 3 ระดับ คือ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส โดยค่าการแกว่งของอุณหภูมิไม่เกินร้อยละ 1

ข้อเสนอแนะ

หากต้องการใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม ควบคุมอุณหภูมิอื่นๆ นอกเหนือจากงานวิจัยนี้ เช่น 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นต้น สามารถทำได้โดยการปรับปรุงโปรแกรมคำสั่งให้ควบคุมอุณหภูมิตามต้องการ

ในงานวิจัยต่อไปอาจนำเตาเผาอุณหภูมิสูงที่ควบคุมอุณหภูมิในงานวิจัยนี้ไปใช้ในการ
ปลูกผลึกสารที่อุณหภูมิ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส หรืออาจนำชุดควบคุมอุณหภูมิของ
เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบตั้งโปรแกรม ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอุณหภูมิสูง
ประเภทอื่นๆ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- โกวิทย์ บุญยะกาญจน. (2539). การออกแบบสร้างเตาปลูกผลึกโซลนเดียว. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. (ม.ป.ป.). การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- (2543). การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น
- ปัญญา ศิลป์สกุลสุข. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชา อิเล็กทรอนิกส์ 1. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ประเมษฐ์ ประณายนันท์ และปิยพงษ์ เผ่าวนิช. (2536). คู่มือการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และคณะ. (2543). การพัฒนาเตาอุณหภูมิสูงแบบปรับอากาศได้สำหรับการเผาผลาญ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิพัฒน์ เลาสงคราม. (2537). ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรพจน์ กรแก้ววัฒน์กุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (ม.ป.ป.). เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช. กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.
- ศักดิ์ดา กุศลพูนจิต และสุขสันต์ การทิพย์. (2542). ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบตั้งโปรแกรม. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศุภฤกษ์ เลิศไกร และสกวรัตน์ ทองประยูร. (2541). เครื่องควบคุมเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายโทรศัพท์. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สว่าง ประกายรุ่งทอง. (2538). "เทอร์โมคัปเปิล ตัววัดอุณหภูมิสูง." รวมบทความ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น. 82-85.
- สุเจตน์ จันทรังษ์. (2535). ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุรัชย์ องกิตติกุล และคณะ. (2542). เอกสารประกอบการสอนวิชา งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

- A.A. Berk. (1986). *Microcontrollers in Process and Product Control*. New York: McGraw-Hill.
- George L. Batten, Jr. (1994). *Programmable Controllers*. New York: McGraw-Hill.
- Job Den Otter. (1988). *Programmable Logic Controllers*. New Jersey:Prentice-Hall
- Kenneth J. Hintz, and Daniel Tabak. (1992). *Microcontrollers*. New York: McGraw-Hill.
- L. Michalski, K. Eckersdorf and J. McGhee. (1991). *Temperature measurement*. New York: John Wiley Sons.
- Myke Predko. (1999). *Handbook of Microcontrollers*. New York: McGraw-Hill.
- Robert Fournier. (1977). *Electric Kiln Construction For Potters*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- W.F. Stoecker and P.A. Stoecker. (1989). *Microcomputer Control of Thermal and Mechanical Systems*. New York: Van Nostrand Reinhold.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมคำสั่งในการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาอุณหภูมิสูง

```

;*****
;
; Program      : PROGRAMMABLE TEMPERATURE CONTROLLER
; Description  : 8591 Analog to Digital
; For         : MCS-51 AT89C51 Microcontroller
; Filename    : Furnace_control
; Assembler   : RAD51
; PHYSIC DEPARTMENT SRINAKARINWIROT UNIVERSITY
;*****
;
;-----
; Define Port P3.2 SW_1 and P3.3 SW_2
;-----
00b0      SDA      BIT   P3.0      ; SDA Bus
00b1      SCL      BIT   P3.1      ; SCL Bus
00b2      SW_1     BIT   P3.2      ; control switch 1
00b3      SW_2     BIT   P3.3      ; control switch 2
00b6      LCD_EN   BIT   P3.6      ; LCD Module Enable
00b7      LCD_RS   BIT   P3.7      ; LCD Module Register Select
0094      RELAY_1  BIT   P1.4      ; RELAY Control 1
0095      RELAY_2  BIT   P1.5      ; RELAY Control 2
;
;-----
; Define User Register
;-----
002f      FLAG     EQU   02FH      ; User FLAG
0078      I2C_ACK  BIT   FLAG.0; Acknowledge as bit FLAG
;
;-----
; Define User Internal RAM
;-----
0030      LCD_ADDR EQU   030H      ; LCD Address on int RAM
0031      LCD_DATA EQU   031H      ; LCD Data on int RAM

```



```

001b 51 c3          ACALL WRLINE_LCD
001d 71 c8          ACALL DELAY_1s          ; Delay

001f 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
0022 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD     ; set LCD Address to #80H
0024 90 03 df      MOV  DPTR,#TITLE_1     ; Read ROM to Show
                                'PROGRAMMABLE' on LCD

0027 51 c3          ACALL WRLINE_LCD
0029 71 c8          ACALL DELAY_1s          ; Delay

002b 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
002e 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD     ; set LCD Address to #80H
0030 90 03 ef      MOV  DPTR,#TITLE_2     ; Read ROM to Show
                                'TEMPERATURE'on LCD

0033 51 c3          ACALL WRLINE_LCD
0035 71 c8          ACALL DELAY_1s          ; Delay

0037 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
003a 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD     ; set LCD Address to #80H
003c 90 03 ff      MOV  DPTR,#TITLE_3     ; Read ROM to Show on LCD
003f 51 c3          ACALL WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H
0041 71 c8          ACALL DELAY_1s

0043 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
0046 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD     ; set LCD Address to #80H
0048 90 04 0f      MOV  DPTR,#TITLE_4     ; Read ROM to Show on LCD
004b 51 c3          ACALL WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H
004d 71 c8          ACALL DELAY_1s

004f 51 85          ACALL LCD_CLR

```

```

0051 c2 94          CLR   RELAY_1
0053 c2 95          CLR   RELAY_2

0055 dc bc          DJNZ  R4,MAIN_1
0057 75 30 00       MOV   LCD_ADDR,#000H ; move 00 to LCD Address
005a 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD ; set LCD Address to #80H
005c 90 04 df       MOV   DPTR,#T_HEX0D ; Read ROM to Show
                                'pressSW_1 to start'
005f 51 c3          ACALL WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H
0061 71 c8          ACALL DELAY_1s

0063 20 b2 fd       JB    SW_1,$

0066 7a 1f          MOV   R2,#00011111B
0068 7c 64 ON_RELAY_0: MOV   R4,#100
006a 75 90 00       MOV   P1,#00

006d d2 94 ON_RELAY_1: SETB  RELAY_1
006f 75 30 00       MOV   LCD_ADDR,#000H ; move 00 to LCD Address
0072 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD ; set LCD Address to #80H
0074 90 04 bf       MOV   DPTR,#T_HEX0B ; Read ROM to Show
                                'ON relay1'
0077 51 c3          ACALL WRLINE_LCD ; 00H-07H,40H-47H
0079 71 c8          ACALL DELAY_1s
007b dc f0          DJNZ  R4,ON_RELAY_1
007d da e9          DJNZ  R2,ON_RELAY_0

007f c2 94 OFF_RELAY_1: CLR   RELAY_1
0081 75 30 00       MOV   LCD_ADDR,#000H ; move 00 to LCD Address
0084 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD ; set LCD Address to #80H
0086 90 04 cf       MOV   DPTR,#T_HEX0C ; Read ROM to Show
                                'OFF relay1'

```

```

0089 51 c3          ACALL WRLINE_LCD          ; 00H-07H,40H-47H
008b 71 c8          ACALL DELAY_1s
008d 71 c8          ACALL DELAY_1s
008f 71 c8          ACALL DELAY_1s

0091 7a 0d          MOV  R2,#00001101B
0093 7c 64 ON_RLAY_0A:MOV  R4,#100
0095 75 90 00       MOV  P1,#00

0098 d2 95 ON_RLAY_2A:SETB  RELAY_2
009a 75 30 00       MOV  LCD_ADDR,#000H      ; move 00 to LCD Address
009d 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD      ; set LCD Address to #80H
009f 90 04 ef       MOV  DPTR,#T_HEX0E      ; Read ROM to Show
                                'ON relay2'

00a2 51 c3          ACALL WRLINE_LCD          ; 00H-07H,40H-47H
00a4 71 c8          ACALL DELAY_1s
00a6 dc f0         DJNZ  R4,ON_RLAY_2A
00a8 da e9         DJNZ  R2,ON_RLAY_0A

00aa d2 95 ON_RLAY_2: SETB  RELAY_2
00ac 75 37 00       MOV  CHANNEL,#0         ; Channel 0
00af 79 39         MOV  R1,#BUFFER        ; Buffer Pointer

00b1 e5 37 SHOW_LOOP_0:MOV  A,CHANNEL      ; Get Channel to ACC
00b3 24 00         ADD  A,#00000000B      ; Add Channel to Control word
00b5 f5 35         MOV  CONTROL,A         ; Set Control input AN0
00b7 51 e7         ACALL PCF8591_RD       ; Read data from PCF8591
00b9 51 e7         ACALL PCF8591_RD       ; Read data from PCF8591

00bb a7 38         MOV  @R1,AD_DATA       ; move A/D Data to @R1
00bd 75 30 00       MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
00c0 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD      ; set LCD Address to 80H

```

```

00c2  90 04 ff      MOV  DPTR,#T_HEX0F      ; Read ROM to Show
                                'TEMP= H'

00c5  51 c3          ACALL WRLINE_LCD        ; 00H-07H,
00c7  75 30 05      MOV  LCD_ADDR,#005H     ; move 05H to LCD Address
00ca  51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD      ; set LCD Address to 085H
00cc  87 31          MOV  LCD_DATA,@R1       ; Move Data from Buffer to
                                LCD_DATA

00ce  51 40          ACALL HEX2LCD           ; Show temperature as HEX inspace
00d0  71 c8          ACALL DELAY_1s         ; Delay

00d2  75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H     ; move 00H to LCD Address
00d5  51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD      ; set LCD Address to 80H
00d7  90 04 8f      MOV  DPTR,#T_HEX08     ; Read ROM to Show on LCD
00da  51 c3          ACALL WRLINE_LCD        ; show 'SW_1:500SW_2:700'
00dc  71 c8          ACALL DELAY_1s

00de  30 b2 05 SWITCH_1:JNB  SW_1,LOOP_1H    ; press sw_1 goto 500C

00e1  30 b3 77 SWITCH_2:JNB  SW_2,LOOP_2H    ; press sw_2 goto 700C

00e4  01 de          AJMP SWITCH_1           ; wait if not press sw_1,sw_2

00e6  7a 0f  LOOP_1H: MOV  R2,#00001111B
00e8  7c 64  T1_LOOP: MOV  R4,#100
00ea  75 37 00      MOV  CHANNEL,#0         ; Channel 0
00ed  79 39          MOV  R1,#BUFFER        ; Buffer Pointer

00ef  e5 37 SHOW_LOOP_1:MOV A,CHANNEL        ; Get Channel to ACC
00f1  24 00          ADD  A,#00000000B       ; Add Channel to Control word
00f3  f5 35          MOV  CONTROL,A         ; Set Control input AN0
00f5  51 e7          ACALL PCF8591_RD       ; Read data from PCF8591
00f7  51 e7          ACALL PCF8591_RD       ; Read data from PCF8591

```

```

00f9 a7 38          MOV  @R1,AD_DATA      ; move A/D Data to @R1
00fb 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H  ; move 00 to LCD Address
00fe 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD   ; set LCD Address to 80H
0100 90 04 1f      MOV  DPTR,#T_HEX01   ; Read ROM to Show
                                'TEMP600=80H: H'
0103 51 c3          ACALL WRLINE_LCD     ; 00H-07H,40H-47H
0105 75 30 44      MOV  LCD_ADDR,#044H  ; move 44H to LCD Address
0108 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD   ; set LCD Address to 080H
010a 87 31          MOV  LCD_DATA,@R1    ; Move Data from Buffer to
                                LCD_DATA
010c 51 40          ACALL HEX2LCD        ; Show temperature as HEX
                                in space
010e 71 c8          ACALL DELAY_1s      ; Delay

0110 b7 8a 00      CJNE @R1,#8AH,CHECK_CARRY_1;check=500C?
0113 40 10 CHECK_CARRY_1: JC  ON_FURNACE_1

0115 c2 95 OFF_FURNACE_1: CLR  RELAY_2
0117 75 30 40      MOV  LCD_ADDR,#040H  ; move 40 to LCD Address
011a 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD   ; set LCD Address to 080H
011c 90 04 6f      MOV  DPTR,#T_HEX06   ; Read ROM to Show
                                'fnaceOFF'on LCD
011f 51 c3          ACALL WRLINE_LCD     ; 40H-47H
0121 71 c8          ACALL DELAY_1s

0123 21 35          AJMP LOOP_1
0125 d2 95 ON_FURNACE_1:SETB RELAY_2
0127 75 30 40      MOV  LCD_ADDR,#040H  ; move 40 to LCD Address
012a 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD   ; set LCD Address to 080H
012c 90 04 7f      MOV  DPTR,#T_HEX07   ; Read ROM to Show'fnace
                                ON'on LCD

```

```

012f 51 c3          ACALL WRLINE_LCD      ; 40H-47H
0131 71 c8          ACALL DELAY_1s
0133 71 c8          ACALL DELAY_1s

0135 dc b8 LOOP_1:  DJNZ  R4,SHOW_LOOP_1
0137 da af          DJNZ  R2,T1_LOOP

0139 75 30 00       MOV   LCD_ADDR,#000H  ; move 00 to LCD Address
013c 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD   ; set LCD Address to 80H
013e 90 04 4f       MOV   DPTR,#T_HEX04   ; Read ROM to Show on LCD
0141 51 c3          ACALL WRLINE_LCD      ; show'TIME = 1 HR'

0143 71 c8          ACALL DELAY_1s
0145 71 c8          ACALL DELAY_1s

0147 75 30 00       MOV   LCD_ADDR,#000H  ; move 00 to LCD Address
014a 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD   ; set LCD Address to 80H
014c 90 04 9f       MOV   DPTR,#T_HEX09   ; Read ROM to Show on LCD
014f 51 c3          ACALL WRLINE_LCD      ; show'SW_1:700SW_2:900'

0151 71 c8          ACALL DELAY_1s

0153 30 b2 05 SWITCH_3: JNB  SW_1,LOOP_2H  ; press sw_1 goto 700C

0156 30 b3 70 SWITCH_4: JNB  SW_2,LOOP_3H  ; press sw_2 goto 900C

0159 21 53          AJMP  SWITCH_3        ; wait if not press loop sw_1,sw_2

015b 7a 19 LOOP_2H:  MOV   R2,#00011001B
015d 7c 64 T2_LOOP:  MOV   R4,#100
015f 75 37 00       MOV   CHANNEL,#0      ; Initial Channel 0
0162 79 39          MOV   R1,#BUFFER      ; Set Buffer Pointer

```

```

0164 e5 37 SHOW_LOOP_2:MOV A,CHANNEL ; Get Channel 0
0166 24 00 ADD A,#00000000B ; Add Channel to Control word
0168 f5 35 MOV CONTROL,A ; Set Control input AN0
016a 51 e7 ACALL PCF8591_RD ; Read PCF8591
016c 51 e7 ACALL PCF8591_RD ; Read PCF8591

016e a7 38 MOV @R1,AD_DATA ; Read A/D Data to @R1
0170 75 30 00 MOV LCD_ADDR,#000H ; move 00 to LCD Address
0173 51 ae ACALL SET_ADDR_LCD ; set LCD Address to 80H
0175 90 04 2f MOV DPTR,#T_HEX02 ; Read ROM to Show
;TEMP800=A9H: H'

0178 51 c3 ACALL WRLINE_LCD
017a 75 30 44 MOV LCD_ADDR,#044H ; move 44H to LCD Address
017d 51 ae ACALL SET_ADDR_LCD ; set LCD Address to 0C4H
017f 87 31 MOV LCD_DATA,@R1 ; Move Data from Buffer to
LCD_DATA

0181 51 40 ACALL HEX2LCD ; Show temperature as HEX in space
0183 71 c8 ACALL DELAY_1s ; Delay

0185 b7 be 00 CJNE @R1,#0BEH,CHECK_CARRY_2 ;check = 700C?

0188 40 10 CHECK_CARRY_2:JC ON_FURNACE

018a c2 95 OFF_FURNACE_2: CLR RELAY_2
018c 75 30 40 MOV LCD_ADDR,#040H ; move 40 to LCD Address
018f 51 ae ACALL SET_ADDR_LCD ; set LCD Address to 0C0H
0191 90 04 6f MOV DPTR,#T_HEX06 ; Read ROM to Show
'fnaeOFF'

0194 51 c3 ACALL WRLINE_LCD ; 40H-47H
0196 71 c8 ACALL DELAY_1s

0198 21 a8 AJMP LOOP_2

```

```

019a d2 95 ON_FURNACE_2: SETB RELAY_2
019c 75 30 40      MOV  LCD_ADDR,#040H    ; Set Address 40H
019f 51 ae        ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 0C0H
01a1 90 04 7f      MOV  DPTR,#T_HEX07    ; Read ROM to Show
                                'fnaceON'
01a4 51 c3        ACALL WRLINE_LCD      ; 40H-47H
01a6 71 c8        ACALL DELAY_1s
01a8 dc ba LOOP_2: DJNZ  R4,SHOW_LOOP_2
01aa da b1        DJNZ  R2,T2_LOOP
01ac 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
01af 51 ae        ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 80H
01b1 90 04 4f      MOV  DPTR,#T_HEX04    ; Read ROM to Show
                                'TIME=1HR'
01b4 51 c3        ACALL WRLINE_LCD      ; 00H-07H
01b6 71 c8        ACALL DELAY_1s
01b8 71 c8        ACALL DELAY_1s
01ba 75 30 00      MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00 to LCD Address
01bd 51 ae        ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 80H
01bf 90 04 af      MOV  DPTR,#T_HEX0A    ; Read ROM to Show
                                'SW1 to 900C'
01c2 51 c3        ACALL WRLINE_LCD      ; 00H-07H
01c4 71 c8        ACALL DELAY_1s
01c6 20 b2 fd      JB   SW_1,$           ;press SW_1 go to 1000C
01c9 7a 1e LOOP_3H: MOV  R2,#00011110B
01cb 7c 64 T3_LOOP: MOV  R4,#100           ; Set loop 1 hr.
01cd 75 37 00      MOV  CHANNEL,#0       ; Initial Channel 0
01d0 79 39        MOV  R1,#BUFFER       ; Set Buffer Pointer

```

```

01d2 e5 37 SHOW_LOOP_3: MOV  A,CHANNEL      ; Get Channel
01d4 24 00          ADD  A,#00000000B      ; Add Channel to Control word
01d6 f5 35          MOV  CONTROL,A        ; Set Control input AN0
01d8 51 e7          ACALL PCF8591_RD      ; Read PCF8591
01da 51 e7          ACALL PCF8591_RD      ; Read PCF8591

01dc a7 38          MOV  @R1,AD_DATA      ; Read A/D Data to @R1
01de 75 30 00       MOV  LCD_ADDR,#000H   ; move 00H to LCD Address
01e1 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 80H
01e3 90 04 3f       MOV  DPTR,#T_HEX03   ; Read ROM to Show
                                'TEMP900=D3H: H'
01e6 51 c3          ACALL WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47
01e8 75 30 44       MOV  LCD_ADDR,#044H   ; move 44H to LCD Address
01eb 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 0C4H
01ed 87 31          MOV  LCD_DATA,@R1    ; Move Data from Buffer to LCD
01ef 51 40          ACALL HEX2LCD        ; Show Temperatue as HEX in space

01f1 71 c8          ACALL DELAY_1s       ; Delay

01f3 b7 ee 00       CJNE @R1,#0EEH,CHECK_CARRY_3 ;check=900C ?
01f6 40 10 CHECK_CARRY_3: JC  ON_FURNACE_3

01f8 c2 95 OFF_FURNACE_3: CLR  RELAY_2
01fa 75 30 40       MOV  LCD_ADDR,#040H   ; move 40H to LCD Address
01fd 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 0C0H
01ff 90 04 6f       MOV  DPTR,#T_HEX06   ; Read ROM to Show
                                'fnaeOFF'
0202 51 c3          ACALL WRLINE_LCD      ; 40H-47H
0204 71 c8          ACALL DELAY_1s

0206 41 16          AJMP LOOP_3
0208 d2 95 ON_FURNACE_3: SETB  RELAY_2

```

```

020a 75 30 40      MOV  LCD_ADDR,#040H    ; move 40H to LCD Address
020d 51 ae         ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 0C0H
020f 90 04 7f     MOV  DPTR,#T_HEX07    ; Read ROM to Show
                                'fnaceOFF'

0212 51 c3         ACALL WRLINE_LCD      ; 40H-47H
0214 71 c8         ACALL DELAY_1s

0216 dc ba LOOP_3:  DJNZ  R4,SHOW_LOOP_3
0218 da b1         DJNZ  R2,T3_LOOP
021a 75 30 00     MOV  LCD_ADDR,#000H    ; move 00H to LCD Address
021d 51 ae         ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 80H
021f 90 04 4f     MOV  DPTR,#T_HEX04    ; Read ROM to Show
                                'TIME = 1 HR'

0222 51 c3         ACALL WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H
0224 71 c8         ACALL DELAY_1s
0226 71 c8         ACALL DELAY_1s

0228 c2 95 OFF_FURNACE: CLR  RELAY_2
022a c2 94         CLR  RELAY_1
022c 71 c8         ACALL DELAY_1s
022e 71 c8         ACALL DELAY_1s
0230 71 c8         ACALL DELAY_1s

0232 75 30 00 OFF_POWER: MOV  LCD_ADDR,#000H ; move 00 to LCD Address
0235 51 ae         ACALL SET_ADDR_LCD    ; set LCD Address to 80H
0237 90 04 5f     MOV  DPTR,#T_HEX05    ; Read ROM to Show
                                'OFF POWER'

023a 51 c3         ACALL WRLINE_LCD      ; 00H-07H
023c 71 c8         ACALL DELAY_1s
023e 41 32         AJMP  OFF_POWER
                                END

```

```

;-----
; To show on LCD as HEX Code
;-----
0240 c0 e0 HEX2LCD:  PUSH ACC          ; Push ACC.
0242 e5 31          MOV  A,LCD_DATA      ; Get Data
0244 75 f0 10      MOV  B,#16
0247 84            DIV  AB              ; Divide by 16
0248 24 30          ADD  A,#030H         ; Convert to ASCII
024a f5 31          MOV  LCD_DATA,A
024c 51 5d          ACALL HEX_CHK        ; Check A-F
024e 51 b9          ACALL WRCHAR_LCD      ; Write Higher HEX Code
0250 e5 f0          MOV  A,B              ; Get Remainder
0252 24 30          ADD  A,#030H         ; Convert to ASCII
0254 f5 31          MOV  LCD_DATA,A
0256 51 5d          ACALL HEX_CHK        ; Check A-F
0258 51 b9          ACALL WRCHAR_LCD      ; Write Lower HEX Code
025a d0 e0          POP  ACC              ; Pop ACC.
025c 22            RET                    ; Return

025d e5 31  HEX_CHK: MOV  A,LCD_DATA      ; Get Data
025f b4 3a 00  CJNE A,#03AH,CHK_OTHER ; Check Data Equal or Greater than A
0262 50 0  CHK_OTHER: JNC CONV_2_ALPHA ; If Equal or Greater than => A-F
0264 22            RET                    ; Return

0265 24 07  CONV_2_ALPHA: ADD  A,#7        ; Add 7 to Alphabel
0267 f5 31          MOV  LCD_DATA,A        ; Save Data
0269 22            RET                    ; Return

```

```

;-----
; LCD Initialize :set 8-bit mode and Entry 2 channel Mode DDRAM(00H-07H,40H-47H)
; Display Off, Clear Display,Return Home

```

```

;-----
026a 71 bd      INIT_LCD: ACALL DELAY_100ms    ; Delay
026c c2 b7          CLR  LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
026e 75 80 38     MOV  P0,#00111000B          ; 8bit Mode
0271 51 9d          ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
0273 71 b2          ACALL DELAY_10ms        ; Delay
0275 75 80 38     MOV  P0,#00111000B          ; 8bit Mode
0278 51 9d          ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
027a 51 95          ACALL LCD_OFF          ; Display Off
027c 51 85          ACALL LCD_CLR          ; Clear Display
027e 75 80 06     MOV  P0,#00000110B        ; Entry Mode
0281 51 9d          ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
0283 51 8d          ACALL LCD_HOME         ; Return Home Display

```

```

;-----
; LCD Clear Display

```

```

;-----
0285 c2 b7 LCD_CLR: CLR  LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
0287 75 80 01     MOV  P0,#00000001B          ; Display Clear
028a 51 9d          ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
028c 22            RET

```

```

;-----
; LCD Return Home

```

```

;-----
028d c2 b7 LCD_HOME: CLR  LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
028f 75 80 02     MOV  P0,#00000010B          ; Return Home
0292 51 9d          ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
0294 22            RET

```

```

;-----
; LCD Display Off
;-----
0295 c2 b7 LCD_OFF: CLR LCD_RS ; Clear LCD_RS Pin
0297 75 80 08 MOV P0,#00001000B ; Display Off
029a 51 9d ACALL LCD_CLK ; Pulse LCD Clock
029c 22 RET

;-----
; LCD Clk
;-----
029d d2 b6 LCD_CLK: SETB LCD_EN ; Pulse Clock to LCD_EN
029f 71 a7 ACALL LCD_DELAY
02a1 c2 b6 CLR LCD_EN
02a3 71 a7 ACALL LCD_DELAY
02a5 22 RET

;-----
; LCD Display On
;-----
02a6 c2 b7 LCD_ON: CLR LCD_RS ; Clear LCD_RS Pin
02a8 75 80 0c MOV P0,#00001100B ; Display On
02ab 51 9d ACALL LCD_CLK
02ad 22 RET

```

```

;-----
; Set LCD Address
; I/P: LCD_ADDR      (80H-87H,C0H-C7H )
;-----

02ae  c2 b7 SET_ADDR_LCD: CLR  LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
02b0  e5 30          MOV  A,LCD_ADDR    ; Move LCD_ADDR to ACC.
02b2  d2 e7          SETB ACC.7        ; Set bit ACC.7
02b4  f5 80          MOV  P0,A          ; Move to DATABUS
02b6  51 9d          ACALL LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
02b8  22             RET

;-----
; Write Character to show LCD
; I/P: LCD_DATA
;-----

02b9  d2 b7 WRCHAR_LCD: SETB  LCD_RS      ; Set LCD_RS Pin
02bb  85 31 80      MOV  P0,LCD_DATA ; Move LCD_DATA to DATABUS
02be  51 9d          ACALL LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
02c0  51 a6          ACALL LCD_ON      ; Display On
02c2  22             RET

;-----
; Write 2-Line in 1-line ( 16 Characters :00H-07H,40H-47H)
;-----

02c3  78 00 WRLINE_LCD: MOV  R0,#0      ; Clear loop counter
02c5  d2 b7 WRLINE_LCD_1:SETB  LCD_RS    ; Set LCD_RS Pin
02c7  e4           CLR  A              ; Clear ACC.
02c8  93           MOVC A,@A+DPTR ; Move data from @DPTR to ACC.
02c9  f5 80          MOV  P0,A          ; Move ACC. to DATABUS
02cb  51 9d          ACALL LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
02cd  a3           INC  DPTR          ; Increase Pointer
02ce  08           INC  R0            ; Increase loop counter

```

```

02cf b8 08 f3      CJNE  R0,#8,WRLINE_LCD_1 ; Do until 8 times
02d2 75 30 40      MOV   LCD_ADDR,#040H    ; Set Later 8 Char. Address
02d5 51 ae          ACALL SET_ADDR_LCD
02d7 d2 b7 WRLINE_LCD_2: SETB  LCD_RS      ; Set LCD_RS Pin
02d9 e4            CLR   A                  ; Clear ACC.
02da 93            MOVC  A,@A+DPTR        ; Move data from @DPTR to ACC.
02db f5 80          MOV   P0,A              ; Move ACC. to DATABUS
02dd 51 9d          ACALL LCD_CLK           ; Pulse LCD Clock
02df a3            INC   DPTR              ; Increase Pointer
02e0 08            INC   R0                ; Increase loop counter
02e1 b8 10 f3      CJNE  R0,#16,WRLINE_LCD_2 ; Do until 8+8 times
02e4 51 a6          ACALL LCD_ON            ; Display On
02e6 22            RET

```

```

;-----

```

```

; I2C PCF8591 Read

```

```

;-----

```

```

02e7 75 33 91 PCF8591_RD: MOV  I2C_ADDR,#PCF8591_ID+1 ; Set PCF8591 as
                                                    I2C Read Slave
02ea 71 40          ACALL I2C_SLAVE        ; Connect Slave
02ec 71 29          ACALL I2C_DATA_RD      ; Read Data from Slave
02ee 85 34 38      MOV   AD_DATA,I2C_DATA ; Read Data to A/D Data
02f1 71 97          ACALL I2C_NACK_BIT     ; Send Not Acknowledge
02f3 71 75          ACALL I2C_STOP         ; Send Stop Condition
02f5 22            RET                                          ; Return

```

```

;-----
; I2C PCF8591 Write
;-----
02f6 75 33 90 PCF8591_WR: MOV I2C_ADDR,#PCF8591_ID ; Set PCF8591 as I2C
                                         Write Slave
02f9 71 40          ACALL I2C_SLAVE          ; Connect Slave
02fb 85 35 34      MOV  I2C_DATA,CONTROL ; Write CONTROL to Slave
02fe 71 08          ACALL I2C_DATA_WR        ; Write Data to Slave
0300 85 36 34      MOV  I2C_DATA,DA_DATA  ; Write D/A Data to Slave
0303 71 08          ACALL I2C_DATA_WR        ; Write Data to Slave
0305 71 75          ACALL I2C_STOP          ; Send Stop Condition
0307 22           RET                        ; Return

;-----
; I2C Data Write
; I/P: I2C_DATA
; Reserve: R5
;-----
0308 c0 e0      I2C_DATA_WR:PUSH ACC          ; Push ACC.
030a d2 78          SETB I2C_ACK            ; Set ACK. bit
030c e5 34          MOV  A,I2C_DATA          ; Get Data
030e 7d 08          MOV  R5,#008             ; Set loop 8 times
0310 33           I2C_DATA_WR_1: RLC A        ; Rotate ACC. to Left with Carry
0311 92 b0          MOV  SDA,C              ; Move Carry Flag to SDA
0313 71 85          ACALL I2C_CLK           ; Pulse I2C Clock
0315 dd f9          DJNZ R5,I2C_DATA_WR_1 ; Do until 8 times
0317 d2 b0          SETB SDA                ; Set SDA
0319 71 a0          ACALL I2C_DELAY         ; Delay
031b d2 b1          SETB SCL                ; Set SCL
031d 71 a0          ACALL I2C_DELAY         ; Delay
031f 20 b0 02      JB  SDA,I2C_DATA_WR_2; Check Acknowledge from Slave
0322 c2 78          CLR  I2C_ACK            ; Clear ACK. bit

```

```

0324 c2 b1      I2C_DATA_WR_2: CLR  SCL      ; Clear SCL
0326 d0 e0              POP  ACC          ; Pop ACC.
0328 22              RET                  ; Return

;-----
; Read Data from 8591 A/D
; O/P: I2C_DATA
; Reserve: R5
;-----

0329 c0 e0      I2C_DATA_RD: PUSH ACC      ; Push ACC.
032b e4              CLR  A              ; Clear ACC.
032c 7d 08      MOV  R5,#008          ; Set loop 8 times
032e 71 a0      I2C_DATA_RD_1:ACALL I2C_DELAY ; Delay
0330 d2 b1      SETB SCL              ; Set SCL
0332 71 a0      ACALL I2C_DELAY        ; Delay
0334 a2 b0      MOV  C,SDA            ; Get SDA to Carry Flag
0336 33              RLC  A              ; Rotate ACC. to Left with Carry
0337 c2 b1      CLR  SCL              ; Clear SCL
0339 dd f3      DJNZ R5,I2C_DATA_RD_1 ; Do until 8 times
033b f5 34      MOV  I2C_DATA,A        ; Move Data to I2C_DATA
033d d0 e0      POP  ACC          ; Pop ACC.
033f 22              RET                  ; Return

```

```

;-----
; Connect the analog to digital chip ,FC8591 as I2C Slave
; I/P: I2C_ADDR
; O/P Flag: I2C_ACK
; Reserve: R5
;-----
0340 c0 e0 I2C_SLAVE: PUSH ACC ; Push ACC.
0342 d2 78 SETB I2C_ACK ; Set ACK. bit
0344 e5 33 MOV A,I2C_ADDR ; Get Slave Address
0346 71 63 ACALL I2C_START ; Send Start Condition
0348 7d 08 MOV R5,#008 ; Set loop 8 times
034a 33 I2C_SLAVE_1: RLC A ; Rotate ACC. to Left with
; Carry
034b 92 b0 MOV SDA,C ; Move Carry Flag to SDA
034d 71 85 ACALL I2C_CLK ; Pulse I2C Clock
034f dd f9 DJNZ R5,I2C_SLAVE_1 ; Do until 8 times
0351 d2 b0 SETB SDA ; Set SDA
0353 71 a0 ACALL I2C_DELAY ; Delay
0355 d2 b1 SETB SCL ; Set SCL
0357 71 a0 ACALL I2C_DELAY ; Delay
0359 20 b0 02 JB SDA,I2C_SLAVE_2 ; Check Acknowledge from
; Slave
035c c2 78 CLR I2C_ACK ; Clear ACK.
035e c2 b1 I2C_SLAVE_2: CLR SCL ; Clear SCL
0360 d0 e0 POP ACC ; Pop ACC.
0362 22 RET ; Return

```

```

;-----
; I2C Start Condition
;-----
0363 30 b1 02 I2C_START: JNB SCL,I2C_START_1 ; Check current SCL set?
0366 c2 b1          CLR SCL ; Clear SCL
0368 d2 b0 I2C_START_1: SETB SDA ; Set SDA
036a d2 b1          SETB SCL ; Set SCL
036c 71 a0          ACALL I2C_DELAY ; Delay
036e c2 b0          CLR SDA ; Clear SDA during SCL set
0370 71 a0          ACALL I2C_DELAY ; Delay
0372 c2 b1          CLR SCL ; Clear SCL
0374 22            RET ; Return

;-----
; I2C Stop Condition
;-----
0375 30 b1 02 I2C_STOP: JNB SCL,I2C_STOP_1 ; Check current SCL set?
0378 c2 b1          CLR SCL ; Clear SCL
037a c2 b0 I2C_STOP_1:CLR SDA ; Clear SDA
037c 71 a0          ACALL I2C_DELAY ; Delay
037e d2 b1          SETB SCL ; Set SCL
0380 71 a0          ACALL I2C_DELAY ; Delay
0382 d2 b0          SETB SDA ; Set SDA during SCL set
0384 22            RET ; Return

```

```

;-----
; I2C Clock
;-----
0385 71 a0 I2C_CLK: ACALL I2C_DELAY ; Pulse SCL
0387 d2 b1 SETB SCL
0389 71 a0 ACALL I2C_DELAY
038b c2 b1 CLR SCL
038d 22 RET ; Return

;-----
; I2C Acknowledge
;-----
038e c2 b0 I2C_ACK_BIT: CLR SDA ; Clear SDA
0390 71 a0 ACALL I2C_DELAY ; Delay
0392 71 85 ACALL I2C_CLK ; Pulse I2C Clock
0394 d2 b0 SETB SDA
0396 22 RET ; Return

;-----
; I2C Not Acknowledge
;-----
0397 d2 b0 I2C_NACK_BIT: SETB SDA ; Set SDA
0399 71 a0 ACALL I2C_DELAY ; Delay
039b 71 85 ACALL I2C_CLK ; Pulse I2C Clock
039d d2 b1 SETB SCL
039f 22 RET ; Return

```

```

;-----
; Dummy Delay time I2C_DELAY, LCD_DELAY, 10ms, 100m, 1s
;-----
03a0 7e 0c I2C_DELAY: MOV R6,#00CH ; Each loop = 50 us
03a2 00 I2C_DELAY_1: NOP
03a3 00 NOP
03a4 de fc DJNZ R6,I2C_DELAY_1
03a6 22 RET

03a7 7f 02 LCD_DELAY: MOV R7,#002 ; Do 2 times
03a9 7e e6 LCD_DELAY_1: MOV R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms
03ab 00 LCD_DELAY_2: NOP
03ac 00 NOP

03ad de fc DJNZ R6,LCD_DELAY_2
03af df f8 DJNZ R7,LCD_DELAY_1
03b1 22 RET

03b2 7f 0a DELAY_10ms: MOV R7,#010 ; Do 10 times
03b4 7e e6 DELAY_10ms_1: MOV R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms
03b6 00 DELAY_10ms_2: NOP
03b7 00 NOP

03b8 de fc DJNZ R6,DELAY_10ms_2
03ba df f8 DJNZ R7,DELAY_10ms_1
03bc 22 RET

03bd 7f 64 DELAY_100ms: MOV R7,#100 ; Do 100 times
03bf 7e e6 DELAY_100ms_1: MOV R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms
03c1 00 DELAY_100ms_2: NOP
03c2 00 NOP

```

```

03c3 de fc          DJNZ R6,DELAY_100ms_2
03c5 df f8          DJNZ R7,DELAY_100ms_1
03c7 22             RET

03c8 7d 64 DELAY_1s: MOV R5,#100          ; Do 100 times
03ca 71 b2 DELAY_1s_1: ACALL DELAY_10ms
03cc dd fc          DJNZ R5,DELAY_1s_1
03ce 22             RET

```

```

;-----
;Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >
;-----
;
;                                0123456789ABCDEF
03cf 20 50 48 59 TITLE_0:   DB      ' PHYSIC dept SWU'
03d3 53 49 43 20
03d7 64 65 70 74
03db 20 53 57 55
03df 20 20 50 52 TITLE_1:   DB      ' PROGRAMMABLE '
03e3 4f 47 52 41
03e7 4d 4d 41 42
03eb 4c 45 20 20
03ef 20 20 54 45 TITLE_2:   DB      ' TEMPERATURE '
03f3 4d 50 45 52
03f7 41 54 55 52
03fb 45 20 20 20
03ff 20 20 20 43 TITLE_3:   DB      ' CONTROLLER '
0403 4f 4e 54 52
0407 4f 4c 4c 45
040b 52 20 20 20
040f 20 42 79 20 TITLE_4:   DB      ' By K.KRAIWONG '
0413 4b 2e 4b 52

```

```

0417 41 49 57 4f
041b 4e 47 20 20
041f 54 45 4d 50 T_HEX01: DB 'TEMP500=8AH: H '
0423 35 30 30 3d
0427 38 41 48 3a
042b 20 20 48 20
042f 54 45 4d 50 T_HEX02: DB 'TEMP700=BEH: H '
0433 37 30 30 3d
0437 42 45 48 3a
043b 20 20 48 20
043f 54 45 4d 50 T_HEX03: DB 'TEMP900=EEH: H '
0443 39 30 30 3d
0447 45 45 48 3a
044b 20 20 48 20
044f 20 20 54 49 T_HEX04: DB ' TIME = 1 HR '
0453 4d 45 20 20
0457 20 3d 20 31
045b 20 48 52 20
045f 20 20 4f 46 T_HEX05: DB ' OFF POWER '
0463 46 20 50 4f
0467 57 45 52 20
046b 20 20 20 20
046f 20 20 20 20 T_HEX06: DB ' ffaceOFF'
0473 20 20 20 20
0477 66 6e 61 63
047b 65 4f 46 46
047f 20 20 20 20 T_HEX07: DB ' fface ON'
0483 20 20 20 20
0487 66 6e 61 63
048b 65 20 4f 4e
048f 53 57 31 3a T_HEX08: DB 'SW1:500 SW2:700C'
0493 35 30 30 20

```

| | | | | |
|------|-------------|----------|----|--------------------|
| 0497 | 53 57 32 3a | | | |
| 049b | 37 30 30 43 | | | |
| 049f | 53 57 31 3a | T_HEX09: | DB | 'SW1:700 SW2:900C' |
| 04a3 | 37 30 30 20 | | | |
| 04a7 | 53 57 32 3a | | | |
| 04ab | 39 30 30 43 | | | |
| 04af | 53 57 31 20 | T_HEX0A: | DB | 'SW1 to 900C' |
| 04b3 | 20 20 74 6f | | | |
| 04b7 | 20 20 20 20 | | | |
| 04bb | 39 30 30 43 | | | |
| 04bf | 4f 4e 20 72 | T_HEX0B: | DB | 'ON relay1 :1 HR' |
| 04c3 | 65 6c 61 79 | | | |
| 04c7 | 31 20 20 3a | | | |
| 04cb | 31 20 48 52 | | | |
| 04cf | 4f 46 46 20 | T_HEX0C: | DB | 'OFF relay 1 ' |
| 04d3 | 72 65 6c 61 | | | |
| 04d7 | 79 20 31 20 | | | |
| 04db | 20 20 20 20 | | | |
| 04df | 70 72 65 73 | T_HEX0D: | DB | 'pressSW1to start' |
| 04e3 | 73 53 57 31 | | | |
| 04e7 | 74 6f 20 73 | | | |
| 04eb | 74 61 72 74 | | | |
| 04ef | 4f 4e 20 72 | T_HEX0E: | DB | 'ON relay2 :1 HR' |
| 04f3 | 65 6c 61 79 | | | |
| 04f7 | 32 20 20 3a | | | |
| 04fb | 31 20 48 52 | | | |
| 04ff | 54 45 4d 50 | T_HEX0F: | DB | 'TEMP= H ' |
| 0503 | 3d 20 20 48 | | | |
| 0507 | 20 20 20 20 | | | |
| 050b | 20 20 20 20 | | | |

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

| | |
|----------------------|--|
| ชื่อ | นางสาวเกศแก้ว ไกรวงศ์ |
| วันเดือนปีเกิด | 6 กรกฎาคม 2516 |
| สถานที่เกิด | อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน | 38/1 หมู่ 1 ต.บางพระ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา 24000 |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | อาจารย์ 1 ระดับ 5 |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | โรงเรียนพุทธรังสีพิบูล อ.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา 24140 |
| ประวัติการศึกษา | |
| พ.ศ. 2534 | มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมหาวิทยาลัยราชูฐ |
| พ.ศ. 2538 | กศ.บ.วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้ |
| พ.ศ. 2546 | กศ.ม. (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |