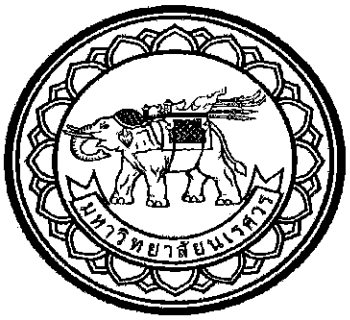


เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

Apparatus for measuring temperature, pressure and density

using microcontroller

นายภาณุพงษ์	จั่นจีน	รหัส	49361430
นายจตุพล	วงษ์มาก	รหัส	49363441
นายธีรรัตน์	ปานบุตร	รหัส	49363564

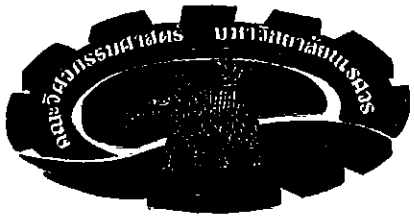
i5094707
ปร
ว4472ค
2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงงาน	:	เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์			
ผู้ดำเนินโครงการ	:	นายภาณุพงษ์	จั่นจีน	รหัส	49361430
		นายจตุพล	วงษ์มาก	รหัส	49363441
		นายธีรรัตน์	ปานบุตร	รหัส	49363564
ที่ปรึกษาโครงงาน	:	อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์			
ที่ปรึกษาโครงงานร่วม	:	ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร			
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมเครื่องกล			
ภาควิชา	:	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร			
ปีการศึกษา	:	2552			

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)

..... ประธานกรรมการร่วม
(ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร)

..... กรรมการ
(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา)

หัวข้อโครงงาน	: เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์			
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายภาณุพงษ์	จั่นจีน	รหัส	49361430
	นายจตุพล	วงษ์มาก	รหัส	49363441
	นายธีรรัตน์	ปานบุตร	รหัส	49363564
อาจารย์ที่ปรึกษา	: อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์			
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร			
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2552			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ เริ่มจากการออกแบบวงจรการทำงาน ด้วยการเขียนโปรแกรม โดยใช้ภาษาซีลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้เป็นการสั่งให้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพวัดค่าต่างๆโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซ็นเซอร์วัดความดัน สำหรับความหนาแน่นก๊าซชีวภาพนั้นหาได้จากสมการการหาความหนาแน่น แล้วจึงแสดงผลบนจอแสดงผล จากนั้นนำผลที่แสดงออกมาไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์และเกจวัดความดันตามลำดับ การวัดค่าต่างๆโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่พัฒนาขึ้นนี้ เราได้ใช้กับถังหมักเปลือกกล้วย แล้วจึงคำนวณหาความคลาดเคลื่อน โดยอุณหภูมิที่วัดได้มีค่า uncertainty เท่ากับ ±0.5% ความดันเป็น ±0.068% และจากค่าความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์ทั้งสอง ได้ทำการคำนวณหาค่า uncertainty ของก๊าซซึ่งได้ค่าเท่ากับ ±0.17%

Project Title	:	Apparatus for measuring temperature, pressure and density using microcontroller		
Name	:	Mr. Panupong	Junjeen	Student ID 49361430
		Mr. Chatuphon	Wongmak	Student ID 49363441
		Mr. Teerarat	Panboot	Student ID 49363564
Project Advisor[1]	:	Aj. Pongpun Othaganont		
Project Advisor[2]	:	Asst.Prof.Dr Koonlaya Kanokjaurvijit		
Major	:	Mechanical Engineering		
Department	:	Mechanical Engineering		
Academic Year	:	2009		

Abstract

This senior project is to design and develop an apparatus which measures temperature, pressure and density. We started from designing a circuit by programming on C language on a microcontroller. The written program commands temperature and pressure sensors to display their values on a display panel. The gas density is obtained from a calculation of perfect gas law. Then, this displayed values are compared to those measured by thermometer and pressure gage installed on the banana-peel fermenting tank. Finally, the uncertainty analysis shows ±0.5% for temperature, ±0.068% for pressure and ±0.17% for gas density.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์ปองพันธ์ ไอทกานนท์ และอาจารย์กุลยา กนกจารุวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการทำงานมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ภาณุ พุทธวงศ์ และอาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา ที่กรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณโนรี จั่นจีน ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบ

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจพร้อมทั้งให้คำแนะนำในการศึกษาเล่าเรียนเสมอมา

นายภาณุพงษ์ จั่นจีน
นายจตุพล วงษ์มาก
นายธีรรัตน์ ปานบุตร

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ซ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีการคำนวณความหนาแน่นของก๊าซ	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	4
2.2.1 PIC Microcontroller	5
2.3.2 เซ็นเซอร์ (Sensor)	9
2.3.3 โปรแกรม MPLAB และ คอมไพเลอร์ภาษา C	12
2.3 Uncertainty Analysis	15
2.5 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการ	20
3.1 การสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	21
3.1.1 การออกแบบ และทดสอบวงจรบนบอร์ดทดลอง	22
3.1.2 การเขียนโปรแกรม	24
3.1.3 การสร้างบอร์ดใช้งานจริง	25
3.2 แนวคิดวิธีการสร้างกล่องและการนำไปใช้งาน	27
3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง	28
3.2.2 การทดสอบการใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	28
3.2.3 การใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	30
3.3 ปัญหาที่พบ และวิธีการแก้ไข	30
3.4 Uncertainty Analysis	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	34
4.1 การเปรียบเทียบความดันที่วัดได้โดยเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซกับเกจวัดความดัน	34
4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้โดยเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซกับเทอร์โมมิเตอร์	36
4.3 การวัดสมบัติต่างๆ ของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซที่พัฒนาขึ้นมา	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	41
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	41
5.2 ข้อผิดพลาดและข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองในอนาคต	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานโปรแกรม MPLAB	44
ภาคผนวก ข Code ของโปรแกรม MPLAB IDE	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค ภาษาซีและรูปแบบของ ADC	55
ภาคผนวก ง ลักษณะการใช้งานเซ็นเซอร์ DS1820 และ MPXAZ4115A	67
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน	73

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน	6
รูปที่ 2.2 ลักษณะพื้นฐานของ DS1820	10
รูปที่ 2.3 เนมเพลทของเซ็นเซอร์วัดความดันและลักษณะเฉพาะ	11
รูปที่ 2.4 ชนิดของขาเซ็นเซอร์วัดความดัน MPXAZ4115A	11
รูปที่ 2.5 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับความดัน	12
รูปที่ 3.1 แผนผังการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	20
รูปที่ 3.2 วงจรไฟกระพริบบนบอร์ดทดลอง (Breadboard)	22
รูปที่ 3.3 วงจรจอแสดงผล LCD	23
รูปที่ 3.4 บอร์ดทดลองเอนกประสงค์	23
รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	25
รูปที่ 3.6 วงจรและการวางอุปกรณ์ต่างๆบนแผ่นปริ๊นเอนกประสงค์	26
รูปที่ 3.7 วงจรของเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	27
รูปที่ 3.8 การต่อเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซกับถังหมักก๊าซ	28
รูปที่ 3.9 ผังการทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ	29
รูปที่ 3.10 จอแสดงผลไม่แสดงข้อมูล	30
รูปที่ 3.11 จอแสดงผล LCD บนบอร์ดใช้งานจริงไม่ทำงาน	31
รูปที่ 3.12 จอแสดงผล LCD แสดงผลผิดพลาด	32
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบค่าของความดันที่วัดจากเซ็นเซอร์และเกจวัดความดัน	35
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบค่าของอุณหภูมิที่วัดจากเซ็นเซอร์และมัลติมิเตอร์	37
รูปที่ ก.1 หน้าต่างเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม MPLAB	45
รูปที่ ก.2 การเริ่มใช้โปรแกรมสร้างงานใหม่ด้วย Project Wizard	46
รูปที่ ก.3 หน้าต่างต้อนรับสู่ขั้นตอน Project Wizard	46
รูปที่ ก.4 หน้าต่างการเลือกชนิด PIC	47

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.5 หน้าต่างการเลือกภาษา 47
รูปที่ ก.6 หน้าต่างนำเข้าสู่การกำหนดที่อยู่ของไฟล์ 48
รูปที่ ก.7 หน้าต่างการป้อนชื่อ Project 48
รูปที่ ก.8 หน้าต่างเลือกไฟล์เพิ่มเข้าไปใน Project 49
รูปที่ ก.9 หน้าต่างสรุปรายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ 50
รูปที่ ค.1 โครงสร้างภายในของ Delta-Sigma ADC 64
รูปที่ ค.2 โครงสร้างภายในของ SAR ADC 64
รูปที่ ค.3 โครงสร้างภายในของ Flash ADC 66

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาดำเนินโครงงาน 2

ตารางที่ 2.1 รหัสควบคุมรูปแบบการแสดงผลค่าของตัวแปร 14

ตารางที่ 4.1 ทดสอบเซ็นเซอร์วัดความดัน 35

ตารางที่ 4.2 ทดสอบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 36

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ในระยะเวลา 30 นาที ตั้งแต่เวลา 10.00 – 10.30 น. 38

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00-16.00 น. 39

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ในระยะเวลา5 วัน 39

ตารางที่ ค.1 ชนิดของเลขทศนิยม 57

ตารางที่ ค.2 คำสงวน (Reserved Word) 59

ตารางที่ ค.3 เครื่องหมายที่ใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ 60

ตารางที่ ค.4 ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ 61

ตารางที่ ค.5 รูปแบบคำสั่งของ Prinft 62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก มีการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กล้วยเป็นวัตถุดิบ ซึ่งจากจุดนี้ทำให้มีเปลือกกล้วยจำนวนมากที่ถูกทิ้งให้เปล่าประโยชน์ ด้วยประกอบกับในปัจจุบันเกิดปัญหาการขาดแคลนทางด้านพลังงาน อีกทั้งประชาชนเริ่มมองเห็นถึงความสำคัญของพลังงานทางเลือก จากเปลือกกล้วยที่กล่าวมาข้างต้น สามารถที่จะนำมาหมักเพื่อทำให้เกิดก๊าซด้านพลังงานชีวภาพ สำหรับการหมักก๊าซมีปัจจัยหลายอย่างที่จำเป็นต้องมีการควบคุม เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซภายในถังหมัก

โครงงานนี้จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการวัดคุณสมบัติของก๊าซโดยทดลองกับการวัดความหนาแน่นของก๊าซจากเปลือกกล้วย แล้วจึงทำการสร้างชุดทดลองสำหรับนำไปวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ พร้อมทั้งแสดงข้อมูลดังกล่าวออกทางจอแสดงผล ซึ่งสามารถนำชุดทดลองนี้ไปประกอบเข้ากับถังหมักเปลือกกล้วย ชุดอุปกรณ์ทดลองนี้จะมีตัวเซ็นเซอร์อยู่ทั้งหมดสองตัวด้วยกัน ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซ็นเซอร์วัดความดัน ในส่วนของความหนาแน่นของก๊าซจะสามารถหาได้จากการคำนวณ แล้วจึงแสดงผล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาแนวทางการวัดคุณสมบัติของก๊าซ โดยใช้ชุดควบคุม Microcontroller พร้อมทั้งเก็บรวบรวมผลที่ได้มาเป็นฐานข้อมูล และเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สร้างชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A

1.3.2 ใช้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณปริมาณความหนาแน่นก๊าซ

1.3.3 ใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ชุดอุปกรณ์ที่สามารถวัดอุณหภูมิของก๊าซ

1.4.2 ได้ชุดอุปกรณ์ที่สามารถวัดความดันของก๊าซ

1.4.3 ได้ชุดอุปกรณ์ที่สามารถคำนวณปริมาณความหนาแน่นก๊าซที่ได้จากการหมักเปลือกกล้วย

1.5 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาดำเนินโครงงาน

ลำดับ	รายการการทำงาน	2552		2553							
		พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
1	ศึกษาข้อมูล										
2	เขียนโปรแกรม										
3	สร้างเครื่องทดลอง										
4	เก็บข้อมูล										
5	แก้ไขพร้อมสรุปผล										
6	จัดทำปริญญานิพนธ์										

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการคำนวณความหนาแน่นของก๊าซ

การหาความหนาแน่นก๊าซ

สำหรับการหาค่าความหนาแน่นของก๊าซ สามารถหาได้ดังสมการด้านล่าง โดยใช้กฎของก๊าซอุดมคติมาทำการคำนวณ มีค่าที่สภาวะมาตรฐานที่จำเป็นต้องใช้อยู่สามค่าด้วยกัน คือ ความหนาแน่นของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน อุณหภูมิของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน และความดันของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน

จากกฎของก๊าซในอุดมคติ

$$PV = mRT \tag{2.1}$$

จัดรูปสมการได้ความหนาแน่นของก๊าซเป็น

$$\rho = \frac{P}{RT} \tag{2.2}$$

สำหรับที่สภาวะมาตรฐาน ($T = 273$ K และ $P = 1.013 \times 10^5$ Pa) จะได้

$$\rho_{std} = \frac{P_{std}}{R T_{std}} \tag{2.3}$$

สำหรับสภาวะภายในถัง

$$\rho_{act} = \frac{P_{act}}{R T_{act}} \tag{2.4}$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (4.3) และ (4.4) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\rho_{act} = \frac{\rho_{std} \times P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \tag{2.5}$$

โดย ρ_{act} คือ ความหนาแน่นของก๊าซ, kg/m^3

ρ_{std} คือ ความหนาแน่นของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน = 0.72 kg/m^3

P_{act} คือ ความดันของก๊าซ, mbar

T_{std} คือ อุณหภูมิของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (273 K)

P_{std} คือ ความดันของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน = 1013 mbar

T_{act} คือ อุณหภูมิของก๊าซ, K

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

[2] ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วยวงจรอื่นๆ หลายวงจรและทำงานร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmatic Logic Unit) วงจรออสซิลเลเตอร์ (Osillator) หน่วยความจำ (Memory: ROM, RAM) วงจรรับสัญญาณอินพุทและขับสัญญาณเอาต์พุต (I/O port) เป็นต้น

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆไป

แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตรับสัญญาณหรือพอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญ สามารถใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.2.1 PIC Microcontroller

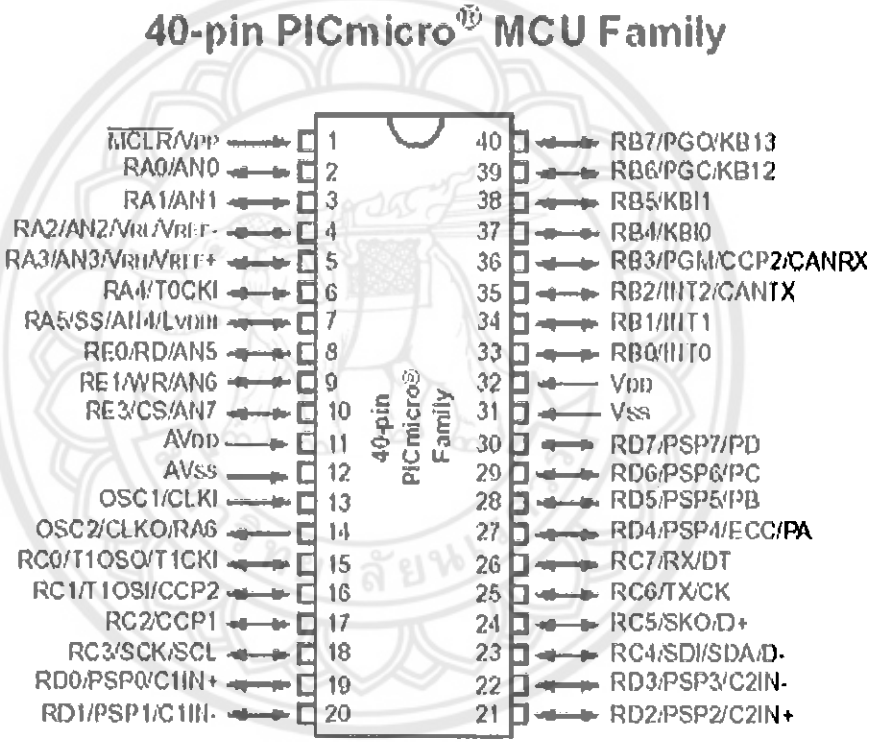
ความหมายของ PIC Microcontroller

PIC คือ Microcontroller ตระกูลหนึ่ง ซึ่งย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller แนวคิดของ Microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ การพยายามรวมทุกอย่างไว้ในตัวของมันเองตัวอย่างเช่น

Program, Memory และ Ram โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC นั้นจะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ

ในการใช้งานสำหรับโปรเจคนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877 และ PIC18F452 ในการทดสอบและในการใช้งานจริงเราได้เลือกใช้ PIC16F877 ในการโปรแกรม การที่เลือกใช้ PIC16F877 เพราะว่าขาของชิพเบอร์นี้มีการลองรับการใช้งานของโปรเจคสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายในการต่อเซ็นเซอร์แล้วสั่งการให้ทำงานตามคำสั่ง

ลักษณะและข้อมูลของชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน



รูปที่ 2.1 ลักษณะของชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งาน (ที่มา : จาก PIC 16F87X DATA SHEET)

PIC16F877 และ PIC18F452

- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I2C, USART, SPI, PWM, CAN
- มี A/D ขนาด 10 bits
- สามารถต่อกับ program memory ภายนอก โดยอ้างได้ถึง 64K x 16 Program memory

- มี Program memory เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง

ขาที่ใช้งานในวงจรทั่วไป

- ขาที่ 1 ใช้งานกับระบบรีเซ็ตของวงจร ทำได้โดยการต่อตัวต้านเข้ากับระบบไฟบวก แล้วต่อเข้ากับตัวรีเซ็ตแล้วต่อตัวรีเซ็ตลงผ่านไฟลบ
- ขาที่ 11,32 ต่อไฟขาเข้าที่เป็นบวก
- ขาที่ 12,31 ต่อไฟขาเข้าที่เป็นลบ
- ขาที่ 13 ต่อสัญญาณนาฬิกาขาเข้า
- ขาที่ 14 ต่อสัญญาณนาฬิกาขาออก โดยทั้งขาเข้าและออกของสัญญาณนาฬิกานั้นที่ต่อจากคริสตอลนั้น ต้องผ่านแต่ละขาจากตัวคาปาซิเตอร์ที่ต่อลงไฟลบในวงจรไว้

โหมดสัญญาณนาฬิกา

[3] PIC16F877 สามารถเลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานได้มากถึง 4 โหมด โดยการกำหนดที่บิต FOSC0 และ FOSC1 ในรีจิสเตอร์ Configuration Word ซึ่งในสมการทำงานจะต้องเลือกโหมดใดโหมดหนึ่ง ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.โหมด LP ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 32kHz-2500kHz

2.โหมด XT ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์มาตรฐานความถี่ 200kHz-4MHz

3.โหมด HS ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ความถี่สูง 4MHz-20MHz

4.โหมด RC (External Resistor/Capacitor) สามารถกำหนดค่าความถี่ได้จากค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อภายนอกเข้ากับขา OSC1/CLKIN ความถี่สูงสุดคือ 4MHzอย่างไรก็ตามความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในโหมดนี้ไม่อาจกำหนดลงไปได้อย่างชัดเจน เนื่องจากต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขอบเขตที่กว้าง ไม่ว่าจะเป็นค่าของแรงดันไปเลี้ยง, ค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ซึ่งต้องรวมไปถึงค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ทั้งสองด้วย อย่างไรก็ตามค่าของตัวต้านทานที่เหมาะสมอยู่ในย่าน 3kΩ-100kΩ ส่วนค่าของตัวเก็บประจุควรมากกว่า 20pF นอกจากนั้นที่ขา OSC2/CLKOUT จะมีสัญญาณนาฬิกาความถี่ ¼ เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาหลักส่งออกมา

กระบวนการรีเซ็ตใน PIC16F877

รีเซ็ต (reset) เป็นกระบวนการกำหนดให้ซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นทำงานใหม่เพื่อประโยชน์ในการแก้ไขความผิดปกติหรือการทำงานที่ผิดพลาดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำให้ทำงานค้างอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งหรือหยุดทำงาน เมื่อเกิดการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะกลับมาเริ่มทำงานใหม่ การรีเซ็ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มี 6 ประเภท ดังนี้

1. เพาเวอร์ออนรีเซต (power-on reset) เป็นการรีเซตที่เกิดขึ้นหลังจากเริ่มต้นจ่ายไฟเลี้ยงใหม่
2. การรีเซตที่ขา MCLR ในระหว่างการทำงานปกติ
3. การรีเซตที่ขา MCLR ขณะทำงานในโหมดสลีป
4. การรีเซตจากวอตช์ด็อกไทเมอร์ ในขณะทำงานปกติ
5. วอตช์ด็อกไทเมอร์เวกอัปขณะทำงานในโหมดสลีป
6. การรีเซตเนื่องจากไฟเลี้ยงลดต่ำลงจากที่กำหนดโดยวงจรบราวเอาต์ดีเท็ก (BOD : Brown-Out Deteot) เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (brown-out reset)

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC)

[4] สัญญาณดิจิตอล (Digital ชนิด Signal) หมายถึง สัญญาณที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) ที่มีขนาดแน่นอนซึ่งขนาดดังกล่าวอาจกระโดดไปมาระหว่างค่าสองค่า คือ สัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด ซึ่งสัญญาณดิจิตอลนี้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานและติดต่อสื่อสารกัน สัญญาณดิจิตอลมีลักษณะคล้ายขั้นบันได ถูกรบกวนได้น้อย มีความคมชัดกว่าอนาลอก นิยมใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์

สัญญาณอนาลอก (Analog Signal) หมายถึงสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) ที่มีขนาดไม่คงที่ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งต่อเนื่องกันไป โดยการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกจะถูกรบกวนให้มีการแปลความหมายผิดพลาดได้ง่าย เช่น สัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์ เป็นต้น สัญญานอนาลอก มีลักษณะต่อเนื่องคล้ายเส้นเชือก ถูกรบกวนง่าย เหมาะกับการใช้ในวิทยุสื่อสารระยะใกล้ วิทยุ A.M และ F.M

ความสัมพันธ์ของสัญญาณอานาลอก ดิจิตอล และตัวแปลงสัญญาณ

สัญญาอนาลอก (Analog) และสัญญาณดิจิตอล (Digital) ทั้งสองสัญญาณ เกี่ยวข้องกับตัวแปลงสัญญาณ (Transducer) การเชื่อมต่อแบบอนาลอกเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ จะต้องมีตัวกลางใน การแปลงเปลี่ยนจากAnalogให้เป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า "ทรานส์ดิวเซอร์" (Transducer) การแปลงสัญญาณกลับไปกลับมาระหว่างสัญญาณ Analog และ Digital อาศัย "ตัวเปลี่ยนสัญญาณข้อมูล Converter" การแปลงสัญญาณมี 2 วิธีคือ การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

Analog to Digital Converter (A/D)ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit)เป็นกระบวนการอีเล็กโทรนิกส์ ที่สัญญาแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, และ16 เป็นต้น สัญญาณดิจิตอลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้วเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converters)

2.2.2 เซ็นเซอร์ (Sensor)

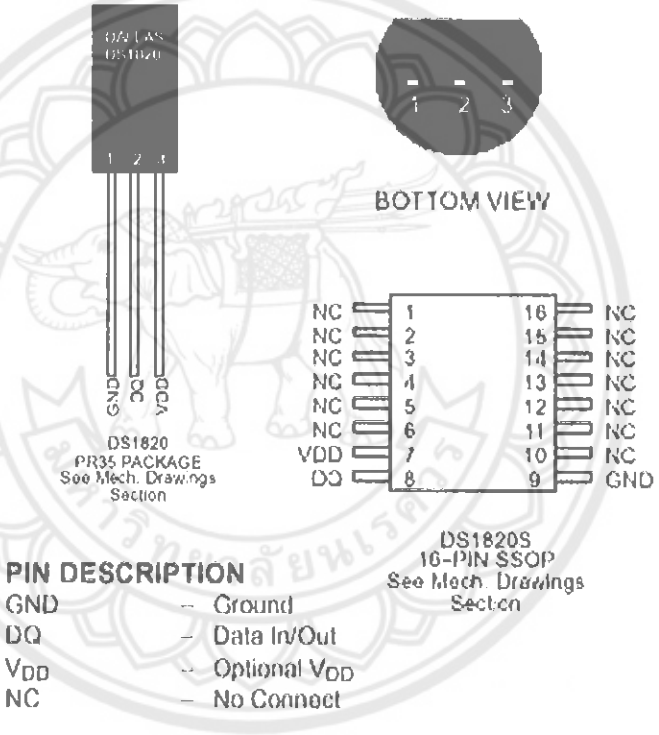
เซ็นเซอร์ที่ใช้งานมีดังนี้

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ได้เลือกใช้เซ็นเซอร์ชนิด 3 ขา ที่ชื่อว่า DS1820 โดยที่ไอซี DS1820 ใช้การติดต่อแบบ one wire คือเป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบหนึ่งสาย ใช้สัญญาณเพียง 1 เส้นโดยไม่ต้องมีสายสัญญาณนาฬิกามาควบคุมจังหวะการถ่ายทอดข้อมูลโดยที่ขาที่นำมาใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.2 ขาที่ 1 เป็นขาของไฟลบ ขาที่ 2 เป็นขารับส่งข้อมูลโดยจะทำหน้าที่เสมือนเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ขาที่ 3 เป็นขาของไฟบวก ซึ่งการใช้งานไอซี DS1820 ควรใช้

งานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 125C เพราะไอซี DS1820 สามารถทนความร้อนได้จำกัด ก่อนการใช้งานจึงควรทาส่วนที่ต้องสัมผัสกับผนังด้านต่างๆด้วยซิลิโคน

คุณสมบัติของไอซี DS1820

- DS1820 สามารถ Interface โดยใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียว
- DS1820 เพียงตัวเดียว สามารถวัดอุณหภูมิได้โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์พ่วง
- DS1820 มีขอบเขตการวัดอยู่ที่ +125C ถึง -55C
- DS1820 มีความละเอียดในการวัดได้ 0.5C



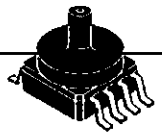
รูปที่ 2.2 ลักษณะพื้นฐานของ DS1820 (ที่มา : จาก DS1820 DATA SHEET)

เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor) ได้เลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน MPXAZ4115A SERIES สามารถวัดความดันอยู่ระหว่าง 15 ถึง 115 กิโลปาสคาล โดยใช้การแปลงกระแสฟ้า ในการนำไปใช้งานจำเป็นต้องศึกษาหลักการทำงานของ ADC (Analog to Digital Converters) คือการแปลงสัญญาณอนาลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยในการแปลงสัญญาณนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ดังจะแสดงในภาคผนวกต่อไป

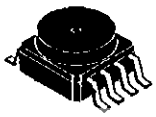
MPXAZ4115A SERIES

INTEGRATED PRESSURE SENSOR
15 to 115 kPa (2.2 to 16.7 psi)
0.2 to 4.8 V Output

SMALL OUTLINE PACKAGE



MPXAZ4115AC6U
CASE 482A



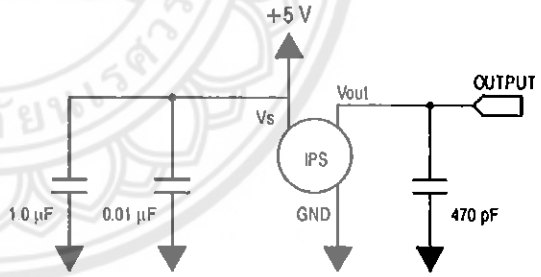
MPXAZ4115A6U
CASE 482

รูปที่ 2.3 เนมเพลทของเซ็นเซอร์วัดความดันและลักษณะเฉพาะ **(ที่มา : จาก** MPXAZ4115A DATA SHEET)

จากขาของเซ็นเซอร์วัดความดัน เราจะใช้งานขาที่ 2, 3 และ 4 โดยจากตารางด้านล่างเราจะได้ว่า ขาที่ 2 V_s คือขาไฟบวก และต่อขา Gnd เป็นขาไฟลบ และ V_{out} เป็นขาไฟที่ต่อออกไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

PIN NUMBER			
1	N/C	5	N/C
2	V_S	6	N/C
3	Gnd	7	N/C
4	V_{out}	8	N/C

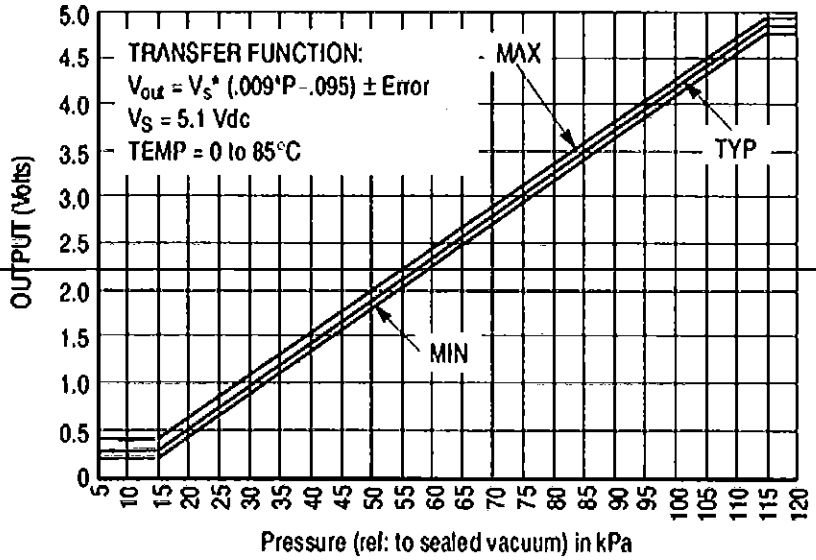
NOTE: Pins 1, 5, 6, 7, and 8 are not device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.



รูปที่ 2.4 ชนิดของขาเซ็นเซอร์วัดความดัน MPXAZ4115A

(ที่มา : จาก MPXAZ4115A DATA SHEET)

ในรูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟกับความดันที่ได้ โดยที่แรงดันไฟที่เข้ามายิ่งมีค่าที่สูงจะแสดงความดันที่สูง โดยมีค่าแรงดันไฟสูงสุดที่ 5V ให้ค่าความดันที่ 115kPa และอุณหภูมิสูงสุดที่รับได้อยู่ที่ 85°C



รูปที่ 2.5 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับความดัน

(ที่มา : จาก MPXAZ4115A DATA SHEET)

2.2.3 โปรแกรม MPLAB และ คอมไพเลอร์ภาษา C

MPLAB IDE เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC โดยมีคอมไพเลอร์สำหรับภาษา Assembly มาให้ แต่ถ้าต้องการเขียนโปแรกรมด้วยภาษาอื่นๆ (เช่นภาษาซี เบสิก) จะต้องหาคอมไพเลอร์มาติดตั้งกับ MPLAB IDE ภายหลังซึ่งในที่นี้เราได้ติดตั้งคอมไพเลอร์เพื่อจะใช้งานในภาษาซี

การใช้งานคำสั่งสำคัญ

void main() เป็นการเรียกใช้ฟังก์ชันหลักของโปรแกรมคือ ฟังก์ชัน main() ซึ่งจะต้องมีชื่อฟังก์ชันนี้เสมอ ฟังก์ชัน main() เป็นฟังก์ชันหลัก จะประกอบไปด้วยวงเล็บเปิด { เป็นการเริ่มต้นภายในมีการประกาศตัวแปร มีประโยคคำ สั่งของภาษา C++ มีชื่อฟังก์ชันอื่น ๆ ที่ผู้เขียนสร้างขึ้นแล้วเรียกใช้ภายในฟังก์ชัน main() แล้วจบฟังก์ชันด้วยวงเล็บปิด }

คำว่า void เป็นชื่อ ประเภทข้อมูล(data type) ที่ให้ค่าว่าง จะทำ ให้ฟังก์ชันไม่มีการส่งค่าใด ๆ กลับไปยังชื่อฟังก์ชันที่ถูกเรียกใช้ ทั้งนี้ เนื่องจากใน C++ เมื่อมีการเรียกใช้ฟังก์ชันใดฟังก์ชันหนึ่ง เมื่อฟังก์ชันทำ งานเสร็จแล้ว จะต้องส่งค่าคืนกลับมายังจุดที่เรียกใช้ชื่อฟังก์ชันเสมอ เพื่อไม่ให้

ส่งคืนค่าใดๆ กลับมา จึงใช้คำ ว่า void เพื่อกำหนด main() ให้เป็นฟังก์ชันที่ไม่ต้องคืนค่ากลับมา ณ จุดเรียกใช้หรือเป็นฟังก์ชันประเภทไม่มีค่านั่นเอง

```
#device ADC=10                  //การกำหนดใช้ adc แบบ 10 บิต
#use delay(clock=20000000)      //กำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาตามการใช้งาน
#include<ds1820.h>              //เรียกฟังก์ชันของในโปรแกรมมาใช้งาน
#include<1wire.h>               //เรียกฟังก์ชันที่ใช้งานร่วมกับฟังก์ชันเซนเซอร์
setup_port_a( ALL_ANALOG)   //การตั้งให้พอร์ตที่ต้องการทุกขาเป็นการใช้ค่าของอนาลอก
```

การใช้คอมไพเลอร์ของภาษาซี ซึ่งใช้ในการเรียกใช้ฟังก์ชันของจอlcd และ ซิป มาใช้งานนั้น จะมีคำสั่งพื้นฐานในการใช้งานเพิ่มเติมดังนี้

[5] การใช้คำสั่งเคลียร์จอ LCD

```
lcd_clear();            //ความหมายของคำสั่งนี้คือทำการเคลียร์จอ LCD ตอนเริ่มต้น
```

การใช้คำสั่งเซ็ตตำแหน่งของจอ LCD

```
lcd_gotoxy(row,col);        // ความหมายของคำสั่งนี้ก็คือทำการเซ็ตตำแหน่งเริ่มต้นของตัวอักษร
```

การใช้คำสั่ง สำหรับเซ็ตตำแหน่งของจอ LCD นี้ ค่าในวงเล็บจะเป็นค่าของบรรทัดและตำแหน่งของตัวอักษร Ex. ถ้าต้องการแสดงตัวอักษร 'S' ในตำแหน่งแถวบนทางซ้ายสุดของจอ LCD แบบ 16x2 ก็จะต้องใช้คำสั่งเซ็ตจอ LCD เป็น **lcd_gotoxy(0,0);**

การใช้คำสั่งให้ LCD แสดงตัวอักษรทั้งบรรทัด

lcd_putsf("01234567"); //ความหมายของคำสั่งนี้ก็คือ การเขียนค่าลงสู่ controller ของ LCD ทำให้ LCD แสดงตัวเลขในเครื่องหมายคำพูด

การใช้คำสั่งให้ LCD แสดงตัวอักษรในตัวแปรที่กำหนดเป็น Array string Ex. Str1[10];

lcd_puts(str1); // ความหมายของคำสั่งนี้ก็คือ การทำให้ LCD สามารถแสดงค่าในตัวแปร str1 ได้บนจอ LCD

การใช้คำสั่งให้ LCD แสดงตัวอักษรใน ASCII Code เพียง 1 ตัวอักษร

lcd_putchar('A'); //ความหมายของคำสั่งนี้ก็คือ การทำให้ LCD สามารถแสดงตัวอักษรใน ASCII Code 1 ตัว

คำสั่ง Printf

คำสั่ง printf ถือได้ว่าเป็นคำสั่งพื้นฐานที่สุดในการแสดงผลข้อมูลทุกชนิดออกทางหน้าจอ ไม่ว่าจะเป็นจำนวนเต็ม int ทศนิยม float ข้อความ string หรืออักขระ นอกจากนี้คำสั่งยังมีความยืดหยุ่นสูง โดยเราสามารถกำหนดหรือจัดรูปแบบการแสดงผลให้มีระเบียบหรือเหมาะสมตามความ ต้องการได้อีกด้วย โดยในการใช้งานผู้จัดทำได้ใช้คำสั่ง Printf ในการสั่งให้ระบบแสดงผลออกบนจอแสดงผล LCD ดังจะอธิบายเพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 2.1 รหัสควบคุมรูปแบบการแสดงผลค่าของตัวแปร

รหัสควบคุมรูปแบบ	การนำไปใช้งาน
%d	แสดงผลค่าของตัวแปรชนิดจำนวนเต็ม
%u	แสดงผลค่าของตัวแปรชนิดจำนวนเต็มบวก
%f	แสดงผลค่าของตัวแปรชนิดจำนวนทศนิยม

%c	แสดงผลอักขระ 1 ตัว
%s	แสดงผลข้อความ หรืออักขระมากกว่า 1 ตัว

2.3 Uncertainty Analysis

Uncertainty Analysis คือ ผลการวัดที่ไม่แน่นอนจากการวัดค่าซ้ำๆกันหลายครั้ง โดยปัจจัยของ Uncertainty Analysis อาจเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ การใช้วิธีการวัดที่ผิด จากความผิดพลาดของเครื่องวัดเอง จากการอ่านผิด และจากสภาพแวดล้อม

การหาค่า Uncertainty ต้องการหาเพื่อบอกถึงคุณภาพของการวัดว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด การรายงาน Uncertainty ของการวัดจะต้องรายงานพร้อมกับผลของการวัด เพื่อที่จะให้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับข้อกำหนดเฉพาะหรือมาตรฐาน หรือเกณฑ์ยอมรับสำหรับสิ่งที่ถูกวัด

การคำนวณหา Uncertainty ของการวัดนั้น สามารถออกแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.3.1 วิธีการคำนวณหา Uncertainty ในการวัด แบบ Type A

Type A คือ การหาค่าของความสามารถวัดได้ซ้ำที่ของขบวนการวัด ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เรียกว่า Random Uncertainty หาได้จากสมการ

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{N} \qquad (2.6)$$

เมื่อ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการสอบเทียบ N ครั้ง

N คือ จำนวนครั้งของการวัดจากการสอบเทียบ

Xi คือ ค่าที่วัดได้จากการสอบเทียบ

i คือ ครั้งที่วัดค่าได้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.7)$$

เมื่อ σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการสอบเทียบ N ครั้ง

N คือ จำนวนครั้งของการวัดจากการสอบเทียบ

Xi คือ ค่าที่วัดได้จากการสอบเทียบ

U_A คือ ค่า Uncertainty ของการสอบเทียบ ชนิด Type A หาได้จากสมการ 2.8

$$U_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

2.3.2 วิธีการคำนวณหาค่า Uncertainty ในการวัด แบบ Type B

Type B คือ องค์ประกอบของ Uncertainty Analysis ระบบ (Systematic Uncertainty)

2.3.2.1 Uncertainty Analysis of calibration certificate คือความไม่แน่นอนของการวัดที่ระบุในคู่มือของเครื่องสอบเทียบมาตรฐาน

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบ จะได้รับการยอมรับว่ามีความสัมพันธ์กับมาตรฐานแห่งชาติได้ก็ต่อเมื่อใบรายงานผลการสอบเทียบนั้นออกให้โดยห้องปฏิบัติการ ที่สามารถแสดงความสามารถโดยผ่านกระบวนการรับรองความสามารถโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับระหว่างประเทศ

บางครั้งใบรายงานผลการสอบเทียบจะรายงานความเป็นไปตามข้อกำหนดจำเพาะทางมาตรวิทยาของปริมาณที่ถูกวัด ในกรณีเช่นนี้ค่าที่วัดได้เมื่อรวมกับความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องไม่ขยายไปเกินกว่าขีดจำกัด หรือเกณฑ์ยอมรับที่ระบุของปริมาณที่ถูกวัดนั้นๆ

ความไม่แน่นอนของการวัดคือสิ่งที่บอกได้ถึงคุณภาพของผลการวัด ว่ามีความน่าเชื่อถือได้ดีเพียงใด การรายงานความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องรายงานพร้อมกับผลของการวัดเสมอ

เพื่อที่จะให้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับข้อกำหนดจำเพาะหรือมาตรฐาน หรือเกณฑ์ยอมรับสำหรับสิ่งที่ถูกวัด (Measurand)

$$U_{B1} = \frac{\text{uncertainty from specification}}{\sqrt{3}} \quad (2.9)$$

ความหมายของการสอบเทียบ

การสอบเทียบมาตรฐานคือ ชุดของการดำเนินการซึ่งสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการชี้บอก โดยเครื่องมือวัดหรือระบบการวัด หรือค่าที่แสดง โดยเครื่องวัดที่เป็นวัสดุกับค่าสมนัยที่รู้ค่าของปริมาณที่วัดภายใต้ภาวะเฉพาะที่บ่งไว้ จากความหมายดังกล่าว ขยายให้เข้าใจง่ายขึ้นก็คือ การสอบเทียบเป็นชุดการดำเนินการภายใต้สภาวะเฉพาะ เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือวัดหรือระบบการวัดหรือค่าที่แสดง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่รู้ของปริมาณที่วัด(ซึ่งต้องเป็นค่าที่สามารถอ้างอิงได้) ผลจากการสอบเทียบจะให้ข้อมูลว่าเครื่องมือวัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ยังคงมีคุณลักษณะทางด้านมาตรวิทยาที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไปหรือไม่ ข้อสังเกตของการสอบเทียบคือ

- ผลของการสอบเทียบทำให้เราสามารถกำหนดค่าความผิดพลาดโดยประมาณของค่าอ่านบนเครื่องมือวัด ระบบการวัด หรือสามารถทำเครื่องหมายชี้บอกค่าบนสเกลที่กำหนดขึ้นเอง
- การสอบเทียบอาจนำไปกำหนดคุณลักษณะทางมาตรวิทยาอื่นๆ ของเครื่องมือวัด
- ผลการสอบเทียบอาจจะได้บันทึกลงในเอกสารที่บางครั้งเรียกว่าใบรับรองการสอบเทียบ (calibration certificate) หรือใบรายงานผลการสอบเทียบ (calibration report)
- ผลการสอบเทียบบางครั้งอธิบายได้ในรูปของ calibration factor หรืออนุกรมของ calibration factor ในรูปของ calibration curve

ความสำคัญของการสอบเทียบ

ผลจากการสอบเทียบเมื่อนำมาวิเคราะห์จะทำให้สามารถกำหนดได้ว่าเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการควรจะใช้ต่อไปหรือจำเป็นต้องปรับแต่ง ผลจากการสอบเทียบทำให้ห้องปฏิบัติการสามารถมั่นใจได้ว่าเครื่องวัดที่ใช้ประกอบการทดสอบ หรือการวิเคราะห์ยังคงทำงานได้อย่างแม่นยำ และเชื่อถือได้ ผลการสอบเทียบหลายๆ ครั้งยังแสดงให้เห็นคุณลักษณะทางด้านความเสถียร (stability) ของเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ ประโยชน์ของการสอบเทียบมีหลายประการแต่จะกล่าวถึงพอเป็นสังเขป ดังต่อไปนี้

- การสอบเทียบทำให้ผลการวัดแม่นยำ และเชื่อถือได้
- การสอบเทียบส่งผลให้ผลการวัด การทดสอบ การวิเคราะห์เป็นที่ยอมรับ

- การสอบเทียบทำให้เกิดความเป็นธรรมในการค้า
- การสอบเทียบส่งผลทำให้เกิดความสงบสุขในสังคม
- การสอบเทียบทำให้ชิ้นส่วนในการผลิตของภาคอุตสาหกรรมเข้ากันได้
- ผลการสอบเทียบนำมาประยุกต์ใช้เป็นค่าปรับแก้ (correction) เพื่อชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านของเครื่องมือวัดทำให้ผลการวัดแม่นยำขึ้น
- การสอบเทียบเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์

2.3.2.2 Uncertainty ของการสอบเทียบของเครื่องสอบเทียบมาตรฐาน หาได้จากสมการ

การสอบเทียบจึงมีความสำคัญในลักษณะของเครื่องมือวัดที่ใช้งานโดยเครื่องมือวัดแต่ละประเภทจะมีลักษณะของการสอบเทียบแตกต่างกันไป ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสอบเทียบเครื่องมือวัดก็แตกต่างกันไปด้วย

$$U_{B2} = \frac{U_{SD}}{K} \tag{2.10}$$

U_{STD} คือ Uncertainty ของเครื่องมือมาตรฐาน

K คือ Coverage factor มีค่าเท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

2.3.2.3 Uncertainty ของความละเอียดในการวัดของเครื่องมือวัด (Uncertainty of resolution) หาได้จากสมการ

$$U_{B3} = \frac{\text{resolution}}{2\sqrt{3}} \tag{2.11}$$

Resolution คือ ความสามารถในการวัดของเครื่องวัด (ความละเอียด)

มีความสำคัญเพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนทั้งหลายที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง จึงควรศึกษาการใช้เครื่องวัดละเอียดให้เข้าใจเสียก่อน

2.3.3 เมื่อรวมค่ารวม Uncertainty Analysis ในการวัด (Combined Uncertainty) ทั้งแบบ Type A และ Type B ด้วยสมการ เข้าด้วยกันแล้ว ดังสมการที่ (2.12) ดังนี้

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + U_{B3}^2} \quad (2.12)$$

U_C คือ Uncertainty รวม (Combined uncertainty)

2.4 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี[6] ได้ออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพื่อหาคุณภาพของบอร์ดทั้งทางด้านการศึกษาและทางด้านวิศวกรรม แก้ไขจุดบกพร่องพร้อมทั้งตั้งสมมติฐานวิจัยคุณภาพของบอร์ดทดลอง PIC

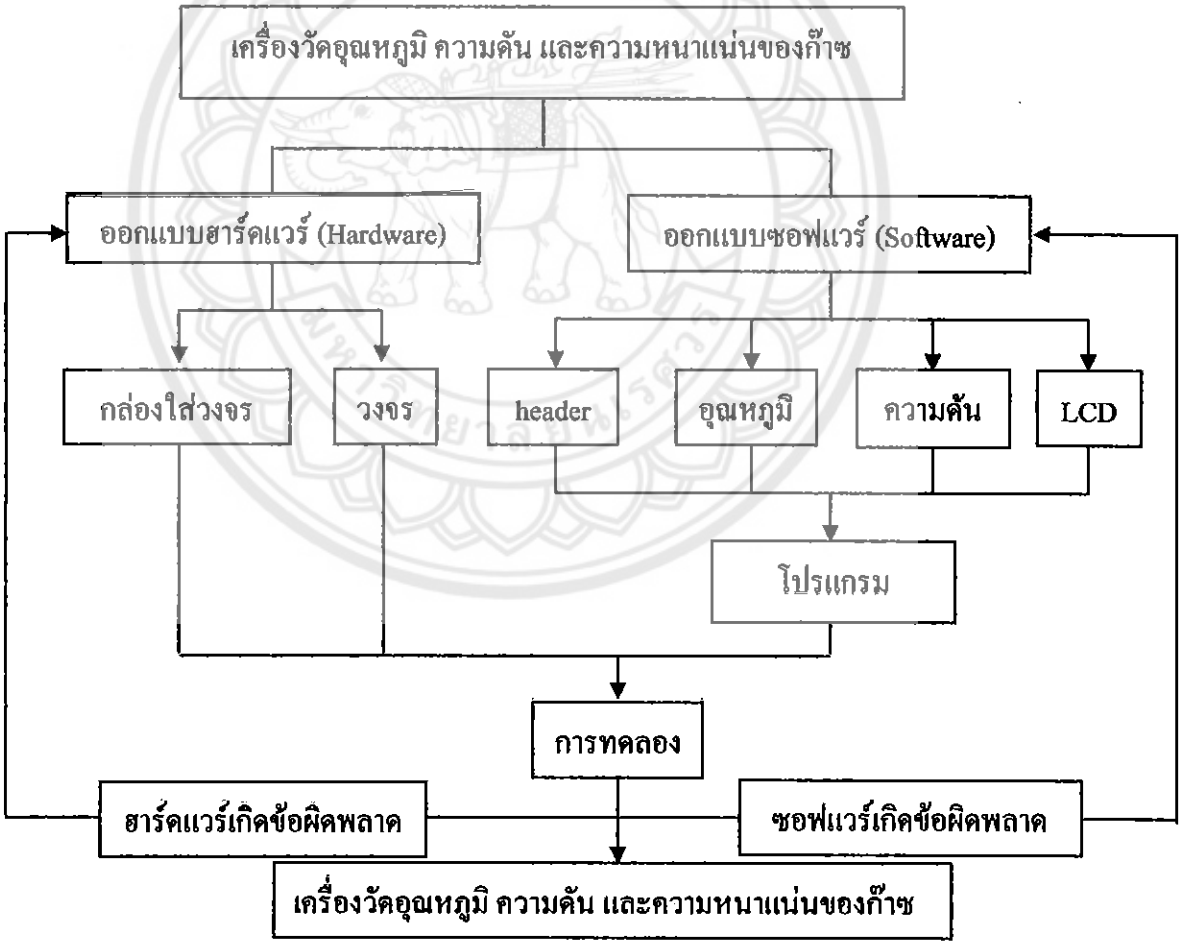
สุชิน ชินสีห์ [7] ทำการศึกษาประสิทธิภาพชุดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ เรื่องการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก ของ PIC Microcontroller อีกทั้งยังสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีการใช้ชุดทดลองนี้ แล้วยังมีการสรุปคะแนนถึงประโยชน์ที่ช่วยในการเรียนรู้ของบอร์ดทดลองนี้ว่าสามารถช่วยให้ผู้ใช้มีความสามารถในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นหรือไม่

แสงเพชร งอนชัยภูมิ[8] ได้ทำการสร้างชุดวงจรเตือนอันตรายจากปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกินพิกัดภายในอาคารจอรถ สำหรับใช้ในการวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และแจ้งเตือนเมื่อมีปริมาณของก๊าซเกินค่าพิกัดที่ได้ตั้งไว้ เพื่อลดความเสี่ยงของอันตรายที่จะได้รับจากการรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายโดยไม่รู้ตัว

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการ

ในส่วนของขั้นตอนและวิธีการทดลอง จะแสดงให้เห็นถึงแนวคิดและกระบวนการลำดับขั้นตอนในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ โดยจะเริ่มจากการสร้างฮาร์ดแวร์ (Hardware) ในส่วนของฮาร์ดแวร์ก็จะเป็นการเริ่มต้น เรียนรู้หลักการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ ออกแบบวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น รวมถึงการออกแบบกล่องวงจร ที่ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ส่วนต่อมาคือส่วนของซอฟแวร์ (Software) จะเป็นการอธิบายในส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อนำไปใช้งาน เพื่อให้ตรงกับการทดลองรวมถึงการใช้โปรแกรม MPLAB IDE และการทดสอบเครื่อง ในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของปัญหาที่พบและได้ดำเนินการแก้ไข กระบวนการทั้งหมดนั้นดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

3.1 การสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ผู้จัดทำมีแนวคิดว่าจำเป็นต้องทำการทดสอบโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นกับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีความสำคัญมาก เพราะว่าก่อนการสร้างเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพนั้น จำเป็นต้องทำการทดสอบวงจร คือการต่อวงจรการทำงานของส่วนต่างๆ สำหรับแสดงค่าอุณหภูมิ ความดันและความหนาแน่นของก๊าซ ในการสร้างเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจึงต้องทำการสร้างเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อให้เครื่องสามารถใช้งานได้อย่างเสถียรภาพ

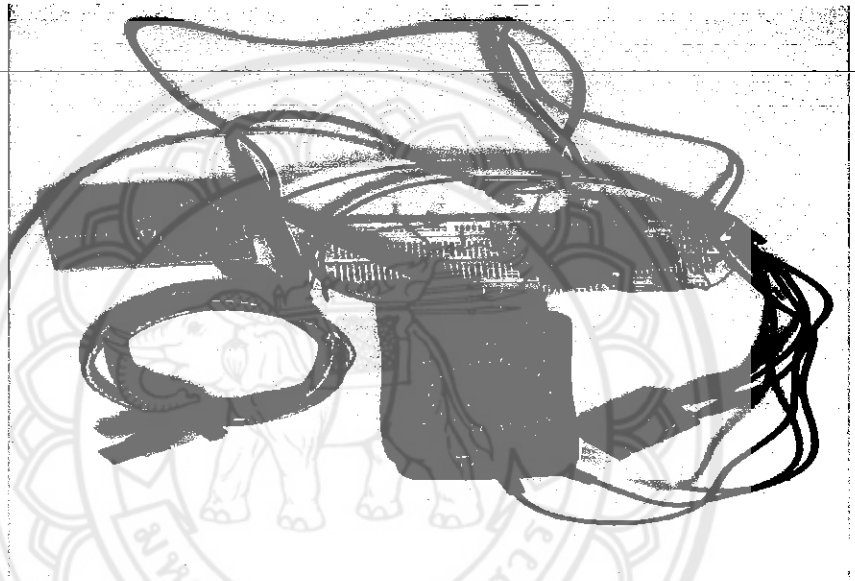
ขั้นตอนการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ผู้จัดทำเริ่มจากศึกษาถึงหลักการทำงานเบื้องต้นของวงจร รวมถึงการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี หลังจากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมไฟกระพริบ เริ่มจากต่อวงจรลงบนบอร์ดทดลอง เพื่อต้องการทดสอบการทำงานของโปรแกรม MPLAB IDE ทดสอบการทำงานของวงจรไฟกระพริบ และทดสอบการทำงานของชิพไอซีและคริสตัลที่ได้นำมาทดลองเพื่อต้องการนำไปใช้งาน หลังจากทดลองโปรแกรมไฟกระพริบแล้วจะทำให้สามารถทราบถึงการใช้งานอุปกรณ์เบื้องต้นคือ ชิพไอซี คริสตัล และการจ่ายไฟเพื่อให้วงจรทำงาน ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบและการต่อวงจรจอ LCD เพื่อที่จะให้จอ LCD แสดงผลต่างๆที่ต้องการ วงจรจอแสดงผล LCD หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาถึงการใช้งานและการเขียนโปรแกรมให้สามารถอ่านค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เมื่อสามารถเขียนโปรแกรมให้สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้แล้ว ก็ทำการต่อวงจรโดยมีการต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ แล้วตรวจสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ ว่ามีความแม่นยำเพียงใด เมื่อสามารถใช้งานเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิได้แล้วขั้นตอนต่อไปคือการทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความดัน เริ่มจากศึกษาถึงการทำงานของเซ็นเซอร์ แล้วจึงทำการเขียนโปรแกรมให้สามารถแสดงค่าความดันได้ หลังจากนั้นจึงทำการต่อวงจร เพื่อทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความดัน

เมื่อการทำงานของเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดสามารถใช้งานได้ดี ขั้นตอนต่อไปจะนำวงจรและเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดมารวมให้อยู่ในวงจรเดียวกัน สำหรับการจะใช้งานเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดพร้อมกันนั้น เริ่มต้นจากการรวมโค๊ดโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้น แล้วจึงรวมวงจรเพื่อให้วงจรนั้นมีเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดอยู่ในวงจรเดียวกัน เมื่อรวมวงจรและโค๊ดแล้วจึงทำการทดสอบการทำงาน เมื่อสามารถใช้งานได้จึงทำการเขียนสมการให้สามารถแสดงค่าความหนาแน่นของก๊าซ หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบเครื่องอีกครั้ง หากเห็นว่าเครื่องสามารถทำงานได้อย่างเสถียรแล้วจึงจะสร้างบอร์ดใช้งานจริง โดยการสร้างจะอิงจากการทำงานของบอร์ดเอนกประสงค์ มีการต่อวงจรและบัดกรีวงจรตาม

ส่วนที่ต้องการใช้งานจริงให้เหมือนกับการทดลองต่อวงจรบนบอร์ดเอนกประสงค์ สำหรับรายละเอียดต่างๆและการต่อวงจรดังจะอธิบายในขั้นตอนต่อไป

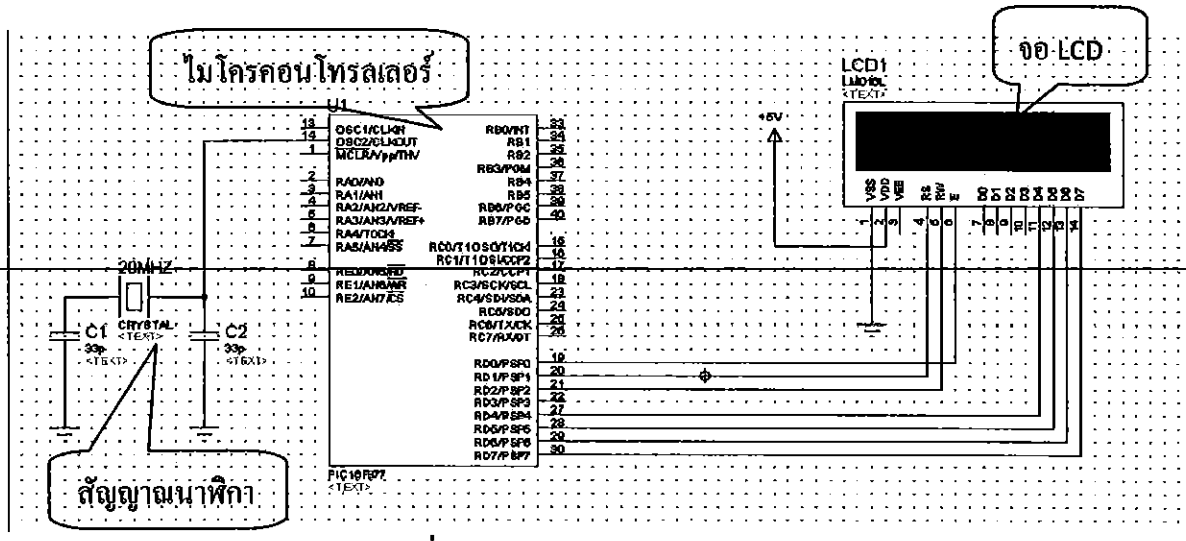
3.1.1 การออกแบบ และทดสอบวงจรบนบอร์ดทดลอง

การต่อวงจรบนบอร์ดทดลองมีความสำคัญสำหรับผู้เริ่มศึกษา และสำหรับผู้ที่ต้องการเรียนรู้เพื่อสร้างบอร์ด เพราะการต่อวงจรเบื้องต้นจำเป็นต้องรู้ถึงส่วนประกอบหลักและความสำคัญของการวางวงจรบนบอร์ดจริง ในการต่อบอร์ดทดลองเริ่มจากการต่อวงจรพื้นฐานบน Breadboard คือบอร์ดสีขาวที่ใช้สำหรับการต่อวงจรพื้นฐาน การใช้งานบอร์ดดังกล่าวในการทดลองต่อวงจรไฟกระพริบเพื่อทดสอบความรู้และความเข้าใจในการต่อวงจร



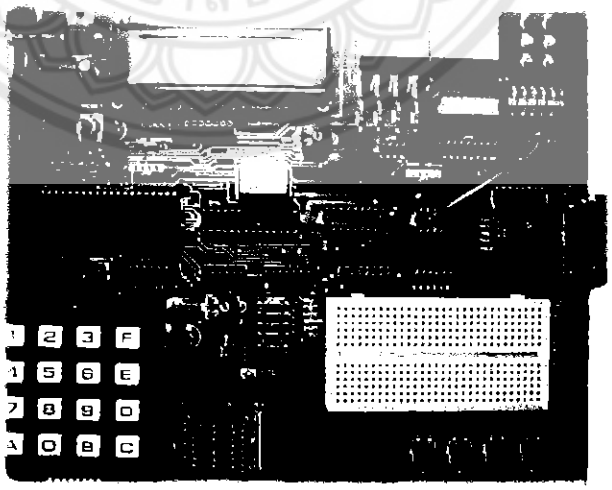
รูปที่ 3.2 วงจรไฟกระพริบบนบอร์ดทดลอง (Breadboard)

เมื่อทำการต่อวงจรบน Breadboard ได้แล้ว จึงทำการต่อวงจรอื่นๆ บนบอร์ดทดลองเอนกประสงค์ (บอร์ดที่มีการต่อวงจรพื้นฐาน) สำหรับการใช้งานบอร์ดเอนกประสงค์นั้นเราต้องศึกษาถึงวงจรการต่อต่างๆบนบอร์ด ว่ามีความสำคัญอย่างไร เมื่อรู้ถึงการทำงานแล้วก็จะเป็นการทดลองเขียนโปรแกรมพื้นฐานเพื่อทดสอบอุปกรณ์ต่างๆบนบอร์ดว่าสามารถใช้งานได้จริง เริ่มจากการทดลองจอแสดงผล LCD ว่าสามารถใช้งานได้ ก็จะทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.3 หลังจากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมให้แสดงผลตัวเลขหรือตัวหนังสือ ให้แสดงบนจอแสดงผล LCD เพื่อดูการแสดงผล



รูปที่ 3.3 วงจรจอแสดงผล LCD

สำหรับการทดลองต่อวงจรนั้นเราได้ทำการต่อวงจรลงบนบอร์ดทดลองเอนกประสงค์ทดลองต่อสายไฟเข้ากับจอแสดงผลบนบอร์ดทดลองเอนกประสงค์แล้วจึงทำการบันทึกโปรแกรมลงบอร์ด พร้อมทั้งตรวจสอบการทำงานของการต่อวงจร การทำงานของชิพไอซีว่าสามารถใช้งานได้ดี สำหรับบอร์ดเอนกประสงค์นั้นคือบอร์ดสำเร็จรูปที่มีวงจรต่างๆครบหมดแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ผู้จัดทำจะใช้บอร์ดเอนกประสงค์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมต่างๆ เพราะว่าบอร์ดอเนกประสงนั้นมีความน่าเชื่อถือ จึงสามารถนำมาใช้งานได้โดยที่มั่นใจได้ว่าวงจรบนบอร์ดสามารถใช้งานได้ดี หากเกิดความผิดพลาดใดขึ้นอาจจะสรุปได้ว่าเป็นความผิดพลาดที่ตัวโปรแกรมไม่ใช่ที่ตัววงจรบนบอร์ดเอนกประสงค์



รูปที่ 3.4 บอร์ดทดลองเอนกประสงค์

3.1.2 การเขียนโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมเราจะต้องทำการศึกษาถึงการเขียนโปรแกรมพื้นฐานว่าในการใช้งานนั้นเราใช้โปรแกรมใดในการเขียน รวมถึงภาษาที่ใช้เขียนนั้นเป็นภาษาใด โดยในที่นี้ผู้เขียนได้ใช้โปรแกรม MPLAB ในการเขียนและคอมไพล์โปรแกรม และภาษาที่ผู้เขียนใช้เขียนคือภาษา C ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ มีหัวข้อหลักที่เรานำมาใช้งานดังต่อไปนี้

1) หัวเรื่องสำหรับจัดเก็บคำสั่ง (Header File)

ศึกษาส่วนการเรียกฟังก์ชันใน Header File การตั้งค่าสัญญาณนาฬิกา รวมถึงการเรียกฟังก์ชันของชิป เซ็นเซอร์ จอ LCD

2) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor)

ขั้นตอนการศึกษาและการเขียนโปรแกรมในส่วนนี้นั้น สามารถเรียกใช้ฟังก์ชันในส่วนของเซ็นเซอร์มาใช้งาน โดยการเรียกมาใช้งานอย่างเช่นที่ใช้ในโปรแกรมนี้ใช้การอ่านค่า ds1820_read() มาเก็บไว้ในตัวแปร ซึ่งจะสามารถแสดงและกำหนดในคำสั่งของ LCD เพื่อแสดงค่าได้เลย

3) เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor)

การเขียนในส่วนของเซ็นเซอร์วัดความดันนั้น ได้ใช้การตั้งค่าพอร์ตกลุ่มเอให้เป็นสัญญาณอนาลอก ใช้คำสั่งการอ่านค่า (Read_ADC) ซึ่งเป็นเลขฐานมาเก็บในตัวแปรใหม่เพื่อปรับค่าเป็นแรงดันไฟฟ้า และทำการคำนวณตามสูตรของในแต่ล่ะเซ็นเซอร์เพื่อหาค่าที่เป็นความดันที่ต้องการใช้งาน

4) จอแสดงผล (LCD)

ในส่วนจอ LCD นั้นเริ่มศึกษาจากการแสดงผลตัวอักษร จากนั้นศึกษาคำสั่งในการแสดงตำแหน่งในจอ LCD อย่างเช่น หากใช้คำสั่ง lcd_gotoxy(); หากต้องการให้แสดงผลในตำแหน่งบนซ้ายเป็นตำแหน่งแรกก็สามารถกำหนดที่ตำแหน่ง lcd_gotoxy(0,0); และใช้%f ในการกำหนดตำแหน่งของค่าตัวแปรที่แสดงค่าทั้งตำแหน่งหน้าจุดทศนิยมและหลังจุดทศนิยมได้

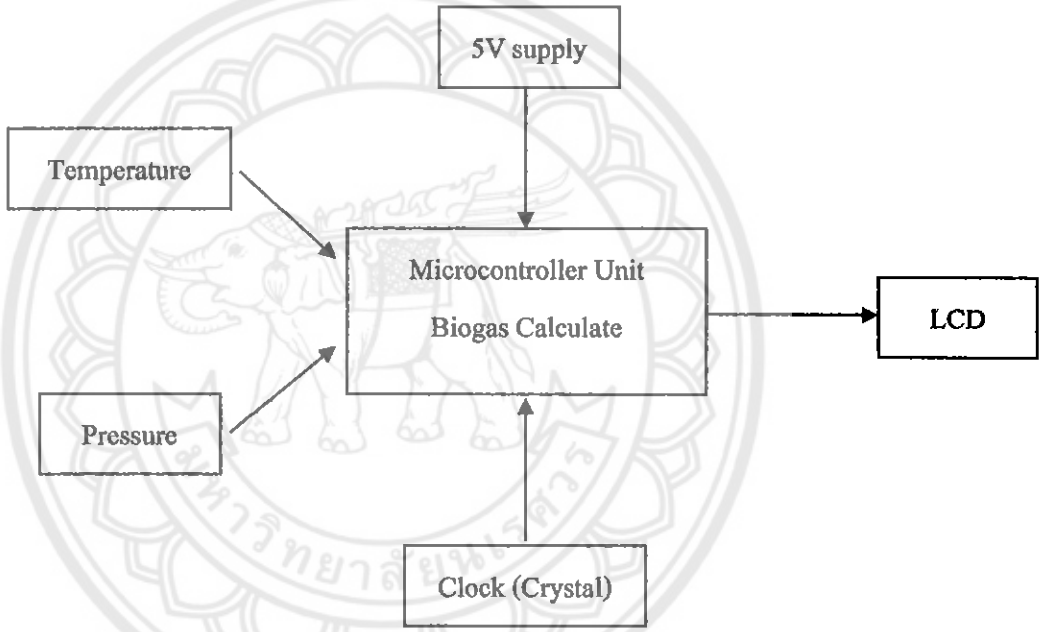
5) ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

การหาความหนาแน่นของก๊าซนั้นคือการคำนวณจากการใช้ส่วนของอุณหภูมิ และความดันมาหาค่าความหนาแน่น ในส่วนของโปรแกรมจึงนำค่าตัวแปรมาคำนวณและแสดงผล

I5094707 e.2

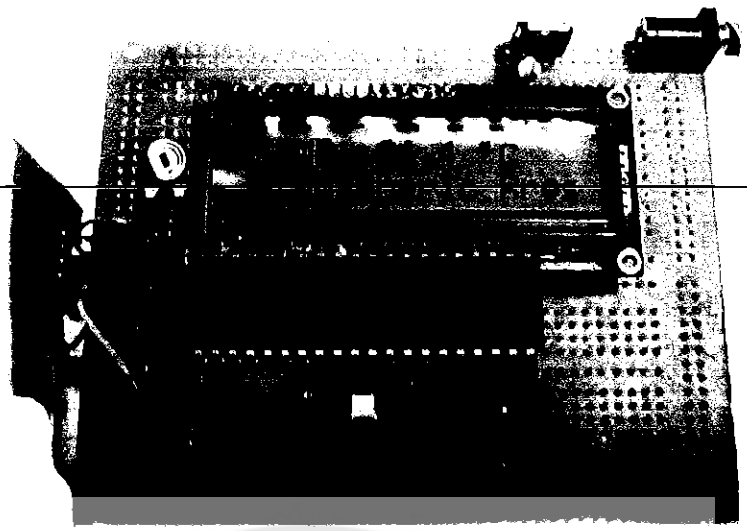
3.1.3การสร้างบอร์ดใช้งานจริง

สำหรับการสร้างบอร์ดใช้งานจริงนั้นเรามีความต้องการที่จะสร้างบอร์ดให้สามารถวัดค่าของ อุณหภูมิ, ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ โดยเราจะมีหลักการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ดังรูปที่ 3.5 โดยในการทำงานของรูปด้านล่างนั้นแสดงว่า เครื่องไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลางในการรับการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความดัน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และสัญญาณนาฬิกา (ในการใช้งานครั้งนี้ผู้เขียนได้เลือกใช้วิธีใส่คริสตัลเพราะสามารถใช้งานได้ง่ายและมีความเสถียร) และไฟ 5V สำหรับผลของค่าที่ได้นั้นจะแสดงผลออกทางจอแสดงผล LCD ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำงานของวงจรและโปรแกรม



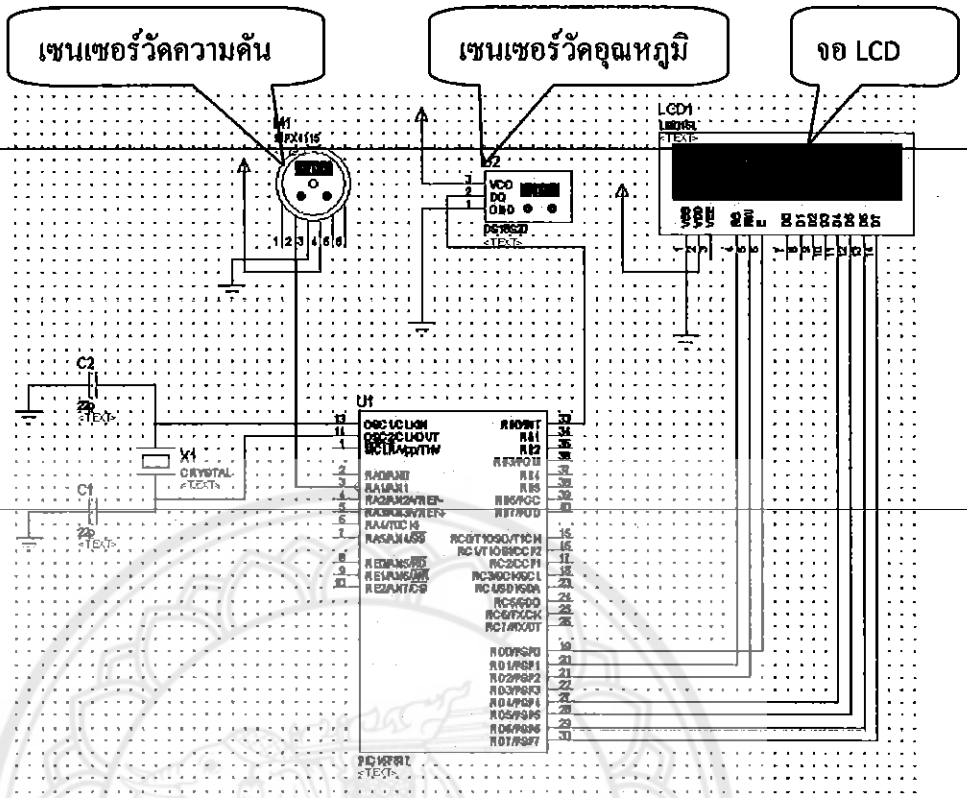
รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

รูปที่ 3.6 แสดงถึงการออกแบบการวางวงจรและการวางอุปกรณ์ต่างๆเช่น จอแสดงผล ชิพไอซี และคริสตัล จำเป็นต้องมีการวางให้สมดุลกันดังภาพเพื่อให้ง่ายต่อการบัดกรีและง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งจะเห็นถึงการเดินสายไฟที่ไม่ให้ยาวมากนักเพื่อป้องกัน ความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นภายในสายไฟ



รูปที่ 3.6 วงจรและการวางอุปกรณ์ต่างๆบนแผ่นปริ๊นเอนกประสงค์

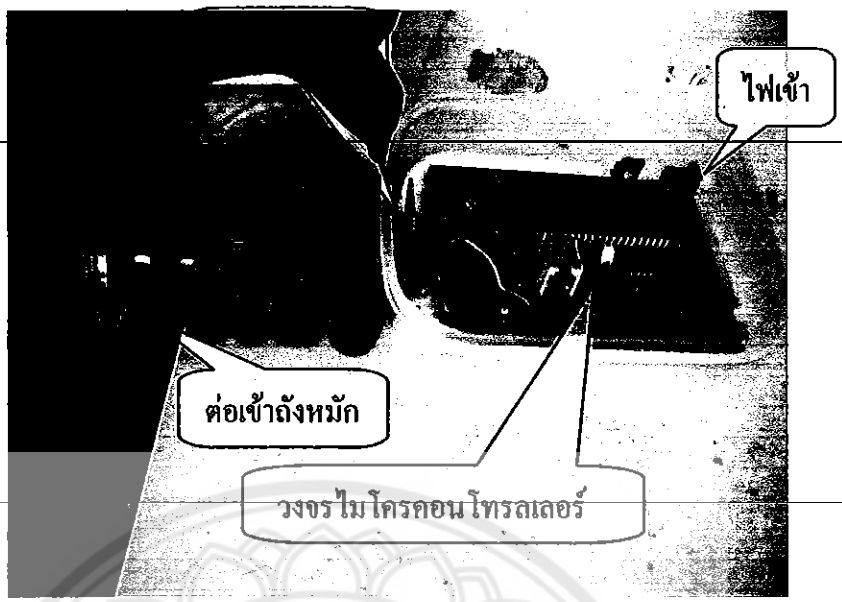
จากการที่ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาถึงการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็น บนบอร์ดทดลองเอนกประสงค์นั้นทำให้ได้ทราบถึงหลักการและการวางวงจรที่ถูกต้อง การสร้างบอร์ดใช้งานจริงเริ่มจากการเขียนแผนผังวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.7 เมื่อสามารถทราบถึงจุดเชื่อมต่อต่างๆแล้วจึงทำการวางอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ลงบนแผ่นปริ๊นเอนกประสงค์ พร้อมทั้งทำการบัดกรี การวางวงจรนั้นควรเริ่มจากการกำหนดจุดจ่ายไฟเข้าสู่บอร์ดเป็นอันดับแรก เพื่อที่จะได้ทราบถึงตำแหน่งของไฟ 5V ที่ต้องการนำไปใช้งาน



รูปที่ 3.7 วงจรของเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

3.2 แนวคิดวิธีการสร้างกล่องและการนำไปใช้งาน

การใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซมีความจำเป็นต้องนำไปวัดกับอากาศและความดันภายในถังหมักก๊าซชีวภาพ จึงมีความจำเป็นต้องทำการออกแบบกล่องสำหรับการใช้งานเพื่อป้องการการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ และป้องกันความเสียหายอันเนื่องจากการวัดค่าต่างๆ การสร้างกล่องใช้งานนั้นเราจำเป็นต้องติดข้อต่อท่อพีวีซี (PVC) เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปเชื่อมต่อกับถังหมักก๊าซซึ่งได้มีการออกแบบมาเช่นกัน โดยภายในท่อพีวีซีเราได้ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดความดัน แล้วจึงทำการซีลโดยรอบเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ หลังจากนั้นจึงทำการวางแผ่นปริ๊นเอนกประสงค์ที่ได้ทำการบัดกรีเสร็จแล้วลงในกล่องใช้งาน พร้อมทั้งทำการบัดกรีเซ็นเซอร์ต่างๆเข้ากับแผ่นปริ๊นเอนกประสงค์ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ



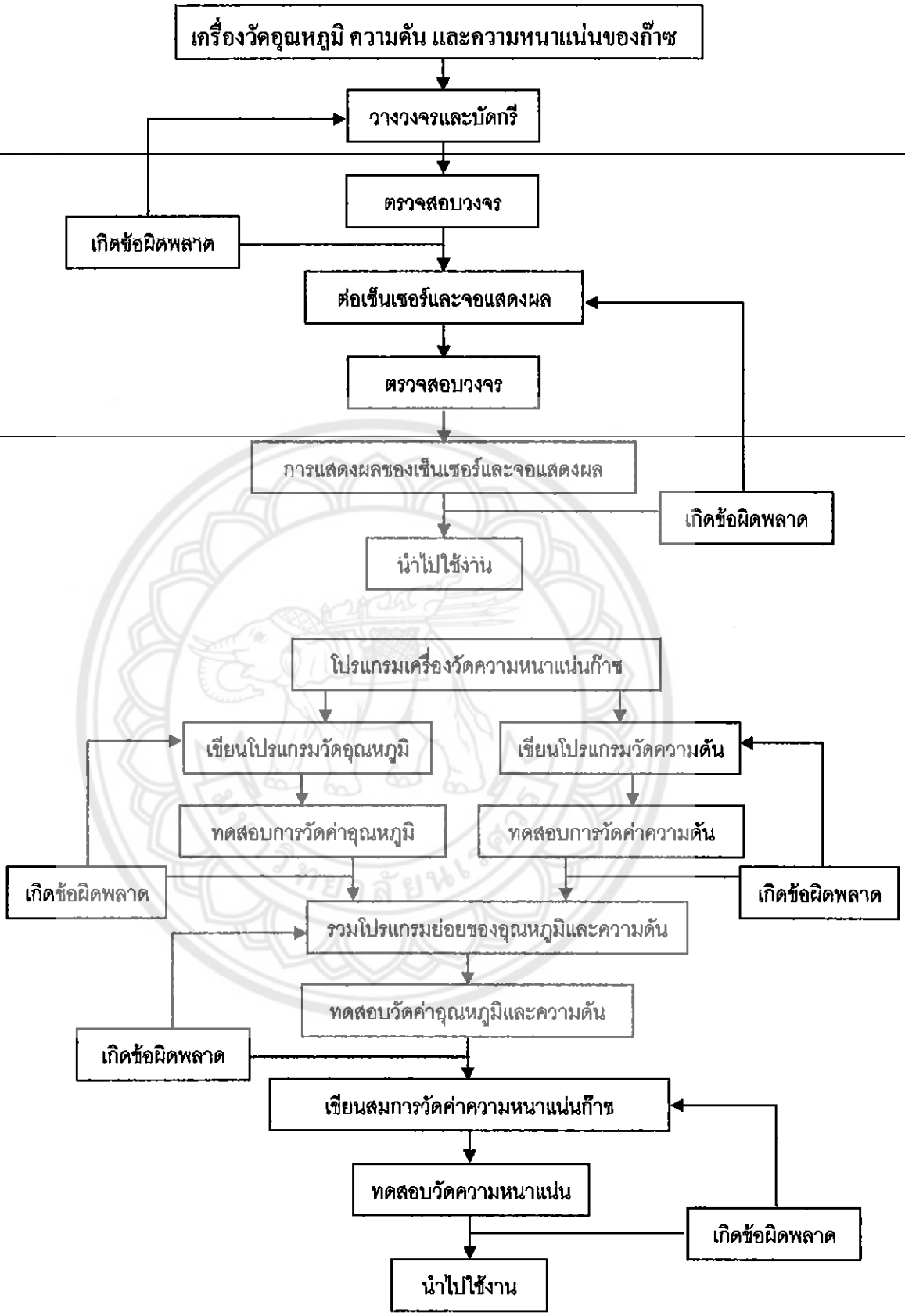
รูปที่ 3.8 การต่อเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซกับถังหมักก๊าซ

3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองจะเป็นการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่าใดซึ่งมีความจำเป็นมากเพื่อที่เราจะได้ทราบถึงปัญหาและหาวิธีแก้ไขความผิดพลาดต่างๆได้ทันที หลังจากนั้นจึงเป็นขั้นตอนการนำเครื่องไปใช้งานจริง

3.2.2การทดสอบการใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

การทดสอบการใช้งานของเครื่องสามารถทำได้ด้วยการ ตรวจสอบการวางวงจรและการบัดกรีต่างๆว่า ได้ทำการบัดกรีทุกจุดอย่างดีแล้ว มีการใช้มัลติมิเตอร์เป็นตัวตรวจสอบวงจร หลังจากนั้นเป็นการทดลองจ่ายไฟเข้าสู่บอร์ดใช้งานจริง พร้อมทั้งสังเกตและตรวจสอบความถูกต้องของการแสดงผลบนจอแสดงผล หากเกิดความผิดพลาดต่างๆสามารถแก้ไขและตรวจสอบความถูกต้องได้ตามผังการทดสอบเครื่องและทดสอบการทำงานของซอฟแวร์ ดังรูปที่ 3.9 เมื่อเครื่องสามารถใช้งานได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงทำการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ว่าสามารถใช้งานได้ถูกต้องเพียงใด ในการทดสอบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมินั้นสามารถทำได้ง่าย ใช้วิธีการการทดสอบวัดอากาศที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยมีเทอร์โมมิเตอร์ที่อยู่ในมัลติมิเตอร์เป็นตัวชี้วัดความถูกต้อง ในส่วนของเซ็นเซอร์วัดความดันนั้น มีความจำเป็นต้องสร้างถังความดันแล้วทำการติดตั้งเกจวัดความดัน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป



รูปที่ 3.9 ผังการทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

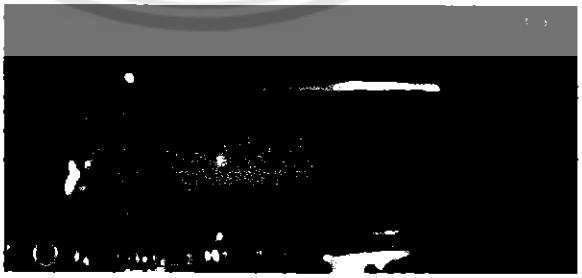
3.2.3 การใช้งานเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ

ในการนำเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซไปใช้งานนั้นควรทราบถึงขอบเขตการใช้งานก่อนว่า เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -40ºC ถึง 125ºC และทนแรงดันได้ 115 kPa เพราะฉะนั้นการติดตั้งเครื่องกับถังหมักก๊าซหรือการนำไปใช้งานอื่นๆควรทราบถึงขอบเขตการใช้งาน หากทราบถึงขอบเขตการใช้งานแล้ว ก็จะทำการต่อเครื่องกับถังหมักก๊าซโดยการต่อท่อสายยางเข้ากับท่อพีวีซี ที่ได้ทำการเชื่อต่อกับกล่อง หลังจากนั้นก็จะทำการเปิดเครื่องเพื่อดูอุณหภูมิของอากาศภายในถังหมักและความหนาแน่นของก๊าซ

3.3 ปัญหาที่พบ และวิธีการแก้ไข

การแสดงผลบนจอ LCD

การแสดงผลในส่วนนี้เกิดจากความผิดพลาดของผู้เขียนเองเนื่องจาก ในตัวโปรแกรมนั้นการแสดงผลบนจอ LCD จะต้องมีการใส่เซ็นเซอร์อุณหภูมิ ลงบนบอร์ดทดลอง แต่ด้วยผู้เขียนไม่ได้ทำการใส่เซ็นเซอร์ จึงทำให้การแสดงผลที่เกิดขึ้นนั้นไม่สมบูรณ์ เพราะฉะนั้นในการเปิดใช้งานเครื่องทุกๆครั้ง และการจะทดสอบวงจรต่างๆนั้น ควรที่จะมีการต่อวงจรและอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆให้ครบแล้วจึงทำการเปิดเพื่อทดสอบเครื่อง หากไม่ทำเช่นนั้นแล้ว เมื่อทำการเปิดทดสอบเครื่องอาจทำให้เกิดการผิดเพี้ยนขึ้นบนจอแสดงผลหรือเกิดความเสียหายขึ้นได้ จึงควรที่จะต่ออุปกรณ์ให้ครบก่อนแล้วจึงจ่ายไฟเข้าสู่วงจร หากต้องการถอดแก้ไขเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ต่างๆ ก็ควรที่จะกระทำเมื่อปิดเครื่องโดยสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ 3.10 จอแสดงผลไม่แสดงข้อมูล

การรวมโปรแกรม

การรวมโปรแกรม คือการนำโปรแกรมอุณหภูมิและความดัน ที่เราได้ทำการเขียนขึ้นโดยเขียนแยกกันนั้น นำโค๊ดทั้งสองมารวมกันและทำการแก้ไขเพื่อให้โค๊ดทั้งสองนั้นสามารถทำงานร่วมกันได้โดยสามารถใช้งานได้ดี ในขั้นตอนของการรวมโปรแกรมของการวัดอุณหภูมิและการวัดความดัน เนื่องจากการเขียนในขั้นตอนที่ผ่านมาเขียนแยกกันทำให้เกิดการใช้พอร์ตที่ร่วมกันเวลาที่นำมารวมกัน ซึ่งในส่วนของความดันต้องการใช้พอร์ตที่แปลงเป็นดิจิตอล ทำให้ต้องย้ายพอร์ตของอุณหภูมิใหม่ และในส่วนของเงื่อนไขภายในโปรแกรม เกิดปัญหาหาจากการเรียงลำดับคำสั่งก่อนหลังของจากการเรียกใช้ในส่วนของอุณหภูมิและความดัน การนำค่าออกแสดงผลทางจอภาพในสองบรรทัดและให้สลับการแสดงค่าจากการใช้สัญญาณเวลา

ความผิดพลาด จากบอร์ดใช้งานจริง

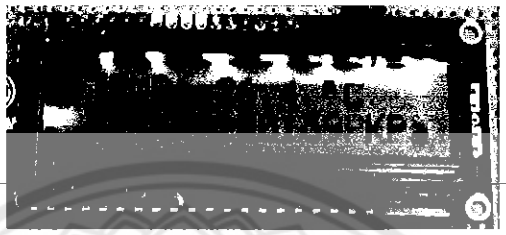
1) จอแสดงผลไม่ทำงาน

จากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นดังด้านบนนั้น เกิดจากวงจรที่เราต่อนั้นมีบางจุดที่กระแสไฟไม่ผ่านไปสู่จอแสดงผล และวงจรมีการลัดวงจร ทำให้จอมีการแสดงผลที่ผิดเพี้ยน จากรูปที่ 3.11 ชี้ให้เห็นถึงจุดที่เกิดการลัดวงจรเนื่องจากมีการบัดกรีไม่แน่น โดยที่เราพบจุดบัดกรีไม่แน่นจากการใช้มิเตอร์วัดและจากการที่เรากดที่สายไฟเมื่อเราทำการกดสายไฟแล้ววงจรสามารถทำงานได้ เมื่อพบจุดที่เราบัดกรีไม่แน่นแล้ว เราได้ทำการแก้ไขโดยการบัดกรีใหม่ เพื่อให้วงจรดังกล่าวทำงานได้เป็นปกติ

รูปที่ 3.11 จอแสดงผล LCD บนบอร์ดใช้งานจริงไม่ทำงาน

2) จอ LCD แสดงผลไม่ถูกต้อง

จอแสดงผลแสดงผลออกมาไม่ถูกต้อง จากกรณีนี้เกิดจากการต่อวงจรที่ผิดพลาด คือผู้เขียนไม่ได้ทำการใส่คาปาซิเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งมีหน้าที่ทำให้สัญญาณที่ส่งมาในวงจรมีความราบเรียบสม่ำเสมอ เมื่อสัญญาณที่ได้ไม่สม่ำเสมอจึงทำให้เกิดความผิดพลาดซึ่งแสดงขึ้นบนจอ LCD จะเห็นได้ว่ามีการซ้อนของตัวหนังสือและ ค่าของอุณหภูมิที่แสดงมีค่าสูงถึง 84.9 °C และก็ติดลบ 5 °C ในสภาวะที่อากาศปกติ



รูปที่ 3.12 จอแสดงผล LCD แสดงผลผิดพลาด

3) ถังหมักก๊าซรั่ว

ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ถังที่ใช้ในการหมักก๊าซมีการรั่วซึมทำให้ก๊าซที่ผลิตออกมาเกิดการระเหยออกมาภายนอก เป็นเหตุผลให้ความดันในถังหมักก๊าซชีวภาพมีค่าคงที่ และมีค่าที่ต่ำจากกระบวนการดังกล่าวจึงทำให้จำเป็นต้องทำการทดสอบเซ็นเซอร์วัดความดัน ว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่ซึ่งอาจจะเป็นเหตุผล ที่ทำให้ความดันในถังหมักก๊าซมีค่าที่คงที่ ซึ่งจากการทดสอบเซ็นเซอร์วัดความดันแล้ว จึงทำให้เห็นว่าเซ็นเซอร์วัดความดันยังคงทำงานได้อย่างถูกต้อง จึงสามารถหาข้อผิดพลาดจากส่วนนี้ได้ว่า เกิดจากการรั่วไหลของก๊าซที่อยู่ภายในถังการหมักก๊าซ

3.4 Uncertainty Analysis

จากสมการที่ (2.12) เมื่อใช้กฎของก๊าซในอุดมคติและจะได้

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} = \frac{1}{RT}, \frac{\partial \rho}{\partial T} = -\frac{P}{RT^2} \tag{3.1}$$

ดังนั้น

$$W_\rho = [\left(\frac{1}{RT}\right)^2 W_p^2 + \left(-\frac{P}{RT^2}\right)^2 W_T^2]^{\frac{1}{2}} \tag{3.2}$$

และ

$$\frac{W_\rho}{\rho} = [\left(\frac{W_p}{P}\right)^2 + \left(-\frac{W_T}{T}\right)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

เมื่อแทนค่าจากผลการทดลองในสมการ 3.3 จะได้

$$\frac{W_\rho}{\rho} = [\left(\frac{75}{1027.8}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{306.05}\right)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{W_\rho}{\rho} = 0.07298 = 7.29\ \%$$

จากการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดด้วนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซ็นเซอร์วัดความดัน จะสามารถคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดก๊าซออกมาได้ เท่ากับ 7.29% ซึ่งถือเป็นค่าที่สูง และจากข้อมูลที่ได้มานั้นจะได้ว่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้วัดค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพได้เพียงแค่ระดับหนึ่งเท่านั้น อันเนื่องมาจากค่าที่ได้จากการวัดนั้นมีค่าที่น้อยและการเก็บผลที่น้อยเช่นกัน อีกทั้งไม่มีตัวเปรียบเทียบความถูกต้อง จึงสามารถที่จะสรุปได้ว่าเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ สามารถวัดความหนาแน่นของก๊าซได้แต่ยังไม่มีความเสถียรภาพที่มากพอ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

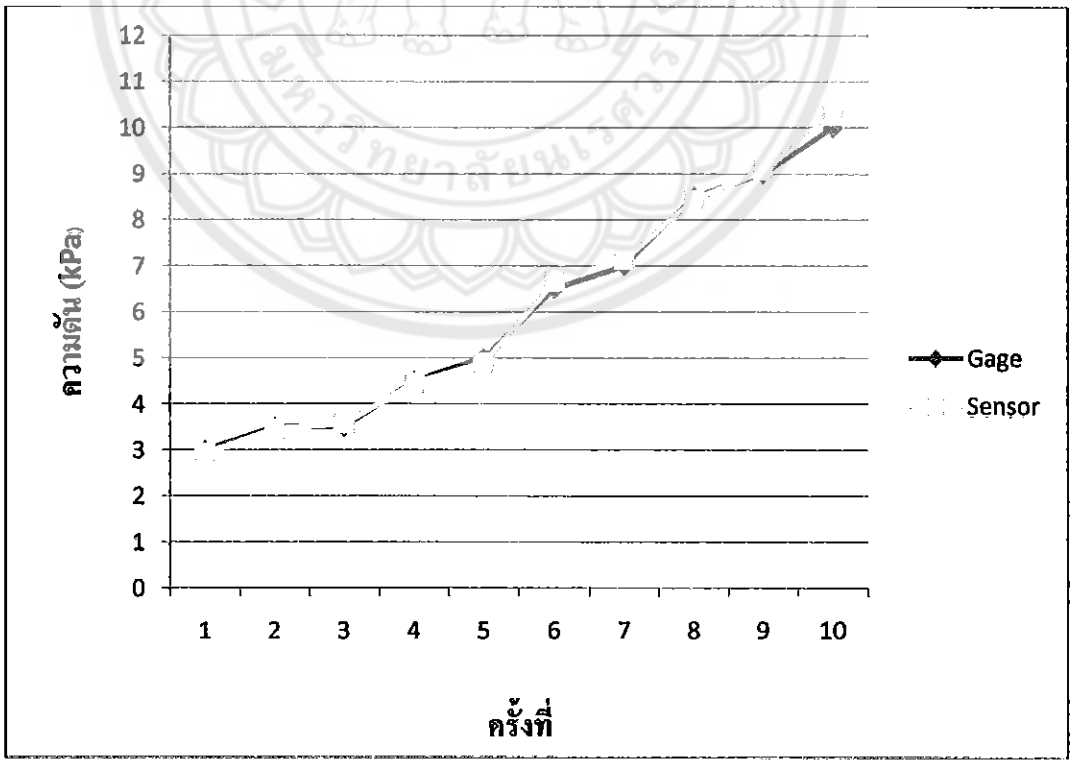
หลังจากการดำเนินงานในบทที่ 3 ซึ่งเราได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ การวัดความหนาแน่นของก๊าซภายในถังหมักก๊าซชีวภาพวัดได้โดยการ ใช้สมการมาคำนวณเพื่อหาความหนาแน่นของก๊าซ แล้วทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถนำสมการนั้นมาคำนวณได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือเราจำเป็นต้องนำผลที่วัดได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับการคำนวณ อีกครั้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

4.1 การเปรียบเทียบความดันที่วัดได้โดยเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซกับเกจวัดความดัน

การทดสอบเซ็นเซอร์วัดความดัน โดยทำการวัดความดันภายในถังทดลอง แล้วจึงเปรียบเทียบความแตกต่างของเซ็นเซอร์วัดความดัน กับเกจวัดความดัน ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ในอัตราส่วนของความดันที่วัดจากเซ็นเซอร์นั้น ความดันบรรยากาศที่ใช้นั้นมีค่าเท่ากับ 100.61 kPa เมื่อทำการเปรียบเทียบดังในกราฟที่ 4.1 แล้วมีค่าความแตกต่างของเซ็นเซอร์วัดความดันและเกจวัดความดันเท่ากับ 1.837 % ซึ่งในที่นี้ความละเอียดในการวัดของเกจวัดความดันอยู่ที่ ± 0.5 kPa ส่วนของเซ็นเซอร์วัดความดันนั้นที่แสดงผลเป็นดิจิตอลนั้นมีความละเอียดในการวัดทางความดันตามคู่มือการใช้งาน ± 0.068 kPa (ที่การใช้งาน 0-85°C) ซึ่งการใช้เซ็นเซอร์วัดความดันแทนการใช้เกจวัดความดันนั้น มีข้อดีทางด้านการใช้งานเช่น สามารถอ่านค่าตัวเลขเป็นแบบดิจิตอลและสามารถนำค่าที่วัดได้บันทึกเป็นข้อมูลเก็บไว้ได้

ตารางที่ 4.1 ทดสอบเซ็นเซอร์วัดความดัน

ความดันที่วัดจากเกจ kPa	ความดันสัมบูรณ์ที่วัดโดยเซ็นเซอร์ kPa	ความดันเกจที่วัดโดยเซ็นเซอร์ kPa
3	103.54	2.93
3.5	104.06	3.45
3.5	104.19	3.58
4.5	105.06	4.45
5	105.5	4.89
6.5	107.28	6.67
7	107.75	7.14
8.5	109.04	8.43
9	109.69	9.08
10	110.88	10.27



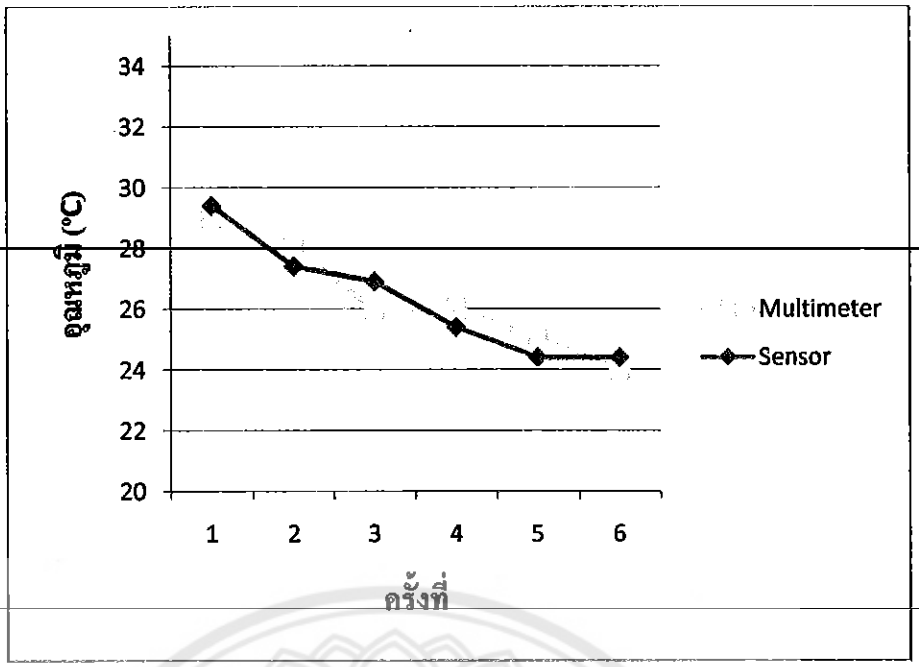
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบค่าของความดันที่วัดจากเซ็นเซอร์และเกจวัดความดัน

4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้โดยเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซกับเทอร์โมมิเตอร์

การทดสอบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โดยทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกับ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดที่เป็นมิเตอร์ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และแสดงเป็นกราฟได้ดังกราฟที่ 4.2 ซึ่งเทอร์โมมิเตอร์ที่เราได้นำมาทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบนั้นให้ค่าที่ละเอียดน้อยกว่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และจากการวัดเราจะได้ค่าความแตกต่างระหว่างเซ็นเซอร์วัดความดันและเทอร์โมมิเตอร์เท่ากับ 2.305% ในที่นี้ความละเอียดในการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ ± 0.5 °C เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสามารถแสดงผลออกทางจอแสดงผลได้ทันทีเพราะไม่มีการแปลงสัญญาณใดๆ สัญญาณที่ได้ส่งเข้าสู่ชิพไอซีและแสดงผลบนจอทันที

ตารางที่ 4.2 ทดสอบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดจากเซ็นเซอร์ (Sensor)	อุณหภูมิที่วัดจากมัลติมิเตอร์ (Multimeter)
1	29.4	29
2	27.4	28
3	26.9	26
4	25.4	26
5	24.4	25
6	24.4	24



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบค่าของอุณหภูมิที่วัดจากเซ็นเซอร์และมัลติมิเตอร์

4.3 การวัดสมบัติต่างๆ ของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซที่พัฒนาขึ้นมา

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอถึงการวัดสมบัติต่างๆ ของก๊าซชีวมวลในถังหมัก โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซที่เราพัฒนาขึ้นมา สำหรับอุณหภูมิและความดันนั้น เราได้นำเสนอวิธีการวัดในบทที่ 3 แล้ว และสำหรับความหนาแน่นเราได้กำหนดให้ก๊าซภายในถังหมักประพฤติตนเป็นก๊าซในอุดมคติ ดังนั้นจากผลที่วัดได้จะสามารถเปรียบเทียบการวัดกับสมการที่ทำการคำนวณ เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเครื่อง ดังการคำนวณสมการด้านล่าง โดยการคำนวณจะทราบค่าของ ความดันและอุณหภูมิแล้วทำการคำนวณเพื่อหาความหนาแน่นของก๊าซ โดยการแทนค่าในสมการต้องแปลงอุณหภูมิเป็นเคลวินและความดันเป็นมิลลิบาร์ ก็จะคำนวณหาความหนาแน่นของก๊าซได้ดังสมการด้านล่าง

แทนค่าในสมการ 2.5 จะได้

$$\rho_{act} = \frac{0.72 \times 1027 \times 273}{1013 \times 305.4} = 0.655 \text{ kg/m}^3$$

จากการทดลองและเก็บข้อมูลของอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพ โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ที่เราพัฒนาขึ้นมา ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยทำการวัดผลต่างๆเป็นเวลา 30 นาที และเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที เพื่อนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยเป็น 32.65°C ความดันเฉลี่ย 102.4 kPa และความหนาแน่นเฉลี่ย 0.647 kg/m^3 และมีเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.25 °C , 0.21 kPa และ 0.005 kg/m^3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ในระยะเวลา 30 นาที ตั้งแต่เวลา 10.00 – 10.30 น.

ช่วงเวลา (minute)	อุณหภูมิ(°C)	ความดัน(kPa)	ความหนาแน่น(kg/m^3)
0-5	32.4	102.67	0.65
6-10	32.4	102.56	0.65
11-15	32.4	102.46	0.65
16-20	32.9	102.35	0.65
21-25	32.9	102.13	0.64
26-30	32.9	102.24	0.64

ในการวัดที่ผ่านมาเราได้ทำการวัดในระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเราก็ได้ทำการวัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 1วัน เพื่อต้องการดูการเปลี่ยนแปลงของความดัน ว่าเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลง ความดันนั้นเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงเวลาใด และเพื่อต้องการดูแนวโน้มของความดันสูงสุดในแต่ละชั่วโมง และในแต่ละวัน

จากนั้นเราขยายช่วงระยะเวลาในการวัดสมบัติต่างๆ เป็น 5 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 แสดงค่าของอุณหภูมิ, ความดัน และความหนาแน่นที่ได้ทำการวัดเป็นช่วงเวลาห่างกัน 1 ชั่วโมง จะได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเป็น 32.4 °C ,ความดัน 102.76 kPa และความหนาแน่น 0.658 kg/m^3 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.45 °C , 0.07 kPa และ 0.005 kg/m^3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00-16.00 น.

ช่วงเวลา(hour)	อุณหภูมิ(°C)	ความดัน (kPa)	ความหนาแน่น(kg/m^3)
1	31.9	102.89	0.66
2	31.9	102.78	0.66
3	32.9	102.72	0.66
4	32.9	102.68	0.65
5	32.4	102.75	0.66

ทำการทดลองวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2553 ก่อนทำการวัดก๊าซในถังหมักได้มีการหมักไว้เป็นเวลา 70 วัน ผลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ก่อนการต่อเครื่องกับถังหมักมีอุณหภูมิ 31.9 °C ความดัน 100.61 kPa ไม่มีก๊าซมีเทน เมื่อทำการต่อเครื่องกับถังหมักก๊าซ จะได้ผลดังตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าปริมาณ อุณหภูมิ, ความดัน และก๊าซ ไม่มีความแตกต่างกันมากเท่าไร

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ ในระยะเวลา5 วัน

วันที่	อุณหภูมิ(°C)	ความดัน(kPa)	ความหนาแน่น(kg/m^3)
19 / 04 / 2553	31.9	102.75	0.66
20 / 04 / 2553	32.9	102.78	0.66
21 / 04 / 2553	32.9	102.78	0.66
22 / 04 / 2553	31.9	102.89	0.66
23 / 04 / 2553	32.4	103.00	0.66

จากผลที่ได้ทำการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของก๊าซ มีค่าที่คงที่อาจเป็นผลเนื่องมาจากความดันที่มีค่าที่เพิ่มขึ้นของกระบวนการผลิตก๊าซ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผลของอากาศภายนอกถัง ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงตามความดันและอุณหภูมิ จึงทำให้ความหนาแน่นที่ออกมามีค่าเดียว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซ สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการใช้งานของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปของผู้ใช้งาน ซึ่งเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซเป็นการประยุกต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับการใช้ทฤษฎีก๊าซ เพื่อใช้วัดคุณสมบัติของก๊าซ โดยโครงงานนี้ได้ทดสอบด้วยการวัดก๊าซชีวภาพ จากการหมักกล้วย และคำนวณหาความหนาแน่นของก๊าซ ด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และความดัน มีการทดลองการใช้งานของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิซึ่งได้ทำการวัดในห้องที่มีอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยมีเทอร์โมมิเตอร์เป็นตัวเปรียบเทียบซึ่งผลที่ได้ก็ตรงกัน ในส่วนของเซ็นเซอร์วัดความดันทำการสร้างถังทดสอบมีการติดเกจวัดความดันและเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์วัดความดันในส่วนของค่าที่ได้นั้นมีค่าตรงกัน ผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากแรงดัน และเมื่อทำการประกอบเครื่องกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความดัน ในกระบวนการรับค่านั้นมีความคลาดเคลื่อนโดยรวมจากของเซ็นเซอร์และแรงดันไฟฟ้าในเครื่องเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่นของก๊าซเท่ากับ 0 – 2% โดยเทียบจากการใช้งาน ในการใช้งานเครื่องนี้ ต้องคำนึงถึงความดันบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงตามความสูงจากระดับน้ำทะเล เพื่อสามารถหาความดันเกจของก๊าซได้ หากต้องการนำเครื่องไปใช้ในการวัดค่าอื่นๆสามารถทำได้ด้วยการแก้ไขโปรแกรม ในส่วนของการประยุกต์ใช้ในอนาคตสามารถติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการอินฟาเรดที่ใช้การเปรียบเทียบความยาวคลื่นของก๊าซจะทำให้สามารถตรวจสอบความหนาแน่นของก๊าซได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีความแม่นยำที่สูงขึ้น

5.2 ข้อผิดพลาดและข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองในอนาคต

1. เซ็นเซอร์วัดความดันที่เราได้เลือกใช้นั้นยังมีขอบเขตการวัดที่ต่ำ หากต้องการวัดความดันที่มีค่าสูงมากควรเปลี่ยนเซ็นเซอร์วัดความดันใหม่และหากต้องการให้ได้ประสิทธิภาพจากการวัดที่ดีมากขึ้นควรติดตั้งเซ็นเซอร์ที่เป็นอินฟาเรดในการตรวจจับความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของ มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จะให้ผลที่ดีและแม่นยำมากยิ่งขึ้น
2. สำหรับการทดลองนั้นผลการทดลองที่ได้ยังไม่สมบูรณ์เพียงพออันเนื่องจากการซีลและอุดรอยรั่วของถังหมักก๊าซชีวภาพนั้นยังไม่ดีเพียงพอยังพบการรั่วของก๊าซจากถังหมักจึงเป็นผลให้ความดันที่วัดได้และปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้มีปริมาณที่น้อย
3. ในอนาคตการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพนั้นอาจจะมีการสร้างเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อาจเป็นการเพิ่มขอบเขตการวัดของเซ็นเซอร์โดยการเปลี่ยนเซ็นเซอร์ที่มีการวัดที่ให้ผลเที่ยงตรงมากขึ้น และอาจจะประยุกต์ผลิตขึ้นโดยเพิ่มปริมาณการวัดโดยสามารถวัดก๊าซชนิดต่างๆได้มากขึ้น เช่นเพิ่มการวัดปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณของก๊าซต่างๆเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มเซ็นเซอร์ต่างๆ และปรับปรุงเป็นอุปกรณ์ใช้งานเพื่อตรวจวัดค่าต่างๆที่ต้องการวัดในอนาคตอาจมีความจำเป็นมากเพราะปัจจุบันราคาของเครื่องวัดก๊าซชีวภาพจากต่างประเทศมีราคาที่ค่อนข้างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] www.teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php ณ สิงหาคม 2552

[2] www.inex.co.th/micro/whatismicro.html ณ สิงหาคม 2552

[3] เดชฤทธิ์ มณีธรรม, สำเริง เต็มราม. (2549) คัมภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Microcontroller PIC). กรุงเทพมหานคร, เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

[4] http://www.gotoknow.org/file/natsarun

[5] www.wara.com

[6] สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี, 2546, การออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[7] สุชิน ชินสีห์, 2548, การสร้างและศึกษาประสิทธิภาพชุดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์เรื่องการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกของ PIC Microcontroller, ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[8] แสงเพชร งอนชัยภูมิ, 2548, วงจรเตือนอันตรายจากปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกินพิกัดภายในอาคารจอดรถ, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] ประจิน พลังสันติกุล.PIC Microcontroller programming with CCS C compiler. กรุงเทพมหานคร, อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.

[10] http://www.thaiembedded.com/blog/?cat=38

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานโปรแกรม MPLAB

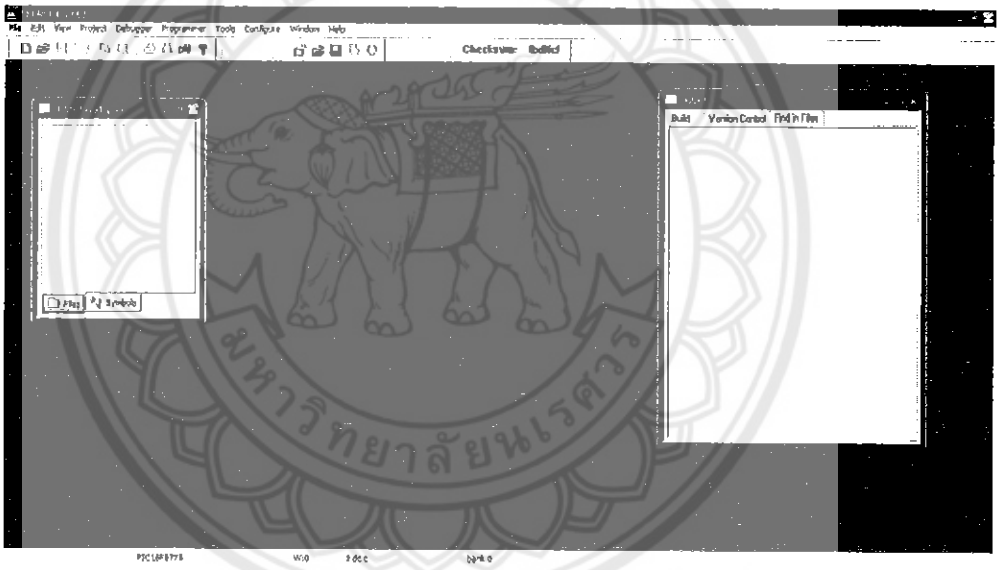
ขั้นตอนและวิธีการใช้งานโปรแกรม MPLAB

การสร้าง Project

เมื่อต้องการใช้งาน MPLAB IDE สิ่งจำเป็นในขั้นตอนแรกคือการสร้าง Project ดังนั้น หน้าที่พื้นฐานของ Project manager คือการจัดการควบคุมไฟล์จำนวนมากในการสร้างอย่างอัตโนมัติ

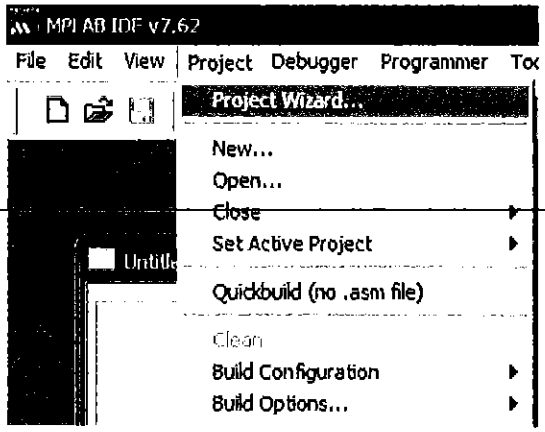
ขั้นตอนการสร้าง Project

ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงขั้นตอนการสร้าง Project ของ MPLAB IDE โดยขั้นตอนการสร้างอยู่ในรูปของ Wizard ดังนั้นจึงสามารถสร้าง Project ได้อย่างง่ายตามขั้นตอนจาก Wizardหน้าเริ่มต้นใช้งานของโปรแกรม MPLAB เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะเป็นหน้าจอดังรูปที่ ก.1 ซึ่งแสดงถึงการเข้าสู่โปรแกรม ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างงานใหม่



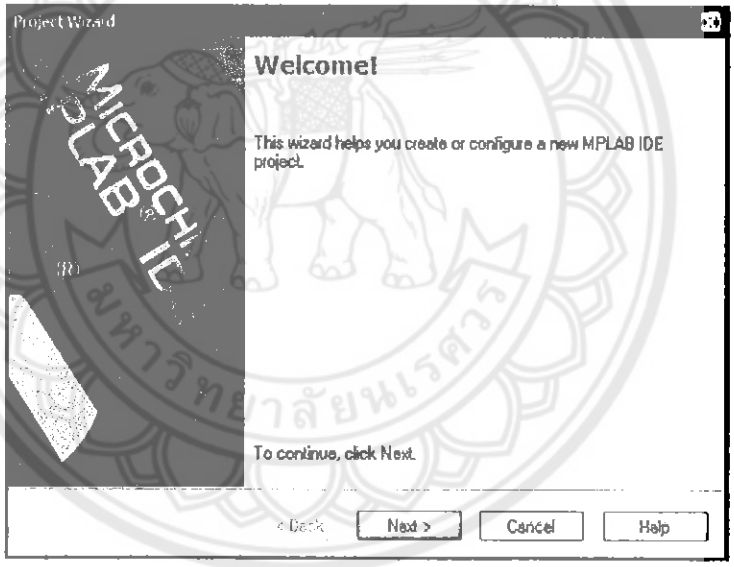
รูปที่ ก.1 หน้าต่างเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม MPLAB

การสร้างงานใหม่ในรูปแบบของ Wizard เริ่มจากการคลิกที่แท็บด้านบน Project→Project Wizard ดังรูปที่ ก.2



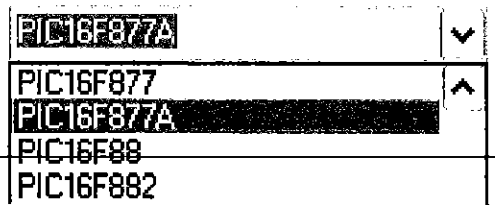
รูปที่ ก.2 การเริ่มใช้โปรแกรมสร้างงานใหม่ด้วย Project Wizard

เมื่อทำตามขั้นตอนข้างต้นแล้วจะแสดงหน้าต่างของ Project Wizard ขึ้นมา **ให้ทำการคลิกที่ [Next]** เพื่อดำเนินการสู่ขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ ก.3



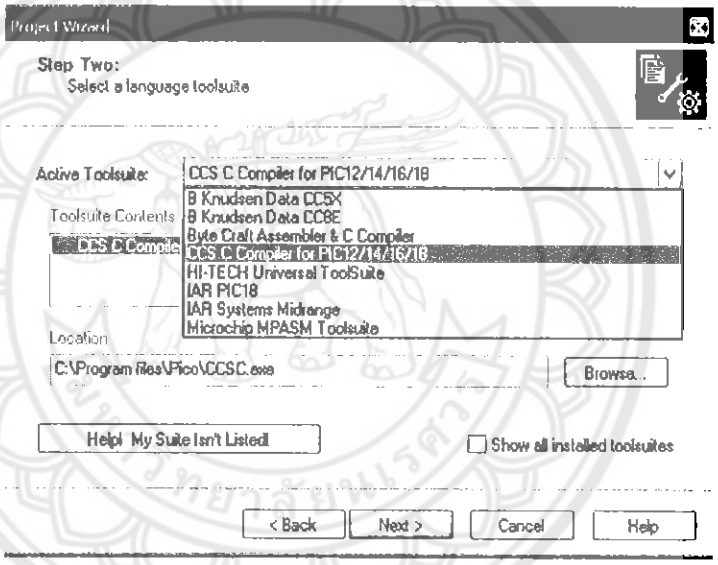
รูปที่ ก.3 หน้าต่างต้อนรับสู่ขั้นตอน Project Wizard

เมื่อเราทำการคลิก [Next] จากนั้นหน้าต่างของการเลือกอุปกรณ์จะถูกแสดงออกมาดังรูปที่ ก.4 กล่าวคือ เป็นหน้าต่างของการเลือกชนิดของ PIC



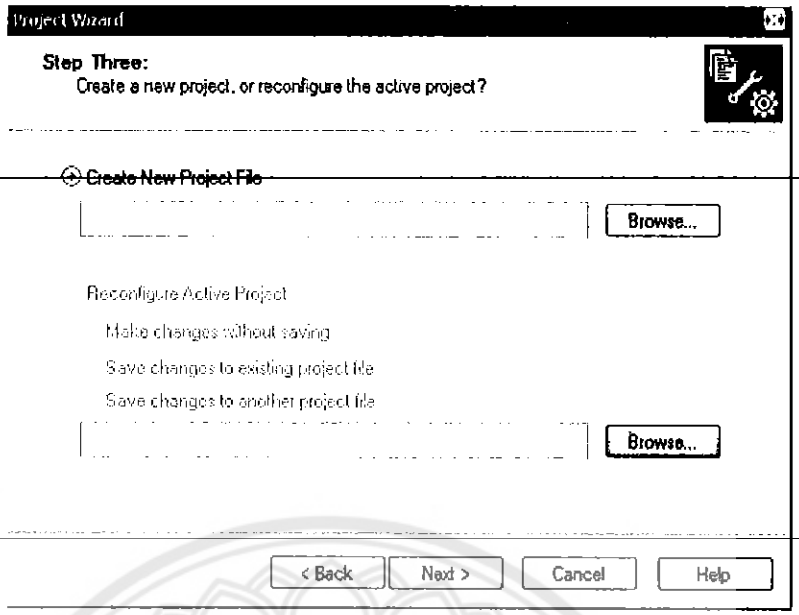
รูปที่ ก.4 หน้าต่างการเลือกชนิด PIC

หลังจากเลือกอุปกรณ์หรือชนิดของ PIC แล้ว กด [NEXT] ก็จะมีหน้าต่างของภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมแล้วเลือกจากหน้าต่างนี้ ในที่นี้ใช้ CCS C Compiler PIC12/14/16/18 ดังแสดงในรูปที่ ก.5



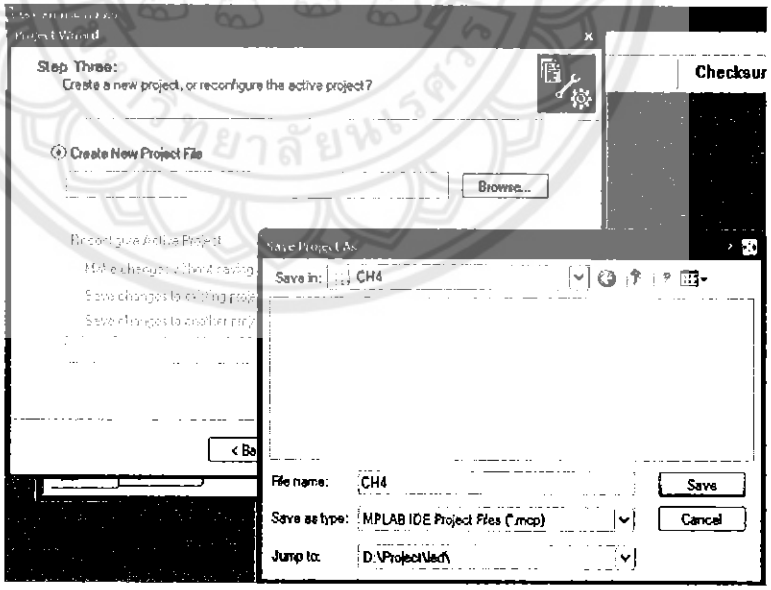
รูปที่ ก.5 หน้าต่างการเลือกภาษา

หลังจากกด [Next] หน้าต่างต่อไปคือหน้าต่างของการกำหนดชื่อ Project และการกำหนด Directory ดังแสดงในรูปที่ ก.6



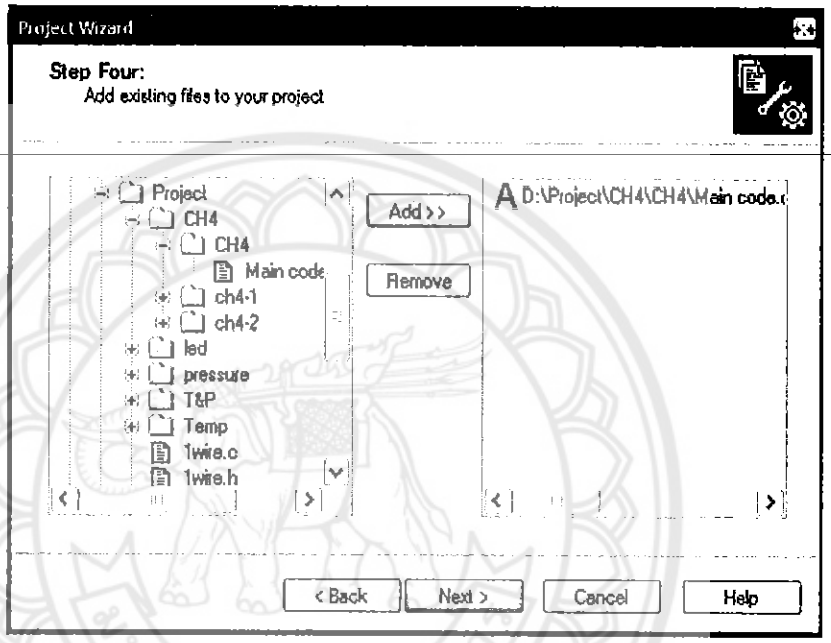
รูปที่ ก.6 หน้าต่างนำเข้าสู่การกำหนดที่อยู่ของไฟล์

กด Browse เพื่อป้อนชื่อ Project จะปรากฏหน้าต่างป้อนชื่อดังรูปที่ ก.7 สำหรับในตัวอย่างนี้ ได้สร้าง Folder ไว้ที่ D:\Project\led ชื่อ CH4 เมื่อป้อนชื่อในกรอบ File name เรียบร้อยจากนั้นให้คลิกปุ่ม [Next] เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป



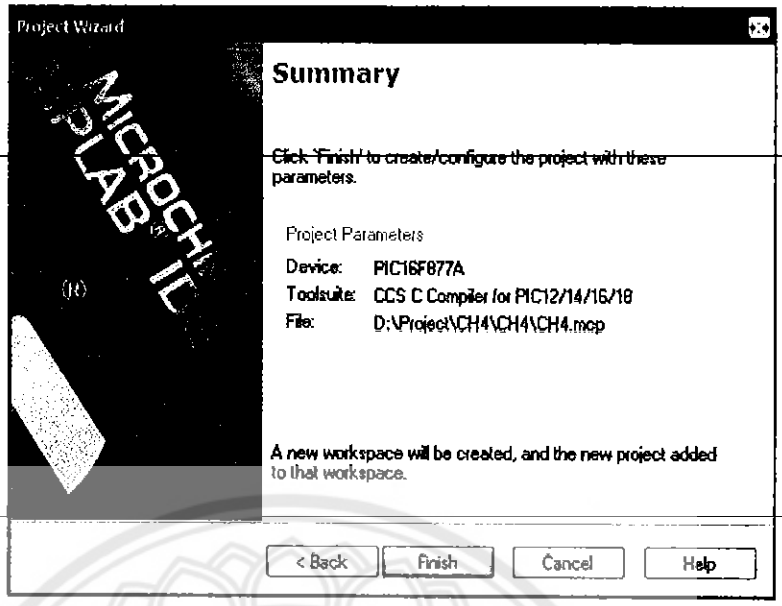
รูปที่ ก.7 หน้าต่างการป้อนชื่อ Project

หน้าต่างการเพิ่มไฟล์ใน Project หน้าต่างของ Add any existing files to your project แสดงดังรูปที่ 5 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเลือกไฟล์ที่เกี่ยวข้องเพื่อเชื่อมโยงการทำงานของ Project ซึ่งในกรอบด้านซ้ายมือแสดงแผนภูมิต้นไม้เพื่อเข้าถึงไฟล์ต่างๆ ส่วนกรอบด้านขวาแสดงชื่อไฟล์ที่ถูกเลือกเพื่อบวกเพิ่มเข้าไปใน Project ไฟล์ที่จะต้องทำการเลือกเพื่อที่จะเพิ่มเข้าไปมีอยู่ด้วยกัน 1 ไฟล์ โดยการเลือกจากแผนภูมิ Path D:\Project\CH4\CH4 แล้วเลือกไฟล์ Main code โดยการดับเบิลคลิก จากนั้นชื่อไฟล์จะปรากฏอยู่ทางด้านขวามือดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 หน้าต่างเลือกไฟล์เพิ่มเข้าไปใน Project

จากนั้นคลิก [Next] เพื่อดำเนินการขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ก.9 หน้าต่างนี้แสดงรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้และ Path ของ Project ที่ได้กำหนดไว้ และในหน้าต่างนี้ให้คลิก Finish แล้วจะจบการสร้าง Project ด้วย Wizard



รูปที่ ก.9 หน้าต่างสรุปรายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์

ภาคผนวก ข

Code ของโปรแกรม MPLAB IDE

```
#include <16F877.h>                          //เรียกฟังก์ชันการใช้งานชิป
#device *=16
#device ADC=10                               //กำหนดในมีขนาด 10 บิต
```

```
#FUSES NOWDT, HS, PUT, NOPROTECT, NODEBUG, BROWNOUT, NOLVP, NOCPD,
NOWRT
#use delay(clock=20000000)                   //กำหนดค่าสัญญาณนาฬิกา
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)  // Jumpers: 8 to 11, 7 to 12
```

```
#include<1wire.h>
#include<lcd.c>                              //เรียกฟังก์ชันการใช้งานจอแสดงผล
#include<ds1820.h>                           //เรียกฟังก์ชันการใช้งานเซ็นเซอร์DS1820

void main() {
        float temperature;                   //กำหนดตัวแปรที่ใช้งาน
        float  value2, p, v1;
        float r1, r2, p1, p2, t1, t2;

        setup_adc_ports(NO_ANALOGS);         //ตั้งค่าลักษณะของพอร์ต
        setup_psp(PSP_DISABLED);
        setup_spi(FALSE);
        setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
        setup_timer_1(T1_DISABLED);
        setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
        //setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
        //setup_vref(VREF_LOW|-2);

        setup_port_a( ALL_ANALOG);           //ตั้งค่าให้พอร์ตเอเป็นแบบอนาลอก
```

```
setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
set_adc_channel( 1 );                    //ตั้งให้ขาที่ 1 เป็นขาที่รับค่าจากเซ็นเซอร์

lcd_init();
lcd_putc("\f");
printf("TEMP: %3.1f ", temperature);

while(1) {
        temperature = ds1820_read();    //ให้ตัวแปรtemperature รับค่าจากการอ่านของ
ds1820

        lcd_gotoxy(1,1);                //กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการแสดงใน
จอแสดงผล
        printf("TEMP: %3.1f ", temperature);
 printf(lcd_putc,"TEMP: %3.1f ", temperature); //คำสั่งแสดงผลโดยให้แสดงค่า 3 หลัก
และจุดทศนิยม 1 หลัก

        lcd_putc(223);
        lcd_putc("C   ");

        value2 = Read_ADC();   //ให้ตัวแปร value2 รับค่าจากการอ่านของADC
        v1 = value2*5/1024;     //ปรับค่าให้เป็นหน่วยโวลต์
        p = (((v1/5)+0.095)/0.009);     //สมการคำนวณความดัน
        lcd_gotoxy(1,2);          //กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการแสดงในจอแสดงผล
        printf(lcd_putc,"\n\r P = %4.2f KPa ",p);
        delay_ms(3000);           //ตั้งค่าหน่วงการแสดงผลของจอ

        r2 = 0.72, t2 = 273, p2 = 1013; //r=kg/m^3 p=mbar t=K
```

```
p1=(p/100)*1013;          //ทำให้ตัวแปร p1เป็นหน่วย mbar
t1=temperature+273;       //ทำให้ตัวแปร t1เป็นหน่วย K
r1 = (r2*p1*t2)/(p2*t1); //สมการคำนวณหาค่าความหนาแน่น
```

```
lcd_gotoxy(1,2);          //กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของการแสดงบนจอแสดงผล
if(p >=101.32)            //กำหนดเงื่อนไขความดันบรรยากาศ
        printf(lcd_putc,"\n\r Den= %4.2f kg/m3 ",r1);
else
        printf(lcd_putc,"Atmospheric Pressure");
```

```
delay_ms(3000);
    }
}
```

ภาคผนวก ค

ภาษาชีและรูปแบบของ ADC

ภาษา C

ภาษาซี (C Language) เป็นภาษาหนึ่งสำหรับเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พัฒนาขึ้นโดย นายเดนนิส ริทชี่ (Dennis Ritche) ในปี ค.ศ. 1972 เพื่อสร้างระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ (Unix Operating System)

การเขียนโปรแกรมในภาษา C มี 8 ขั้นตอน

1. พื้นฐานโปรแกรมภาษา C (Introduction to C Programming)
2. การเขียนโปรแกรมทางเลือก (Selection Structures)
3. การเขียนโปรแกรมแบบ วนซ้ำ (Repetition & Loop)
4. ฟังก์ชัน และการเขียนโปรแกรมแยกเป็นโมดูล (Functions & Modular Programming)
5. ตารางอาเรย์ (Arrays)
6. ตัวแปรพอยเตอร์ (Pointers)
7. ตัวแปรสตริง (String)
8. โครงสร้างสตัคเจอร์ (Structure)

ตัวแปรในภาษาซี

ตัวแปร (Variable) คือ การจองพื้นที่ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ในการ ทำงานของโปรแกรม โดยมีการตั้งชื่อเรียกหน่วยความจำในตำแหน่งนั้นด้วย เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้ข้อมูล ถ้าจะใช้ข้อมูลใดก็ให้เรียกผ่านชื่อของตัวแปรที่เก็บเอาไว้

ชนิดของข้อมูล

ภาษาซีเป็นอีกภาษาหนึ่งที่มีชนิดของข้อมูลให้ใช้งานหลายอย่างด้วยกัน ซึ่งชนิดของข้อมูลแต่ละอย่างมีขนาดเนื้อที่ที่ใช้ในหน่วยความจำที่แตกต่าง กัน และเนื่องจากการที่มีขนาดที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในการเลือกใช้งานประเภทข้อมูลก็ควรจะคำนึงถึงความจำเป็นในการใช้งานด้วย สำหรับประเภทของข้อมูลมีดังนี้คือ

1. ข้อมูลชนิดตัวอักษร (Character) คือข้อมูลที่เป็นรหัสแทนตัวอักษรหรือค่าจำนวนเต็ม ได้แก่ ตัวอักษร, ตัวเลข และกลุ่มตัวอักขระพิเศษใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูล 1 ไบต์
2. ข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม (Integer) คือข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็ม ได้แก่ จำนวนเต็มบวก, จำนวนเต็มลบ และศูนย์ ซึ่งจะใช้พื้นที่ในการเก็บ 2 ไบต์

3. ข้อมูลชนิดจำนวนเต็มที่มีขนาด 2 เท่า (Long Integer) คือข้อมูลที่มีเลขเป็นจำนวนเต็ม ใช้พื้นที่ 4 ไบต์

4. ข้อมูลชนิดเลขทศนิยม (Float) คือข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยม ขนาด 4 ไบต์

5. ข้อมูลชนิดเลขทศนิยมอย่างละเอียด (Double) คือข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยม ใช้พื้นที่ในการเก็บ 8 ไบต์

ตารางที่ ค.1 ชนิดของเลขทศนิยม

ชนิด	ขนาดความกว้าง	ช่วงของค่า	การใช้งาน
Char	8 บิต	ASCII character (-128 ถึง 127)	เก็บข้อมูลชนิดอักขระ
Unsigned char	8 บิต	0 ถึง 255	เก็บข้อมูลอักขระแบบไม่คิดเครื่องหมาย
Int.	16 บิต	-32768 ถึง 32767	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม
Long	32 บิต	-2147483648 ถึง 2147483649	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบยาว
Float	32 บิต	3.4E-38 ถึง 3.4E38 หรือทศนิยม 6	เก็บข้อมูลชนิดเลขทศนิยม
Double	64 บิต	1.7E-308 ถึง 1.7E308 หรือทศนิยม12	เก็บข้อมูลชนิดเลขทศนิยม
Unsigned int.	16 บิต	0 ถึง 65535	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม ไม่คิดเครื่องหมาย
Unsigned long	32 บิต	0 ถึง 4294967296	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบยาวไม่คิดเครื่องหมาย

รูปแบบในการประกาศตัวแปรในภาษา C

การสร้าวตัวแปรขึ้นมาใช้งานจะเรียกว่า การประกาศตัวแปร (Variable Declaration) โดยเขียนคำสั่งให้ถูกต้องตามแบบการประกาศตัวแปร แสดงดังนี้

type name;

type : ชนิดของตัวแปร

name : ชื่อของตัวแปร ซึ่งต้องตั้งให้ถูกต้องตามหลักของภาษา C

การเขียนคำสั่งเพื่อประกาศตัวแปร ส่วนใหญ่แล้วจะเขียนไว้ในส่วนหัวของโปรแกรมก่อนฟังก์ชัน main ซึ่งการเขียนไว้ในตำแหน่งดังกล่าว จะทำให้ตัวแปรเหล่านั้นสามารถเรียกใช้จากที่ใดก็ได้ในโปรแกรม ดังตัวอย่าง

```
#include <stdio.h>
int num;                    สร้างตัวแปรชื่อ num เพื่อเก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม
float y;                    สร้างตัวแปรชื่อ y เพื่อเก็บข้อมูลชนิดเลขทศนิยม
char n;                     สร้างตัวแปรชื่อ n เพื่อเก็บข้อมูลชนิดตัวอักขระ
void main()
{
   printf("Enter number : ")
   scanf("%d",&num);
   printf("Enter name : ");
   scanf("%f",&n);
   printf("Thank you");
}
```

หลักการตั้งชื่อตัวแปร

ในการประกาศสร้างตัวแปรต้องมีการกำหนดชื่อ ซึ่งชื่อนั้นไม่ใช่ว่าจะตั้งให้สื่อความหมายถึงข้อมูลที่เก็บอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงอย่างอื่น เนื่องจากภาษา C มีข้อกำหนดในการตั้งชื่อ

ตัวแปรเอาไว้ แล้วถ้าตั้งชื่อผิดหลักการเหล่านี้ โปรแกรมจะไม่สามารถทำงานได้ หลักการตั้งชื่อตัวแปรในภาษา C แสดงไว้ดังนี้

1. ต้องขึ้นต้นด้วยตัวอักษร A-Z หรือ a-z หรือเครื่องหมาย _(Underscore) เท่านั้น
2. ภายในชื่อตัวแปรสามารถใช้ตัวอักษร A-Z หรือ a-z หรือตัวเลข 0-9 หรือเครื่องหมาย _
3. ภายในชื่อห้ามเว้นช่องว่าง หรือใช้สัญลักษณ์นอกเหนือจากข้อ 2
4. ตัวอักษรเล็กหรือใหญ่มีความหมายแตกต่างกัน
5. ห้ามตั้งชื่อซ้ำคำสงวน (Reserved Word) ดังนี้

ตารางที่ ค.2 คำสงวน (Reserved Word)

Auto	Default	Float	register	Struct	Volatile	break
Do	Far	Return	Switch	While	Case	Double
Goto	Short	Typedef	Char	Else	If	Signed
Union	Const	Enum	Int	Sizeof	unsigned	Continue
Extern	long	static	Void			

ตัวแปรสำหรับข้อความ

ในภาษา C ไม่มีการกำหนดชนิดของตัวแปรสำหรับข้อความโดยตรง แต่จะใช้การกำหนดชนิดของตัวแปรอักขระ (char) ร่วมกับการกำหนดขนาดแทน และจะเรียกตัวแปรสำหรับเก็บข้อความว่า ตัวแปรสตริง (string) รูปแบบการประกาศตัวแปรสตริงแสดงได้ดังนี้

Char name[n]="str";

Name ชื่อของตัวแปร

N ขนาดข้อความ หรือจำนวนอักขระในข้อความ

Str ข้อความเริ่มต้นที่จะกำหนดให้กับตัวแปรซึ่งต้องเขียนไว้ภายในเครื่องหมาย

ตัวอย่างการประกาศตัวแปรสำหรับเก็บข้อความ แสดงไว้ดังนี้

Char name[8]="ronaldo"; สร้างตัวแปร name สำหรับเก็บข้อความ ronaldo ซึ่งมี 7 ตัวอักษร ดังนั้น name ต้องมีขนาด 8

Char year[5]="2553"; สร้างตัวแปร year สำหรับเก็บ ข้อความ 2553 ซึ่งมี 4 ตัวอักษร ดังนั้น year ต้องมีขนาด 5

Char product_id[4]="A01"; สร้างตัวแปร product_id สำหรับเก็บ ข้อความ A01 ซึ่งมี 3 ตัวอักษร ดังนั้น product_id ต้องมีขนาด 4

เครื่องหมายและการดำเนินการในภาษา C

การดำเนินการในการเขียนโปรแกรมภาษา C มีอยู่ 3 ประเภท คือ การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การดำเนินการทางตรรกศาสตร์ และการเปรียบเทียบ ซึ่งการดำเนินการแต่ละประเภทจะมีเครื่องหมายที่ต้องใช้เพื่อเขียนคำสั่ง สำหรับการดำเนินการประเภทนั้น ๆ ดังรายละเอียด

เครื่องหมายการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ ค.3 เครื่องหมายที่ใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์

เครื่องหมาย	ความหมาย	ตัวอย่าง
+	บวก	3+2 การบวกเลข 3 บวกกับ 2 ได้ผลลัพธ์คือ 5
-	ลบ	3 - 2 การลบเลข 3 ลบกับ 2 ได้ผลลัพธ์คือ 1
*	คูณ	2*3 การคูณเลข 3 บวกกับ 2 ได้ผลลัพธ์คือ 6
/	หาร	15/2 การหาร 15 หารกับ 2 ได้ผลลัพธ์คือ 7
%	หารเอาเศษ	15%2การหารเอาเศษ 15 หารกับ 2 ได้ผลลัพธ์คือ 1
++	เพิ่มค่าขึ้น 1 โดย a++ จะนำค่าของ a ไปใช้ก่อนแล้วจึงเพิ่มค่าของ a ขึ้น 1	b=a++; จะมีความหมายเทียบเท่ากับ 2 บรรทัดต่อไปนี้ b=a;

	++a จะเพิ่มค่าของ a ขึ้น 1 ก่อน แล้วจึงนำค่าของ a ไปใช้	a=a+1;
		b=++a;
		จะมีความหมายเทียบเท่ากับ 2 บรรทัดต่อไปนี้
		a=a+1;
		b=a;

--	ลดค่า 1 โดย a-- จะนำค่าของ a ไปใช้ก่อน แล้วจึงลดค่าของ a ลง 1	b=a--; จะมีความหมายเทียบเท่ากับ 2 บรรทัดต่อไปนี้

	--a จะลดค่าของ a ลง 1 ก่อน แล้วจึงนำค่าของ a ไปใช้	b=a;
		a=a-1;
		b=--a;
		จะมีความหมายเทียบเท่ากับ 2 บรรทัดต่อไปนี้
		a=a-1;
		b=a;

ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ

ใช้เปรียบเทียบค่า 2 ค่าเพื่อแสดงการเลือก ซึ่งโปรแกรมโดยทั่วไปใช้ในการทดสอบเงื่อนไขตามที่กำหนดการเปรียบเทียบโดยการเท่ากันของ 2 ค่าจะใช้เครื่องหมาย ==

ตารางที่ ค.4 ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ

เครื่องหมาย	ความหมาย	ตัวอย่าง
>	มากกว่า	a > b a มากกว่า b
>==	มากกว่าหรือเท่ากับ	a >= b a มากกว่าหรือเท่ากับ b
<	น้อยกว่า	a < b a น้อยกว่า b

<==	น้อยกว่าหรือเท่ากับ	a <= b a น้อยกว่าหรือเท่ากับ b
==	เท่ากับ	a == b a เท่ากับ b
!=	ไม่เท่ากับ	a != b a ไม่เท่ากับ b

ตัวดำเนินการตรรกะ

ความหมาย

การดำเนินการเปรียบเทียบค่าทางตรรกะ(และ หรือ ไม่)

&& หมายถึง "และ" ตัวอย่างเช่น x < 60 && x > 50 กำหนดให้ x มีค่าในช่วง 50 ถึง 60

รูปแบบคำสั่ง Prinft

```
Printf ("format",variable);
```

ตารางที่ ค.5 รูปแบบคำสั่งของ Prinft

format	ข้อมูลที่ต้องการแสดงผลออกทางหน้าจอ โดยข้อมูลนี้ต้องเขียนไว้ในเครื่องหมาย " " ข้อมูลที่สามารถแสดงผลได้มีอยู่ 2 ประเภท คือ ข้อความธรรมดา และค่าที่เก็บไว้ในตัวแปร ซึ่งถ้าเป็นค่าที่เก็บไว้ในตัวแปรต้องใส่รหัสควบคุมรูปแบบให้ตรงกับชนิดของข้อมูลที่เก็บไว้ในตัวแปรนั้นด้วย
variable	ตัวแปรหรือนิพจน์ที่ต้องการนำค่าไปแสดงผลให้ตรงกับรหัสควบคุมรูปแบบที่กำหนดไว้

ADC Architecture แบบต่างๆ

[10] สัญญาณทางไฟฟ้าจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ 1.สัญญาณอนาลอก และ 2.สัญญาณดิจิตอล ในระบบดิจิตอลจะมีแต่ Logic 0 และ Logic 1 ในกรณีที่เราจะเอาสัญญาณอนาลอกเข้ามาประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจำเป็นต้องแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเสียก่อน ตัวแปลงสัญญาณที่ว่านี้ก็คือ ADC

ADC(Analog-to-Digital Converters) แปลอย่างตรงตัวคือ ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล การแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลมีด้วยกันหลายวิธีดังต่อไปนี้

ADC แต่ละชนิดจะมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไปผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกใช้ ADC ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน

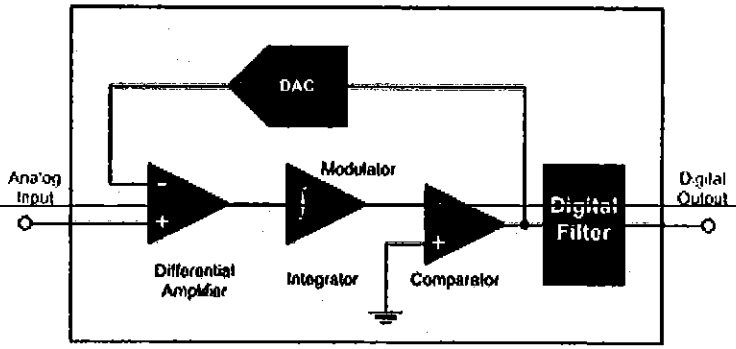
1. Delta-Sigma

Delta-sigma เป็นการแปลงสัญญาณที่มีความละเอียดสูง เป็นการแปลงที่ถือว่าเป็นอุดมคติ (Ideal) และทำงานได้หลายย่านความถี่ ตั้งแต่สัญญาณ DC ไปจนถึงหลัก MHz การทำงานของ Delta-Sigma ADC สัญญาณอินพุตจะถูก Oversample โดยตัว Modulator หลังจากนั้นจะนำสัญญาณมากรองอีกทีเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้นโดย Digital Filter จึงทำให้ได้ค่า ADC ที่มีความละเอียดสูง

เพราะว่า Delta-sigma ทำการ Oversample สัญญาณอินพุตจึงทำให้ได้สัญญาณเรียบขึ้น (Anti-aliasing) และในวงจรส่วน Digital Filter จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า Analog Filter โดยปกติแล้วความละเอียดสูงๆจากการแปลงแบบ Delta-sigma จะใช้ในงานด้านเสียง (audio), งานควบคุมในอุตสาหกรรม และ งานเครื่องมือวัด

โดยปกติแล้ว Delta-sigma จะรับสัญญาณความแตกต่างระหว่าง 2 อินพุต แทนที่จะเป็นการวัดโวลต์เทียบกราวน์ การวัดสัญญาณความแตกต่าง (Differential) ของอินพุตสามารถนำไปวัดเซ็นเซอร์แบบบริดจ์ เช่นเทอร์โมคัปเปิ้ลได้ Delta-sigma เป็นการแปลงสัญญาณที่แตกต่างกับ SAR การแปลงสัญญาณแบบ SAR จะเหมือนกับการวัดสัญญาณ ณ ตอนนั้น ส่วน Delta-sigma จะเหมือนกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณไฟฟ้าใน 1 ช่วงเวลา

โดยส่วนมาก Delta-sigma จะมีบัฟเฟอร์และตัวขยาย (Programable gain amplifiers=PGA) อยู่ในตัว บัฟเฟอร์จะมีอิมพิแดนส์สูงเพื่อให้ต่อตรงกับขาสัญญาณได้โดยไม่มีทำให้วงจรมีค่าอิมพิแดนส์มีค่าผิดไปจากเดิม ดังนั้น Delta-sigma จึงสามารถใช้วัดสัญญาณที่มีขนาดเล็กได้ดี เช่น สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ล เพราะมี PGA อยู่ในตัวสามารถปรับค่า gain ได้ตามความเหมาะสม

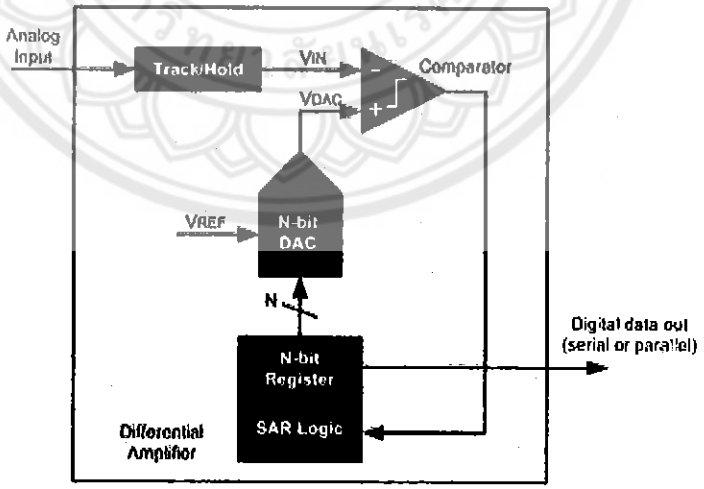


รูปที่ ค.1 โครงสร้างภายในของ Delta-Sigma ADC

2. SAR ADCs

Successive-approximation-register (SAR) analog-to-digital converters (ADCs) เป็น ADC ที่มีขายในตลาดมากที่สุด ความละเอียดจะอยู่ในระดับกลางถึงถึงความละเอียดสูง SAR ADCs ให้อัตราการ sampling ถึง 5 Msps ที่ความละเอียด 8-18 bits โครงสร้างแบบ SAR จะให้ประสิทธิภาพสูง กินไฟน้อย และมีขนาดเล็ก

หลักการของ SAR จะเหมือนตาชั่งแบบ balance คือจะมีน้ำหนักที่ไม่ทราบค่าอยู่ด้านหนึ่งและน้ำหนักที่ทราบค่าอยู่อีกด้านหนึ่ง เราจะเปลี่ยนน้ำหนักที่ทราบค่าไปเรื่อยๆจนกระทั่งตาชั่ง balance เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาสัญญาณจะถูก sample เข้ามาและถูก hold ไว้เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันที่ทราบค่า และจะส่งผลลัพท์ไปที่เอาต์พุต



รูปที่ ค.2 โครงสร้างภายในของ SAR ADC

3. Flash ADC

Flash ADCs เป็นที่รู้กันในอีกชื่อว่า Parallel ADCs หรือแปลเป็นไทยได้ว่า การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบขนาน ADC ชนิดนี้เป็น ADC ที่เร็วที่สุด

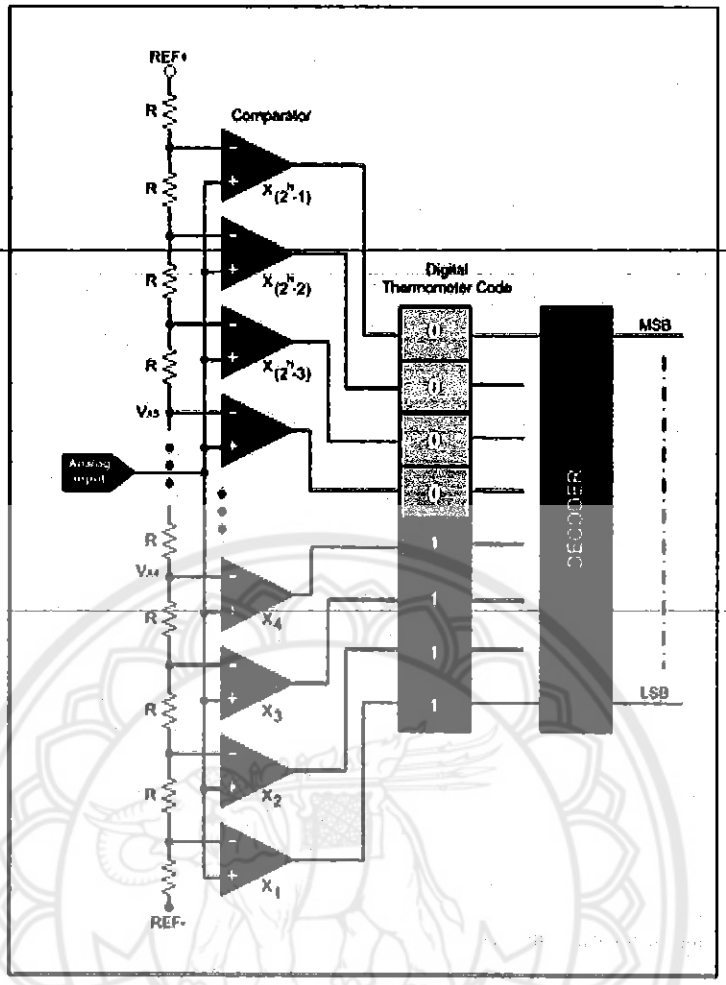
Flash ADCs จะใช้ในงานที่มีแบนวิธกว้าง อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วจะกินกระแสมากกว่า ADC ชนิดอื่น มีราคาแพง และโดยทั่วไปจะจำกัดความละเอียดไว้ที่ความละเอียด 8 บิต Flash ADCs สร้างมาจากวงจร Comparator มาต่อเรียงกัน โดย Comparator แต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ 1 บิต ซึ่งเป็นผลลัพธ์มาจากการเปรียบเทียบค่าของวงจร Comparator ตัวอย่างการใช้งานได้แก่การสื่อสารผ่านดาวเทียม, ออสซิสโลสโคป, ระบบประมวลผลเรดาร์

Block diagram โดยทั่วๆไป สำหรับ ADC ความละเอียด N บิต จะต้องมี Comparator จำนวน (2 ยกกำลัง N) - 1 ตัว และตัวต้านทาน Devider ที่ใช้เป็น Reference Voltage ในวงจรอีก 2 ยกกำลัง N ตัว

ในวงจร Comparator ภายใน ถ้ามีสัญญาณอนาลอกอินพุตเข้ามามากว่า Reference Voltage จะให้ Logic 1 ออกมา ในทางตรงกันข้ามถ้าสัญญาณอนาลอกอินพุตน้อยกว่า Reference Voltage จะให้ Logic 0 ออกมา

ถ้าให้สัญญาณอนาลอกอินพุตระหว่าง Vx4 และ Vx5 แล้ว X1 ถึง X4 ผลลัพธ์ได้ Logic 1 และ Comparator ที่เหลือได้ Logic 0 ผลลัพธ์ที่ออกมาจะมีลักษณะเป็น Bar graph หรือเรียกว่า Thermometer Code เพราะมีลักษณะเป็นแท่งไม่ขาดตอน จาก Thermometer Code จะผ่านตัว Decoder เพื่อให้ได้สัญญาณเป็นเลขฐาน 2

จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก Logic 1 เป็น Logic 0 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณมีค่าน้อยกว่า Reference Voltage ที่จุดนั้น



รูปที่ ค.3 โครงสร้างภายในของ Flash ADC

ภาคผนวก ง

ลักษณะการใช้งานเซ็นเซอร์ DS1820 และ MPXAZ4115A

(ที่มา : จาก DS1820 และMPXAZ4115A DATA SHEET)

DS1820

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	–0.5V to +7.0V
Operating Temperature	–55°C to +125°C
Storage Temperature	–55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds

* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{DD}	I/O Functions	2.8	5.0	5.5	V	1, 2
		±1/2°C Accurate Temperature Conversions	4.3		5.5		
Data Pin	I/O		–0.5		+5.5	V	2
Logic 1	V_{IH}		2.0		V_{CC}+0.3	V	2, 3
Logic 0	V_{IL}		–0.3		+0.8	V	2, 4

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (–55°C to +125°C; V_{DD}=3.6V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Thermometer Error	t_{ERR}	–0°C to +70°C		See Typical Curve	±1/2	°C	1, 9, 10
		–55°C to 0°C and +70°C to +125°C					
Input Logic High	V_{IH}		2.2		5.5	V	2, 3
Input Logic Low	V_{IL}		–0.3		+0.8	V	2, 4
Sink Current	I_L	$V_{I/O}$=0.4V	–4.0			mA	2
Standby Current	I_Q			200	350	nA	8
Active Current	I_{DD}			1	1.5	mA	5, 6
Input Load Current	I_L			5		µA	7

(ที่มา : จาก DS1820 DATA SHEET)

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (–55°C to +125°C; V_{DD}=3.6V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}		200	500	ms	
Time Slot	t_{SLOT}	60		120	µs	
Recovery Time	t_{REC}	1			µs	
Write 0 Low Time	t_{LOW0}	60		120	µs	
Write 1 Low Time	t_{LOW1}	1		15	µs	
Read Data Valid	t_{RDV}			15	µs	
Reset Time High	t_{RSTH}	480			µs	
Reset Time Low	t_{RSTL}	480		4800	µs	
Presence Detect High	t_{PDHIGH}	15		60	µs	
Presence Detect Low	t_{PDLOW}	60		240	µs	
Capacitance	$C_{IN/OUT}$			25	pF	

NOTES:

1. Temperature conversion will work with ±2°C accuracy down to V_{DD} = 3.4 volts.
2. All voltages are referenced to ground.
3. Logic one voltages are specified at a source current of 1 mA.
4. Logic zero voltages are specified at a sink current of 4 mA.
5. I_{DD} specified with V_{CC} at 5.0 volts.
6. Active current refers to either temperature conversion or writing to the E^2 memory. Writing to E^2 memory consumes approximately 200 µA for up to 10 ms.
7. Input load is to ground.
8. Standby current specified up to 70°C. Standby current typically is 5 µA at 125°C.
9. See Typical Curve for specification limits outside the 0°C to 70°C range. Thermometer error reflects sensor accuracy as tested during calibration.
10. Typical accuracy curve valid for 4.3V ≤ V_{DD} ≤ 5.5V.

(ที่มา : จาก DS1820 DATA SHEET)

MPXAZ4115A SERIES

MAXIMUM RATINGS(NOTE)

Parametrics	Symbol	Value	Units
Maximum Pressure (P1 > P2)	P_{max}	400	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	–40° to +125°	°C
Operating Temperature	T_A	–40° to +125°	°C

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 5.1 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2. Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet Electrical Specifications.)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range		P_{OP}	15	—	115	kPa
Supply Voltage(1)		V_S	4.85	5.1	5.35	Vdc
Supply Current		I_o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset(2) @ V_S = 5.1 Volts	(0 to 85°C)	V_{off}	0.135	0.204	0.273	Vdc
Full Scale Output(3) @ V_S = 5.1 Volts	(0 to 85°C)	V_{FSO}	4.725	4.794	4.863	Vdc
Full Scale Span(4) @ V_S = 5.1 Volts	(0 to 85°C)	V_{FSS}	4.521	4.590	4.659	Vdc
Accuracy(5)	(0 to 85°C)	—	—	—	±1.5	$\%V_{FSS}$
Sensitivity		V/P	—	45.9	—	mV/kPa
Response Time(6)		t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output		I_{o+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time(7)		—	—	20	—	ms
Offset Stability(8)		—	—	±0.5	—	$\%V_{FSS}$

NOTES:

1. Device is ratiometric within this specified excitation range.
2. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
3. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
4. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
5. Accuracy is the deviation in actual output from nominal output over the entire pressure range and temperature range as a percent of span at 25°C due to all sources of error including the following:
   - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
   - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
   - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from minimum or maximum rated pressure at 25°C.
   - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
   - TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
6. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
7. Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.
8. Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 cycles of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

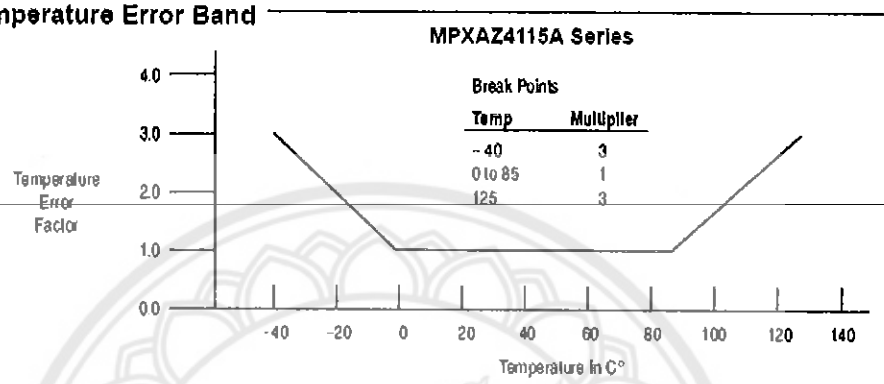
(ที่มา : จาก MPXAZ4115A DATA SHEET)

MPXAZ4115A SERIES

Transfer Function (MPXAZ4116A)

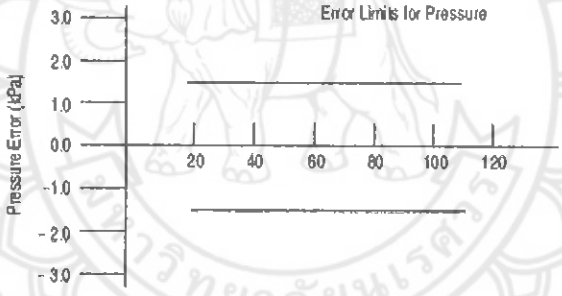
Nominal Transfer Value: $V_{out} = V_S \times (0.009 \times P - 0.095)$
$\pm$ (Pressure Error x Temp. Factor x 0.009 x V_S)
$V_S = 5.1 \pm 0.25$ Vdc

Temperature Error Band



NOTE: The Temperature Multiplier is a linear response from 0°C to –40°C and from 85°C to 125°C

Pressure Error Band



Pressure	Error (Max)
15 to 115 (kPa)	± 1.5 (kPa)

(ที่มา : จาก MPXAZ4115A DATA SHEET)

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

1. ชื่อ : นายภาณุพงษ์ จั่นจีน
   วันเดือนปีเกิด : 30 สิงหาคม 2530
   ภูมิลำเนา : 328/7 ถ.สำราญรื่น ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000
   ประวัติการศึกษา :
   - ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
   - ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
   - ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

2. ชื่อ : นายจตุพล วงษ์มาก
   วันเดือนปีเกิด : 30 มิถุนายน 2530
   ภูมิลำเนา : 27/2 หมู่ 5 ตำบลไชโย อำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง 14140
   ประวัติการศึกษา :
   - ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอ่างทองปัทมโรจน์วิทยาคม
   - ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอ่างทองปัทมโรจน์วิยาคม
   - ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

3. ชื่อ นายธีรรัตน์ ปานบุตร:
   วันเดือนปีเกิด 13 กันยายน 2531:
   ภูมิลำเนา 144/56 หมู่ 4 ตำบลหนองประดู่ อำเภอเลาขวัญ จังหวัดกาญจนบุรี 71210
   ประวัติการศึกษา :
   - ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนอู่ทอง
   - ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอู่ทอง
   - ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก