

การออกแบบ และการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

แบบ 4 แชนแนล

DESIGN AND CONSTRUCTION OF 4-CHANNEL K-TYPE
THERMOCOUPLE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก
ปีการศึกษา 2559

DESIGN AND CONSTRUCTION OF 4-CHANNEL K-TYPE
THERMOCOUPLE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการ
อนุญาตจากทางสถาบันฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ACADEMIC YEAR 2016 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การออกแบบ และการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล
Design and Construction of 4-Channel K-Type
Thermocouple

ชื่อนักศึกษา

นายวงศกร สุรพจน์ รหัสนักศึกษา 56051203

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์
ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กฤษกร โส้ใจเจริญรัตน์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบและการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล
ชื่อนักศึกษา	นายวงศกร สุรพจน์ รหัสนักศึกษา 56051203
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเล่มนี้เป็นการออกแบบและการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล โดยออกแบบให้เครื่องมือวัดอุณหภูมินี้มีทั้งหมด 4 หัววัดในตัวเดียวกันเพื่อความสะดวกในการใช้งานวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนลได้แก่ Arduino Mega 2560, เทอร์โมคัปเปิล, MAX6675 Module และ SD Cards Module โดยอุปกรณ์ทั้งหมดเราจะใช้ Arduino ในการควบคุมคำสั่งของอุปกรณ์ทั้งหมด ทั้งนี้เรายังสามารถเก็บข้อมูลผ่าน SD Cards ได้อีกด้วย โดยข้อมูลที่เก็บนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Real-Time โดยช่วงการวัดนี้เราจะใช้ตัววัดอุณหภูมิที่เป็นหัววัดแบบเซนเซอร์ ซึ่งก็คือเทอร์โมคัปเปิล โดยเลือกใช้ชนิด K โดยช่วงอุณหภูมิที่จะทำการทดลองจะมีตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : Arduino เทอร์โมคัปเปิล เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ไอซีMAX6675 SD Cards Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Design and Construction 4-Channel K-Type Thermocouple
Students	Mr.Vongsakorn Surapoj Student ID 56051203
Degree	Bachelor of Science (Applied physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Assoc.Prof. Sarai Lekchaum

Abstract

This special project is designing and constructing a four-channel temperature measurement. We design the temperature measurement by 4 channel for ease of use. Material of the temperature measurement consists of arduino, thermocouple, max6675 module and sd cards module. Arduino was used for to control commands parts of the temperature measurement. We can also collect data throught SD Cards, data was recorded in real-time. We chose thermocouple k type for temperature measurement, because we will use a measurement range of 0-100 degrees Celsius.

Keywords : Arduino, Thermocouple, Thermometer, MAX6675, SD Cards Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์สาทราย เล็กชะอุ่ม ที่คอยเป็นผู้ให้คำแนะนำทั้งในด้านวิชาการและด้านการทำงาน ทำให้ผู้จัดทำสามารถนำคำแนะนำมาปรับใช้ในการทำงานได้

ขอขอบคุณบิดา และมารดาที่คอยสนับสนุนในเรื่องทุนการศึกษาและทุนทรัพย์ระหว่างการศึกษา รวมถึงคำแนะนำและคำสั่งสอน

ขอขอบคุณนางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมด ที่ให้คำช่วยเหลือและคำแนะนำหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล การเลือกใช้อุปกรณ์ที่จะนำมาประกอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล วิธีการทดลองและผลการทดสอบ รวมถึงเทคนิคในการวัดอุณหภูมิอย่างถูกวิธี

วงศกร สุรพจน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
- บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทอร์โมคัปเปิล	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	9
2.3 Arduino	11
2.4 จอแสดงผลแบบ LCD	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	27
3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย	27
3.2 ออกแบบแผนภาพการทำงานของระบบซอฟต์แวร์	32
3.3 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล	39
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล	40
4.1 การทดสอบอุปกรณ์ และการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล	40
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าการวัดอุณหภูมิกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานยี่ห้อ Fluke รุ่น 54-2 ที่อุณหภูมิ 0°C และ 100°C	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 2.1 แสดง Thermocouple ชนิดต่างๆ	7
ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของข้อมูล	16
ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการเขียนโค้ด	17
ตารางที่ 2.4 แสดงหลักการตั้งชื่อของภาษา C	17
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าสวงนของภาษาซี	18
ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการตั้งชื่อในภาษา C	18
ตารางที่ 2.7 แสดงชื่อของตัวแปร	18
ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงตัวอย่างการประกาศตัวแปรของภาษา C	19
ตารางที่ 3.1 แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	28
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติเฉพาะของโมดูล Max6675	29
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 1 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	42
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	45
ตารางที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	47
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	49
ตารางที่ 4.5 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 1 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	51
ตารางที่ 4.6 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	53
ตารางที่ 4.7 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	54
ตารางที่ 4.8 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.9 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	59
ตารางที่ 4.10 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	61
ตารางที่ 4.11 ผลค่าเฉลี่ยการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 เซนแนล เทียบกับผลค่าเฉลี่ยของเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2	63
ตารางที่ 4.12 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 0°C	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เทอร์โมคัปเปิล	4
รูปที่ 2.2 วงจรปรากฏการณ์ซีแบ็ค	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	6
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของ Microcontroller	10
รูปที่ 2.5 Arduino UNO Board	11
รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Microcontroller	12
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)	12
รูปที่ 2.8 การเลือกชนิดของ Board ใน Arduino IDE	13
รูปที่ 2.9 เลือกลำดับเลข Comport ของบอร์ด	14
รูปที่ 2.10 จากรูป A แสดงการ Compiled และ รูป B แสดงการ Upload	14
รูปที่ 2.11 จอแสดงผลแบบ LCD	19
รูปที่ 2.12 จอ LCD 16x2 Character (Parallel)	21
รูปที่ 2.13 จอ LCD 16x2 Character (I2C)	21
รูปที่ 2.14 ด้านหน้าจอ LCD 16x2 (Parallel)	22
รูปที่ 2.15 ตารางแสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบ Parallel	22
รูปที่ 2.16 ด้านหลังจอ LCD 16x2 (I2C)	23
รูปที่ 2.17 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบ I2C	23
รูปที่ 2.18 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Arduino UNO R3	25
รูปที่ 2.19 ตารางขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Arduino UNO R3	25
รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของระบบวัดอุณหภูมิ	27
รูปที่ 3.2 โมดูล MAX6675	28
รูปที่ 3.3 Arduino Mega 2560	30
รูปที่ 3.4 จอ LCD Display ขนาด 20x4	30
รูปที่ 3.5 SD Card Module	31
รูปที่ 3.6 แสดงภาพของการทำงานของระบบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	32
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อของขาอุปกรณ์ของแต่ละตัวเข้ากับ Arduino Mega 2560	33
รูปที่ 4.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือด	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.2 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน	41
รูปที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซลล์แนลที่ 1 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	44
รูปที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซลล์แนลที่ 2 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	46
รูปที่ 4.5 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซลล์แนลที่ 3 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	48
รูปที่ 4.6 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซลล์แนลที่ 4 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	50
รูปที่ 4.7 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของ 4 เซลล์แนลเทียบกับอุณหภูมิของ เครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	52
รูปที่ 4.8 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซลล์แนลที่ 1 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	56
รูปที่ 4.9 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซลล์แนลที่ 2 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	58
รูปที่ 4.10 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซลล์แนลที่ 3 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	60
รูปที่ 4.11 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซลล์แนลที่ 4 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	62
รูปที่ 4.12 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของ 4 เซลล์แนลเทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ

เครื่องวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิซึ่งเป็นปริมาณที่สำคัญอย่างหนึ่งทางด้านฟิสิกส์ โดยอาศัยหลักของการเปลี่ยนแปลงความร้อนให้ออกมาในรูปแบบของแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า สิ่งที่ได้กล่าวมานั้นเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอัตโนมัติได้ ซึ่งจะทำให้ระบบเซนเซอร์มีการพัฒนาการใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาใช้กับด้านอุตสาหกรรมได้ เนื่องจาก Thermocouple เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่นิยมกันอย่างใช้กันอย่างแพร่หลาย ในช่วงการวัด $-40 - 1300^{\circ}\text{C}$ Thermocouple ชนิด K เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักของความแตกต่างอุณหภูมิของปลายโลหะ 2 ชนิด ออกมาในรูปแบบของแรงเคลื่อนไฟฟ้า นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายเช่น ห้องปฏิบัติการวิจัย เนื่องจากมีช่วงวัดอุณหภูมิที่กว้าง อยู่ในช่วง $0-1300^{\circ}\text{C}$ ปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K โดยใช้วงจรขยายสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล เช่น ไอซี Max6675 Max31855 LM35 ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino ได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด k โดยใช้โมดูล MAX6675 (ค่าความแม่นยำ $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$) ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560 และบันทึกผลการวัดอุณหภูมิที่ได้ลง SD Card ในรูปแบบของ excel เนื่องจากบอร์ด Arduino Mega2560 เป็นบอร์ด open source ที่ใช้งานง่าย มีราคาถูก และโปรแกรม excel สามารถใช้ได้กับระบบวินโดวส์ทุกระบบ อีกทั้งยังเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีอยู่ในเครื่องเน็ตบุ๊กและ พีซีทุกเครื่อง ทำให้ใช้งานได้ง่ายมากขึ้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวในข้างต้น ในโครงการพิเศษนี้จึงได้มีความสนใจออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด k จำนวน 4 ช่อง ให้มีระบบแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD และทำการบันทึกผลลงใน SD Card ในรูปแบบของไฟล์ Text และมีการเปรียบเทียบผลการวัดอุณหภูมิในย่าน $0 - 500^{\circ}\text{C}$ เทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานยี่ห้อ Fluke รุ่น 54-2 ซึ่งในอนาคตเครื่องมือนี้สามารถพัฒนาต่อในด้านระบบการบันทึกผล และการรับข้อมูลผ่านระบบไร้สายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล ชนิด k โดยใช้ไอซีเบอร์ Max6675
2. เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดอุณหภูมิให้สามารถวัดอุณหภูมิได้หลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน
3. เพื่อนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล ชนิด k ในช่วงการวัด 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Thermocouple
3. เพื่อศึกษาการเขียนภาษาซีโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1. เสนอ งานวิจัย											
2. ศึกษาหา ข้อมูล											
3. จัดหา อุปกรณ์											
4. ออกแบบ และสร้าง เครื่องวัด อุณหภูมิ											
5. ทดสอบ เครื่องวัด อุณหภูมิ											

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมควบคุม Microcontroller ไปใช้ให้เกิดประโยชน์และใช้ในการประกอบอาชีพได้จริง
2. ได้รับความรู้ระบบหลักการทำงานของตัววัดอุณหภูมิ Thermocouple ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อได้อย่างกว้างขวาง
3. จากงานวิจัยที่ได้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล ทำให้เห็นได้ว่าเราสามารถนำไปวัดอุณหภูมิกับสิ่งที่ต้องใช้วัดหลายๆจุดพร้อมกัน ทำให้สะดวกต่อการทำงาน และช่วยให้ประหยัดเวลาได้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่เราจะนำมาใช้ในการทดลอง และการศึกษาในครั้งนี้ โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่เราเลือกนำมาศึกษานั้นมีดังนี้

2.1 เทอร์โมคัปเปิล

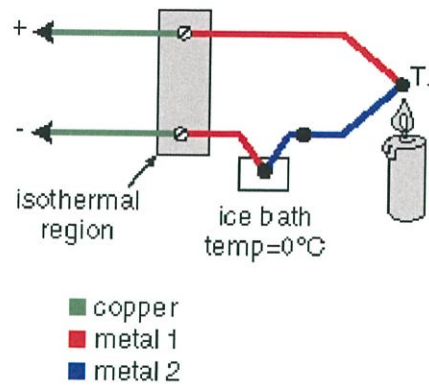


รูปที่ 2.1 เทอร์โมคัปเปิล

(ที่มา : <http://www.elecfrakes.com/store/thermocouple-typek-m6-screw-p-675.html?zenid=6972ef07ee7872b7ecfbf1163389ebbe>)

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (e.m.f) ดังรูปที่ 2.1 เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็คดังกล่าว ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงจรปรากฏการณ์ซีแบ็ค

(ที่มา : <https://www.pballtechno.com/article/11/thermocouple>)

2.1.1 ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect)

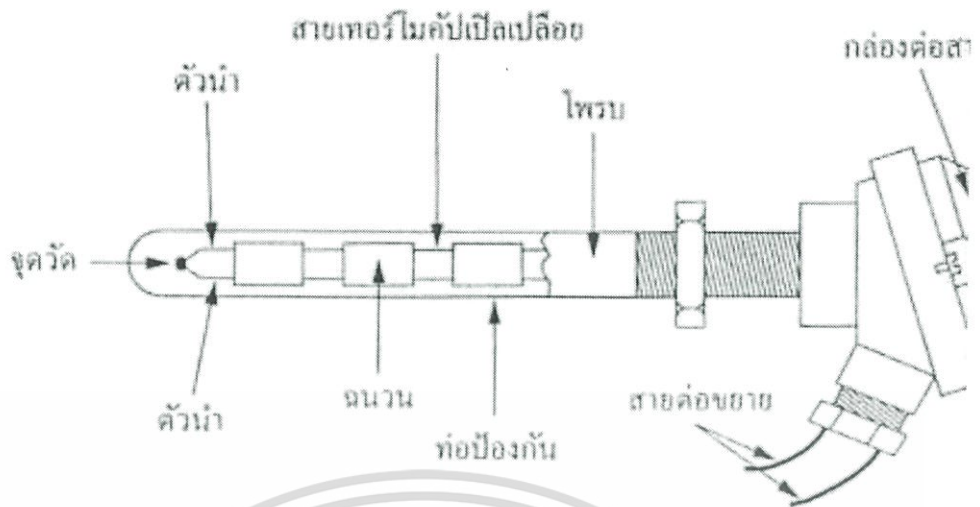
ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

2.1.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

1. ความไวต่ออุณหภูมิ (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานจริงปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

(ที่มา : <https://www.pballtechno.com/article/11/thermocouple>)

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM ดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดง Thermocouple ชนิดต่างๆ

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล	โลหะที่นำมาทำลวดเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค ($\mu V / ^\circ C$)	การใช้งาน
Type K	NiCr - NiAl (NiCr - Ni) นิกเกิล - โครเมียม - นิกเกิล อลูมิเนียม (นิกเกิล - โครเมียม - นิกเกิล)	-200	1350	41	- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
Type J	Fe - CuNi ไอรอน - คอปเปอร์ นิกเกิล	-40	750	50	- นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก
Type E	NiCr - CuNi นิกเกิล - โครเมียม - คอปเปอร์ นิกเกิล	-50	740	68	- เหมาะสำหรับงานวัดอุณหภูมิด้านต่ำๆ เช่น การแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) แสดง Thermocouple ชนิดต่างๆ

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล	โลหะที่นำมาทำลวดเทอร์โมคัปเปิล	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค ($\mu V / ^\circ C$)	การใช้งาน
Type T	Cu - CuNi คอปเปอร์ - คอปเปอร์ นิกเกิล	-200	350	43	- เหมาะสำหรับงานวัดอุณหภูมิด้านต่ำ เช่น ห้องเย็น การแช่แข็ง
Type R	Pt13% Rh - Pt แพลทินัม 13% โรเดียม - แพลทินัม	-50	1760	7	- เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว
Type S	Pt10% Rh - Pt แพลทินัม 10% โรเดียม - แพลทินัม	-50	1760	7	- นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก
Type B	Pt30% Rh - Pt6% Rh แพลทินัม 30%โรเดียม - แพลทินัม 6%โรเดียม	0	1820	1	- เหมาะกับการใช้งานในสถานะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิงและสถานะเฉื่อย ให้ความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณ (linearity) ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาทำงาน ประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผล

2.2.2 หน่วยความจำ (Memory)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือก็คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้จะไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานขดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่ถ้าหากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปซึ่งในส่วนนี้จะคล้ายคลึงกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

2.2.3 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port)

มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันกับพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณ อาจจะทำได้ด้วยวิธีการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

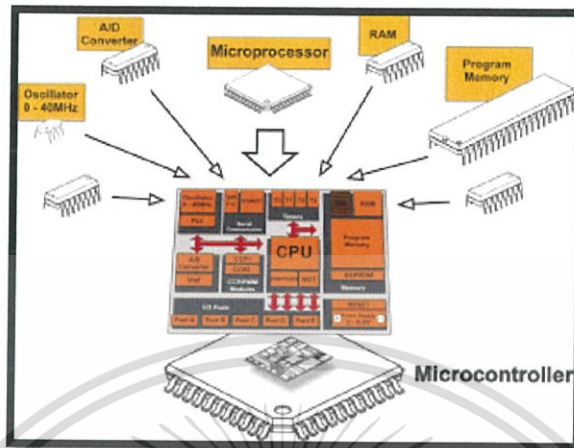
2.2.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)

เป็นเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

2.2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานไม่วากจรณใดๆ พงสน ออกทั้งห้ามมิเหตุใดแบ่งลงเนื้อหาและต้องขังขังเงงเงง ของเอเอสทุกทั้งหมักกรณเฝ้าใช้

ก็จะสามารถทำได้ถึงขั้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของ Microcontroller

นอกจากนี้ยังมีส่วนพิเศษอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละบริษัทที่จะผลิตขึ้นมา ใส่คุณสมบัติพิเศษลงไป เช่น

- ADC (Analog to Digital Converter) เป็นส่วนที่ใช้รับสัญญาณอนาล็อกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล

- DAC (Digital to Analog Converter) เป็นส่วนที่ใช้ส่งสัญญาณดิจิทัลแปลงไปเป็นสัญญาณอนาล็อก

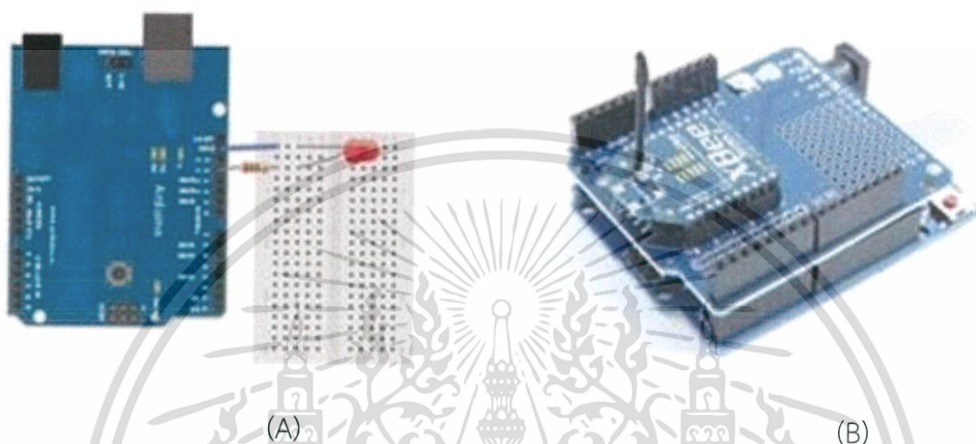
- I2C (Inter Integrate Circuit Bus) เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถ เชื่อมต่ออุปกรณ์ จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้น

- SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronize) มีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาเกี่ยวข้องระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ SPI อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) โดยปกติแล้วจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ Master จะต้องควบคุมอุปกรณ์ Slave ได้ โดยปกติตัว Slave มักจะเป็นไอซี (IC) หน้าที่พิเศษต่างๆ เช่น ไอซีอุณหภูมิ, ไอซีฐานเวลานาฬิกาจริง (Real-Time Clock) หรืออาจเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ในโหมด Slave ก็ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- PWM (Pulse Width Modulation) เป็นการสร้างสัญญาณพัลส์แบบสแควร์เวฟ ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และ Duty Cycle ได้เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆเช่น มอเตอร์
- UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสสำหรับมาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบ RS-232

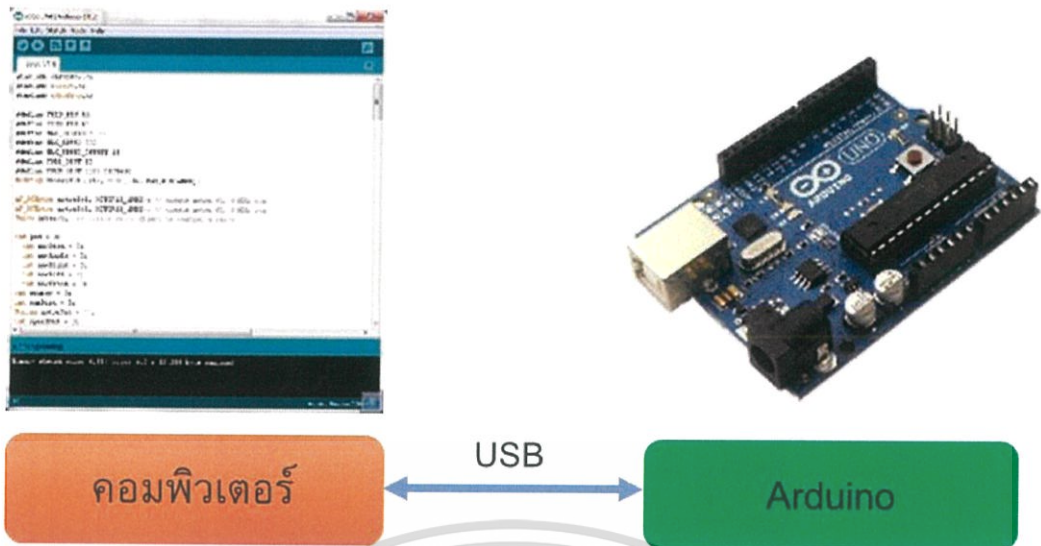
2.3 Arduino



รูปที่ 2.5 Arduino UNO Board (A) บอร์ด Arduino ต่อกับ LED (B) บอร์ด Arduino ต่อกับ XBee

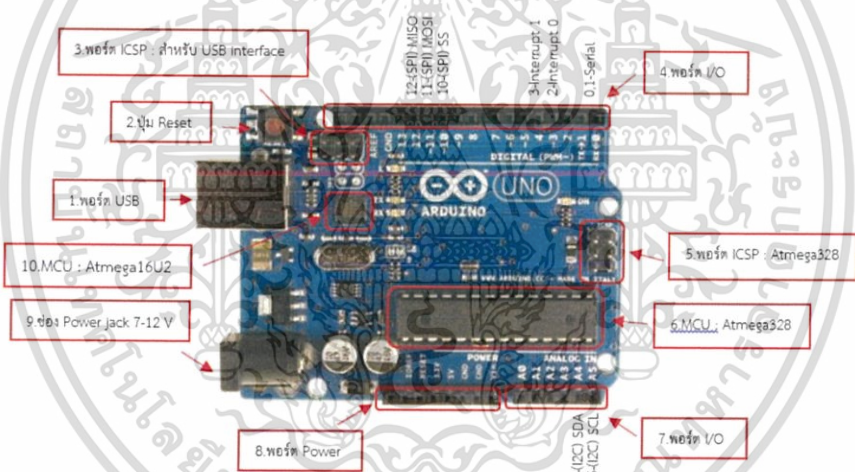
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม และยังสามารถพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือพัฒนาตัวโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ A) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ B) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Microcontroller

2.3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆของ Arduino



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)

1. USB Port : ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU (Multipoint Controll Unit) และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button : เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU (Multipoint Controll Unit) เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 แฟลชหรือดาวน์โหลดโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

4. I/O Port ของ Atmega16U2 : เป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวคอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งจะมีตั้งแต่ขา D0 ถึง D13

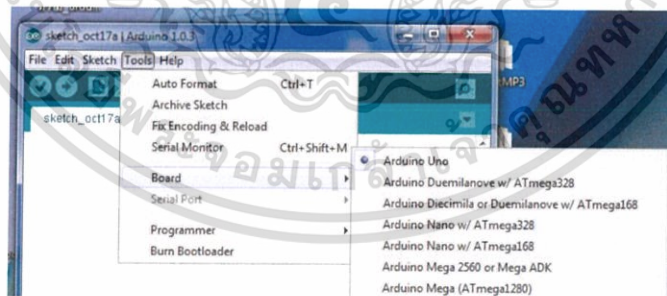
5. ICSP Port : เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU Atmega328 : เป็น MCU ที่ใช้นบนบอร์ด Arduino
7. I/O Port ของ Atmega328 : เป็นพอร์ตที่ใช้รับสัญญาณ Digital ซึ่งสามารถแปลงเป็นสัญญาณ Analog ได้ด้วย ซึ่งจะมีตั้งแต่ขา A0 ถึง A5
8. Power Port : เป็นพอร์ตที่ใช้ต่อไฟเลี้ยงเข้าบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}
9. Power Jack : เป็นพอร์ตที่ใช้รับไฟเลี้ยงจาก Adapter โดยมีแรงดันอยู่ที่ 7-12 V
10. MCU Atmega16U2 : เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดยตัว Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

2.3.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
- ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.3.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

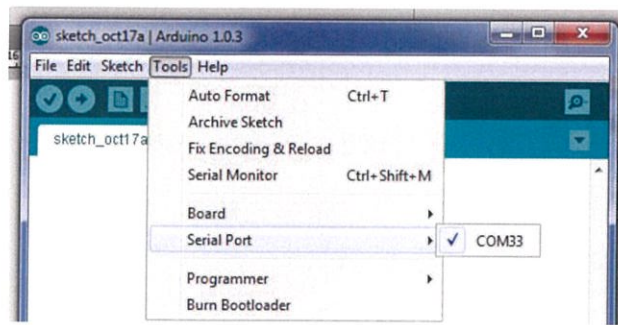
1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE
2. เปิดโปรแกรม ArduinoIDE ขึ้นมา จากนั้นทำการเลือก Port ชนิดของ Arduino ที่ได้เชื่อมต่อไว้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเลือกชนิดของ Board ใน Arduino IDE

3. ทำการเลือกชนิดของบอร์ด Arduino แล้ว จากนั้นเราจะทำการเลือก Serial Port ของบอร์ด Arduino ที่เราใช้ ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด

4. ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซี เขียนลงในโปรแกรม Arduino IDE เพื่อใช้เป็นคำสั่งในการ Run โปรแกรม

5. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม ดังรูป A จากนั้น กดปุ่ม Upload โค้ด ดังรูป B โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



(A)

(B)

รูปที่ 2.10 จากรูป (A) แสดงการ Compiled (B) แสดงการ Upload

โดยคำสั่งที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมนี จะใช้คำสั่งภาษาซีในการเขียน ซึ่งหลักการทำงานของภาษาซีที่จะใช้นั้นมีอยู่หลายหลายรูปแบบ แต่หลักการที่ได้กล่าวไปนั้นจะใช้ให้อยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า ตัวแปรของคำสั่งภาษาซี นั่นเอง

ตัวแปร (Variable) คือ การจองพื้นที่ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่ ต้องใช้ในการทำงานของโปรแกรม โดยมีการตั้งชื่อเรียกหน่วยความจำในตำแหน่งนั้นด้วย เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้ข้อมูล ถ้าจะใช้ข้อมูลใดก็ให้เรียกผ่านชื่อของตัวแปรที่เก็บเอาไว้

โดยตัวแปรของคำสั่งภาษาซี จะมีส่วนประกอบดังนี้

1. ชนิดของข้อมูล

ภาษาซีเป็นอีกภาษาหนึ่งที่มีชนิดของข้อมูลให้ใช้งานหลายอย่างด้วยกัน ซึ่งชนิดของข้อมูลแต่ละอย่างมีขนาดเนื้อที่ที่ใช้ในหน่วยความจำที่แตกต่างกัน และเนื่องจากการที่มีขนาดที่ต่างกันไป ดังนั้นในการเลือกใช้งานประเภทข้อมูลก็ควรจะคำนึงถึงความจำเป็นในการใช้งานด้วย ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2 สำหรับประเภทของข้อมูลมีดังนี้คือ

1.1 ข้อมูลชนิดตัวอักษร (Character) คือข้อมูลที่เป็นรหัสแทนตัวอักษรหรือค่าจำนวนเต็ม ได้แก่ตัวอักษร ตัวเลข และกลุ่มตัวอักษรพิเศษใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูล 1 ไบต์

1.2 ข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม (Integer) คือ ข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็ม ได้แก่ จำนวนเต็มบวก จำนวนเต็มลบ ศูนย์ ใช้พื้นที่ในการเก็บ 2 ไบต์

1.3 ข้อมูลชนิดจำนวนเต็มที่มีขนาด 2 เท่า (Long Integer) คือข้อมูลที่มีเลขเป็นจำนวนเต็ม ใช้พื้นที่ 4 ไบต์

1.4 ข้อมูลชนิดเลขทศนิยม (Float) คือข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยม ขนาด 4 ไบต์

1.5 ข้อมูลชนิดเลขทศนิยมอย่างละเอียด (Double) คือข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยม ใช้พื้นที่ในการเก็บ 8 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของข้อมูล

ชนิด	ขนาด ความกว้าง	ช่วงของค่า	การใช้งาน
Char	8 บิต	ASCII character (-128 ถึง 127)	เก็บข้อมูลชนิดอักขระ
Unsignedchar	8 บิต	0-255	เก็บข้อมูลอักขระแบบไม่คิดเครื่องหมาย
int	16 บิต	-32768 ถึง 32767	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม
Long	32 บิต	-2147483648 ถึง 2147483649	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบยาว
Float	32 บิต	3.4E-38 ถึง 3.4E+38 หรือ ทศนิยม 6	เก็บข้อมูลชนิดเลขทศนิยม
Double	64 บิต	1.7E-308 ถึง 1.7E+308 หรือ ทศนิยม 12	เก็บข้อมูลชนิดเลขทศนิยม
Unsigned int	16 บิต	0 ถึง 65535	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม ไม่คิดเครื่องหมาย
Unsigned long	32 บิต	0 ถึง 4294967296	เก็บข้อมูลชนิดจำนวนเต็มแบบยาว ไม่คิดเครื่องหมาย

2. รูปแบบในการประกาศตัวแปรในภาษา C

การสร้างตัวแปรขึ้นมาใช้งานจะเรียกว่า การประกาศตัวแปร (Variable Declaration) โดยเขียนคำสั่งให้ถูกต้องตามแบบการประกาศตัวแปร แสดงดังนี้

type name ;

type : ชนิดของตัวแปร

name : ชื่อของตัวแปร ซึ่งต้องตั้งให้ถูกต้องตามหลักของภาษา C

การเขียนคำสั่งเพื่อประกาศตัวแปร ส่วนใหญ่แล้วจะเขียนไว้ในส่วนหัวของโปรแกรมก่อนฟังก์ชัน main ซึ่งการเขียนไว้ในตำแหน่งดังกล่าว จะทำให้ตัวแปรเหล่านั้นสามารถเรียกใช้จากที่ใดก็ได้ในโปรแกรม ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการเขียนโค้ด

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

3. หลักการตั้งชื่อตัวแปร

ในการประกาศสร้างตัวแปรต้องมีการกำหนดชื่อ ซึ่งชื่อนั้นไม่ใช่จะตั้งให้สื่อความหมายถึงข้อมูลที่เก็บอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงอย่างอื่น เนื่องจากภาษา C มีข้อกำหนดในการตั้งชื่อตัวแปรเอาไว้ แล้วถ้าตั้งชื่อผิดหลักการเหล่านี้ โปรแกรมจะไม่สามารถทำงานได้ หลักการตั้งชื่อตัวแปรในภาษา C แสดงไว้ดังตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 แสดงหลักการตั้งชื่อของภาษา C

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.	ขนาดของตัวอักษรขนาดเล็ก และขนาดใหญ่จะมีความหมายแตกต่างกัน
5.	ห้ามตั้งชื่อซ้ำกับคำสงวน (Reserved Word) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงคำสงวนของภาษาซี

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			

ตัวอย่างการตั้งชื่อตัวแปรในภาษา C ทั้งที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องตามหลักการ แสดงดังตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการตั้งชื่อในภาษา C

bath_room	ถูกต้อง
n-sync	ผิดหลักการ เนื่องจากมีเครื่องหมาย - ปรากฏในชื่อ
108dots	ผิดหลักการ เนื่องจากขึ้นต้นด้วยตัวเลข
Year#	ผิดหลักการ เนื่องจากมีเครื่องหมาย # อยู่ในชื่อ
_good	ถูกต้อง
Goto	ผิดหลักการ เนื่องจากเป็นคำสงวน
Work	ถูกต้อง
Break	ผิดหลักการ เนื่องจากเป็นคำสงวน

4. ตัวแปรสำหรับข้อความ

ในภาษา C ไม่มีการกำหนดชนิดของตัวแปรสำหรับข้อความโดยตรง แต่จะใช้การกำหนดชนิดของตัวแปรอักขระ (char) ร่วมกับการกำหนดขนาดแทน และจะเรียกตัวแปรสำหรับเก็บข้อความว่า ตัวแปรสตริง (string) รูปแบบการประกาศตัวแปรสตริงแสดงได้ดังตารางที่ 2.7 ดังนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงชื่อของตัวแปร

```
char name[N] = "str";
```

Name	ชื่อของตัวแปร
N	ขนาดของข้อความ หรือจำนวนอักขระในข้อความ
Str	ข้อความเริ่มต้นที่จะกำหนดให้กับตัวแปรซึ่งต้องเขียนไว้ภายในเครื่องหมาย " "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการประกาศตัวแปรสำหรับเก็บข้อความ แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ดังนี้

ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงตัวอย่างการประกาศตัวแปรของภาษา C

<code>char name[5] = "kwan" ;</code>	สร้างตัวแปร <code>name</code> สำหรับเก็บ ข้อความ <code>kwan</code> ซึ่งมี 4 ตัวอักษร ดังนั้น <code>name</code> ต้องมีขนาด 5
<code>char year[5] = "2549";</code>	สร้างตัวแปร <code>year</code> สำหรับเก็บ ข้อความ <code>2549</code> ซึ่งมี 4 ตัวอักษร ดังนั้น <code>year</code> ต้องมีขนาด 5
<code>char product_id[4] = "A01";</code>	สร้างตัวแปร <code>product_id</code> สำหรับเก็บ ข้อความ <code>A01</code> ซึ่งมี 3 ตัวอักษร ดังนั้น <code>product_id</code> ต้องมีขนาด 4

2.4 จอแสดงผลแบบ LCD



รูปที่ 2.11 จอแสดงผลแบบ LCD

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

จอ Liquid Crystal Display (LCD) ดังรูปที่ 2.11 เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานกันกับระบบสมองกลฝังตัวอย่างแพร่หลาย จอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักษรเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

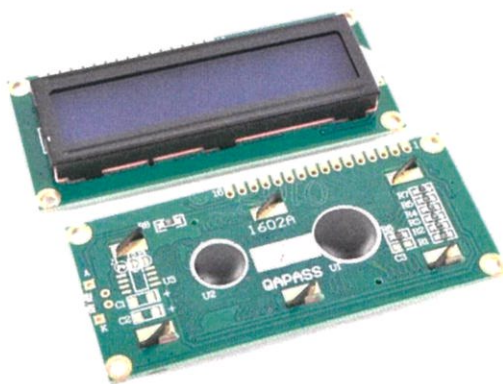
โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบเรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

- แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) LCD แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
- แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) LCD แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลได้ชัดเจน
- แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) LCD แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกัน

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงจอ LCD ที่แสดงผลเป็นอักขระหรือตัวอักษร ตามท้องตลาดทั่วไปจะมีหลายแบบด้วยกัน มีทั้ง 16 ตัวอักษร 20 ตัวอักษรหรือมากกว่า และจำนวนบรรทัดจะมีตั้งแต่ 1 บรรทัด 2 บรรทัด 4 บรรทัดหรือมากกว่าตามแต่ความต้องการและลักษณะของงานที่ใช้ หรืออาจจะมีแบบสั่งทำเฉพาะงานก็เป็นได้ ในบทความนี้เราจะยกตัวอย่างจอ LCD ขนาด 16x2 Character หรือที่นิยมเรียกกันว่าจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่สูง เหมาะสมกับการใช้งานแสดงผลไม่มากในหน้าจอเดียว

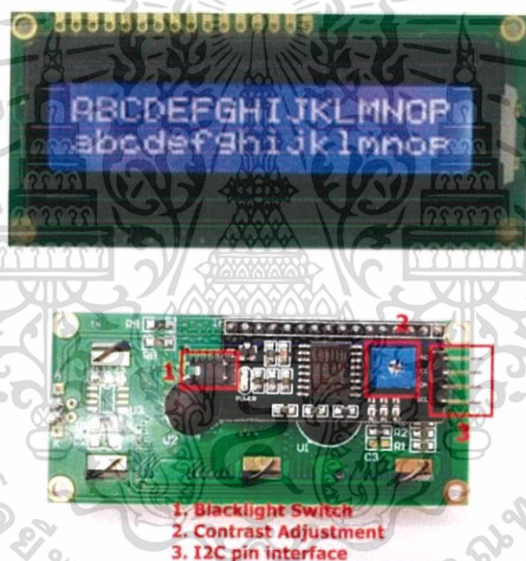
จอ LCD 16x2 Character ที่นิยมวางจำหน่ายจะมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ LCD แบบปกติที่เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel) ดังรูปที่ 2.12 และ LCD แบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I2C ดังรูปที่ 2.13 โดยทั้ง 2 แบบตัวจอลักษณะเดียวกันเพียงแต่แบบ I2C จะมีบอร์ดเสริมทำให้สื่อสารแบบ I2C ได้เชื่อมต่อได้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 จอ LCD 16x2 Character (Parallel)

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)



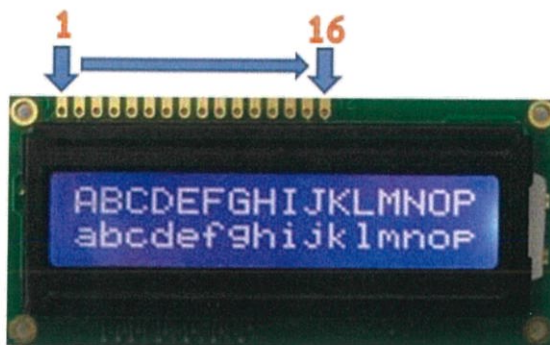
รูปที่ 2.13 จอ LCD 16x2 Character (I2C)

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

ต่อมาเราจะมาดูกันว่าทั้ง 2 แบบมีขาหรือ Pin ในการเชื่อมต่อแตกต่างกันอย่างไร โดยแบบแรกเป็นแบบ Parallel มีทั้งหมด 16 ขาด้วยกัน ส่วนแบบที่สองเป็นแบบ I2C มีเพียง 4 ขา สามารถแยกออกตามตารางด้านล่างครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบ Parallel มี 16 ขา



รูปที่ 2.14 ด้านหน้าจอ LCD 16x2 (Parallel)

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

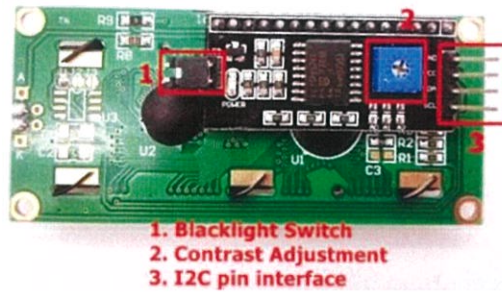
Pin No	Symbol	Description
1	VSS/GND	Ground
2	VDD	+5VDC
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	DB0	Data Pins 8-Bit
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LED+) เป็นขา <u>V_{cc}</u> สำหรับ LED backlight (5V)
16	K	(LED-) เป็นขา <u>Gnd</u> สำหรับ LED backlight (Gnd)

รูปที่ 2.15 ตารางแสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบ Parallel

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบ I2C มี 4 ขา



รูปที่ 2.16 ด้านหลังจอ LCD 16x2 (I2C)

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

Pin No	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

รูปที่ 2.17 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบ I2C

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การควบคุมการแสดงผลของ LCD

ในการควบคุมหรือสั่งงาน ตัวจอ LCD นั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอ LCD ผ่าน Controller ว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร โดย LCD Controller ของจอตัวนี้เป็น Hitachi เบอร์ HD44780 และขาในการเชื่อมต่อระหว่าง LCD กับ Microcontroller มีดังนี้

1. GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD ขนาด +5VDC
3. VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอ LCD
4. RS ใช้บอกให้ LCD Controller ทราบว่า Code ที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
5. RW ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD Controller
6. E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับ LCD Controller
- 7-14. DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับ LCD Controller

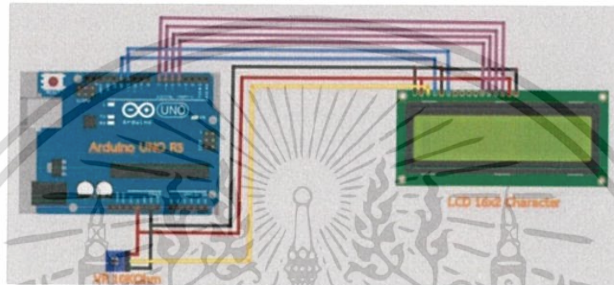
วิธีการสั่งงานจะแตกต่างกันไป โดย LCD Controller สามารถรับรหัสคำสั่งจาก Microcontroller ได้จากสัญญาณ RS RW และ DB0-DB7 ในขณะที่สัญญาณ E มีค่า Logic เป็น “1” ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะใช้ร่วมกันเพื่อกำหนดเป็นรหัสคำสั่งสำหรับสั่งงาน LCD โดยหน้าที่ของแต่ละสัญญาณพอสรุปได้ดังนี้

- E เป็นสัญญาณ Enable เมื่อมีค่าเป็น “1” เป็นการบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่ออ่านหรือเขียนข้อมูล
- “0” ให้ LCD ไม่สนใจสัญญาณ RS RW และ DB7-DB0
- RS เป็นสัญญาณสำหรับกำหนดให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับ LCD ในขณะนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือข้อมูล โดยถ้า RS = “0” หมายถึง คำสั่ง
RS = “1” หมายถึง ข้อมูล
- RW เป็นสัญญาณสำหรับบอกให้ LCD ทราบว่าอุปกรณ์ภายนอกต้องการอ่านหรือเขียนกับ LCD โดยถ้า RW = “0” หมายถึง เขียน
RW = “1” หมายถึง อ่าน
- DB0-DB7 เป็นสัญญาณแบบ 2 ทิศทาง โดยจะสัมพันธ์กับสัญญาณ RW ใช้สำหรับรับส่ง คำสั่งและข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก โดยถ้า RW = “0” สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจากอุปกรณ์ภายนอกมาที่ LCD แต่ถ้า RW = “1” สัญญาณ DB7-DB0 จะส่งจาก LCD ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การเชื่อมต่อสัญญาณขาข้อมูลระหว่าง Microcontroller กับ LCD Controller

การเชื่อมต่อสัญญาณขาข้อมูลระหว่าง Microcontroller กับ LCD Controller สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมต่อแบบ 8 บิต (DB0-DB7) และการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต (DB4-DB7) ทั้งสองแบบแตกต่างกันเพียงจำนวนขาที่ใช้คือ 8 หรือ 4 ขา และยังสามารถทำงานได้เหมือนกันอย่างที่แน่นอนในการส่งข้อมูลแบบ 4 ขา ย่อมทำได้ช้ากว่า 8 ขา แต่ไม่ได้ช้ามากจนสังเกตได้ด้วยสายตา ในการต่อกับ Arduino นั้นจึงนิยมต่อเพียง 4 ขา หรือ 4 บิตเท่านั้น เพื่อเป็นการประหยัดขาในการต่อใช้งานไปไว้ต่อกับอุปกรณ์อื่น ตัวอย่างเช่น Arduino UNO R3 นั้นมีขาให้ใช้งานค่อนข้างน้อย ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Arduino UNO R3
(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)

VR 10 Kohm	LCD	Arduino
GND	VSS/GND	Ground
VCC	VDD	+5VDC
Signal	VO/VEE	-
-	RS	Digital Pin 12
-	RW	Ground (เพราะเราต้องการเขียน)
-	E/EN	Digital Pin 11
-	DB4	Digital Pin 4
-	DB5	Digital Pin 5
-	DB6	Digital Pin 6
-	DB7	Digital Pin 7
-	A	+5VDC
-	K	Ground

รูปที่ 2.19 ตารางขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Arduino UNO R3

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/character-lcd-display-arduino-parallel.html>)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 รายละเอียดคำสั่งในการสั่งงานระหว่าง Arduino กับ จอ LCD

คำสั่งในการควบคุมจอ LCD ของ Arduino นั้น ทาง Arduino.cc เขียนเป็น Library มาให้เพื่อสะดวกในการนำไปใช้งาน หลังจากต่อสายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนแรกในการเริ่มเขียนโปรแกรมคือการเรียกใช้ Library ของ LCD จากไฟล์ชื่อ LiquidCrystal.h หลังจากนั้นมาดูกันว่า มีฟังก์ชันที่สำคัญอะไร

บ้างที่ใช้สั่งงานให้จอ LCD

ฟังก์ชัน LiquidCrystal(); ใช้ประกาศขาที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังจอ LCD รูปแบบในการสั่งงานคือ

LiquidCrystal lcd(rs, enable, d4, d5, d6, d7) <<<<<<< ในกรณีใช้งานแบบ 4 บิต

LiquidCrystal lcd(rs, enable, d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7) <<<<<<< ในกรณีใช้งานแบบ 8 บิต

ในบทความนี้ใช้แบบ 4 บิต คือ LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 5, 6, 7); ก็หมายถึงการเชื่อมต่อ rs ที่ขา 12 , Enable ที่ขา 11 , และ DB4-DB7 ที่ขา 4-7 ของ Arduino ตามลำดับ

ฟังก์ชัน begin(); ใช้กำหนดขนาดของจอ ในบทความนี้เราใช้ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด จึงประกาศเป็น lcd.begin(16, 2);

ฟังก์ชัน setCursor(); ใช้กำหนดตำแหน่งและบรรทัดของ Cursor เช่น lcd.setCursor(0, 1); คือ ให้เคอร์เซอร์ไปที่ตำแหน่งที่ 0 บรรทัดที่ 1 การนับตำแหน่งเริ่มจาก 0 ดังนั้น LCD 16x2 มีตำแหน่ง 0 – 15 บรรทัด คือ 0 กับ 1

ฟังก์ชัน print(); ใช้กำหนดข้อความที่ต้องการแสดง เช่น lcd.print("ThaiEasyElec"); คือ ให้แสดงข้อความ "ThaiEasyElec" ออกทางหน้าจอ LCD

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้องานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบงานวิจัยแบบใหม่ที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินงานวิจัยที่ต้นทุนในการดำเนินงานที่ต่ำ โดยจะเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K มาใช้ในการทำเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 2 แชนแนล ซึ่งตัวเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะถูกใช้เป็นวงจรรินเทอร์เฟซสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวงจรรินเทอร์เฟซนี้จะช่วยให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เพื่อที่จะนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง 0-250°C โดยมีค่าความละเอียดในการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ 1°C ซึ่งจะทำงานโดยใช้ความสามารถในการคำนวณ หรือการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะทำการปรับเทียบตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้สำหรับวงจรรินเทอร์เฟซที่ออกแบบมา โดยความสามารถเหล่านี้จะใช้เพื่อการแก้ปัญหาที่สำคัญ 2 ประการที่เกี่ยวข้องกับการวัดสัญญาณของตัวเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งได้แก่ ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวเทอร์โมคัปเปิล และปัญหาจากจุดที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

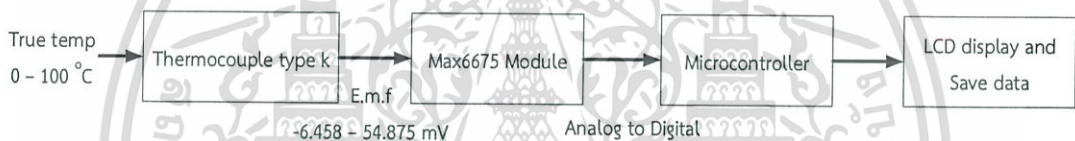
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาออกแบบระบบวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์การสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุม
- ขั้นตอนที่ 3 เขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

3.1.1 การศึกษาออกแบบระบบวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์การสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เราได้ออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิจำนวน 4 ช่องการวัด ให้มีระบบการทำงานของการวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของระบบวัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของระบบวัดอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะรับอินพุตคืออุณหภูมิที่ทำการวัดและส่งเอาต์พุตออกมาในรูปแบบของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง -6.458 ถึง 54.875 มิลลิโวลต์ เพื่อเป็นอินพุตให้กับโมดูล Max6675 หลังจากนั้นโมดูล Max6675 จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งเอาต์พุตไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และสุดท้ายไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ประมวลผล ส่งข้อมูลเพื่อบันทึกลงใน SD card และแสดงผลบนหน้าจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชลแนลแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ

รายการอุปกรณ์	จำนวน (อัน)
1. Thermocouple Type K	4
2. บอร์ด Arduino Mega 2560	1
3. จอ LCD ขนาด 20 x 4	1
4. โมดูล SD Card	1
5. โมดูล Max6675	4

ส่วนที่ 1 Thermocouple Type K

ในที่นี้ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ตัววัดอุณหภูมิ Thermocouple ชนิด K เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิน้อยกว่า Thermocouple ชนิดอื่นๆ และมีช่วงการวัดที่กว้าง ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 0 - 1200 องศาเซลเซียส

ตัววัดอุณหภูมิ Thermocouple ไม่สามารถต่อเข้าได้โดยตรงกับตัว Microcontroller ได้ และสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากตัว Thermocouple ก็เป็นสัญญาณ Analog ดังนั้นเราจึงต้องมีตัวกลางที่ใช้ในการส่งผ่าน ทางผู้จัดทำจึงได้นำเอาตัว IC Digital Converter เบอร์ MAX6675 ดังรูปที่ 3.2 มาใช้ในการอ่านค่าอุณหภูมิของ Thermocouple เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าอุณหภูมิ และให้เอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณ Analog และจะส่งต่อไปยังตัว Microcontroller



รูปที่ 3.2 โมดูล MAX6675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโครงการพิเศษนี้ได้เลือกโมดูล MAX6675 ดังรูปที่ 3.1 มาใช้เป็นตัวกลางในการรับสัญญาณ แปลงสัญญาณที่ได้จากตัว Thermocouple ให้สามารถส่งต่อไปยังตัว บอร์ด Arduino Mega ได้ แต่การใช้งานตัวโมดูล Max6675 นั้นสามารถใช้ได้กับเฉพาะ Thermocouple Type K เท่านั้น คุณสมบัติที่เฉพาะของโมดูล Max6675 แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติเฉพาะของโมดูล Max6675

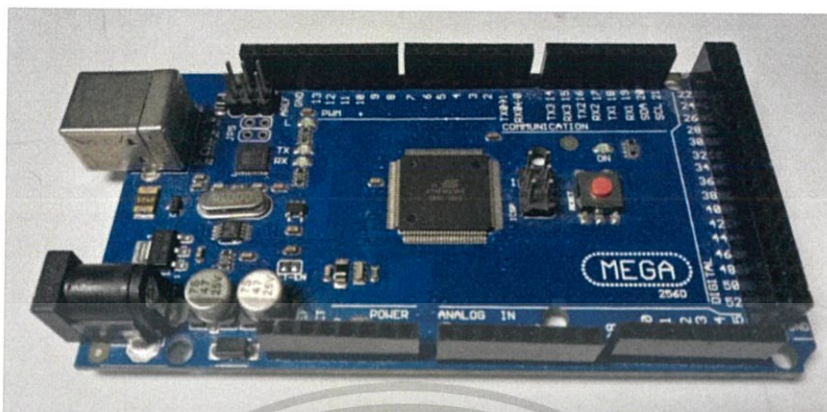
Supply Voltage (V_{cc} to GND)	-0.3V ถึง +6V
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V ถึง V_{cc} +0.3V
SO Current	50mA
ESD Protection	$\pm 2000V$
Operating Temperature Range	-20 °C ถึง +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Junction Temperature	+150°C
มีขา T+ (สำหรับ Chromel) และ T- (สำหรับ Alumel) เพื่อต่อกับเทอร์โมคัปเปิล	
ระยะเวลาในการแปลงค่า (Conversion Time)	0.22 sec
เชื่อมต่อแบบ SPI	
ส่งข้อมูลออกมาแบบ MSB First ขนาด 16 บิตและมีความละเอียด 0.25 °C	

ในการเชื่อมต่อกับโมดูล MAX6675 โดยใช้ขาของบัส SPI จะใช้เพียงขา /CS, SCK และ MISO แต่ไม่ต้องใช้ขา MOSI ข้อมูลจะถูกส่งออกมาจากไอซี (ขา SO) ทีละบิต เป็นการเลื่อนบิตแบบ MSB First ตามจังหวะของสัญญาณ SCK ทั้งหมด 16 บิต บิตที่ 14 เป็นข้อมูลขนาด 12 บิต และต้องนำไปคูณด้วย 0.25 °C จึงจะได้ค่าอุณหภูมิ บิตที่ 2 ใช้ระบุว่า ขา T+ และ T- ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลหรือไม่ (Open Input Detection) ถ้าไม่ได้ต่อขาอินพุต จะได้ค่าบิตนี้เป็น 1

ส่วนที่ 2 Arduino Mega 2560

หัวข้อนี้ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้บอร์ด Arduino รุ่น Mega 2560 ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นบอร์ดรุ่นใหญ่ที่สุดของตระกูล Arduino ที่เลือกใช้บอร์ดรุ่นนี้เพราะมีคุณสมบัติต่างๆ เพิ่มขึ้นจาก Arduino Uno R3 ใช้ชิพ ATmega2560 ที่มีหน่วยความจำแฟลช 256 KB แรม 8 KB ใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V แรงดันของระบบอยู่ที่ 5 V มี Digital Input / Output มากถึง 54 ขา (เป็น PWM ได้ 14 ขา) มี Analog Input 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบน Arduino IDE และโปรแกรมผ่าน USB เหมาะสำหรับผู้สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการบอร์ด Arduino ที่มีหน่วยความจำและขาสัญญาณต่างๆ ให้ต่อใช้งานมากขึ้น โดยเราเขียนคำสั่งจากโปรแกรม Arduino IDE เพื่อที่จะส่งคำสั่งนี้ไปยังตัวบอร์ด



รูปที่ 3.3 Arduino Mega 2560

ส่วนที่ 3 LCD Display

เครื่องวัดอุณหภูมิที่เราจะทำ จำเป็นต้องหน้าจอแสดงผลค่าการวัดให้เห็น ทางผู้จัดทำจึงได้เลือกเอาตัว LCD Display ขนาด 20x4 มาใช้ ดังรูปที่ 3.4 เพราะเป็นจอที่สามารถแสดงผลได้ถึง 20 ตัวอักษร และมีถึง 4 บรรทัด ซึ่งเหมาะกับงานที่ได้ทำ เราจะทำการแสดงผลอุณหภูมิทั้ง 4 แชนแนลพร้อมกัน จอ LCD ขนาด 20x4 จึงเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้



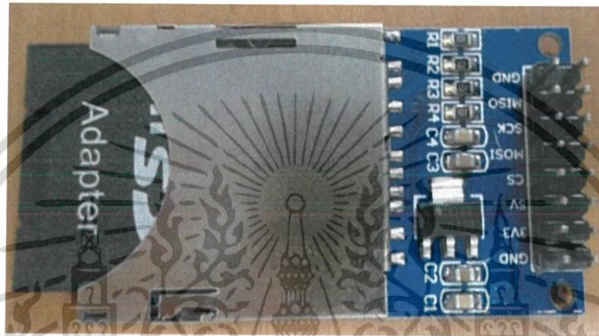
รูปที่ 3.4 จอ LCD Display ขนาด 20x4

จากนั้นผู้จัดทำจะทำการเขียนโค้ดเพื่อที่จะทำให้จอ LCD Display ที่ต่อเข้ากับ Microcontroller นั้น สามารถแสดงผลได้ตามที่เรากำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 SD Card Module

ในเมื่อเรามีทั้งตัว Thermocouple ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ตัว Microcontroller ในการควบคุมคำสั่ง จอ LCD Display ในการแสดงผล ในหัวข้อนี้เราจะพูดถึงการเก็บข้อมูล ในการเก็บข้อมูลในยุคสมัยนี้ สามารถใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลได้หลายแบบ ทางผู้จัดทำจึงได้เลือกเอาตัว SD Card Module ดังรูปที่ 3.5 มาใช้ เพราะสามารถทำให้เราบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดได้ มาเก็บไว้ใน SD Card ทำให้เราสามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดมาทั้งหมดได้ เพราะการแสดงผลค่าอุณหภูมิ จะเป็นการแสดงผลแบบ Real-Time ซึ่งทางผู้ใช้งานไม่สามารถทราบได้ว่าอุณหภูมิก่อนและหลังเริ่มจะเป็นเท่าไร ทางผู้จัดทำจึงเลือกให้สามารถนำข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ มาบันทึกผลไว้ SD Card แทน

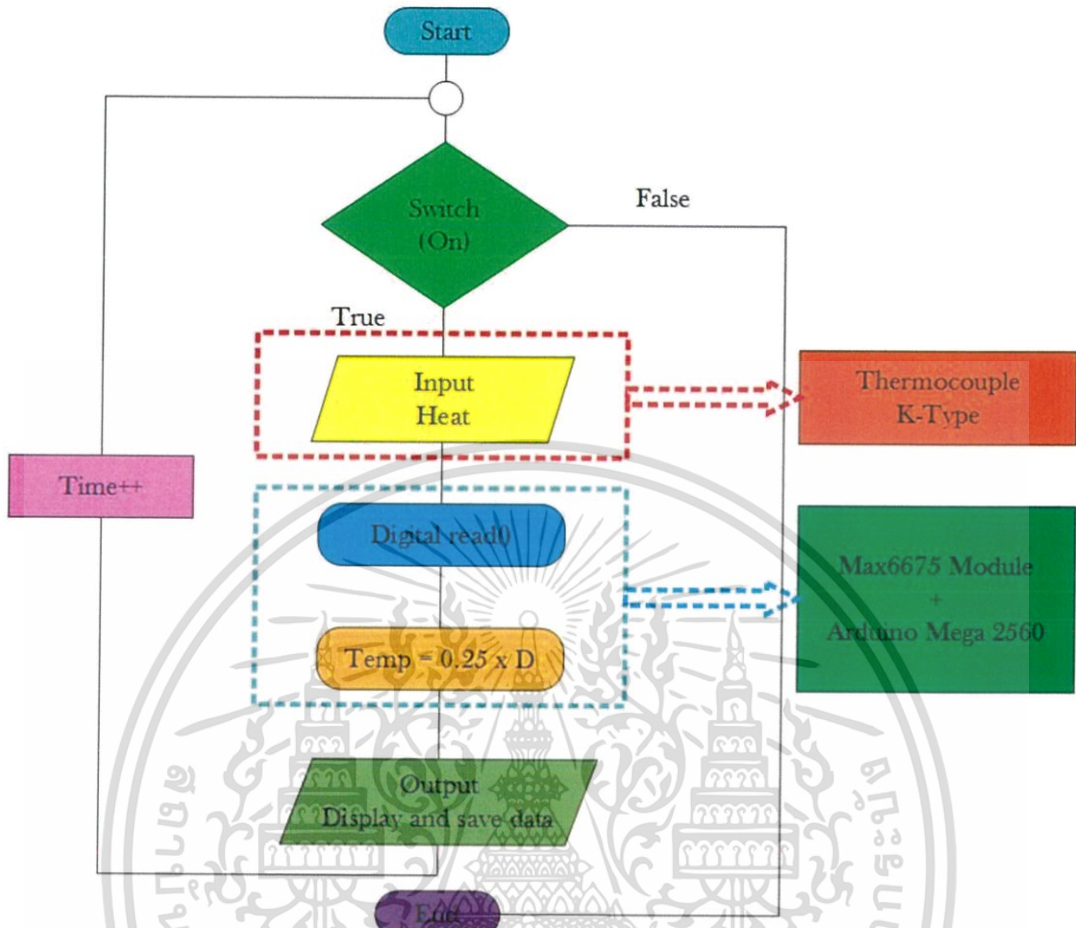


รูปที่ 3.5 SD Card Module

แน่นอนว่าการจะต่อ SD Card Module เข้ากับ Microcontroller ได้นั้น ก็จำเป็นที่จะต้องเขียนโค้ดขึ้นมาก่อนเช่นกัน SD Card Module จึงจะทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

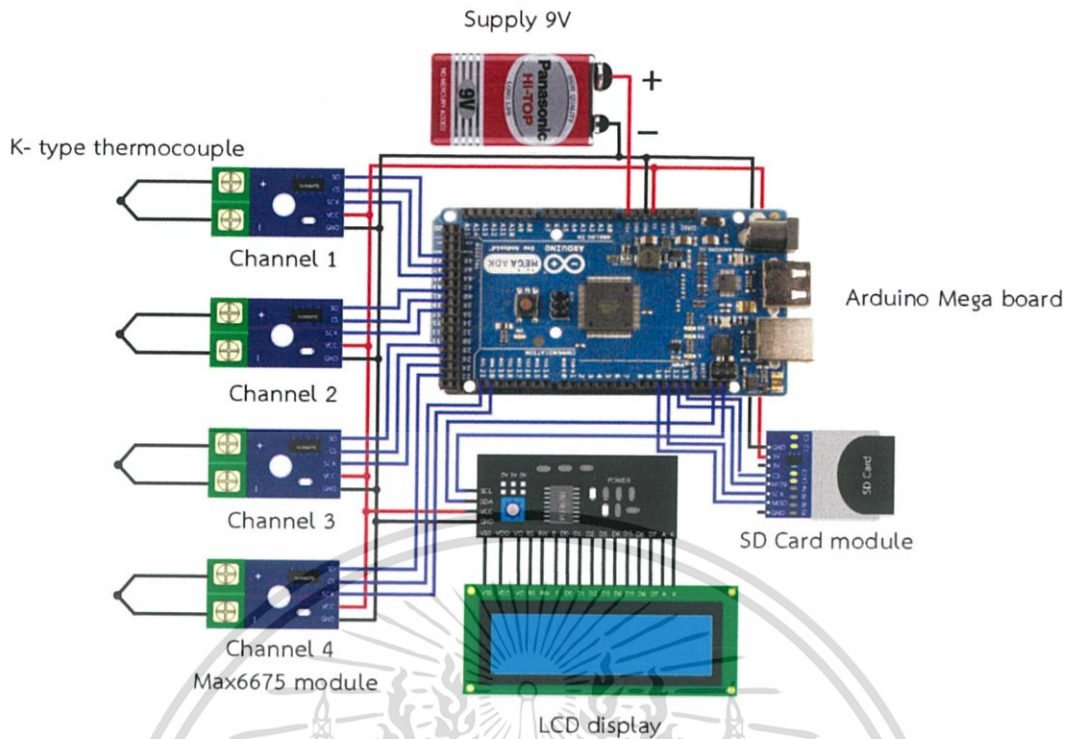
3.2 ออกแบบแผนภาพการทำงานของระบบซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.6 แสดงภาพของการทำงานของระบบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด Arduino Mega 2560 ได้ถูกโปรแกรมให้ทำการเก็บผลอุณหภูมิเข้ามาในรูปแบบสัญญาณ digital ทุกๆ 10 วินาที ทำให้สามารถบันทึกผลแบบ Real-Time และนำค่าที่ได้มาประมวลผลเพื่อไปบันทึกผลไว้ยัง SD Card ซึ่งทำให้สะดวกในการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป ดังรูปที่ 3.3 แสดงระบบของเครื่องวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อของขาอุปกรณ์ของแต่ละตัวเข้ากับ Arduino Mega 2560

3.2.1 เขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ส่วนแสดงการตั้งค่า Library เริ่มต้น

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <max6675.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
```

ส่วนแสดงฟังก์ชันประกาศตัวแปร

```
File myFile; //create folder
const int chipSelect = 53;
//CH1
int thermoSCK1 = 30;
int thermoCS1 = 31;
int thermoSO1 = 32;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int thermoSCK2 = 34;
int thermoCS2 = 35;
int thermoSO2 = 36;
//CH3
int thermoSCK3 = 38;
int thermoCS3 = 39;
int thermoSO3 = 40;
//CH4
int thermoSCK4 = 42;
int thermoCS4 = 43;
int thermoSO4 = 44;

MAX6675 thermocouple1(thermoSCK1, thermoCS1, thermoSO1);
MAX6675 thermocouple2(thermoSCK2, thermoCS2, thermoSO2);
MAX6675 thermocouple3(thermoSCK3, thermoCS3, thermoSO3);
MAX6675 thermocouple4(thermoSCK4, thermoCS4, thermoSO4);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 20, 4);

```

ส่วนแสดงฟังก์ชันเริ่มต้นก่อนแสดงค่าบนหน้าจอ

```

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  //put your setup code here, to run once;
  lcd.begin();
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print("Greeting");
  lcd.setCursor(9,2);
  lcd.print("Guys");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print(" Temp Measurement ");
lcd.setCursor(0,1);+
lcd.print(" By Vongsakorn ");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print(" Applied Physics ");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print(" KMIT'L ");
delay(1000);
lcd.clear();

```

```

if(!ISD.begin(chipSelect)){
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Initializing Failed!");
delay(4000);
//return;
}
else{
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Initializing Done! ");
//Read Text();
delay(4000);}
lcd.clear();
}

```

ส่วนแสดงฟังก์ชันที่แสดงค่า output ทางหน้าจอ LCD

```

void loop(){
// Thermocouple #1
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T1=");
lcd.setCursor(3, 0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("C");
lcd.print(" ");
lcd.print(thermocouple1.readFahrenheit());
lcd.setCursor(18, 0);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("F");

```

```

// Thermocouple #2
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("T2=");
lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print(thermocouple2.readCelsius());
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("C");
lcd.print(" ");
lcd.print(thermocouple2.readFahrenheit());
lcd.setCursor(18, 1);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("F");

```

```

// Thermocouple #3
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("T3=");
lcd.setCursor(3, 2);
lcd.print(thermocouple3.readCelsius());

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("C");
lcd.print(" ");
lcd.print(thermocouple3.readFahrenheit());
lcd.setCursor(18, 2);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("F");

// Thermocouple #4
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("T4=");
lcd.setCursor(3, 3);
lcd.print(thermocouple4.readCelsius());
lcd.setCursor(9, 3);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("C");
lcd.print(" ");
lcd.print(thermocouple4.readFahrenheit());
lcd.setCursor(18, 3);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("F");
delay(500);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแสดงฟังก์ชันการบันทึกผลข้อมูลลง SD Cards

```
////////////////////////////////SD Card////////////////////////////////
```

```
myFile = SD.open("Temp.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
myFile.println("Temp1,Temp2,Temp3,Temp4");
myFile.print(thermocouple1.readCelsius());
myFile.print(",");
myFile.print(thermocouple2.readCelsius());
myFile.print(",");
myFile.print(thermocouple3.readCelsius());
myFile.print(",");
myFile.print(thermocouple4.readCelsius());
myFile.print(",");
delay(9000);
myFile.close();
}
else {
// if the file didn't open, print an error;
Serial.println("error opening Temp.txt");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

1. เริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ให้ครบ ตัวอุปกรณ์ที่ต้องจัดเตรียมมีดังนี้

- Thermocouple Type K
- โมดูล MAX6675
- Arduino Mega 2560
- LCD Display
- SD Card Module

2. ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์ในแต่ละตัวที่นำมาใช้งาน ว่ามีการเชื่อมต่อแบบไหน หรือรับส่งสัญญาณอย่างไร

3. ทำการเขียนโค้ดโดยใช้โปรแกรม ArduinoIDE ในการเขียนโค้ดนั้น เราจำเป็นอย่างมากที่จะต้องกำหนดขาของแต่ละตัวอุปกรณ์ว่าจะให้อุปกรณ์แต่ละตัว ต่อเข้ากับ Pin ช่องไหนของตัว Arduino Mega

4. ทำการเช็คตัวอุปกรณ์แต่ละตัวที่นำมาใช้งานว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ หรือตัวอุปกรณ์ก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง ว่าตัวอุปกรณ์แต่ละตัวสามารถใช้งานได้จริงหรือเปล่า และมีปัญหาอะไร จะได้รับแก้ไข หรือทำการเปลี่ยนตัวอุปกรณ์ได้ทันที

5. เมื่อทำการเขียนโปรแกรม และทำการกำหนดขาที่จะต่อเข้ากับ Pin ของ Arduino แล้ว จากนั้นเรานำอุปกรณ์ทั้งหมดต่อเข้าด้วยกัน เหมือนเป็นการต่อวงจร แต่ในที่นี้เราจะต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับ Arduino และประกอบขึ้นมาเป็นเครื่อง ซึ่งในวิธีการนี้จะใช้เวลานาน เพราะผู้จัดทำจะต้องออกแบบเครื่องเองทั้งหมดว่าจะให้ออกในรูปแบบลักษณะ หรือมีหน้าตาแบบไหน

6. ทำการทดสอบรันโค้ดที่ได้เขียนเอาไว้ เพื่อทดสอบว่าโค้ดสามารถใช้งานได้ และอุปกรณ์ไม่มีปัญหาอะไร จากนั้นเราจะนำไปใช้วัดอุณหภูมิเพื่อใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดลองของโครงการการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยจะทำการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ 0°C และ 100°C การวัดผลการทดสอบของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

4.1 การทดสอบอุปกรณ์ และการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

การทดสอบการวัดอุณหภูมินี้ จะทำการวัดผลด้วยกันทั้งหมด 2 ตอน คือวัดอุณหภูมิจากน้ำแข็ง และน้ำเดือด

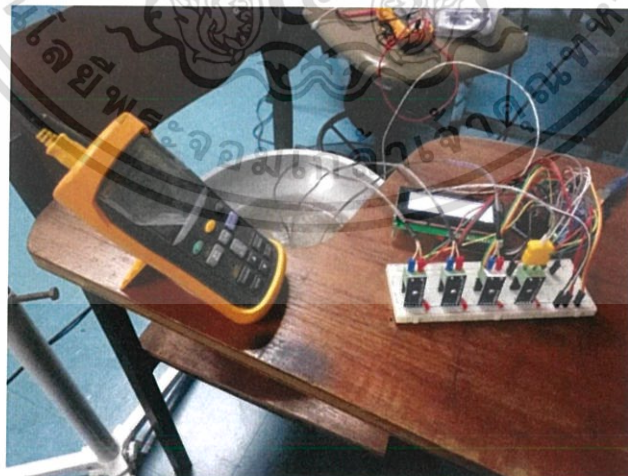
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล
- 2) เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานยี่ห้อ Fluke รุ่น 54-2
- 3) น้ำแข็ง
- 4) น้ำเดือด

4.1.2 การทดสอบและการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำแข็ง และน้ำเดือด

ตอนที่ 1 วัดอุณหภูมิจากน้ำเดือด 100°C

- 1) จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1



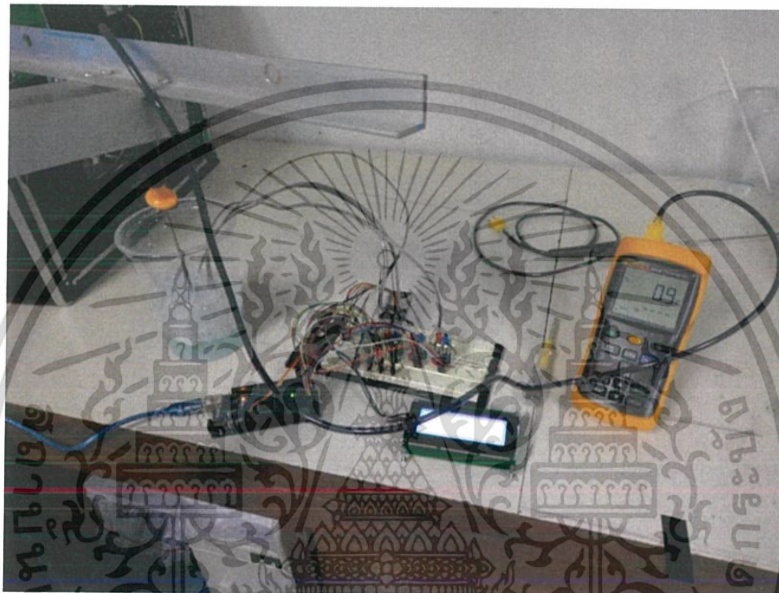
รูปที่ 4.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ต้มน้ำให้ได้อุณหภูมิอยู่ที่ 100°C
- 3) นำ thermocouple จุ่มลงไปบนผิวน้ำเพื่อทำการวัดอุณหภูมิ
- 4) วัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล และเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน เพื่อนำค่าจากผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับกัน ดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4
- 5) กำหนดเวลาที่ใช้การวัดอุณหภูมิ โดยกำหนดค่าการวัดอุณหภูมิไว้ที่ 10 วินาทีต่อครั้งเป็นเวลา 5 นาที

ตอนที่ 2 วัดอุณหภูมิจากน้ำแข็ง 0°C

- 1) จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน

- 2) เตรียมน้ำแข็งเพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิ โดยจะต้องมีอุณหภูมิอยู่ที่ 0°C
- 3) นำ thermocouple จุ่มลงไปบนน้ำแข็งเพื่อทำการวัดอุณหภูมิ
- 4) วัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล และเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน เพื่อนำค่าจากผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับกัน ดังตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8
- 5) กำหนดเวลาที่ใช้การวัดอุณหภูมิ โดยในที่นี้กำหนดไว้ที่วัดอุณหภูมิ 10 วินาทีต่อครั้งเป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าการวัดอุณหภูมิกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานยี่ห้อ Fluke รุ่น 54-2 ที่อุณหภูมิ 0°C และ 100°C

4.2.1 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C

ผลการวัดอุณหภูมิ ที่ 100°C เทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2 โดยวัดอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาทีเป็นเวลา 5 นาที จำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง และหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ผลการวัดอุณหภูมิของเซลล์ที่ 1 เซลล์ที่ 2 เซลล์ที่ 3 และ เซลล์ที่ 4 แสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.5

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 1 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	98.75	99.3	98.25	98.7667	99.9	1.1345
10	99	99.2	98.75	98.9833	99.9	0.9176
20	99	99.3	98.75	99.0167	99.9	0.8842
30	99.5	99.5	99	99.3333	99.9	0.5672
40	99.5	99.9	99	99.4667	99.9	0.4338
50	100.5	99.5	98.75	99.5833	99.9	0.3170
60	100.5	99.5	98.75	99.5833	99.9	0.3170
70	100.5	99.4	98.75	99.5500	99.8	0.2505
80	99.75	99.2	98.25	99.0667	99.9	0.8342
90	100	99.4	99	99.4667	99.9	0.4338
100	100.25	99.9	98.75	99.6333	99.9	0.2669
110	100.5	99.2	98.75	99.4833	99.8	0.3173
120	99.75	99.3	99	99.3500	99.9	0.5506
130	98.75	99.6	98.5	98.9500	99.8	0.8517
140	100.25	99.3	98.75	99.4333	99.9	0.4671
150	100.75	99.5	99.25	99.8333	99.8	-0.0334
160	100	99.8	99	99.6000	99.9	0.3003
170	100.25	99.7	99	99.6500	99.8	0.1503
180	100.5	99.5	99	99.6667	99.8	0.1336

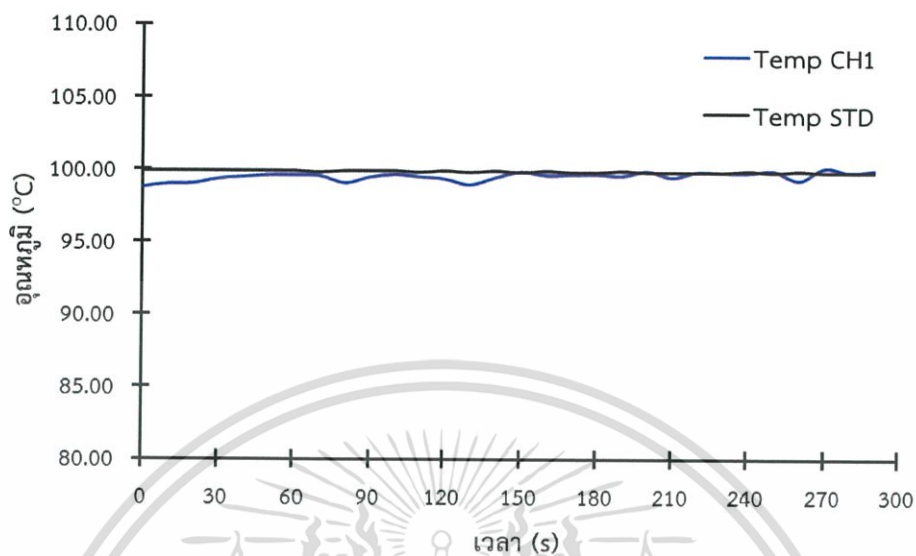
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1(ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 1 เทียบกับเครื่องมือวัด
มาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
190	100.5	99.2	99	99.5667	99.9	0.3337
200	101	99.4	99.25	99.8833	99.8	-0.0835
210	100.75	99.4	98.25	99.4667	99.8	0.3340
220	100.75	99.5	99.25	99.8333	99.8	-0.0334
230	100.5	99.6	99.25	99.7833	99.8	0.0167
240	100.75	99.3	99.25	99.7667	99.9	0.1335
250	100.75	99.5	99.5	99.9167	99.8	-0.1169
260	100.5	99.3	98.0	99.2667	99.9	0.6340
270	101	99.9	99.25	100.1250	99.8	-0.3257
280	100.5	99.5	99.5	99.8333	99.8	-0.0334
290	101	99.9	99.0	99.9667	99.8	-0.1670
เฉลี่ย	100.2000	99.4690	98.8917	99.5275	99.8533	0.3262

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซลล์ที่ 1 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

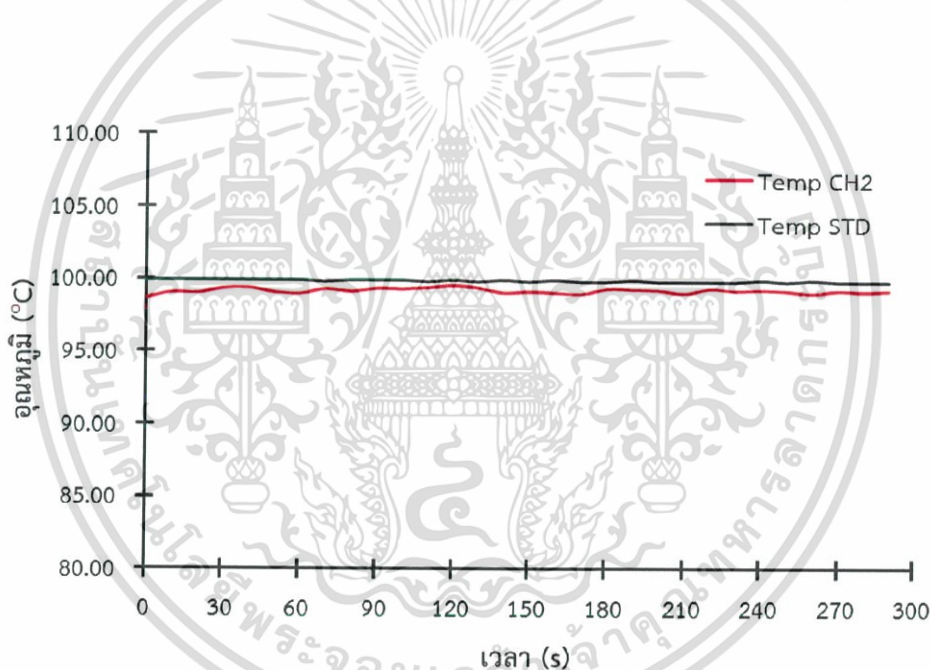
เวลา (วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	98.25	98.75	99	98.6667	99.9	1.2346
10	99.25	99.7	98.25	99.0667	99.9	0.8342
20	98.75	99.6	98.75	99.0333	99.9	0.8675
30	98.5	99.8	99.75	99.3500	99.9	0.5506
40	99.75	99.7	98.75	99.4000	99.9	0.5005
50	99.25	99.8	98.25	99.1000	99.9	0.8008
60	98.75	99.7	98.5	98.9833	99.9	0.9176
70	99	99.7	99.25	99.3167	99.8	0.4843
80	99.25	99.7	98.5	99.1500	99.9	0.7508
90	98.75	99.8	99.5	99.3500	99.9	0.5506
100	99.25	99.7	99	99.3167	99.9	0.5839
110	99.5	99.7	99	99.4000	99.8	0.4008
120	99.5	99.7	99.5	99.5667	99.9	0.3337
130	99.25	99.7	99.25	99.4000	99.8	0.4008
140	98.25	99.7	99.25	99.0667	99.9	0.8342
150	98.5	99.7	99.25	99.1500	99.8	0.6513
160	99	99.7	98.5	99.0667	99.9	0.8342
170	99.25	99.7	98	98.9833	99.8	0.8183
180	98.5	99.8	99.75	99.3500	99.8	0.4509
190	99	99.7	99.25	99.3167	99.9	0.5839
200	98.5	99.8	99.5	99.2667	99.8	0.5344
210	99	99.6	98.5	99.0333	99.8	0.7682
220	99.25	99.6	99.25	99.3667	99.8	0.4342
230	99.25	99.7	98.75	99.2333	99.8	0.5678
240	99	99.6	99.25	99.2833	99.9	0.6173
250	99	99.6	99	99.2000	99.8	0.6012
260	99	99.6	98.5	99.0333	99.9	0.8675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
270	99	99.7	99	99.2333	99.8	0.5678
280	99	99.7	98.75	99.1500	99.8	0.6513
290	99	99.7	99	99.2333	99.8	0.5678
เฉลี่ย	98.9833	99.6650	98.9583	99.2022	99.8533	0.6520

จากตารางที่ 4.2 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

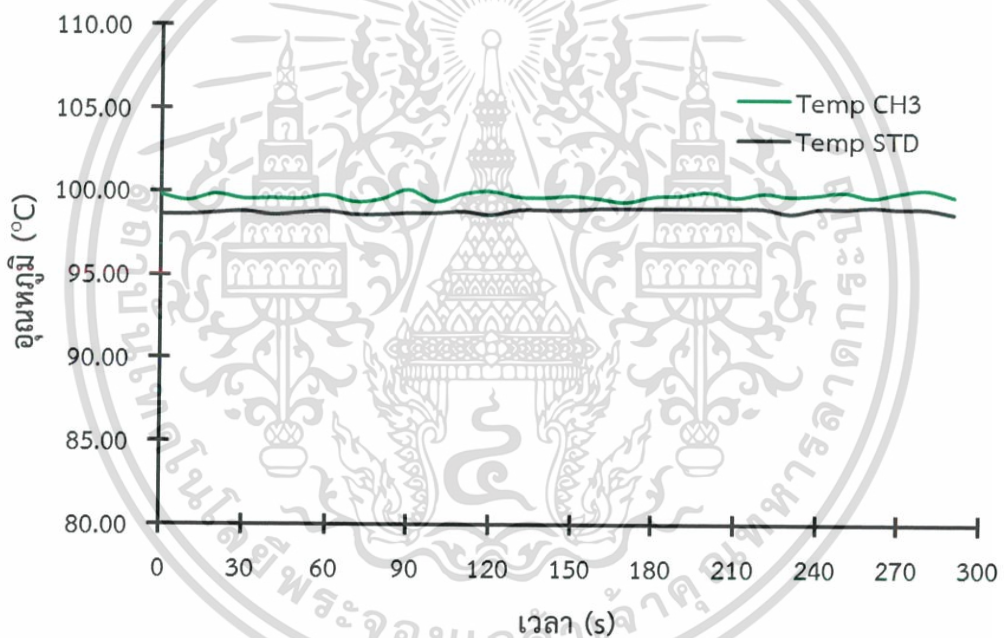
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	99	100.6	99.75	99.7833	98.6	-1.2001
10	98.25	100.6	99.5	99.4500	98.6	-0.8621
20	98.75	101	99.75	99.8333	98.7	-1.1483
30	99.75	99.9	99	99.5500	98.8	-0.7591
40	98.75	100.5	99.5	99.5833	98.6	-0.9973
50	98.25	101.4	99	99.5500	98.7	-0.8612
60	98.5	101.3	99.5	99.7667	98.8	-0.9784
70	99.25	100.1	98.75	99.3667	98.6	-0.7776
80	98.5	100.6	99.5	99.5333	98.6	-0.9466
90	99.5	101.3	99.5	100.1000	98.7	-1.4184
100	99	100.2	99	99.4000	98.7	-0.7092
110	99	101.1	99.5	99.8667	98.8	-1.0796
120	99.5	100.8	99.75	100.0167	98.6	-1.4368
130	99.25	100.3	99.5	99.6833	98.9	-0.7920
140	99.25	100.2	99.5	99.6500	98.9	-0.7583
150	99.25	100.5	99.5	99.7500	98.9	-0.8595
160	98.5	101	99.25	99.5833	99	-0.5892
170	98	100.4	99.75	99.3833	99	-0.3872
180	99.75	99.9	99.5	99.7167	99	-0.7239
190	99.25	100.6	99.5	99.7833	99	-0.7912
200	99.5	101	99.5	100.0000	99	-1.0101
210	98.5	101	99.5	99.6667	99	-0.6734
220	99.25	101	99.5	99.9167	99	-0.9259
230	99	101.2	99	99.7333	98.7	-1.0469
240	98.5	101.5	99.5	99.8333	99	-0.8418
250	99	101	100	100.0000	99	-1.0101
260	98.75	100.5	99.75	99.6667	99.1	-0.5718

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ แก้ว กระจก อื่นๆ อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3(ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของแขนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของแขนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
270	99	100.9	100	99.9667	99	-0.9764
280	99.25	101.2	100	100.1500	99	-1.1616
290	99	100.6	99.75	99.7339	98.7	-0.9067
เฉลี่ย	98.9667	100.7400	99.5000	99.7339	98.8333	-0.9067

จากตารางที่ 4.3 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.5 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของแขนแนลที่ 3 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

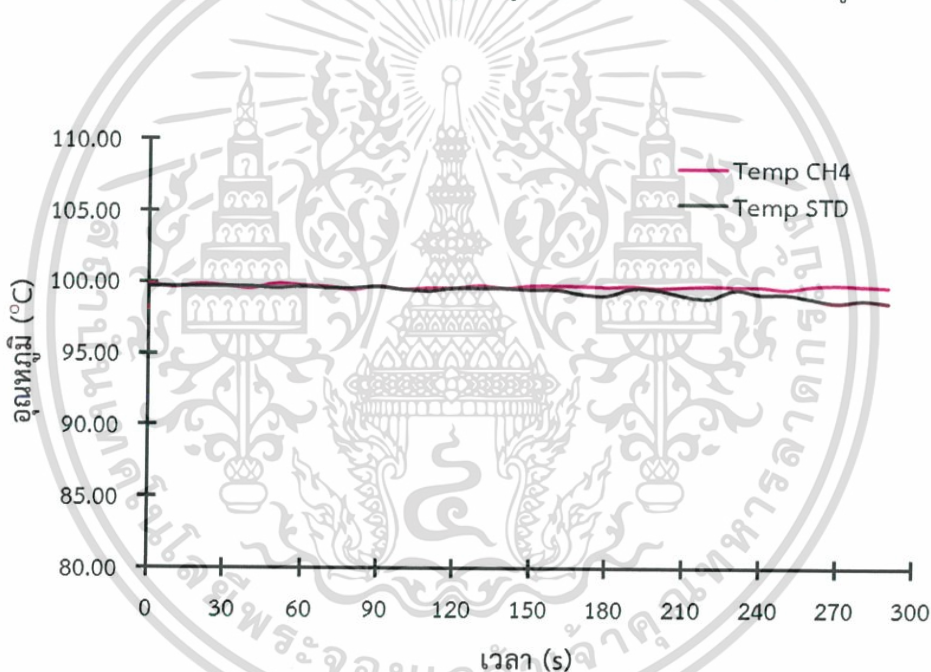
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	99.7	99.7	100.25	99.8833	99.7	-0.1839
10	99.6	99.6	99.75	99.6500	99.7	0.0502
20	99.8	99.8	100	99.8667	99.7	-0.1672
30	99.7	99.8	99.75	99.7500	99.7	-0.0502
40	99.8	99.7	99.25	99.5833	99.7	0.1170
50	99.7	99.8	100.25	99.9167	99.6	-0.3179
60	99.7	99.7	100	99.8000	99.7	-0.1003
70	99.7	99.7	99.75	99.7167	99.6	-0.1171
80	99.8	99.7	99	99.5000	99.6	0.1004
90	99.7	99.8	99.75	99.7500	99.7	-0.0502
100	99.7	99.7	99.25	99.5500	99.5	-0.0503
110	99.7	99.7	99.5	99.6333	99.4	-0.2347
120	99.7	99.7	99.5	99.6333	99.6	-0.0335
130	99.7	99.7	100	99.8000	99.6	-0.2008
140	99.7	99.7	99.5	99.6333	99.6	-0.0335
150	99.7	99.7	100	99.8000	99.5	-0.3015
160	99.7	99.7	100	99.8000	99.5	-0.3015
170	99.8	99.8	99.75	99.7833	99.2	-0.5880
180	99.7	99.7	99.75	99.7167	99.1	-0.6223
190	99.8	99.8	99.75	99.7833	99.6	-0.1841
200	99.6	99.6	99.75	99.6500	99.5	-0.1508
210	99.6	99.6	100	99.7333	99.1	-0.6391
220	99.7	99.7	100	99.8000	98.9	-0.9100
230	99.6	99.6	100	99.7333	99.5	-0.2345
240	99.6	99.6	100	99.7333	99.2	-0.5376
250	99.6	99.6	99.5	99.5667	99.2	-0.3696
260	99.7	99.7	100	99.8000	98.9	-0.9100

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
270	99.7	99.7	100.25	99.8833	98.6	-1.3016
280	99.7	99.7	100	99.8000	98.8	-1.0121
290	99.7	99.7	99.75	99.7167	98.6	-1.1325
เฉลี่ย	99.6967	99.7000	99.8000	99.7322	99.3867	-0.3489

จากตารางที่ 4.4 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.6 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

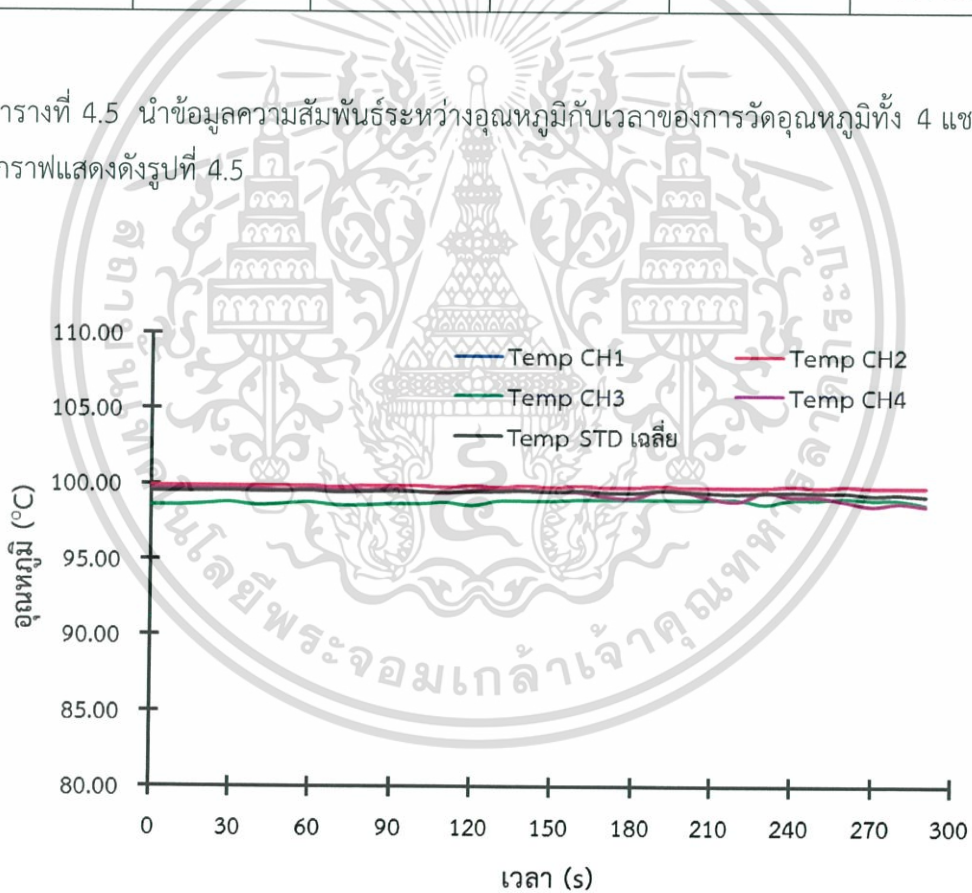
ตารางที่ 4.5 ผลค่าเฉลี่ยการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนลเทียบกับ
กับผลค่าเฉลี่ยของเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของแชนแนลที่ 1 (°C)				ผลค่าเฉลี่ย ของเครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน
	ผลค่าเฉลี่ย CH.1	ผลค่าเฉลี่ย CH.2	ผลค่าเฉลี่ย CH.3	ผลค่าเฉลี่ย CH.4	
0	98.7667	98.7667	99.7833	99.8833	99.5250
10	98.9833	98.9833	99.4500	99.6500	99.5250
20	99.0167	99.0167	99.8333	99.8667	99.5500
30	99.3333	99.3333	99.5500	99.7500	99.5750
40	99.4667	99.4667	99.5833	99.5833	99.5250
50	99.5833	99.5833	99.5500	99.9167	99.5250
60	99.5833	99.5833	99.7667	99.8000	99.5750
70	99.5500	99.5500	99.3667	99.7167	99.4500
80	99.0667	99.0667	99.5333	99.5000	99.5000
90	99.4667	99.4667	100.1000	99.7500	99.5500
100	99.6333	99.6333	99.4000	99.5500	99.5000
110	99.4833	99.4833	99.8667	99.6333	99.4500
120	99.3500	99.3500	100.0167	99.6333	99.5000
130	98.9500	98.9500	99.6833	99.8000	99.5250
140	99.4333	99.4333	99.6500	99.6333	99.5750
150	99.8333	99.8333	99.7500	99.8000	99.5000
160	99.6000	99.6000	99.5833	99.8000	99.5750
170	99.6500	99.6500	99.3833	99.7833	99.4500
180	99.6667	99.6667	99.7167	99.7167	99.4250
190	99.5667	99.5667	99.7833	99.7833	99.6000
200	99.8833	99.8833	100.0000	99.6500	99.5250
210	99.4667	99.4667	99.6667	99.7333	99.4250
220	99.8333	99.8333	99.9167	99.8000	99.3750
230	99.7833	99.7833	99.7333	99.7333	99.4500
240	99.7667	99.7667	99.8333	99.7333	99.5000
250	99.9167	99.9167	100.0000	99.5667	99.4500

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลค่าเฉลี่ยการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล เทียบกับผลค่าเฉลี่ยของเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของแชนแนลที่ 1 (°C)				ผลค่าเฉลี่ย ของเครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน
	ผลค่าเฉลี่ย CH.1	ผลค่าเฉลี่ย CH.2	ผลค่าเฉลี่ย CH.3	ผลค่าเฉลี่ย CH.4	
260	99.2667	99.2667	99.6667	99.8000	99.4500
270	100.1250	100.1250	99.9667	99.8833	99.3000
280	99.8333	99.8333	100.1500	99.8000	99.3500
290	99.9667	99.9667	99.7339	99.7167	99.2250
เฉลี่ย	99.8533	99.8533	98.8333	99.3867	99.4817

จากตารางที่ 4.5 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการวัดอุณหภูมิทั้ง 4 แชนแนล เขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.7 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของ 4 แชนแนลเทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ 100°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนลเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2 นำข้อมูลคำนวณหาร้อยละของการแกว่งของอุณหภูมิในช่วงเวลา 5 นาที ผลแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสของแชนแนลที่ 1

การเปรียบเทียบ	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	การแกว่งของอุณหภูมิ (°C)	% การแกว่งของอุณหภูมิ (°C)
เครื่องมาตรฐาน	99.32	-	-
แชนแนลที่ 1	99.85	-0.53	0.54
แชนแนลที่ 2	99.20	0.42	0.12
แชนแนลที่ 3	99.83	0.49	0.49
แชนแนลที่ 4	99.39	-0.08	0.07
เฉลี่ย			0.305

การแกว่งของอุณหภูมิ 100°C ในช่วงเวลา 5 นาทีของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนลเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C

ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2 โดยวัดอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาทีเป็นเวลา 5 นาที จำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง และหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนผลการวัดอุณหภูมิของเซลล์ที่ 1 เซลล์ที่ 2 เซลล์ที่ 3 และ เซลล์ที่ 4 แสดงดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.11

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 1 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานยี่ห้อ Fluke 54-2

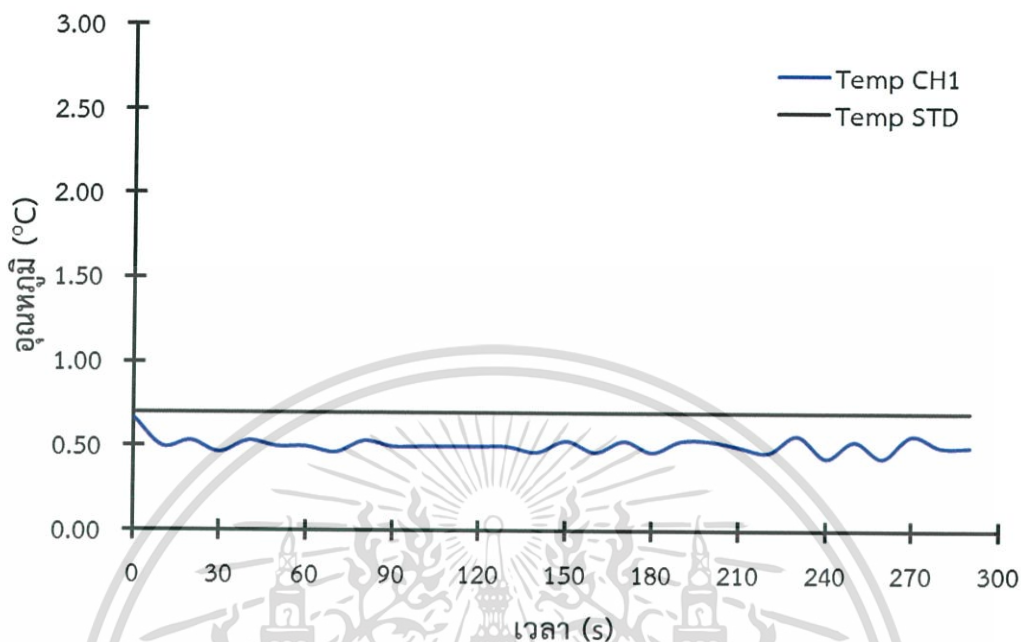
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	1	0.5	0.5	0.6667	0.7	4.7619
10	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.7	28.5714
20	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.7	23.8095
30	0.5	0.5	0.4	0.4667	0.7	33.3333
40	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.7	23.8095
50	0.5	0.6	0.4	0.5000	0.7	28.5714
60	0.6	0.4	0.5	0.5000	0.7	28.5714
70	0.4	0.5	0.5	0.4667	0.7	33.3333
80	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.7	23.8095
90	0.5	0.6	0.4	0.5000	0.7	28.5714
100	0.6	0.4	0.5	0.5000	0.7	28.5714
110	0.4	0.6	0.5	0.5000	0.7	28.5714
120	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.7	28.5714
130	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.7	28.5714
140	0.5	0.5	0.4	0.4667	0.7	33.3333
150	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.7	23.8095
160	0.6	0.4	0.4	0.4667	0.7	33.3333
170	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.7	23.8095
180	0.5	0.5	0.4	0.4667	0.7	33.3333
190	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.7	23.8095
200	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.7	23.8095

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของค่ามาตรฐานที่ได้จาก Thermometer และค่าทดสอบที่ได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล วัดจากแชนแนล 1

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของแชนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
210	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.7	28.5714
220	0.5	0.5	0.4	0.4667	0.7	33.3333
230	0.6	0.6	0.5	0.5667	0.7	19.0476
240	0.5	0.4	0.4	0.4333	0.7	38.0952
250	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.7	23.8095
260	0.4	0.5	0.4	0.4333	0.7	38.0952
270	0.6	0.6	0.5	0.5667	0.7	19.0476
280	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.7	28.5714
290	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.7	28.5714
เฉลี่ย	0.5267	0.5000	0.4967	0.5078	0.7000	27.4603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.7 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.8 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซลล์ที่ 1 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
ยี่ห้อ Fluke 54-2

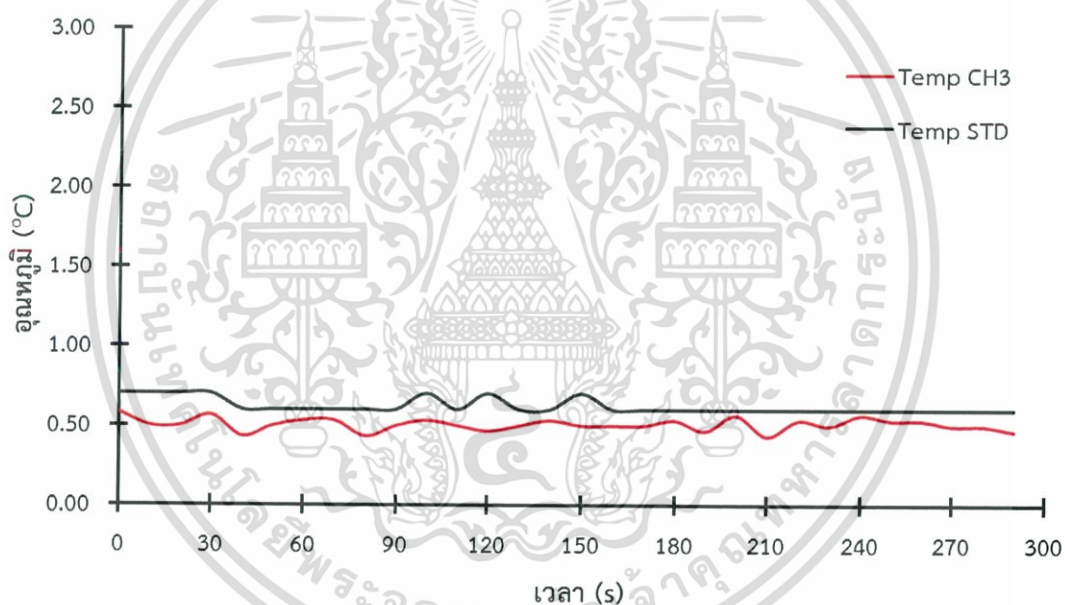
เวลา (วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	0.75	0.5	0.5	0.5833	0.7	16.6667
10	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.7	28.5714
20	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.7	28.5714
30	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.7	19.0476
40	0.5	0.4	0.4	0.4333	0.6	27.7778
50	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
60	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
70	0.4	0.6	0.6	0.5333	0.6	11.1111
80	0.5	0.4	0.4	0.4333	0.6	27.7778
90	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
100	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.7	23.8095
110	0.4	0.5	0.6	0.5000	0.6	16.6667
120	0.5	0.5	0.4	0.4667	0.7	33.3333
130	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
140	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.6	11.1111
150	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.7	28.5714
160	0.6	0.5	0.4	0.5000	0.6	16.6667
170	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
180	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.6	11.1111
190	0.5	0.4	0.5	0.4667	0.6	22.2222
200	0.6	0.5	0.6	0.5667	0.6	5.5556
210	0.4	0.5	0.4	0.4333	0.6	27.7778
220	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.6	11.1111
230	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.6	16.6667
240	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
250	0.6	0.4	0.6	0.5333	0.6	11.1111
260	0.6	0.6	0.4	0.5333	0.6	11.1111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
270	0.6	0.4	0.5	0.5000	0.6	16.6667
280	0.4	0.6	0.5	0.5000	0.6	16.6667
290	0.5	0.4	0.5	0.4667	0.6	22.2222
เฉลี่ย	0.5183	0.5000	0.5067	0.5083	0.6233	18.1746

จากตารางที่ 4.8 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.9 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซนแนลที่ 2 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
ยี่ห้อ Fluke 54-2

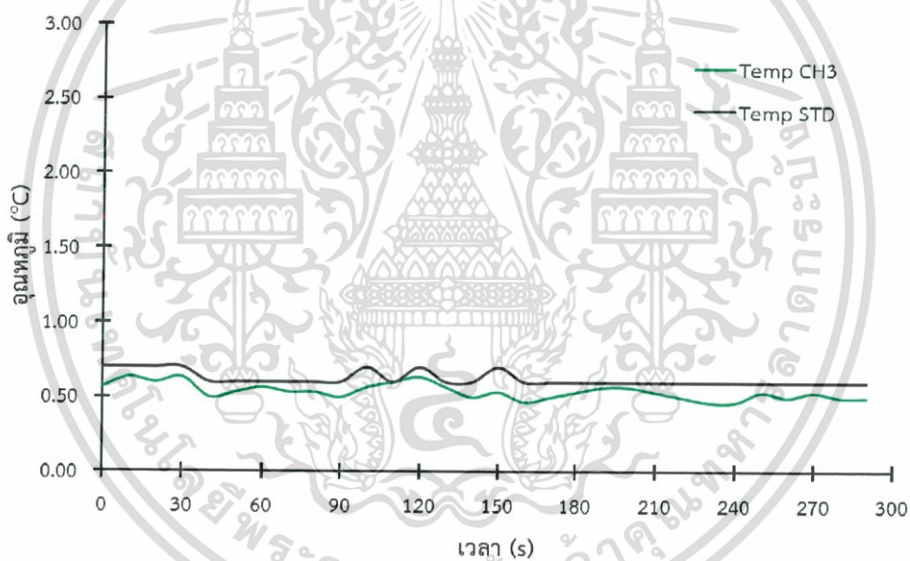
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	0.5	0.5	0.7	0.5667	0.7	19.0476
10	0.6	0.6	0.7	0.6333	0.7	9.5238
20	0.5	0.6	0.7	0.6000	0.7	14.2857
30	0.6	0.6	0.7	0.6333	0.7	9.5238
40	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.6	16.6667
50	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.6	11.1111
60	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
70	0.4	0.6	0.6	0.5333	0.6	11.1111
80	0.4	0.6	0.6	0.5333	0.6	11.1111
90	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.6	16.6667
100	0.5	0.5	0.7	0.5667	0.7	19.0476
110	0.6	0.6	0.6	0.6000	0.6	0.0000
120	0.6	0.6	0.7	0.6333	0.7	9.5238
130	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
140	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.6	16.6667
150	0.5	0.4	0.7	0.5333	0.7	23.8095
160	0.4	0.4	0.6	0.4667	0.6	22.2222
170	0.4	0.5	0.6	0.5000	0.6	16.6667
180	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.6	11.1111
190	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
200	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
210	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.6	11.1111
220	0.5	0.4	0.6	0.5000	0.6	16.6667
230	0.5	0.4	0.5	0.4667	0.6	22.2222
240	0.5	0.4	0.5	0.4667	0.6	22.2222
250	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
260	0.6	0.5	0.4	0.5000	0.6	16.6667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ทำการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์และต่ออ้างอิงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของแขนแนลที่ 3 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของแขนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
270	0.6	0.6	0.4	0.5333	0.6	11.1111
280	0.4	0.6	0.5	0.5000	0.6	16.6667
290	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
เฉลี่ย	0.5067	0.5167	0.5933	0.5389	0.6233	13.4921

จากตารางที่ 4.9 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.10 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของแขนแนลที่ 3 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

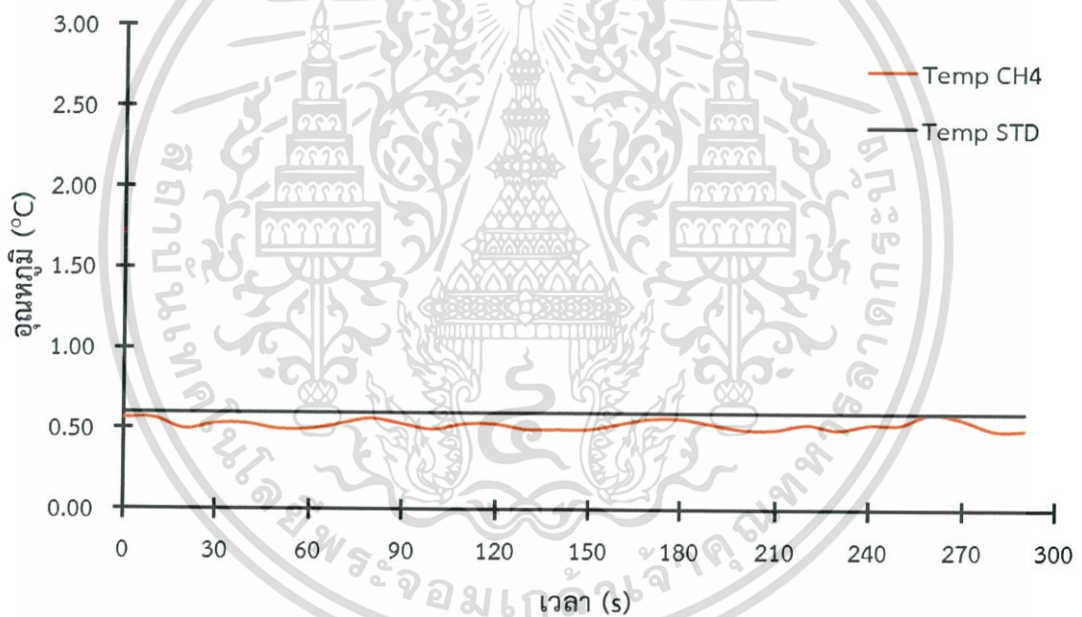
ตารางที่ 4.10 ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัด มาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน	% ความคลาด เคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
10	0.6	0.5	0.6	0.5667	0.6	5.5556
20	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
30	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
40	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
50	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
60	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
70	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.6	11.1111
80	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
90	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.6	11.1111
100	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
110	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
120	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
130	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
140	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
150	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
160	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
170	0.6	0.6	0.5	0.5667	0.6	5.5556
180	0.5	0.6	0.6	0.5667	0.6	5.5556
190	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.6	11.1111
200	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
210	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
220	0.5	0.5	0.6	0.5333	0.6	11.1111
230	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
240	0.6	0.5	0.5	0.5333	0.6	11.1111
250	0.5	0.6	0.5	0.5333	0.6	11.1111
260	0.6	0.6	0.6	0.6000	0.6	0.0000

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของเซนแนลที่ 1 (°C)				เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	% ความคลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
270	0.6	0.5	0.6	0.5667	0.6	5.5556
280	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
290	0.5	0.5	0.5	0.5000	0.6	16.6667
เฉลี่ย	0.53333	0.52333	0.53	0.5289	0.6000	11.8519

จากตารางที่ 4.10 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.11 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเซนแนลที่ 4 เทียบกับอุณหภูมิของเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลค่าเฉลี่ยการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล เทียบกับผลค่าเฉลี่ยของเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

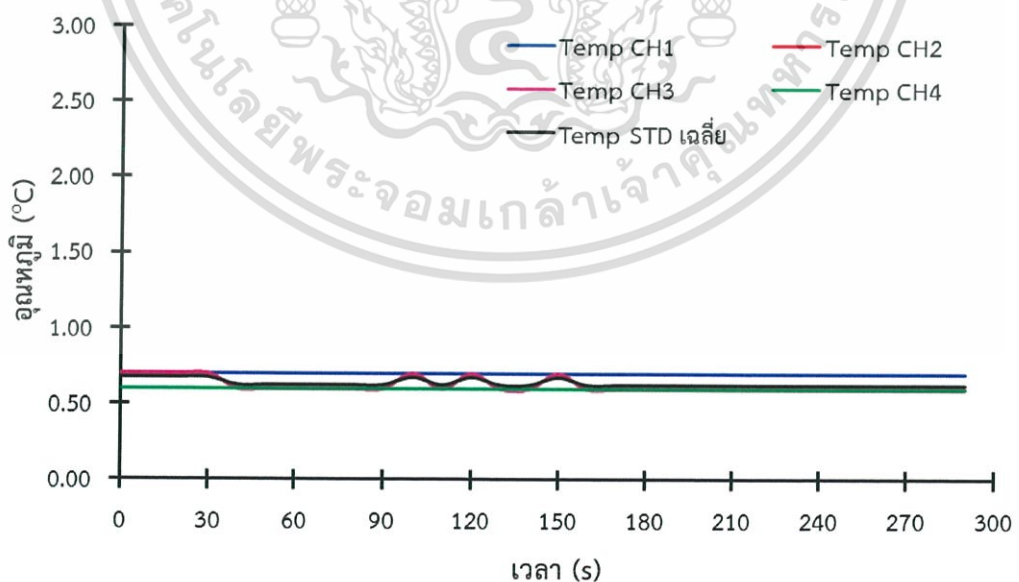
เวลา(วินาที)	อุณหภูมิของแชนแนลที่ 1 (°C)				ผลค่าเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน
	ผลค่าเฉลี่ย CH.1	ผลค่าเฉลี่ย CH.2	ผลค่าเฉลี่ย CH.3	ผลค่าเฉลี่ย CH.4	
0	0.6667	0.5833	0.5667	0.5667	0.6750
10	0.5000	0.5000	0.6333	0.5667	0.6750
20	0.5333	0.5000	0.6000	0.5000	0.6750
30	0.4667	0.5667	0.6333	0.5333	0.6750
40	0.5333	0.4333	0.5000	0.5333	0.6250
50	0.5000	0.5000	0.5333	0.5000	0.6250
60	0.5000	0.5333	0.5667	0.5000	0.6250
70	0.4667	0.5333	0.5333	0.5333	0.6250
80	0.5333	0.4333	0.5333	0.5667	0.6250
90	0.5000	0.5000	0.5000	0.5333	0.6250
100	0.5000	0.5333	0.5667	0.5000	0.6750
110	0.5000	0.5000	0.6000	0.5333	0.6250
120	0.5000	0.4667	0.6333	0.5333	0.6750
130	0.5000	0.5000	0.5667	0.5000	0.6250
140	0.4667	0.5333	0.5000	0.5000	0.6250
150	0.5333	0.5000	0.5333	0.5000	0.6750
160	0.4667	0.5000	0.4667	0.5333	0.6250
170	0.5333	0.5000	0.5000	0.5667	0.6250
180	0.4667	0.5333	0.5333	0.5667	0.6250
190	0.5333	0.4667	0.5667	0.5333	0.6250
200	0.5333	0.5667	0.5667	0.5000	0.6250
210	0.5000	0.4333	0.5333	0.5000	0.6250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลค่าเฉลี่ยการวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 0°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล เทียบกับผลค่าเฉลี่ยของเครื่องมือวัดมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke 54-2

เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (°C)				ผลค่าเฉลี่ย ของเครื่องวัด อุณหภูมิ มาตรฐาน
	ผลค่าเฉลี่ย CH.1	ผลค่าเฉลี่ย CH.2	ผลค่าเฉลี่ย CH.3	ผลค่าเฉลี่ย CH.4	
220	0.4667	0.5333	0.5000	0.5333	0.6250
230	0.5667	0.5000	0.4667	0.5000	0.6250
240	0.4333	0.5667	0.4667	0.5333	0.6250
250	0.5333	0.5333	0.5333	0.5333	0.6250
260	0.4333	0.5333	0.5000	0.6000	0.6250
270	0.5667	0.5000	0.5333	0.5667	0.6250
280	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.6250
290	0.5000	0.4667	0.5000	0.5000	0.6250
เฉลี่ย	0.7000	0.6233	0.6233	0.6000	0.6367

จากตารางที่ 4.11 นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการวัดอุณหภูมิทั้ง 4 แชนแนล เขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.12 ผลการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของ 4 แชนแนลเทียบกับอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
มาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ 0°C ของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนลเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน Fluke รุ่น 54-2 นำข้อมูลคำนวณหาร้อยละของการแกว่งของอุณหภูมิในช่วงเวลา 5 นาที ผลแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 0°C

การเปรียบเทียบ	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	การแกว่งของอุณหภูมิ (°C)	% การแกว่งของอุณหภูมิ (°C)
เครื่องมาตรฐาน	0.64	-	-
แชนแนลที่ 1	0.70	-0.006	9.95
แชนแนลที่ 2	0.62	0.013	2.09
แชนแนลที่ 3	0.62	0.013	2.09
แชนแนลที่ 4	0.60	0.037	5.76
เฉลี่ย			4.97

การแกว่งของอุณหภูมิ 0°C ในช่วงเวลา 5 นาทีของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนลเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4.97

จากที่ทำการทดลอง พบว่าปัญหาที่พบก่อนหน้านี้เครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล เมื่อลองทำการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันแล้ว ในตอนแรกนั้น พบว่าระหว่างการทำการทดลอง เมื่อทำการวัดพบว่าไม่มีค่าผลการทดลองที่ออกมา เนื่องจากว่าตัวอุปกรณ์ MAX6675 Module ที่ใช้ในการรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล ได้ใช้ขา SCK ร่วมกันกับ SD Cards Module ทำให้ผลการทดลองที่วัดนั้นไม่มีค่าออกมา เนื่องมาจากว่าการใช้ช่องเสียบ SCK บน Arduino ร่วมกันจำนวนมาก จะทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณต่อกัน ทำให้ผลการทดลองไม่ออกมา พอได้ทำการเปลี่ยนช่องเสียบสัญญาณโดยการกำหนดขึ้นมาใหม่ และลองต่ออุปกรณ์ใหม่ พบว่าเครื่องสามารถอ่านค่าการทดลองออกมาได้เป็นปกติ ผลการทดลองที่ได้ จึงเป็นดังตารางข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล เทียบกับเครื่องมาตรฐานของ Fluke รุ่น 54-2 ที่อุณหภูมิ 0°C กับ 100°C พบว่าผลการทดลองที่ได้นั้นมีค่าร้อยละการแกว่งของอุณหภูมิที่ 0°C มีค่าเป็น 4.97% และที่ 100°C มีค่าเป็น 0.305% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานอยู่เล็กน้อย ผลความคลื่อนที่เกิดขึ้น เกิดเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่นำมาใช้ ในการทดลอง โดยในแต่ละตัวอุปกรณ์จะมีค่าความคลื่อนในตัว ทำให้ผลการวัดอุณหภูมิที่ออกมาคลาดเคลื่อน แต่ก็มีไม่มากเกินไปค่ามาตรฐาน ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 0°C จะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่อุณหภูมิ 100°C เพราะค่ามาตรฐานในการรับอุณหภูมิของเครื่องมือนี้ขึ้นอยู่กับตัว IC Digital Converter หรือตัว MAX6675 เพราะช่วงการรับอุณหภูมิของตัว MAX6675 จะอยู่ที่ 0-700°C ทำให้ค่าการทดลองที่อยู่ใกล้จุดวัดอุณหภูมิแรกเริ่มของตัว MAX6675 ซึ่งก็คือที่อุณหภูมิ 0°C มีความคลาดเคลื่อนสูง เพราะยังเข้าใกล้กับสัญญาณที่รับเข้ามาเท่าไร ค่าความคลาดเคลื่อนก็จะยังมีมาก เพราะมีสัญญาณที่รบกวนมากนั่นเอง จึงทำให้ที่อุณหภูมิ 0°C มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่อุณหภูมิ 100°C ปัญหาหลักอีกอย่างก็คือเครื่องมือที่นำมาประกอบเข้าด้วยกันนั้นเป็นแค่ตัวทดสอบเพื่อใช้วัดอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ และจากการวิเคราะห์การวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้แต่ละตัว พบว่าจะมีความต่างของอุณหภูมิที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้ได้ทำการแก้ไขแล้ว แต่ก็ยังมีคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง หรืออาจจะเกิดจากการที่ต่ออุปกรณ์ไม่แน่น หรือมีอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดการชำรุด แต่ถ้าเลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานมาใช้งาน ค่าผลการทดลองที่ออกมา น่าจะดีขึ้น เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะลดน้อยลง และยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานและการแก้ไขเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล ผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

- 1) เนื่องจากอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการประกอบเครื่องมือ ยังไม่ได้มาตรฐานมากนัก ค่าการทดลองที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อน ผู้จัดทำจึงขอแนะนำให้เลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานมากกว่านี้
- 2) ในการประกอบเครื่อง ไม่แนะนำให้ใช้สายไฟแบบเสียบ เพราะมีอัตราการหลุดออกจากกันสูง แนะนำให้บัดกรีเพื่อความหนาแน่นของการเชื่อมอุปกรณ์เข้าด้วยกัน
- 3) ในการประกอบเครื่องนั้นควรระมัดระวังเป็นอย่างมาก เพราะอุปกรณ์เสียหายได้ง่าย ดังนั้นจะต้องตรวจทาน และพิจารณาให้ดีก่อนนำอุปกรณ์มาประกอบเข้ากัน
- 4) เมื่อประกอบเครื่องเสร็จควรเช็คการทำงานของเครื่องให้ดี ว่าเครื่องมือที่ประกอบไปนั้นสามารถใช้งานได้จริง และไม่มี error ของคำสั่งโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Instructables. 2015. Arduino and Thermocouple K MAX6675. [Online]. Available : <http://www.instructables.com/id/Arduino-and-Thermocouple-K-MAX6675/>
- [2] สุปริมไลนส์. 2015. เทอร์โมคัปเปิล คืออะไร? [Online]. Available : <http://www.เทอร์โมคัปเปิล.com/สาระความรู้—เทอร์โมคัปเปิล/เทอร์โมคัปเปิล—คืออะไร.html>
- [3] KMUTNB. 2014. การอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลแบบ K-Type ด้วยไอซี MAX6675. [Online]. Available : http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=max6675_thermocouple
- [4] Arduinoall. 2015. สอน วิธี ใช้งาน Arduino Data Log ger Shield ใช้งาน บันทึกรข้อมูล และเวลาลงใน SD Card ได้ใน 3 นาที. [Online]. Available : <https://www.arduinoall.com/article/16/สอน-วิธี-ใช้งาน-arduino-data-logger-shield-ใช้งาน-บันทึกข้อมูลและเวลาลงใน-sd-card-ได้ใน-3-นาที>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Self-Calibrating Enabled Low Cost, Two Channel Type K Thermocouple Interface for Microcontrollers

Hesham H. Shaker, A.A. Saleh, Azza H. Ali, and M. Abd Elaziz
EAEA, Cairo, Egypt

Abstract—This paper presents a new design of a low cost, two channel, type K thermocouple interface circuit for microcontrollers. This interface circuit enables the connecting microcontroller to make accurate temperature measurements from 0 up to 250 degree Celsius with 1 degree resolution. The usage of the microcontrollers' computational capabilities is proposed to make an adaptive self-calibration for the designed interface circuit. These capabilities are also used to solve the two major problems associated with thermocouple signal measurement: the thermocouple non-linearity problems; and the thermocouple reference junction problems.

Index Terms—thermocouple amplifier board, cold junction compensation, self calibration, microcontroller.

I. INTRODUCTION

Thermocouples are used as temperature sensors in many measurement instrumentations. Such instrumentations are widely used in many research fields such as nuclear-related research. They are typically selected due to their low cost, high temperature limits, and wide temperature ranges [1].

Microcontrollers are the main core of most measurement instrumentations like thermocouple data-loggers. A circuit is needed to interface thermocouple terminals with a microcontroller's analog input pins. A lot of thermocouple interface (amplifier) boards are available in the electronics market with a price ranging from 30\$ to 95\$ (as in eBay shop). They aren't cheap because all the thermocouple measurement difficulties are locally solved on the board itself.

This paper proposes a new design of a low cost (<3\$) two channel thermocouple interface circuit, based on the operational amplifiers implemented in the LM358 integrated circuit (0.05\$ in eBay shop). This interface circuit allows the connecting microcontroller to make accurate temperature measurements from 0 up to 250 degree Celsius with 1 degree resolution. This accuracy is guaranteed by proposing the usage of the connecting microcontroller's computational capabilities. This allows making an adaptive self-calibration as well as solves the two major problems associated with thermocouples: the thermocouple non-linearity problems; and the thermocouple reference junction problems.

Arduino is an open source microcontroller-based kit. Such kits are flexible and easy to use. Arduino boards are produced by several vendors, using different microcontrollers [2]. Arduino-Uno is one example of Arduino boards. It is based on Atmega328P microcontroller, and it is used in this work as a microcontroller example to validate the designed interface.

Section II discusses the design of the differential amplifiers which are the main building blocks of the designed interface.

Section III discusses the importance of using an adaptive self-calibration technique to compensate any variation in the amplifiers parameters. Section IV discusses the problem of the thermocouple reference junction, and clarifies the implemented solution. The hardware and software descriptions are included in sections V, and VI respectively. Finally, the validating experimental results are presented in section VII.

II. DIFFERENTIAL AMPLIFIER DESIGN

Thermocouple consists of two twisted pairs made of different metals. its terminals are joined together at one end, creating a junction, called measurement junction. When the measurement junction experiences a change in temperature, an induced voltage change is produced between the two terminals at the other end. There are many types of thermocouples: types J, K, and T are the most common types [3]. Type K thermocouple is concerned in this paper, it induces a voltage change from 0 up to less than 11 mV when its measurement junction experiences a change in temperature from 0 up to 250 °C [4].

Atmega328P microcontroller (included in Arduino-uno board) contains a 10-bit analog to digital converter (ADC) [5], which gets a reference voltage of 5V by default. This means that the least significant bit of this ADC is equivalent to 4.9 mV. On the other hand, type K thermocouple signal changes approximately by 40uV per 1 °C [3]. A resolution of 1 °C can be achieved by amplifying the thermocouple signal by a gain factor higher than 122 (4.9mV/40uV).

LM358 is a very cheap dual operational amplifier integrated circuit (IC). It consists of two independent operational amplifiers (Op-Amps) A, and B. These Op-Amps can operate with a single power supply, and their input common mode can be in the ground level [6]. These features allow the use of the same supply of the connecting microcontroller for energizing the interface circuit, and these features allow the thermocouple signals to be applied directly to the input of the differential amplifiers without any common mode voltage level. This facilitates designing a large DC gain using a single stage amplifier. The Op-Amps of LM358 IC are used to implement two differential amplifiers with a gain factor equivalent to 200 (<122 to guarantee more accuracy).

Two experimental test benches have been carried out for these differential amplifiers. The first test bench extracts the transfer functions of them using three different LM358 ICs. As shown in Fig. 1, all amplifiers have the same gain factor (the same slope), but each one has a different offset shift

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(problem 1). It is better to use the pure linear range of the amplifier transfer function (input range between 4mV to 18mV). This is done by connecting the negative terminal of the thermocouple to the positive terminal of a 5mV DC battery (just a resistance divider from 5V to 5mV) referred to the ground, and measuring the output voltage between the positive terminal of the thermocouple and ground. This input range ($18\text{mV}-5\text{mV}=13\text{mV} < 11\text{mV}$) accepts a temperature change up to 320 °C. The second test bench determines the effect of changing the surrounding temperature of the differential amplifiers. Fig. 2 plots the normalized gain and offset (with respect to values at 33 °C) of the differential amplifier (using IC1_A Op-amp) at different surrounding temperatures. The gain changed slightly, whereas the offset changed drastically (problem 2). The implemented solutions to solve the two problems of this cheap amplifier are discussed in the next section.

III. SELF-CALIBRATION TECHNIQUE

As seen in section II, the internal offset of the LM358s Op-Amps may change with replacing the LM358 IC itself, or with the variation of the surrounding temp. Adaptive self-calibration algorithm is proposed to solve these two problems. This algorithm should be conducted as often as is necessary [7]. The connecting microcontroller triggers a new calibration every time the proposed interface circuit is energized, and when the surrounding temperature of the amplifier changes by ± 1 °C with respect to the last calibration.

Self-calibration is enabled in the proposed interface circuit using a switching network which flips the amplifiers inputs from the output of thermocouples to the output of divider blocks during the self-calibration mode. The divider blocks get an input square wave (1KHz frequency) with an increasing duty cycle (in 16 steps) from the connecting microcontrollers analog output (AO) pin, and it extracts a scaled stairs signal from 5 up to 16 mV. For each stair-step, a 15ms delay is applied to allow the outputs of the AO pin, the divider blocks, and the differential amplifiers to get sustained, then eight samples from each amplifier output are measured within two clock cycles (2ms) and averaged. The known inputs and the measured outputs of the amplifiers are stored in a table. Finally, the gain and offset of the amplifiers are calculated, stored, and used in the temperature measurement calculations. This means, the self-calibration mode takes less than 0.3 second to accomplish the needed calculations, which is very fast.

The implemented divider block consists of a resistance divider to scale down the DC level of the input square wave, in addition to one capacitor applied to the divider output which partially filters out higher frequencies, and the rest of filtering is done by the connecting microcontroller.

IV. REFERENCE JUNCTION COMPENSATION

The thermoelectric effect may appear at any connection junction of two different metals [1]. When connecting type K thermocouple terminals (Alumel and Chromel metals) to a

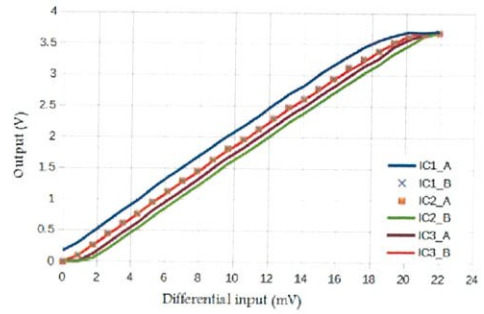


Fig. 1. Transfer function of the differential amplifiers for three different LM358 ICs

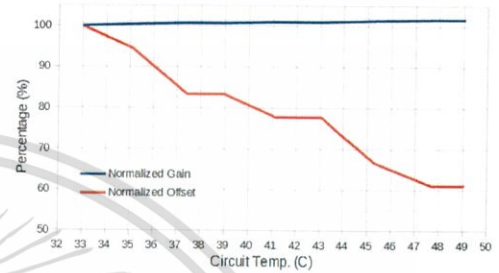


Fig. 2. The normalized gain and the normalized offset of the implemented differential amplifier (using Op-Amp IC_A) versus circuit temperature.

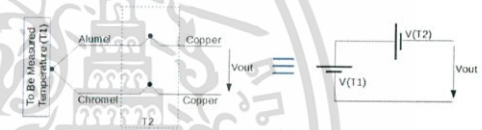


Fig. 3. The Equivalent circuit of the thermocouple sensing and connection junctions.

PCB connector (Copper metals), two thermocouple junctions appear. If these connection junctions (reference junctions) are at the same temperature T_2 , they will induce a negative potential drop equivalent to that induced from a thermocouple type K when measuring temperature T_2 (as shown in Fig. 3) [6]. This potential drop should be taken under consideration in the temperature measurement calculations.

As clarified in table I, the reference junction error can be compensated by measuring the temperature T_2 accurately, then converting this value into its equivalent induced voltage from thermocouple type K. Finally, the microcontroller uses this voltage value as a reference for the temperature measurement calculations [3]. DS18B20 is a digital thermometer IC, which is used in the present study to implement a temperature sensing block. It is featured by a 1-wire communication capability, and it allows temperature measurements from -55 to 125 °C with ± 0.5 accuracy [8].

V. HARDWARE DESCRIPTION

Fig. 4 presents the detailed block diagram of the proposed thermocouple interface circuit. Two thermocouples can be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE I
TYPICAL CODING FOR REFERENCE ERROR COMPENSATION

```

DC_offset=5 //in mV
T2= getRefTemp();
V_T2= tempToVolt(T2); //in mV
V_conditioned= analogRead(AI1) * ADC_Ref / 1023; //in V
V_TC= 1000*(V_conditioned - AmpOffset) /AmpGain; //in mV
T_measured= voltToTemp(V_TC - DC_offset + V_T2);
    
```

connected as inputs to this circuit and their conditioned outputs present on AI1, and AI2 pins, which should be connected to analog input pins of the connecting microcontroller. Ref_T pin should be connected to a digital input pin of the connecting microcontroller to allow receiving surrounding temperature of the interface circuit from the temperature sensor block (DS18B20 IC). Finally, the AO and DO pins should be connected to an analog output and a digital output pins of the connecting microcontroller respectively.

KiCad is an open source software for electronic design automation. It facilitates the stages of the printed circuit board (PCB) design using an integrated environment [9]. Fig. 5 presents the schematic diagram of the designed interface circuit as drawn with KiCad. This schematic diagram is passed to the layout editor included in KiCad, and a single side layout is designed. Finally, the fabrication files were extracted and delivered to the EAEA PCB Design and Fabrication Lab, where a sample board was fabricated. This board was used to validate the proposed concept. The electronic components included in the fabricated PCB costs less than 1.76 dollars in eBay shop. Which means that the cost of the whole proposed interface circuit may be lower than three dollars including the PCB fabrication costs.

VI. SOFTWARE DESCRIPTION

An Arduino library is written to allow easy usage of the designed interface circuit. The library consists of three functions: TC_measure function, tempToVoltage function, and voltageToTemp function. TC_measure can be called to get the temperature values from the two thermocouples connected to the interface circuit. And it calls internally the other two functions.

First, the TC_measure function gets the circuit temperature indication from the DS18B20 IC, If the circuit temperature isn't +/-1 degree around the last calibration temperature, then, it starts a new self-calibration and the new gain and offset values for each amplifier are saved. Finally, it begins the algorithm (as illustrated in table. I) for the temperature measurement for each thermocouple, and returns two pointers for the measured temperature. The tempToVoltage and voltageToTemp functions use the thermocouple type K direct and inverse polynomials respectively that have been published in [4]. These polynomials compensate perfectly the non-linearity problems of the thermocouple and cause error less than 0.05C.

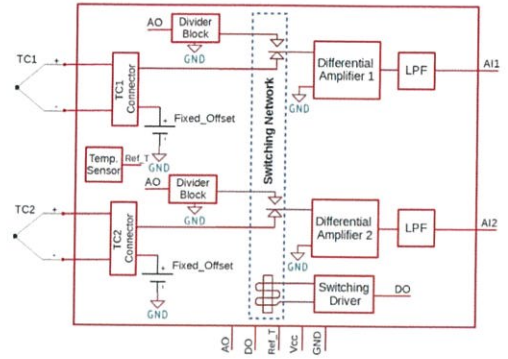


Fig. 4. The proposed interface circuit block diagram.

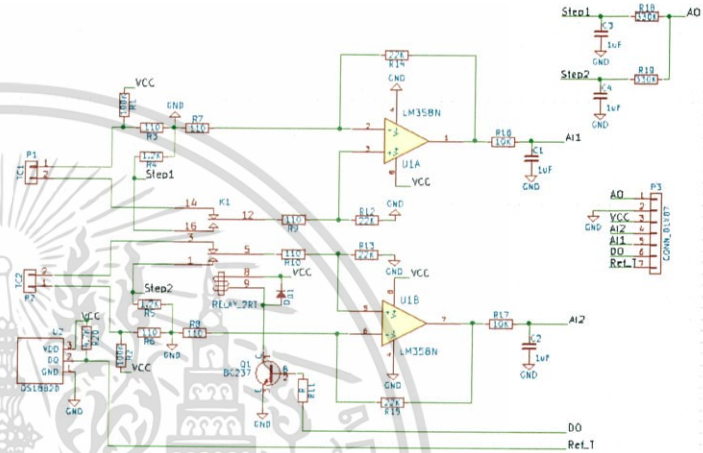


Fig. 5. The proposed interface circuit schematic diagram.

VII. DESIGN VALIDATING RESULTS

Three experimental test benches have been performed to validate the designed interface board. During experiments, the interface circuit is connected to the Arduino board which is connected to a laptop through a USB cable. The previously written library is uploaded to the Arduino board, and the measured temperature values are sent and displayed on the laptop screen, using the serial monitor software (included in Arduino IDE).

A. First Test Bench

Two thermocouples were connected to the designed interface circuit. The measurement junctions of the two thermocouples are attached to the sensing bulb of a mercury-in-glass thermometer which has been inserted in a water bath. The water was heated up to the boiling point then it was forced to cool in steps (by adding a cool water). Fig. 7 plots the experimental results. The temperature measured with the designed interface circuit achieved a very good matching compared to that measured by the glass thermometer.

B. Second Test Bench

TC4Y-14R is a temperature controller manufactured by Autronics. It accepts signals from either a resistance temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

detector or a thermocouple and displays the temperature value on a four digit seven segment display [10]. TC4Y-14R is used as a temperature measurement device to compare the measured values from the proposed interface circuit with the measured ones from it. Three thermocouples have been used to setup this test bench. One thermocouple is connected to the TC4Y controller, and the other two are connected to the designed interface circuit. The measurement junctions of the three thermocouples are attached together to a heater that was operated up to 250 °C. then it was unplugged from the power source and its temperature decay was monitored every 10 seconds. Fig. 8 plots the obtained results. The designed interface circuit achieved a very good temperature measurement with respect to that measured by the TC4Y controller up to 250 degree as designed.

C. Third Test Bench

One thermocouple has been connected to the designed interface circuit. And its measurement junction was inserted in a remote water bath. The interface circuit itself was fastened close to an oven which was operated, resulting in an increase in the surrounding temperature of the interface circuit. This experiment was conducted twice: in the first time, self-calibration was triggered at the start of the experiment and at 1 °C change of the surrounding temperature of the interface circuit; in the second time, self-calibration is only triggered at the start of the experiment. Fig. 9. plots the experimental results. It is shown clearly that self-recalibration feature in the proposed design guarantees a very good measurement accuracy at different interface circuit surrounding temperatures and achieves temperature stability equal to $-0.02\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$.

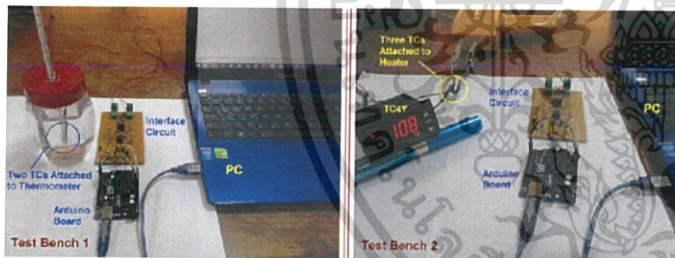


Fig. 6. The setup of the first test bench (left), and the setup of the second test bench (right).

CONCLUSIONS

This study proposed a new design of a low cost two channel thermocouple interface circuit, based on the operational amplifiers implemented in the LM358 IC. The temperature measurement accuracy was guaranteed by proposing the usage of the connecting microcontroller's computational capabilities. This allowed making an adaptive self-calibration as well as solved the two major problems associated with thermocouples: the thermocouple non-linearity problems; and the thermocouple reference junction problems. The proposed interface was designed, fabricated, and validated. Future work may propose new designs with a wider temperature range, and more resolution.

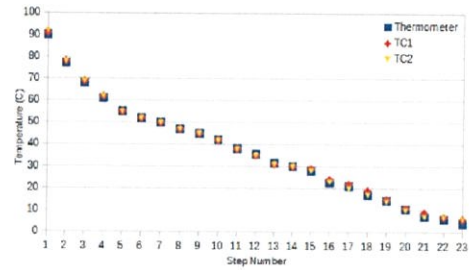


Fig. 7. Measured temperature versus cooling step number from the thermometer and the two thermocouples which were connected to the designed interface circuit.

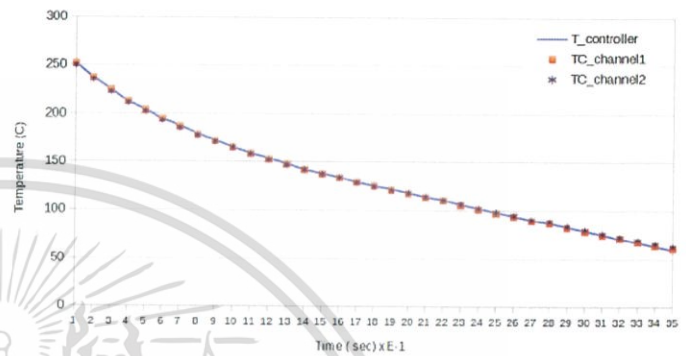


Fig. 8. Measured temperature versus time from three thermocouples, one is connected to a temperature controller (TC4Y) as a reference, and the other two were connected to the designed interface circuit.

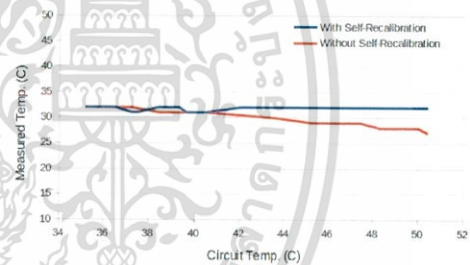


Fig. 9. Measured temperature versus interface circuit surrounding temperature with enable and disable of self-recalibration.

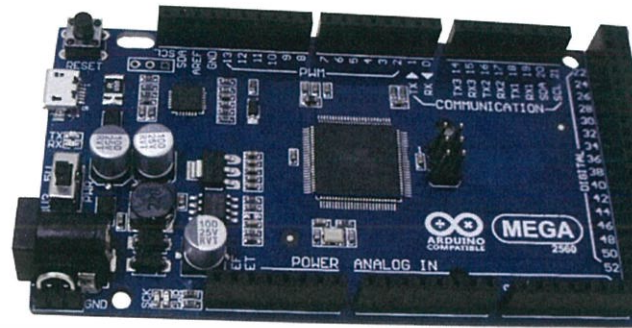
REFERENCES

- [1] W. Kester, J. Bryant, and W. Jung, Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning, Analog Devices, 1999.
- [2] "Arduino", Wikipedia, , 2016. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Accessed: 07- Aug- 2016]
- [3] M. Duff, and J. Towey, Two ways to measure temperature using thermocouples feature simplicity, accuracy, and flexibility, Analog Dialogue, vol 44, October 2010.
- [4] R. Bentley, Handbook of Temperature Measurements, 1998, Sec. Z.
- [5] ATMEL, High performance , low power AVR 8-bit microcontroller, Atmega328P datasheet, Rev. 8161C.
- [6] ST Microelectronics, Low power dual operational amplifiers, LM358 datasheet, January 2002.
- [7] VTI Instruments, How to Maximize Temperature Measurement Accuracy, Appl. Note.
- [8] DALLAS Semiconductor, Programmable resolution 1-wire digital thermometer, DS18B20 datasheet.
- [9] D. Jahshan, P. Hutchinson, F. Tappero, C. Jarron, .Berg, KiCad Getting Started in KiCad: Samurai Media Limited, 2015, pp. 1.
- [10] Aotonics, Temperature controller TC4 series, TC4Y datasheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTRODUCTION

MEGA 2560 R3 is an Arduino compatible board, It's based on Arduino MEGA 2560 design, So you can use BUONO MEGA 2560 as Arduino MEGA 2560, All Code, shield and IDE for Arduino MEGA 2560 R3 are also valid on BUONO MEGA 2560, Some visible improvement on hardware make BUONO more flexible and easier use, For example: 3.3V or 5V IO selectable allow you connect some 3.3V modules (such as XBee) to BUONO directly.



THE DIFFERENCE BETWEEN Arduino MEGA 2560 AND BUONO MEGA 2560

	Arduino MEGA 2560	BUONO MEGA 2560
USB Connector	Type B Female	Micro USB connector
Operating Voltage	5V	3.3V or 5V selectable
3.3V Current	50mA	600mA
5V Current	500mA	1.8A
Input Range	7V to 12V	6V to 23V
MCU	ATMEGA2560	ATMEGA2560
Others		Ground terminal LPF for AVCC

FEATURES

- Inherits all of Arduino MEGA 2560's features
- Compatible to Arduino MEGA2560's pin layout, screw hole and dimensions
- 3.3V or 5V operating voltage selectable
- More visible location of indication LEDs
- Evolved with SMD components
- Digital I/O pins 54(of which 15 provided PWM output)
- Analog Input pins 16
- Flash memory 256 KB or which 8KB used by bootloader
- SRAM 8 KB
- EEPROM 4KB
- Clock speed 16MHz
- Micro USB connection make the cable can be mixed use with most digital products such as cell phone
- 5V DC/DC provide 95% efficiency
- 6V to 23V wide rang input
- Provide max 1.8A for peripheral circuits
- Ground terminal make measurement easier

PACKAGE LIST

- 1xBUONO MEGA 2560
- 1xMicro USB cable
- 4xScrew and nut

CONTACT US

540 Mill River LN San Jose, CA95134

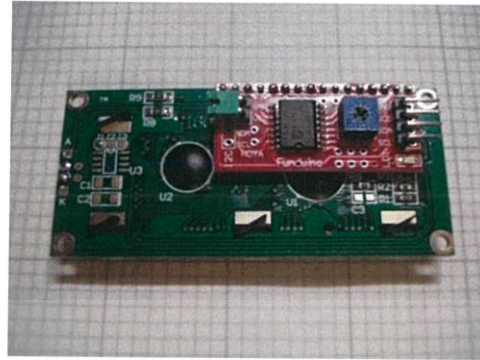
E-mail:support@inhaos.com

Web:www.inhaos.com

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet

I2C 1602 Serial LCD Module



Product features:

The I2C 1602 LCD module is a 2 line by 16 character display interfaced to an I2C daughter board. The I2C interface only requires 2 data connections, +5 VDC and GND to operate

For in depth information on I2C interface and history, visit: <http://www.wikipedia/wiki/i2c>

Specifications:

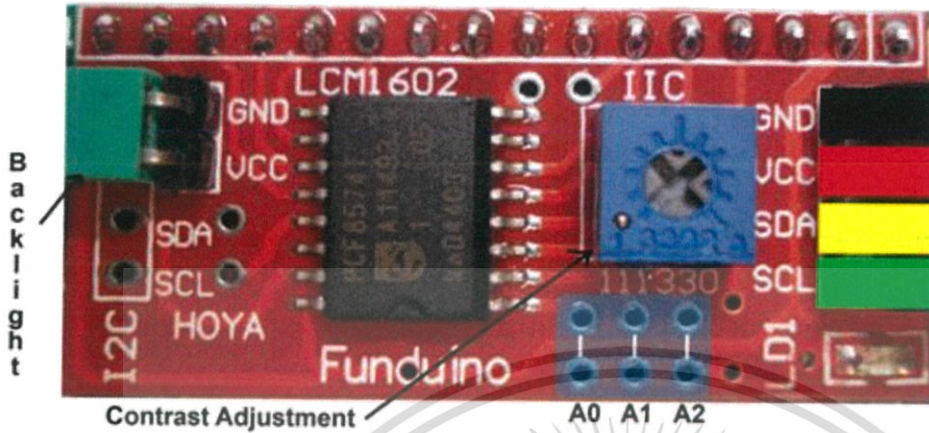
I2C Address Range	2 lines by 16 character 0x20 to 0x27 (Default=0x27, addressable)
Operating Voltage	5 Vdc
Backlight	White
Contrast	Adjustable by potentiometer on I2c interface
Size	80mm x 36mm x 20 mm
Viewable area	66mm x 16mm

Power:

The device is powered by a single 5Vdc connection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pinout Diagram:



Pin/Control Descriptions:

Pin #	Name	Type	Description
1	GND	Power	Supply & Logic ground
2	VCC	Power	Digital I/O 0 or RX (serial receive)
3	SDA	I/O	Serial Data line
4	SCL	CLK	Serial Clock line
A0	A0	Jumper	Optional address selection A0 - see below
A1	A1	Jumper	Optional address selection A1 - see below
A2	A2	Jumper	Optional address selection A2 - see below
Backlight		Jumper	Jumpered - enable backlight, Open - disable backlight
Contrast		Pot	Adjust for best viewing

Addressing:

A0	A1	A2	Address
Open	Open	Open	0x27
Jumper	Open	Open	0x26
Open	Jumper	Open	0x25
Jumper	Jumper	Open	0x24
Open	Open	Jumper	0x23
Jumper	Open	Jumper	0x22
Open	Jumper	Jumper	0x21
Jumper	Jumper	Jumper	0x20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Software:

Download the required LCD Arduino™ library for this device from:

<http://www.circuitattic.com/downloads/category/3-sample-code.html?download=9%3Aanother-i2c-library-easier-to-use>

Replace current liquid crystal library found in the Arduino library directory with the above
(Note: If you use the examples included with the library, be sure to change address to 0x27)

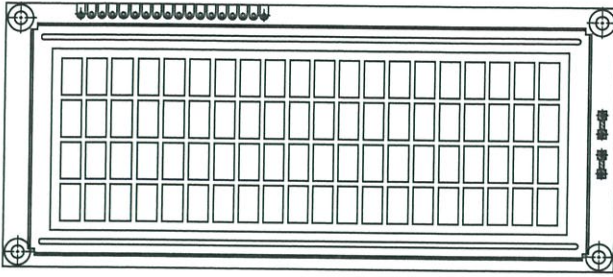
Simple example using library above.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
#define printByte(args) write(args);
#else
#define printByte(args) print(args,BYTE);
#endif
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD address to 0x27 for a
//chars and 2-line display
void setup()
{
    lcd.init(); // initialize the lcd
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    delay(100);
    for(int i = 0; i < 3; i++)
    {
        lcd.backlight();
        delay(250);
        lcd.noBacklight();
        delay(250);
    }
    lcd.backlight();
}

void loop()
{
    int x=0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(2,0); //Start at character 0 on line 0
    lcd.print("Hello World");
    lcd.setCursor(0,1); //Start at character 0 on line 1
    lcd.print(" opencircuit.nl");
    delay(3000); //Wait 3 seconds
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0); //Start at character 0 on line 0
    lcd.print("Cursor Blink");
    lcd.blink();
    delay(2000);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Cursor noBlink");
    lcd.noBlink();
    delay(2000);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 x 4 Character LCD



FEATURES

- Type: Character
- Display format: 20 x 4 characters
- Built-in controller: ST 7066 (or equivalent)
- Duty cycle: 1/16
- 5 x 8 dots includes cursor
- + 5 V power supply (also available for + 3 V)
- LED can be driven by pin 1, pin 2, pin 15, pin 16 or A and K
- N.V. optional for + 3 V power supply
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	146.0 x 62.5	mm
Viewing Area	123.5 x 43.0	
Dot Size	0.92 x 1.10	
Dot Pitch	0.98 x 1.16	
Mounting Hole	139.0 x 55.5	
Character Size	4.84 x 9.22	

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	V_{DD} to V_{SS}	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	V_I	- 0.3	-	V_{DD}	

Note

- $V_{SS} = 0$ V, $V_{DD} = 5.0$ V

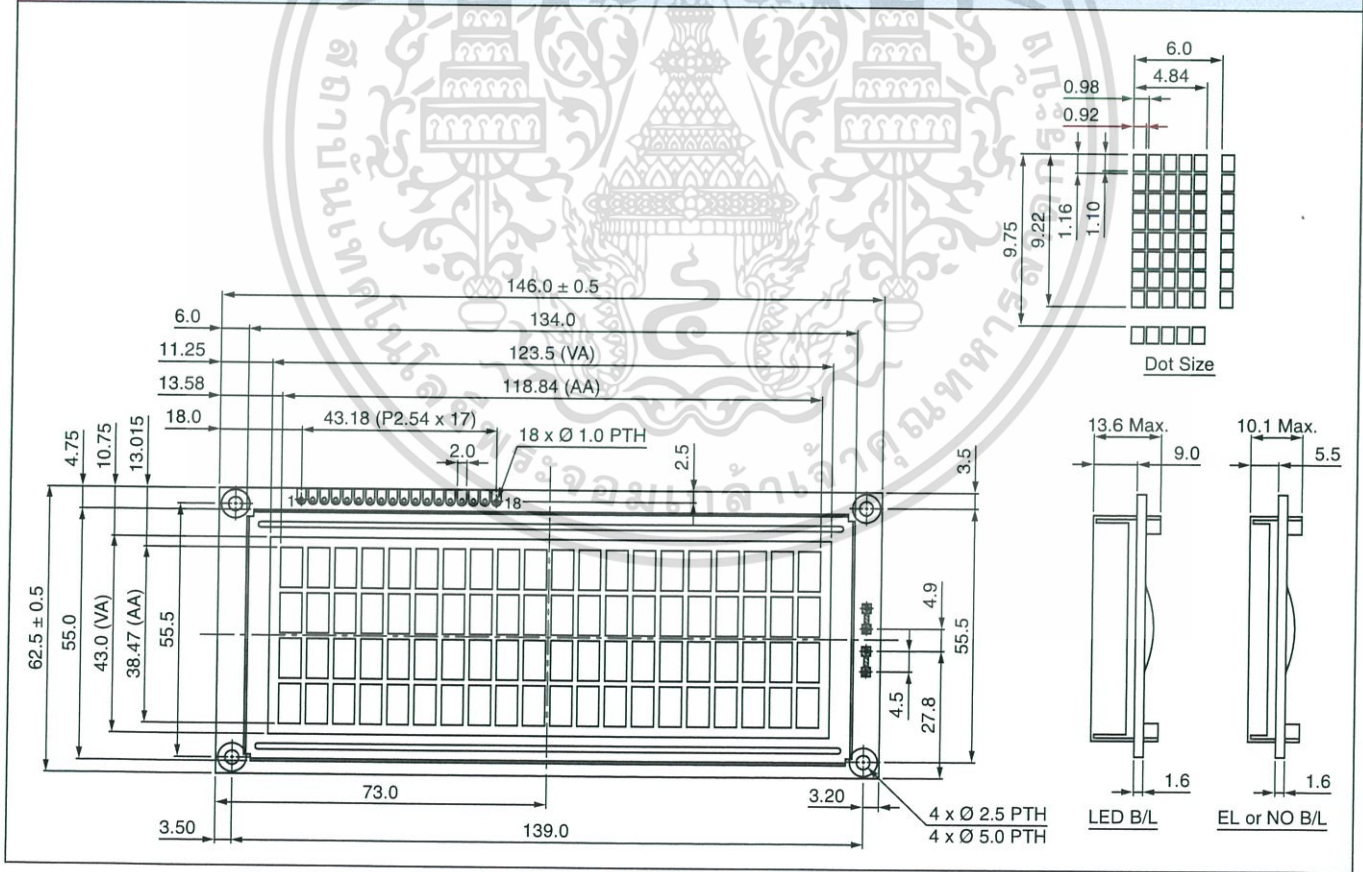
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	V_{DD}	$V_{DD} = +5$ V	4.7	5.0	5.3	V
		$V_{DD} = +3$ V	2.7	3.0	5.3	
Supply Current	I_{DD}	$V_{DD} = +5$ V	-	8.0	10.0	mA
		- 20 °C	5.0	5.1	5.7	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temperature Version Module	V_{DD} to V_0	0 °C	4.6	4.8	5.2	V
		25 °C	4.1	4.5	4.7	
		50 °C	3.9	4.2	4.5	
		70 °C	3.7	3.9	4.3	
LED Forward Voltage	V_F	25 °C	-	4.2	4.6	V
LED Forward Current	I_F	25 °C	-	540	1080	mA
EL Power Supply Current	I_{EL}	$V_{EL} = 110$ V _{AC} , 400 Hz	-	-	5.0	mA

OPTIONS									
PROCESS COLOR						BACKLIGHT			
TN	STN Gray	STN Yellow	STN Blue	FSTN B&W	STN Color	None	LED	EL	CCFL
x	x	x	x	x		x	x	x	

For detailed information, please see the "Product Numbering System" document.

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE																					
Display Position		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DD RAM Address		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
DD RAM Address		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
DD RAM Address		14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
DD RAM Address		54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

INTERFACE PIN FUNCTION		
PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V _{SS}	Ground
2	V _{DD}	+ 3 V or + 5 V
3	V ₀	Contrast adjustment
4	RS	H/L register select signal
5	R/W	H/L read/write signal
6	E	H → L enable signal
7	DB0	H/L data bus line
8	DB1	H/L data bus line
9	DB2	H/L data bus line
10	DB3	H/L data bus line
11	DB4	H/L data bus line
12	DB5	H/L data bus line
13	DB6	H/L data bus line
14	DB7	H/L data bus line
15	A	Power supply for LED (4.2 V)
16	K	Power supply for B/L (0 V)
17	NC/V _{EE}	NC or negative voltage output
18	NC	NC connection

DIMENSIONS in millimeters




Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

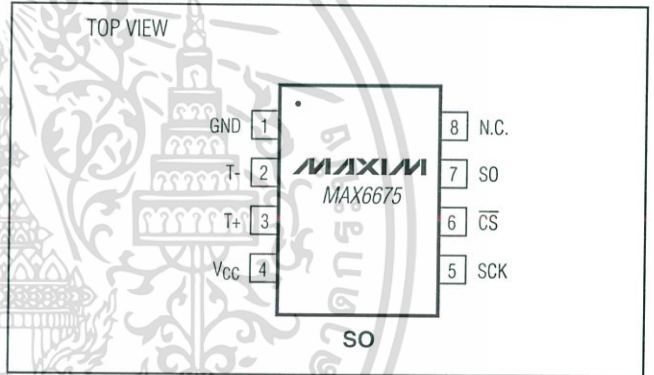
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

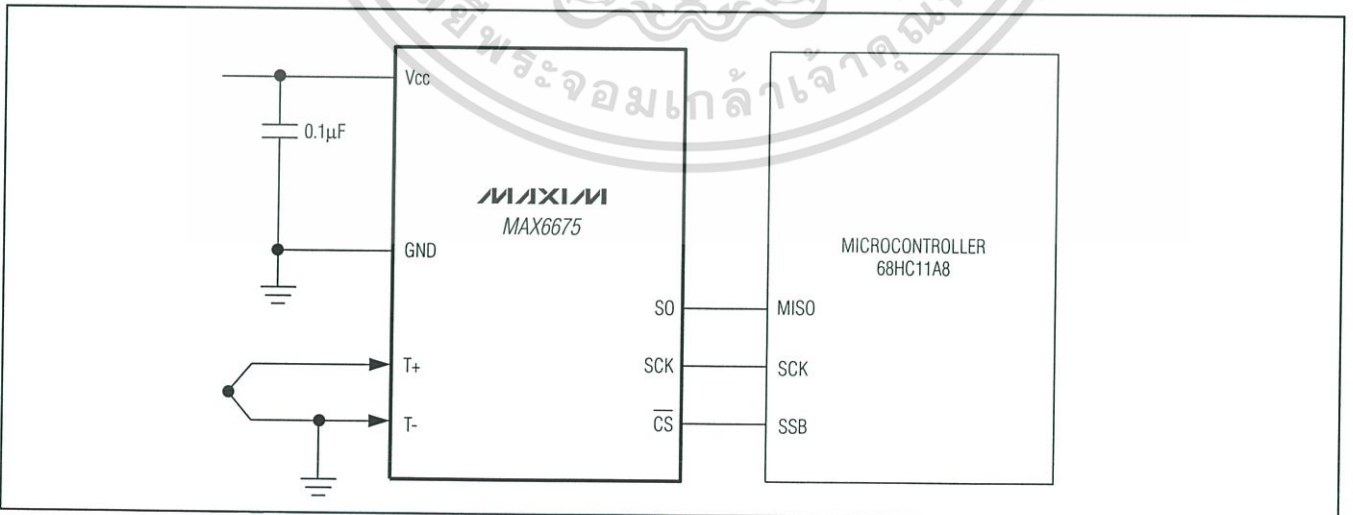
Industrial Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC} to GND)	-0.3V to +6V
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V _{CC} + 0.3V
SO Current	50mA
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Junction Temperature	+150°C
SO Package	
Vapor Phase (60s)	+215°C
Infrared (15s)	+220°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-5		+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6		+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8		+8	
			V _{CC} = +5V	-9		+9	
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17		+17	
			V _{CC} = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB	
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V _{CC} = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ	
Supply Voltage	V _{CC}		3.0		5.5	V	
Supply Current	I _{CC}			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V _{CC} rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V _{IL}				0.3 x V _{CC}	V	
Input High Voltage	V _{IH}		0.7 x V _{CC}			V	
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}			±5	μA	
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF	

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

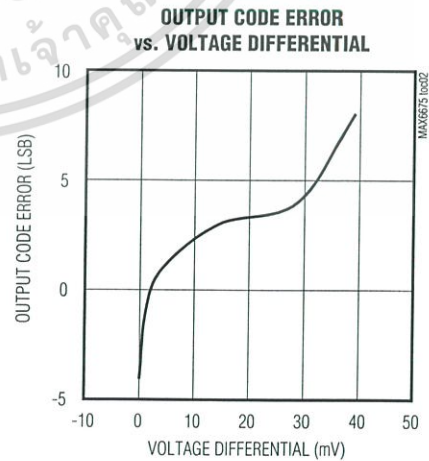
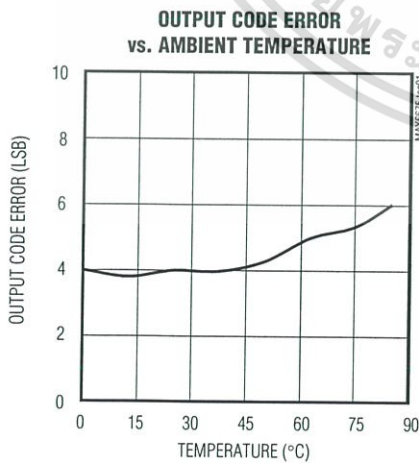
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V _{OH}	I _{SOURCE} = 1.6mA	V _{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f _{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t _{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t _{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t _{CSS}	C _L = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t _{DV}	C _L = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t _{TR}	C _L = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t _{DO}	C _L = 10pF			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at T_A = +25°C. Specification limits over temperature (T_A = T_{MIN} to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	VCC	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	$\overline{\text{CS}}$	Chip Select. Set $\overline{\text{CS}}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{\text{OUT}} = (41\mu\text{V} / ^\circ\text{C}) \times (T_{\text{R}} - T_{\text{AMB}})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (µV).

T_{R} is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force \overline{CS} low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing \overline{CS} low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing \overline{CS} high.

Force \overline{CS} low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T₋ must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1μF ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

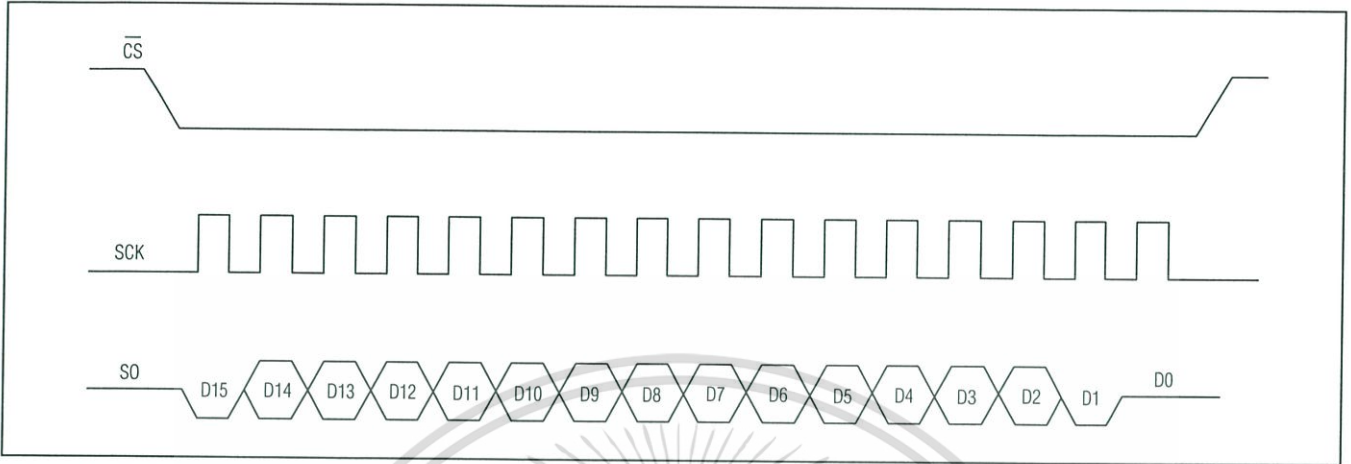


Figure 1a. Serial Interface Protocol

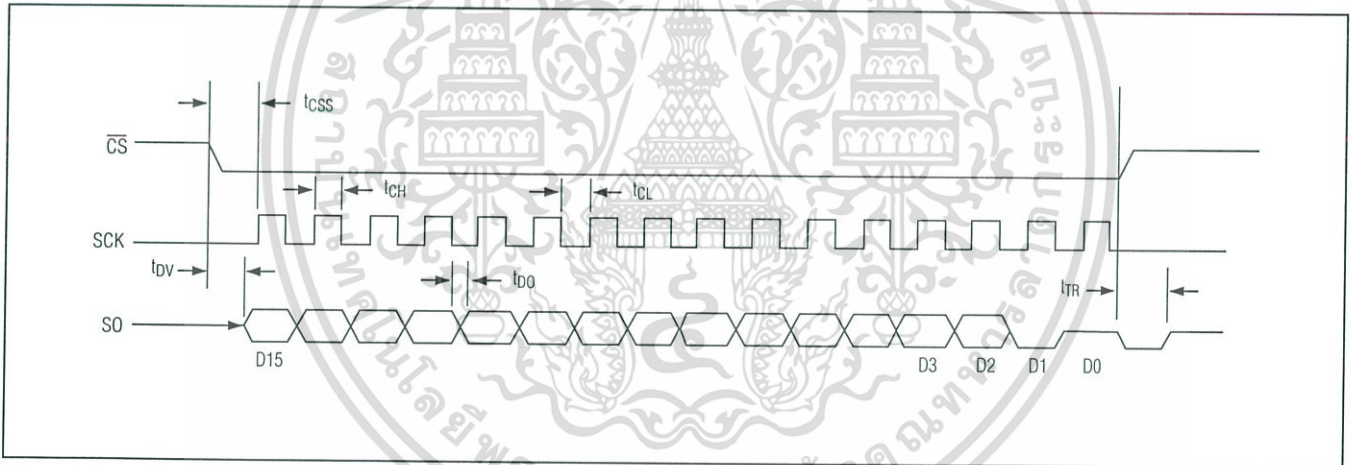


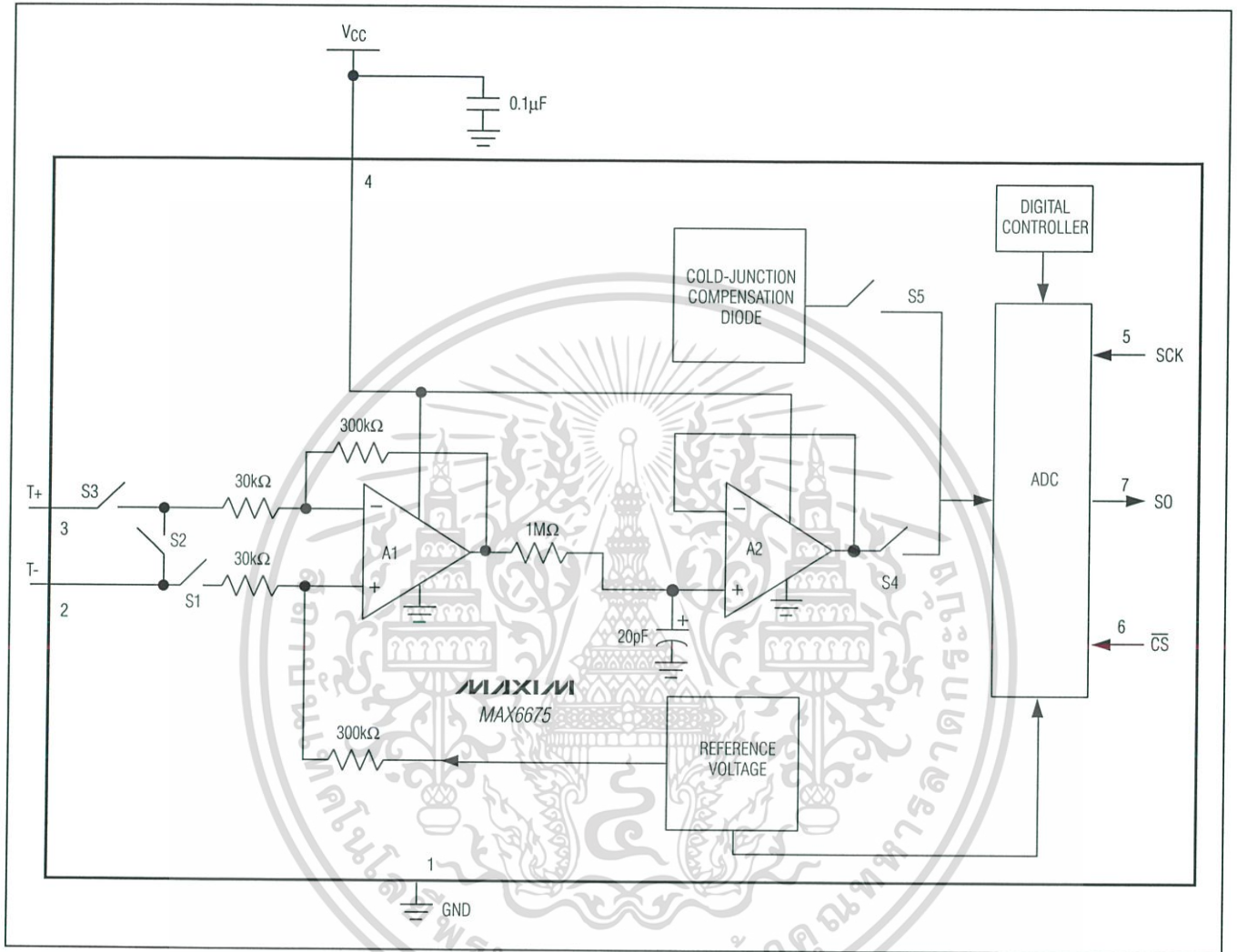
Figure 1b. Serial Interface Timing

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING											THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE	
		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4				3
Bit	15													2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

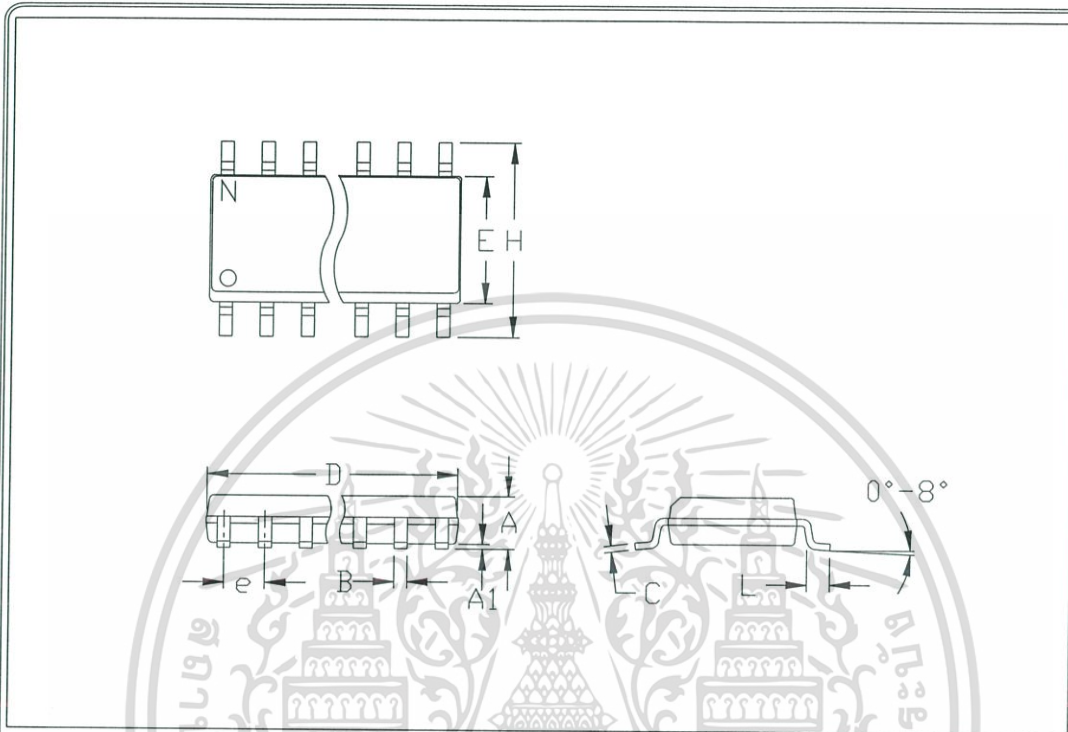
Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Block Diagram



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Package Information



	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.053	0.069	1.35	1.75
A1	0.004	0.010	0.10	0.25
B	0.014	0.019	0.35	0.49
C	0.007	0.010	0.19	0.25
e	0.050		1.27	
E	0.150	0.157	3.80	4.00
H	0.228	0.244	5.80	6.20
h	0.010	0.020	0.25	0.50
L	0.016	0.050	0.40	1.27

	INCHES		MILLIMETERS			
	MIN	MAX	MIN	MAX	N	MS012
D	0.189	0.197	4.80	5.00	8	A
D	0.337	0.344	8.55	8.75	14	B
D	0.386	0.394	9.80	10.00	16	C

NOTES:

1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH
2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED .15mm (.006")
3. LEADS TO BE COPLANAR WITHIN .102mm (.004")
4. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
5. MEETS JEDEC MS012-XX AS SHOWN IN ABOVE TABLE
6. N = NUMBER OF PINS

MAXIM
120 SAN GABRIEL DR. SUNNYVALE CA 94086 FAX (408) 737-7754
PROPRIETARY INFORMATION

PACKAGE FAMILY OUTLINE: SOIC .150"
TITLE

1/1

21-0041 A
DOCUMENT CONTROL NUMBER REV

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

8 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600

© 2002 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้