ระบบแสดงผลของอุณหภูมิแบบ 4 ช่องการวัดด้วยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

FOUR – CHANNEL TEMPERATURE MONITORING SYSTEM VIA INTERNET NETWORK

ฐิตาภรณ์ เดชโหมด

THITAPORN DETMOD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

KMITL-2018-SC-M-030-001

ระบบแสดงผลของอุณหภูมิแบบ 4 ช่องการวัดด้วยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

FOUR – CHANNEL TEMPERATURE MONITORING SYSTEM VIA INTERNET NETWORK

ฐิตาภรณ์ เดชโหมด
THITAPORN DETMOD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561
KMITL-2018-SC-M-030-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOUR – CHANNEL TEMPERATURE MONITORING SYSTEM VIA INTERNET NETWORK

THITAPORN DETMOD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018
KMITL-2018-SC-M-030-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบแสดงผลของอุณหภูมิแบบ 4 ช่องการวัดด้วยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต
FOUR-CHANNEL TEMPERATURE MONITORING SYSTEM VIA INTERNET NETWORK

ชื่อนักศึกษา นางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมด

รหัสประจำตัว 59605094

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.บดินทร์ ดำรงศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เชรษฐา รัตนพันธ์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2561 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 อาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ 26 **เดือน** ก.ย. **พ.ศ.** 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบแสดงผลของอุณหภูมิแบบ 4 ช่องการวัดด้วยเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต
ชื่อนักศึกษา นางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมด
รหัสนักศึกษา 59605094
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
พ.ศ. 2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร.ศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล โดยใช้หัววัดเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ระบบวัดอุณหภูมินี้สามารถบันทึกข้อมูลแบบเวลาจริงใน SD การ์ด แสดงผลผ่านบนหน้าจอ LCD และส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บไซต์ ThingSpeak การทดลองวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นเพื่อการสอบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานรุ่น Fluke 54-2 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และการวัดอุณหภูมิที่เก็บข้อมูลแบบเวลาจริงใน SD การ์ดกับบนเว็บ ThingSpeak ผลการทดลองพบว่าการสอบเทียบมีค่าความผิดพลาดในแต่ละแชนแนล มีค่า 0.0773, 0.0814, 0.0669 และ 0.0640 เทียบกับพิกัดมาตรฐานของ ISA (Instrument Society of America) ไม่เกิน 2.2 องศาเซลเซียส และผลการทดสอบวัดอุณหภูมิในช่วง 25 ถึง 500 องศาเซลเซียส เก็บข้อมูลแบบเวลาจริง มีค่า R^2 มากกว่า 0.95 และค่าการประวิงเวลาการเก็บข้อมูลของ SD การ์ดมีความเร็วกว่าการเก็บข้อมูลบนเว็บ ThingSpeak ประมาณ 1 วินาที ซึ่งถือได้ว่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นนี้มีความแม่นยำสูง ดังนั้นเครื่องวัดอุณหภูมินี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดอุณหภูมิสถานที่ที่เป็นอันตราย โดยการติดตั้งแล้วบันทึกผลการวัดอุณหภูมิผ่านเว็บไซต์อินเทอร์เน็ตเพื่อตรวจสอบข้อมูลผลการวัดอุณหภูมิบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

คำสำคัญ การประวิงเวลา เครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค เว็บไซต์ ThingSpeaks SD การ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Four – Channel Temperature Monitoring System Via Internet Network
Student Name	Thitaporn Detmod
Student ID	59605094
Degree	Master of Science
Department	Physics
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Sarai Lekchaum

Abstract

This research is aimed to design and construct the four-channel thermometer using K-type thermocouple. It can record and display the real time data in SD card and on LCD screen, respectively. It also sends the data to show on ThingSpeak website internet network in real time. Measuring the temperature by the home-made thermometer after calibrating with the Fluke 54-2 standard one, recording the data and displaying these data on ThingSpeak website were proceeded in research method. It found that error values of measuring the temperature in each channel compared with ISA standard (Instrument Society of America) are 0.0773, 0.0814, 0.0669 and 0.0640. Value of R^2 from measuring the temperature in range of 25°C to 500°C by the home-made and standard one is more than 0.95. The dilatory value of recording data on SD card is more than recording data on ThingSpeak website at roughly 1 second. This imply that this constructed thermometer is highly correct and accurate. Consequently, this home-made thermometer can be applied to examine the temperature yield for measuring the temperature in the harmful place by installing and recording the temperature yields on mobile phone via internet network conveniently.

Keywords: Dilatory, K-type thermometer, ThingSpeak website, SD card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจาก รองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ข้อเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆ ตลอดจนปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับผู้จัดทำระหว่างศึกษาและทำวิจัยที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำให้ผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำวิจัย มีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่นำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมภายในสถาบัน ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ซึ่งเป็นผู้ที่ช่วยผู้จัดทำแก้ปัญหาที่ผู้จัดทำไม่สามารถแก้ไขได้โดยเฉพราะอย่างยิ่งทางด้านภาษาอังกฤษ และการฝึกซ้อมนำเสนองานวิจัยในต่างประเทศ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ และพี่ๆ ในห้องวิจัยที่ให้คำปรึกษาคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจการทำวิจัยมาโดยตลอดทำให้ผู้จัดทำมีกำลังใจจนสำเร็จวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบรรดาญาติพี่น้องของผู้จัดทำซึ่งคอยสนับสนุนเงินทางด้านการศึกษาทั้งตั้งแต่วัยเด็กจนถึงปัจจุบันทั้งภายในสถาบันศึกษาและภายนอกสถาบันศึกษา นอกจากนี้ยังคอยให้กำลังใจและให้คำแนะนำระหว่างที่ผู้จัดทำได้เป็นนักศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้จัดทำมีความรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ฐิตาภรณ์ เดชโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	4
2.2 ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล (Phenomena)	5
2.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	6
2.3.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S	6
2.3.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ R	7
2.3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ B	7
2.3.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ J	7
2.3.5 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K	7
2.3.6 เทอร์โมคัปเปิลแบบ T	8
2.3.7 เทอร์โมคัปเปิลแบบ E	8
2.4 ความผิดพลาดของการวัดอุณหภูมิ	10
2.4.1 ค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลตามพิกัด ISA	10
2.5 การสอบเทียบดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหัววัดอุณหภูมิ	11
2.5.1 คำนิยามศัพท์เกี่ยวกับการสอบเทียบ	11
2.6 Measuring set-up	14
2.6.1 การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง(Liquid Bath) ในการสอบเทียบ	14
2.6.2 การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Dry Block) ในการสอบเทียบ	14
2.6.3 กระบวนการสอบเทียบ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.4 การหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของ	16
2.6.5 การหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ	17
2.7 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้าง	18
2.7.1 บอร์ด NodeMCU V.3	18
2.7.2 โมดูล MAX6675	19
2.7.3 โมดูล SD Card	20
2.7.4 ไอซีเบอร์ PCF8574	21
2.8 ซอร์ฟแวร์	22
2.8.1 การติดตั้งบอร์ด NodeMCU V.3 ลงในโปรแกรม Arduino IDE	22
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การศึกษาระบบการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	27
3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล	28
3.2.1 การออกแบบระบบการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล	28
3.2.2 การสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล	29
3.2.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบวัดอุณหภูมิ	33
3.3 ศึกษาและออกแบบระบบบันทึกข้อมูลของระบบวัดอุณหภูมิ และการส่งข้อมูลไปยังบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต	38
3.3.1 การออกแบบการเก็บข้อมูลแบบ data Logger	38
3.3.2 การออกแบบการส่งข้อมูลไปยังเว็บ ThingSpeak	39
3.4 ศึกษาและทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง	41
3.4.1 กำรทดสอบวัดอุณหภูมินำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส	41
3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ	41
3.5 ปรับเทียบระบบวัดอุณหภูมิของเครื่องที่สร้างกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)	43
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิน้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)	44
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	44
4.1.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น	47
4.2 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่น้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานหลังปรับค่าแก้ไขในโปรแกรมระบบวัดอุณหภูมิ	49
4.2.1 การวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ	52
4.3 ผลทดสอบการวัดอุณหภูมิในช่วงอุณภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส และสมการเส้นตรง Calibration Curve	52
4.4 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านระบบเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บ ThingSpeak	55
4.4.1 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อส่งข้อมูลไปยังเว็บ ThingSpeak	55
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสอนแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	62
ประวัติผู้เขียน	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	3
2.1	สมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	9
2.2	สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ Protecting Tube	9
2.3	ข้อแนะนาขนาดสายของเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิสูงสุดของการใช้งานตามมาตรฐาน ISA กำหนดไว้ดังนี้	10
2.4	ค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในพิกัดมาตรฐานของ ISA เมื่ออุณหภูมิของ Reference Junction 0°C	10
2.5	ค่าผิดพลาดของ Extension Wires ที่ Reference Junction 0oC ตามมาตรฐาน ISA	11
2.6	คุณสมบัติเฉพาะของโมดูล max6675	20
3.1	สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของโพลิโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ	28
3.2	การกำหนดตัวแปรที่ใช้ควบคุมระบบวัดอุณหภูมิ	34
3.3	ไลบรารี่ของโปรแกรมที่เรียกใช้ควบคุมระบบวัดอุณหภูมิ	34
3.4	คุณสมบัติของโมดูล SD Card	39
3.5	คุณสมบัติของโมดูลนาฬิกา (DS3231)	39
4.1	การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล	45
4.2	การวิเคราะห์ผลค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำและเปอร์เซ็นความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (ก่อนแก้ค่าไขในระบบวัดอุณหภูมิ)	48
4.3	การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ	50
4.4	การวิเคราะห์ผลค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำและเปอร์เซ็นความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (หลังแก้ค่าไขในระบบวัดอุณหภูมิ)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงจรการทดลองของซีเบ็ค	4
2.2	วงจรการทดลองของเพลเทียร์	4
2.3	อุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า	5
2.4	การขนานเทอร์โมคัปเปิลเป็นการหาอุณหภูมิเฉลี่ย	5
2.5	การหาผลต่างของอุณหภูมิที่จุด T1 และ T2	5
2.6	การต่อเทอร์โมคัปเปิลเพิ่มไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น	6
2.7	การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิลแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด	6
2.8	แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานทั้ง 7 แบบ	8
2.9	การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้แหล่งกาเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath	14
2.10	การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้แหล่งกาเนิดอุณหภูมิแบบใช้อากาศเป็นตัวกลาง	14
2.11	บอร์ด NodeMCU V.3	19
2.12	พอร์ตของบอร์ด NodeMCU	19
2.13	แสดงลักษณะของโมดูล max6675	20
2.14	โมดูล SD Card	20
2.15	ขั้นตอนที่ 1 ของการติดตั้งโปรแกรม	22
2.16	ขั้นตอนที่ 2 ของการติดตั้งโปรแกรม	22
2.17	ขั้นตอนที่ 3 ของการติดตั้งโปรแกรม	23
2.18	ขั้นตอนที่ 4 ของการติดตั้งโปรแกรม	23
2.19	ขั้นตอนที่ 5 ของการติดตั้งโปรแกรม	24
2.20	ขั้นตอนที่ 6 ของการติดตั้งโปรแกรม	25
3.1	บล็อกไดอะแกรมการทางานของระบบวัดอุณหภูมิ	29
3.2	บอร์ด NodeMCU V.3	30
3.3	โมดูล MAX6675	30
3.4	จอแสดงผล LCD ขนาด 20 x 4	31
3.5	บอร์ด I2C	31
3.6	ไอซีเบอร์ PCF8584	32
3.7	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเครื่องวัดอุณหภูมิ	32
3.8	ลายปริ้นวงจรของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ออกแบบโดยโปรแกรม Fritzing	33
3.9	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง	33
3.10	โมดูล SD Card	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 โมดูลนาฬิกา (DS3231)	39
3.12 การเข้าใช้งานของเว็บ ThingSpeak	39
3.13 การเพิ่มจำนวนแชนแนลบนเว็บ ThingSpeak	40
3.14 เลือกจำนวน field 4 ช่องสำหรับการแสดงผลของเทอร์โมคัปเปิล	40
3.15 หน้าต่างแสดงผลแบบเรียลไทล์บนเว็บ ThingSpeak	41
3.16 การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath)	42
3.17 ระยะการจุ่มหัววัดอุณหภูมิ	42
4.1 ระยะการจุ่มหัววัดอุณหภูมิ	45
4.2 การทดสอบวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	53
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ ตำแหน่ง A	53
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ ตำแหน่ง B	54
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ ตำแหน่ง C	54
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ ตำแหน่ง D	55
4.7 การเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น	56
4.8 การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อส่งข้อมูลไปยังบนเว็บ ThingSpeak	56
4.9 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง A	57
4.10 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง B	57
4.11 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง C	57
4.12 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง D	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องวัดอุณหภูมิเป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่นิยมใช้วัดอุณหภูมิกันอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติงานวิจัย สำหรับงานวิจัยทางด้านความร้อนที่มีความต้องการวัดอุณหภูมิในหลายจุด ณ เวลาเดียวกัน เช่น การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง การรวมความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ [1],[2] พบว่าการวัดอุณหภูมิให้มีผลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำมีความสำคัญมากสำหรับงานวิเคราะห์ เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่ทำการวัดในการทดลองจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและเวลาที่ทำการวัด ในขณะเดียวกันการบันทึกข้อมูลที่มีการวัดอุณหภูมิเป็นเวลานาน ข้อมูลมีปริมาณมาก และข้อมูลที่ต้องการเก็บรวบรวมอยู่ไกลจากผู้ใช้งาน ไม่สามารถใช้คนบันทึกค่าได้ เนื่องจากค่าที่ได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนทางสายตาและเวลา สำหรับในอุตสาหกรรมต้องมีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเก็บผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการบันทึกข้อมูลที่มีปริมาณมาก และแสดงผลการวัดอุณหภูมิแบบเวลาจริง (real time) พร้อมกันหลายๆจุด มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรม โดยทั่วไปเครื่องวัดอุณหภูมิจะมีการแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD แบบเวลาจริง (real time) บางเครื่องก็มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลเข้าไปในหน่วยความจำของเครื่องหรือในการ์ดหน่วยความจำภายนอก และเก็บบันทึกข้อมูลแบบ data logger นั้นจะมีราคาที่สูงกว่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีการแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามอุปกรณ์การจัดเก็บข้อมูลที่กล่าวมาก็ยังยากต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลอยู่ไกลจากผู้ใช้งาน ดังนั้นการใช้ไมโครคอลโทรลเลอร์สร้างระบบวัดอุณหภูมิให้บันทึกข้อมูลอัตโนมัติร่วมกับเทคโนโลยี IoT (Internet of Thinks) นับได้ว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการบันทึกข้อมูลและแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาในรูปแบบเวลาจริง (real time)

ปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดK โดยใช้วงจรขยายสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลเช่น ไอซี Max6675 Max31855 Op-Amps ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno PIC Raspberry PI [3], [4], [5] เป็นต้น เทอร์โมคัปเปิลชนิด K เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่อาศัยความแตกต่างอุณหภูมิของปลายโลหะ 2 ชนิด มีช่วงวัดอุณหภูมิที่กว้างในย่าน -40 องศาเซลเซียส ถึง 1200 องศาเซลเซียส สัญญาณเอาต์พุตจะอยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่นๆ

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno เป็นบอร์ด open source โปรแกรมที่เขียนคำสั่งลงบอร์ดสามารถใช้ได้ทั้งระบบ windows Mac OSX และ Linux ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถนำมาพัฒนาต่อได้ง่าย เนื่องจากมีวงจรและไลบรารี่ตัวอย่างอย่างเปิดเผย ซึ่งง่ายต่อการนำมาสร้างหรือประยุกต์ใช้งาน การบันทึกข้อมูลแบบเวลาจริง และเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Text Documents (*.txt) นั้นมีข้อดีคือสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างไม่จำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของความจำในการบันทึกข้อมูล

ด้วยเหตุผลดังกล่าวในข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K จำนวน 4 แชนเนลการวัด ให้มีระบบแสดงผลแบบเวลาจริง การเก็บรวบรวมข้อมูลและส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของผลการวัดอุณหภูมิโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต และมีการปรับเทียบผลการวัดอุณหภูมิเทียบกับเครื่องมาตรฐาน (Fluke 54-2) ที่อุณหภูมิในย่านประมาณ 25 ถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเครื่องมือนี้น่าจะมีประโยชน์สำหรับการวัดอุณหภูมิและเก็บรวบรวมผลการวัดอุณหภูมิอยู่ไกลจากผู้ใช้งานและมีการวัดเป็นเวลานานหรือสามารถประยุกต์ใช้กับระบบโทรศัพท์มือถือ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดK จำนวน 4 แชนเนล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อทดสอบการวัดอุณหภูมิและสอบเทียบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น
3. ออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลและส่งข้อมูลของข้อมูลการวัดอุณหภูมิผ่านระบบบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ตในรูปแบบเวลาจริง
4. เพื่อเปรียบเทียบค่าการประวิงเวลาของการเก็บรวบรวมข้อมูลกับการรับข้อมูลผ่านระบบบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ตในรูปแบบเวลาจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีของเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K
2. ศึกษาคุณสมบัติไอซีและวัสดุต่างๆที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ
3. ออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดK จำนวน 4 แชลเนล
4. ออกแบบรูปแบบการเก็บข้อมูลและการส่งข้อมูลไปยังบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต
5. ทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นเพื่อสอบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน
6. ศึกษาวิธีการหาค่าแก้ไขของระบบเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น
7. การทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล ทดสอบเวลาของการบันทึกข้อมูลลงใน SD Card กับเวลาการส่งข้อมูลการวัดไปยังบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
9. รวบรวมและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยใช้หัววัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลวิธีการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดK จำนวน 4 แชนเนล

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ออกแบบและสร้างเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลการวัดอุณภูมิของเครื่องที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน เพื่อหาค่าแก้ไข (correction value) และปรับแก้ในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบวัดอุณภูมิของเครื่องที่สร้างหลังแก้ค่าแก้ไข (correction value) ในโปรแกรมเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์ผลการวัดอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดอุณหภูมิก่อนและหลังแก้ค่าแก้ไข (correction value) ในโปรแกรมเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 8 ทดสอบเวลาของการบันทึกข้อมูลลงใน SD Card กับเวลาการส่งข้อมูลการวัดไปยังบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต

ขั้นตอนที่ 9 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 10 รวบรวมและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

ระยะเวลาในการจัดทำรวมทั้งสิ้น 13 เดือน โดยเริ่มตั่งแต่เดือนสิงหาคม พ .ศ.2560 ถึงเดือนกันยายน พ ศ.2561 ซึ่งมีการดำเนินการดังนี้ จากแนวทางขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงานข้างต้น สามารถแสดงระยะเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ปีการศึกษา	2560					2561									
แผนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
ขั้นตอนที่ 1															
ขั้นตอนที่ 2															
ขั้นตอนที่ 3															
ขั้นตอนที่ 4															
ขั้นตอนที่ 5															
ขั้นตอนที่ 6															
ขั้นตอนที่ 7															
ขั้นตอนที่ 8															
ขั้นตอนที่ 9															
ขั้นตอนที่ 10															

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

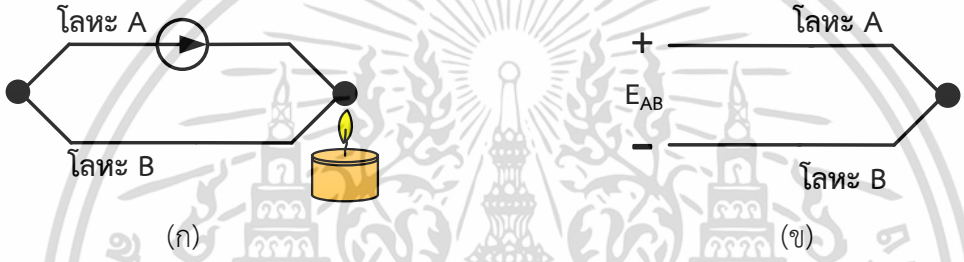
1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือ
2. สามารถสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการวัดอย่างถูกต้องแม่นยำ
3. เข้าใจเกี่ยวกับหลักการวัดอุณหภูมิและการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ
4. ได้พัฒนาการใช้โปรแกรมในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

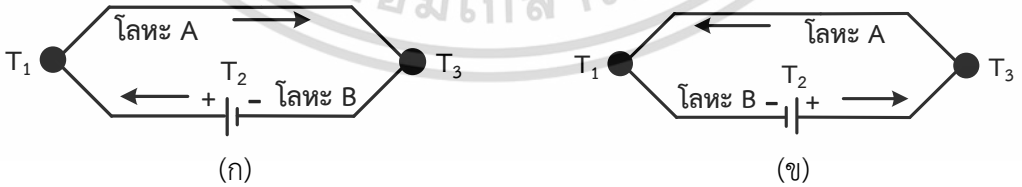
2.1 บทนำ

ในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน โธมัส ซีเบ็ค (Thomas Seebeck) ได้ค้นพบว่าเมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ดังแสดงรูปที่ 2.1 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลเตจ”



รูปที่ 2.1 วงจรการทดลองของซีเบ็ค (ก) เมื่อวงจรปิดจะเกิดกระแสไหลวน เปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง (ข) เมื่อวงจรเปิดจะเกิดโวลเตจเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 นักวิทยาศาสตร์ ฌอง ซี. เอ.เพลเทียร์ (Jean C.A. Peltier) พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับที่ซีเบ็คสร้างขึ้น จะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองของจุดต่อแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและปลายอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง วงจรการทดลองของเพลเทียร์แสดงดังรูปที่ 2.2 ลวดทั้งสองทำจากบิสมัสและแอนติโมนี



รูปที่ 2.2 วงจรการทดลองของเพลเทียร์ (ก) $T_1 > T_3$ (ข) $T_1 < T_3$

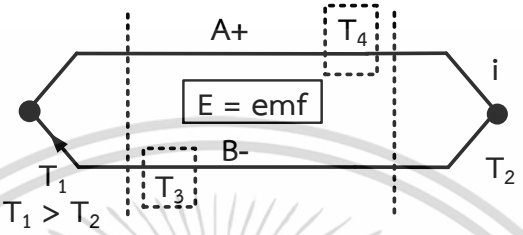
เมื่อมีกระแสจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจรจะทำให้ปลายข้างขวามีอุณหภูมิสูงขึ้นและปลายข้างซ้ายมีอุณหภูมิเย็นลง ในทางกลับกันเมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสก็จะทำให้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองกลับกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการค้นพบของซีเบคและเพลเทียร์ การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทอร์โมคัปเปิลได้ดำเนินต่อมาจนเป็นเครื่องวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมดังเช่นในปัจจุบัน

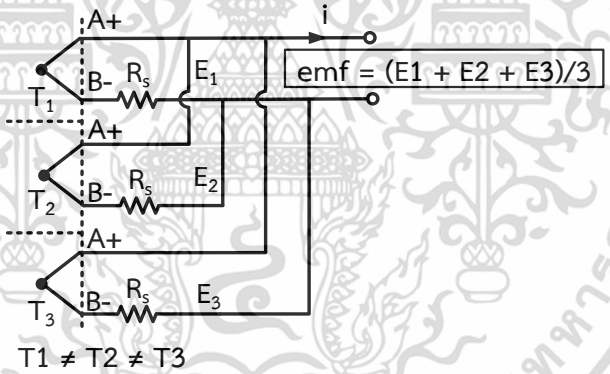
2.2 ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล (Phenomena)

1. ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกัน อุณหภูมิที่มีผลคือ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองเท่านั้น อุณหภูมิบนจุดต่างๆ ตามสายจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



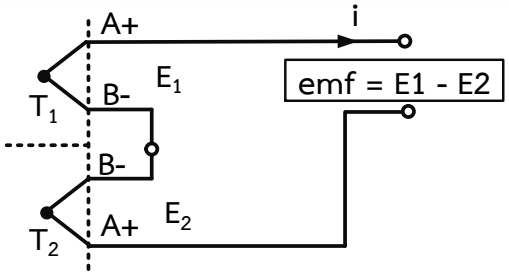
รูปที่ 2.3 อุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

2. การต่อขนานเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกัน ผลที่ได้คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ย



รูปที่ 2.4 รูปแสดงการขนานเทอร์โมคัปเปิลเป็นการหาอุณหภูมิเฉลี่ย

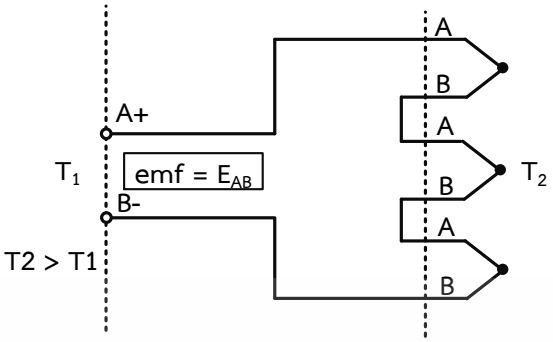
3. การต่อเทอร์โมคัปเปิลสองชุดกลับขั้วกันเป็นการวัดผลต่างอุณหภูมิ



รูปที่ 2.5 การหาผลต่างของอุณหภูมิที่จุด T_1 และ T_2

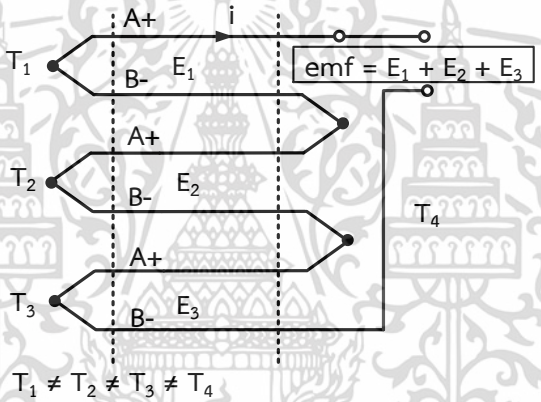
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่ T_1 หรือ T_2 ตามรูปจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.6 การต่อเทอร์โมคัปเปิลเพิ่มไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

5. การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด



รูปที่ 2.7 การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด

2.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

นับตั้งแต่ซีเบ็คได้ค้นพบหลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลในปี ค.ศ. 1821 เป็นต้นมา รายละเอียดในหลักการได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมาโดยตลอด และได้เกิดเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานขึ้นหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ

2.3.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S (Type S Platinum 10% Rhodium V.S. Platinum)

ในปี ค.ศ. 1886 Le Chatelier ได้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิล โดยสายลบทำจากแพลทินัม และสายบวกทำจากโลหะผสม 90% ของแพลทินัม +10% ของโรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1400°C ซึ่งต่อมาเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ได้กลายเป็นแบบ S , มาตรฐานสากลตาม IPTS 68 ระบุว่าสามารถใช้ในการสอบเทียบค่า และเปรียบเทียบเป็นค่ามาตรฐาน (Calibration and Comparison) ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74°C) จนถึงจุดแข็งของทอง (1064.43°C) เทอร์โมคัปเปิลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S นี้สามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing และ Inert ได้ดีโดยสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1400°C หรือกับการใช้งานในระยะเวลาสั้นๆ สามารถทนได้ถึง 1482°C แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะงานที่เป็นแบบ Reducing, Vacuum หรือสภาพงานที่มีไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสี และไอของโลหะ เช่น อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส ซึ่งจะทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง ถ้าจำเป็นต้องใช้จะต้องป้องกันด้วย Protecting Tube ที่เป็นแบบอโลหะ เช่น อะลูมินาบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิสูงๆ เม็ดเกรนของแพลทินัมจะพองตัวและแพลทินัมก็จะเกิดสกปรก (Contamination) ได้ง่าย ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าต่ำลง จากการวิเคราะห์ส่วนผสม (Composition) ภายหลังการใช้งาน 20 ปี ส่วนผสมของโรเดียมจะเปลี่ยนสภาพเป็นพาลาเดียม ทำให้คุณสมบัติผิดไป การเปลี่ยนสภาพเช่นนี้จะเกิดกับเทอร์โมคัปเปิลทุกแบบที่มีส่วนผสมของโรเดียม

2.3.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ R (Type R Platinum 13% Rhodium V.S. Platinum)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ R สายลบทำจากแพลทินัม สายบวกทำจากแพลทินัม 87% + โรเดียม 13% ผลที่ได้จะทำให้แบบ R ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S เทอร์โมคัปเปิลแบบ R มีคุณสมบัติเหมือนกับแบบ S ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1400°C

2.3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ B (Type B Platinum 30% Rhodium/Platinum 6% Rhodium)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ B ผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1954 ในประเทศเยอรมัน สายบวกทำจากแพลทินัม 70% + โรเดียม 30% สายลบทำจากแพลทินัม 94% + โรเดียม 6% เทอร์โมคัปเปิลแบบ B จะให้แรงเคลื่อนต่ำกว่าแบบ S และแบบ R แต่คุณสมบัติที่เด่นกว่าคือ แข็งแรงและทนทานกว่า สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1704°C (3100°F) ในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะ Reducing หรือ Vacuum และในงานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ แบบ S

2.3.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ J (Type J Iron V.S. Constantan)

เนื่องจากแพลทินัมเป็นธาตุที่มีราคาแพง เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกลงได้มีการค้นคว้าหาวัสดุที่มีราคาถูกกว่าเพื่อใช้แทนแพลทินัม วัสดุที่เริ่มทดลองใช้ เช่น เหล็ก นิกเกิล นิกเกิล-บริสุทธิ์เปราะมากในสภาพงานที่เป็น Oxidizing จากการทดลองต่อมาพบว่า โลหะผสมระหว่าง 60% ของทองแดง +40% ของนิกเกิล ที่ต่อมาเรียกว่า Constantan สามารถแก้ปัญหานี้ได้ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สายบวกทำด้วยเหล็ก และสายลบทำด้วย Constantan จึงถือกำเนิดขึ้น และต่อมากลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ J คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบ J เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น Vacuum, Oxidizing, Reducing หรือ Inert ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760°C ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538°C (1000°F) สายที่เป็นเหล็กจะเกิดเป็นสนิมด้วยอัตราสูงกว่าปกติมาก สำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า 538°C จะต้องใช้สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดใหญ่จะช่วยให้อายุการใช้งานยืนยาวขึ้น จากการทดลองใช้งานภายใน 20 ปี พบว่าส่วนผสมของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนไป 0.5% (แมงกานีสเพิ่มขึ้นในเนื้อเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Type K Chromel V.S. Alumel)

เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90% + โครเมียม 10% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีส และซิลิคอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สามารถใช้กับงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260°C (2300°F) และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250°C (-420°F) ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน แบบ K ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกัน

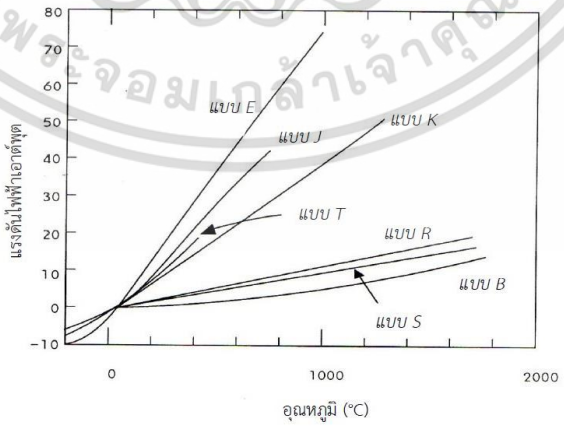
2.3.6 เทอร์โมคัปเปิลแบบ T (Type T Copper VS. Constantan)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ T เป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบที่เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ สายบวกของเทอร์โมคัปเปิลแบบ T ทำจากทองแดง และสายลบทำจาก Constantan ในสภาพการใช้งานปกติสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -184°C แต่อุณหภูมิทางบวกวัดได้ต่ำกว่าแบบอื่นๆ คือประมาณ 370°C เท่านั้น เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่า 370°C อัตราการเกิด Oxide ของโลหะเทอร์โมคัปเปิลจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบที่ทนการกัดกร่อนในบรรยากาศที่มีความชื้นได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Vacuum, Oxidizing, Reducing หรือ Inert ได้ดี การใช้งานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีโดยตรงจะทำให้ส่วนผสมของเทอร์โมคัปเปิลเปลี่ยนไปได้จึงไม่เหมาะกับงานลักษณะนี้

2.3.7 เทอร์โมคัปเปิลแบบ E (Type E Chromel VS. Constantan)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ E สายบวกทำจากส่วนผสมระหว่าง 10% ของโคเมียม +90% ของนิกเกิลและสายลบทำจาก Constantan อุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง -250°C ถึง 871°C เหมาะกับสภาพงานที่เป็น Oxidizing คุณสมบัติด้านอื่นๆ คล้ายกับเทอร์โมคัปเปิลแบบ K แต่ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูงกว่า

ข้อมูลสรุปแสดงการเปรียบเทียบส่วนผสม, ย่านอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 2.8 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานทั้ง 7 แบบ
ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6810/standard-thermocouple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้
		°C	°F	mV
B	แพลทินัม – 30% โรเดียม แพลทินัม – 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม – 13% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	02.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม – 10% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อะลูเมล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	-450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	-450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358
-แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ				

ตารางที่ 2.2 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ Protecting Tube

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
TC แบบ	บรรยากาศ			Vacuum	บรรยากาศ Sulfurous	อุณหภูมิ < 0°C	มีไอของโลหะ
	Oxidizing	Reducing	Inert				
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้ในช่วงสั้นๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า >500°C	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
* ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E, J และ T เมื่ออุณหภูมิ > 550°C + โดยเฉพาะกับอุณหภูมิ < 0°C							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความผิดพลาดของการวัดอุณหภูมิ

2.4.1 ค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลตามพิกัด ISA (Instrument Society of America) [6]

เพื่อให้ผลการวัดอุณหภูมิถูกต้องควรเลือกชนิด ขนาด และย่านการใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพของงาน ต่อไปนี้เป็นข้อแนะนำขนาดสาย และพิกัดค่าพิพลาดของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ ตามมาตรฐาน ISA แสดงดังตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 ข้อแนะนำขนาดสายของเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิสูงสุดของการใช้งานตามมาตรฐาน ISA กำหนดไว้ดังนี้

ขนาดสายของเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิสูงสุดของการใช้งาน					
ประเภทเทอร์โมคัปเปิล	AWG# 8 gauge	14 gauge	20 gauge	24 gauge	28 gauge
T	-	370 °C	260 °C	200 °C	200 °C
J	760 °C	590 °C	480 °C	370 °C	370 °C
E	870 °C	650 °C	540 °C	430 °C	430 °C
K	1260 °C	1090 °C	980 °C	870 °C	870 °C
R & S	-	-	-	1480 °C	-
B	-	-	-	1700 °C	-

ตารางที่ 2.4 ค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในพิกัดมาตรฐานของ ISA เมื่ออุณหภูมิของ Reference Junction 0°C

เทอร์โมคัปเปิลแบบ	ย่านอุณหภูมิ	พิกัดของค่าผิดพลาด	
		แบบมาตรฐาน (ใช้ค่าที่สูงกว่า)	แบบพิเศษ (ใช้ค่าที่สูงกว่า)
T	0 ถึง 350°C	±1 °C หรือ ±0.75%	±0.5 °C หรือ ±0.4%
J	0 ถึง 750 °C	±2.2 °C หรือ ±0.75%	±1.1 °C หรือ ±0.4%
E	0 ถึง 900 °C	±1.7 °C หรือ ±0.5%	±1 °C หรือ ±0.4%
K	0 ถึง 1250 °C	±2.2% หรือ ±0.75%	±1.1 °C หรือ ±0.4%
R หรือ S	0 ถึง 1450 °C	±1.5% หรือ ±0.25%	±0.6 °C หรือ ±0.1%
B	800 ถึง 1700 °C	±0.5%	-
T	-200 °C ถึง 0 °C	±1 °C หรือ ±1.5%	-
E	-200 °C ถึง 0 °C	±1.7 °C หรือ ±1%	-
K	-200 °C ถึง 0 °C	±2.2 °C หรือ ±2%	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่าผิดพลาดของ Extension Wires ที่ Reference Junction 0°C ตามมาตรฐาน ISA

Extension Wires แบบ	ย่านอุณหภูมิ	พิกัดค่าผิดพลาด	
		แบบมาตรฐาน	แบบพิเศษ
K	0 ถึง 200°C	±2.2 °C	-
J	0 ถึง 200°C	±2.2 °C	±1.1 °C
E	0 ถึง 200°C	±1.7 °C	-

ความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลอาจเกิดได้หลายแห่ง เช่น Extension Wires จุดต่อต่างๆในการต่อคู่สาย Extension Wires จะต้องระมัดระวังมิให้ผิดพลาดโดยการสลับสายทั้งที่ตัวเทอร์โมคัปเปิลและอุปกรณ์อ่านค่ามิลลิโวลต์ หรือตัวทรานสมิตเตอร์ สาย Shield รอบ Extension Wires ก็จะต้องได้รับการต่อลง Ground อย่างถูกวิธี เพราะค่าแรงเคลื่อนที่เกิดจากเทอร์โมคัปเปิลมีค่าน้อยอยู่ในย่านมิลลิโวลต์เท่านั้น และถ้าลากสาย Extension Wires ยาวขึ้น โอกาสที่จะได้รับการเหนี่ยวนำจากไฟฟ้าอื่นๆ ที่มีกระแสสลับไหลอยู่ก็มีมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดขึ้นได้ ตามจุดต่อต่างๆต้องให้มีน้อยจุดและเป็นวัสดุที่เลือกตามข้อแนะนำของทางบริษัทผู้ผลิต ถ้าจุด

2.5 การสอบเทียบดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหัววัดอุณหภูมิ [7]

การการสอบเทียบดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหัววัดอุณหภูมิ (Digital Thermometer with Temperature Sensor) ด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่ากับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (Comparison method) โดยแบ่งตามชนิดของหัววัดที่ต่อร่วม ได้แก่เทียบการสอบเทียบดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน (Digital Thermometer with RTD Sensor) และการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหัววัดชนิดเทอร์โมคัปเปิล (Digital Thermometer with Thermocouple Sensor) ซึ่งวิธีการสอบเทียบทั้งสองแบบมีกระบวนการสอบเทียบเหมือนกัน อาจต่างกันที่องค์ประกอบที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด สาเหตุดังกล่าวเกิดจากหัววัดอุณหภูมิต่อร่วมอยู่กับ “หน่วยแสดงผล” หรืออาจเรียกว่า “ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์” มีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน กล่าวคือถ้าใช้หัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด (Error) ของเครื่องมือเกิดจากปัจจัยสองส่วน คือ หน่วยแสดงผลกับหัววัดอุณหภูมิ แต่ถ้าใช้หัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด (Error) ของเครื่องมือเกิดจากปัจจัยสามส่วน คือ หน่วยแสดงผล หัววัดอุณหภูมิและอุณหภูมิแวดล้อมรอบหน่วยแสดงผล ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นอาจนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด

2.5.1 คำนิยามศัพท์เกี่ยวกับการสอบเทียบ

1. **สเกลอุณหภูมิระหว่างประเทศ ITS-90 (International Temperature Scale 1990,ITS-90)**

เป็นสเกลอุณหภูมิมาตรฐานซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการที่ปรึกษาว่าด้วยการวัดอุณหภูมิ (Consultative Committee for Thermometry) ในปี ค.ศ.1990 โดยเป็นการประมาณค่าสเกลอุณหภูมิอุณหพลวัติ (Thermodynamic temperature) เพื่อความสะดวกและส่งผลให้การวัดอุณหภูมิในระดับนานาชาติมีค่าเป็นหนึ่งเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (Standard Thermometer, STD):**

เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน หมายถึง เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานที่ใช้แสดงค่าอุณหภูมิ ซึ่งเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานจะต้องผ่านการสอบเทียบและรู้ค่าแก้ของอุณหภูมิที่อ่านได้ รวมทั้งความไม่แน่นอนของเทอร์โมมิเตอร์ เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน อาจประกอบด้วยหน่วยแสดงผล (Display Measuring Instrument) ต่อร่วมกับหัววัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ที่สามารถถอดแยกออกจากกันได้ หรือไม่สามารถแยกออกจากกันได้

3. **เทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (Thermometer Under Calibration, TUC):**

เทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ หมายถึง ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมอยู่กับหัววัดอุณหภูมิ (Digital Thermometer with Temperature Sensor)

4. **แหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (Temperature Source)**

เป็นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิซึ่งใช้ในกระบวนการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์สามารถแยกตามชนิดของตัวกลางที่ใช้ดังนี้

1. แหล่งกำเนินอุณหภูมิที่ใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath)
2. แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบแห้งหรือใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Dry Block)
3. แหล่งกำเนิดอุณหภูมิใดๆ เช่น Fluidise Bath)

5. **การสอบเทียบ (Calibration):**

การปฏิบัติงานที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่ถูกระบุไว้ โดยในขั้นแรกสร้างความสัมพันธ์อันหนึ่งระหว่างค่าปริมาณต่างๆกับความไม่แน่นอนการวัดต่างๆที่ได้จากมาตรฐานการวัดและสิ่งบ่งชี้ต่างๆที่สมนัยซึ่งมาพร้อมกับความไม่แน่นอนการวัดที่เชื่อมสัมพันธ์อันหนึ่งเพื่อให้ได้ผลการวัดอันหนึ่งจากสิ่งที่บ่งชี้สิ่งหนึ่ง

6. **ความถูกต้องของการวัด (Accuracy of measurement):**

ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างค่าปริมาณที่วัดได้กับปริมาณจริงของสิ่งที่ถูกวัด

7. **ความเป็นหนึ่งเดียวกันของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (Uniformity of Temperature Source):**

คุณสมบัติหนึ่งของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ เพื่อบ่งชี้การกระจายของอุณหภูมิที่พื้นที่ใช้งานของแหล่งกำเนิดที่อุณหภูมิใดๆ ซึ่งกรกระจายของอุณหภูมินี้อาจส่งผลต่อการผลการวัดระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ที่ทำการสอบเทียบ

8. **ความไม่เสถียรของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (Instability of Temperature Source):**

เสถียรภาพ (stability) ของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ คือการคงที่ของอุณหภูมิ ณ อุณหภูมิใดๆ ในช่วงเวลาหนึ่งๆ หากอุณหภูมินี้มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ หรือแหล่งกำเนิดอุณหภูมิมีความไม่เสถียร (instability) เกิดขึ้น ก็ย่อมที่จะส่งผลต่อค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ของทั้งเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ

9. **ความละเอียดของเทอร์โมมิเตอร์ (Resolution of Thermometer):**

การเปลี่ยนแปลงที่เล็กที่สุดในปริมาณที่กำลังถูกวัดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอันหนึ่งที่สังเกตเห็นได้ในค่าบ่งชี้ที่สมนัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. **ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement):**

พารามิเตอร์ที่ไม่มีค่าเป็นลบที่ใช้บ่งบอกลักษณะเฉพาะของการกระจายของค่าปริมาณของสิ่งที่ถูกวัด โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ใช้ และอาจกล่าวได้ว่าความไม่แน่นอนในการวัดเป็นตัวชี้วัดเชิงปริมาณของคุณภาพของการวัด ทำให้ผลการวัดนั้น สามารถเปรียบเทียบกับสิ่งอ้างอิง หรือมาตรฐานอื่นๆได้ โดยปกติแล้วการประมาณความไม่แน่นอนโดยจะใช้แนวทาง GUM ซึ่งได้รับการยอมรับโดยทั่วไป [4]

11. **การทวนซ้ำได้ของผลการวัด (Repeatability of results of measurement):**

ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างการวัดที่ติดต่อกันของสิ่งที่ถูกวัดอันเดิมภายใต้เงื่อนไขคงเดิมของการวัด

12. **การเลื่อน (Drift)**

การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของค่าที่บ่งชี้ตลอดช่วงเวลาที่ใช้งานอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงมาตรวิทยาของเครื่องมือวัด

13. **ค่าแก้ (Correction value):**

ค่าที่บวกเพิ่มเข้าไปทางพิชคณิตกับผลการวัดที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขเพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

14. **ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic Error):**

องค์ประกอบของความคลาดเคลื่อนในการวัดโดยที่ในการวัดซ้ำหลายๆ ครั้งยังคงมีความคงตัวหรือการแปรผันในลักษณะที่ทำนายได้

15. **ตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor):**

ตัวเลขที่มากกว่าหนึ่งที่นำมาคูณกับความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวมเพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนการวัดขยาย

16. **ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐาน (Standard Uncertainty):**

ความไม่แน่นอนการวัดซึ่งแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

17. **ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวม (Combined Standard Uncertainty):**

ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานซึ่งได้จากการใช้ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานแต่ละตัวที่เชื่อมสัมพันธ์กับปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัด

18. **ปริมาณเข้า (Input Quantity):**

ปริมาณซึ่งต้องถูกวัด หรือปริมาณที่มีค่าที่หาได้ทางใดทางหนึ่งเพื่อคำนวณค่าปริมาณที่วัดได้ของสิ่งที่ถูกวัด

19. **ความไม่แน่นอนการวัดขยาย (Expanded Measurement Uncertainty):**

ผลคูณของความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวมและตัวประกอบครอบคลุมที่มีค่ามากกว่าหนึ่ง ซึ่งในการรายงานผลการสอบเทียบจะใช้ในการรายงานถึงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบนั้นๆ

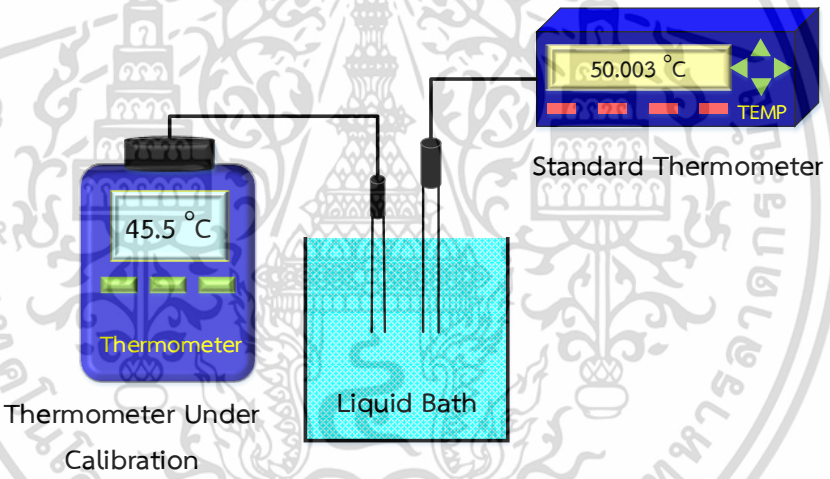
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Measuring set-up

การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิควรติดตั้งที่ระยะความลึกไม่น้อยกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์นั้นจะมีลักษณะการติดตั้งที่คล้ายกันแตกต่างกันที่แหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่นำมาใช้ ปกติจะสามารถแยกได้ 2 ชนิด คือ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath) และแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบให้อากาศเป็นตัวกลาง (Dry Block) โดยมีรายละเอียดในการติดตั้งดังนี้

2.6.1 การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath) ในการสอบเทียบ [8], [9]

การใช้แหล่งกำเนิดแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลางสามารถใช้งานได้หลายช่วงอุณหภูมิขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ตัวกลาง เช่น ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0 °C จะใช้ตัวกลางเป็นแอลกอฮอล์ ช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 0 °C แต่ไม่เกิน 100 °C จะใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลางและช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 100 °C จะใช้ซีลลิโคนออย (Silicone oil) เป็นตัวกลาง (ซิลลิโคนบางชนิดสามารถใช้เป็นตัวกลางได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ -80 °C ถึง 250 °C) การใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมินั้นๆ (พื้นที่ในการจุ่มหัววัดควรอยู่ในพื้นที่การประเมินคุณสมบัติเฉพาะของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



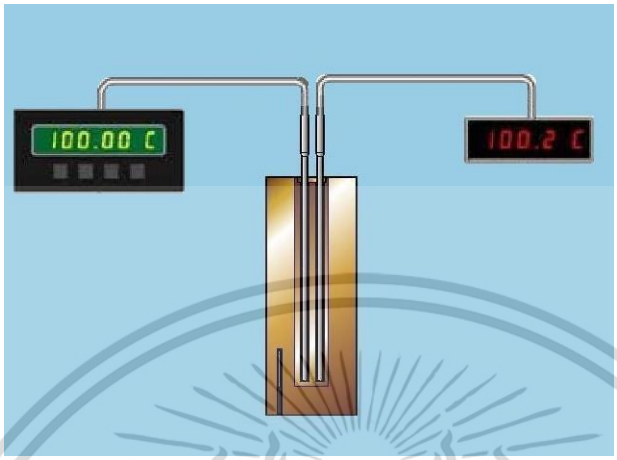
รูปที่ 2.9 การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath)

2.6.2 การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Dry Block) ในการสอบเทียบ

การใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้อากาศเป็ตัวกลาง สามารถสร้างอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -80 °C ถึง 960 °C (ขึ้นอยู่กับความสามารถของแหล่งกำเนิดอุณหภูมินั้นๆ) การใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิชนิดหัววัดลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ เนื่องจากขนาดของช่องใส่ (Bore) หัววัดอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิชนิดนี้จะถูกกำหนดจากผู้ผลิตไว้เรียบร้อยแล้ว เช่น ขนาด 4 มิลลิเมตร ขนาด 6 มิลลิเมตร หรือ 10 มิลลิเมตร เป็นต้น การที่จะติดตั้งหัววัดลงในช่องใส่ (Bore) ของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบนี้ ควรให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัววัดอุณหภูมิเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องใส่ของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร สำหรับช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงกว่า 660 °C จะเป็น 1 มิลลิเมตร แต่ถ้าไม่เป็นดังที่กล่าวมาควรนำวัสดุทนความร้อนมาปิดด้านบนของช่องใส่หัววัดอุณหภูมิเพื่อปกป้องการสูญเสียความร้อน และหรือต้องพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียความร้อนของหัววัดอุณหภูมิ การติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้อากาศเป็นตัวกลาง
ที่มา: http://www.thaitadashi.com/articles

2.6.3 กระบวนการสอบเทียบ

1. ช่วงอุณหภูมิสำหรับการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหัววัดอุณหภูมิ

ควรเริ่มสอบเทียบจากอุณหภูมิอ้างอิงจากนั้นจึงสอบเทียบจากอุณหภูมิต่ำสุดไปสู่อุณหภูมิสูงสุด และกลับมาที่อุณหภูมิอ้างอิงครั้งเพื่อเป็นการหาค่า short term stability กรณีที่ค่าความไม่แน่นอนที่คาดหวังที่ต้องการน้อยกว่า 0.02 °C ควรเริ่มสอบเทียบจากอุณหภูมิต่ำสุดไปสู่อุณหภูมิต่ำสุดไปสู่อุณหภูมิสูงสุดและจากอุณหภูมิสูงสุดไปสู่ต่ำสุด โดยจุดสอบเทียบของทั้งสองต้องเป็นจุดทดสอบเทียบเดียวกันเพื่อเป็นการหาค่า hysteresis ในกรณีที่มีเพียงหนึ่งจุดสอบเทียบให้ทำ reproduce เพื่อเป็นการหา short term stability

2. หัววัดอุณหภูมิและหน่วยแสดงผล

หัววัดอุณหภูมิที่ต่อร่วมกับหน่วยแสดงผลที่สามารถบันทึก แก้ไข ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของหัววัดอุณหภูมิได้ ควรได้รับการสอบและบันทึกค่าก่อนกระบวนการสอบเทียบจะเริ่มขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการสอบเทียบและนำไปใช้งานควรบันทึกระยะความลึกในจุ่มหัววัดอุณหภูมิลงในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการสอบเทียบและการนำไปใช้งาน ในกรณีหน่วยแสดงผลสามารถต่อกับหัววัดอุณหภูมิได้หลายๆหัววัดและสามารถถอดแยกออกได้ เมื่อจะทำการสอบเทียบควรบันทึกช่องที่หัววัดอุณหภูมิต่อร่วมกับหน่วยแสดง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการสอบเทียบและการนำไปใช้งาน

3. การบันทึกผลการสอบเทียบ

การบันทึกผลให้บันทึกค่าอุณหภูมิของเทอร์มิเตอร์มาตรฐาน (STD) และค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (TUC) ควรบันทึกผลในเวลาที่ใกล้เคียงกัน และควรบันทึกผลอย่างน้อย 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การหาค่าแก้

นำผลที่ได้จากการวัดในหัวข้อที่ 3 มาทำการหาค่าแก้ไขให้แก่เทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการทำการสอบเทียบตามสมการที่ 2.1

ค่าแก้ (Correction) = ค่าจริง (True value) – ค่าที่อ่านได้ (Uncorrected value) ..... (2.1)

โดย ค่าจริง คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (STD)
ค่าที่อ่านได้ คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (TUC)

2.6.4 การหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน, $u(t_s)$:

การทวนซ้ำได้ (repeatability) ของการวัดคือความเที่ยงตรงการวัดภายใต้ชุดของเงื่อนไขการทวนซ้ำได้ของการวัด ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะได้จากการประเมิน โดยการวิเคราะห์เชิงสถิติของค่าปริมาณที่วัดซ้ำหลายๆครั้งซึ่งการกระจายความไม่แน่นอน จะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับจำนวนชุดข้อมูลที่วัดลบด้วยหนึ่งค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจาก repeatability ของเทอร์โมมิเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$u(t_s) = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \qquad \text{..... (2.2)}$$

เมื่อ $S_{\bar{x}}$ คือ Experimental standard deviation of mean (ESDM)
n คือ จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ
S_x คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทำการวัด งหาได้จากสมการที่ 4

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \qquad \text{..... (2.3)}$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด
n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการวัด
$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งหาได้โดยสมการที่ 5

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad \text{..... (2.4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 ผลจากการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (กำหนดเป็น TUC) และเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (กำหนดเป็น Standard) โดยมีผลการวัดซ้ำครั้งเดียว ดังนี้

Standard/°C	TUC/°C	TUC/°C	Standard/°C
300.90	300.0	300.0	300.70
300.90	300.0	300.0	300.70
300.80	300.0	300.0	300.60
300.80	300.0	300.0	300.70
300.80	300.0	300.0	300.80

โดยที่ สำหรับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน จะมีค่าแก้ที่อุณหภูมิ 300°C เป็น 0.1°C
จากข้อมูลข้างต้นจะสามารถหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานวัดได้ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10} = \frac{3007.7}{10} = 300.77\ ^oC$$

ดังนั้นอุณหภูมิที่แท้จริงของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานคือ 300.77 °C + 0.1 °C = 300.87 °C
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการวัดของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน คือ

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(10-1)}\sum_{i=1}^{10}(x-300.77)^2} = 0.095\ ^oC$$

จะได้ว่า ESDM มีค่าเป็น $S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \frac{0.095\ ^oC}{\sqrt{1}} = 0.095\ ^oC$

ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากการทวนซ้ำได้ (repeatability) ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน คือ

$$u(t_s) = S_{\bar{x}} = 0.095\ ^oC$$

โดยมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) = 10 – 1 = 9

2.6.5 การหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ, $u(t_{tuc})$:

ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำ (repeatability) ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในกรณีของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานซึ่งความไม่แน่นอนในการวัดจะสามารถหาได้ตามสมการที่ 2.3 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2 จากชุดข้อมูลตัวอย่างที่ 1 สามารถหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำ (repeatability) ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบได้ตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบวัดได้สามารถหาได้ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10} = \frac{3000}{10} = 300\,^{o}C$$

- ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการวัดของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ คือ

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(10-1)}\sum_{i=1}^{10}(x-300)^2} = 0.0\,^{o}C$$

ซึ่งทำให้ได้ค่า ESDM เป็น $S_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \frac{0.0\,^{o}C}{\sqrt{1}} = 0.0\,^{o}C$

ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากการทวนซ้ำได้ (repeatability) ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ คือ

$$u(t_{tuc}) = 0.0\,^{o}C$$

โดยมีค่าองศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) = 10 – 1 = 9

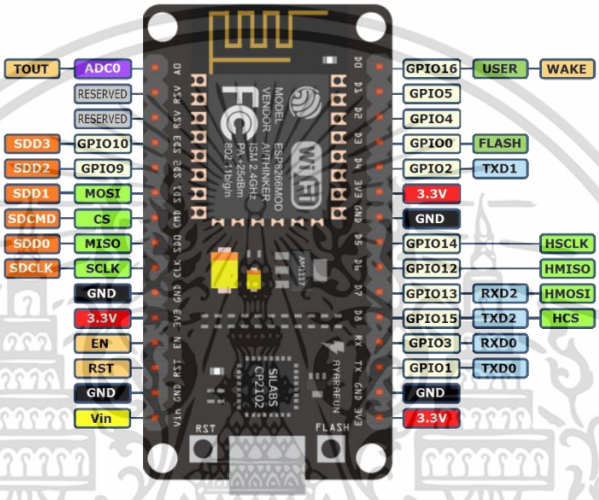
2.7 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้าง

2.7.1 บอร์ด NodeMCU V.3

NodeMCU เป็นบอร์ดหนึ่งที่ช่วยในการพัฒนาสำหรับสร้างโปรเจค Internet of Things หรือ IoT แสดงดังรูปที่ 2.11 ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ที่เป็น open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lau ได้ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นมาพร้อมกับโมดูล WiFi (ESP8266) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตนั่นเอง ตัวโมดูล ESP8266 นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรุ่นมาก ตั้งแต่เวอร์ชันแรกที่เป็น ESP-01 ไล่ไปเรื่อยๆจนปัจจุบันมีถึง ESP-12 และที่ฝังอยู่ใน NodeMCU version แรกนั้นเป็น ESP-12 แต่ใน version 2 นั้นจะใช้เป็น ESP-12E แทนซึ่งการใช้งานโดยรวมก็ไม่แตกต่างกันมากนัก NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับบอร์ด Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input Output buil in มาในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรเลอร์อุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และเมื่อไม่นานมานี้มีนักพัฒนาที่สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ NodeMCU ได้จึงทำให้ใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรมได้โดย บอร์ด NodeMCU มีขาอินพุตและเอาพุตแสดงดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 บอร์ด NodeMCU V.3
ที่มา https://www.arduitronics.com/product/927/nodemcu-version-3-2



รูปที่ 2.12 พอร์ตของบอร์ด NodeMCU
ที่มา: https://iotbytes.wordpress.com/nodemcu-pinout

คุณสมบัติของบอร์ด NodeMCU

1. ใช้โมดูล ESP8266-12E ซึ่งมีหน่วยความจำ flash 4 MBytes
2. ใช้ชิพ USB to UART เบอร์ CP2102 ของบริษัท SILICON LABS ทำให้ไม่มีปัญหากับ OS ต่างๆ
3. ระดับสัญญาณลอจิกของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต (GPIO) 3.3 V
4. สามารถใช้ไฟเลี้ยงบอร์ดจากพอร์ต USB 5V DC หรือ จากแหล่งจ่ายไฟภายนอก 5-10V DC
5. สามารถพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Arduino ได้
6. ขนาดของบอร์ด 25.4 mm x 48.26 mm

2.7.2 โมดูล MAX6675

โมดูล max6675 แสดงดังรูปที่ 2.13 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชดเชยอุณหภูมิที่ด้านรอยต่อเย็น โดยโมดูล max6675 นั้นมีสองขั้วที่เชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด k คือ ขั้ว T+ (Chromel) กับ ขั้ว T- (Alumel) และ มีหน้าที่รับค่าสัญญาณอะนาล็อกขาออกของเทอร์โมคัปเปิลแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล ออกในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (uV) ดังสมการที่ 2.5 นอกจากนี้โมดูล max6675 ยังมีคุณสมบัติเฉพาะ แสดงในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = \left(41\mu V / {}^{o}C\right)\left(T_R - T_{AMB}\right) \quad \text{..... (2.5)}$$

โดยที่ V_{out} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าขาออกของเทอร์โมคัปเปิล (uV)
T_R คือ อุณหภูมิที่รอยต่อ (°C)
T_{AMB} คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติเฉพาะของโมดูล max6675

รายละเอียด	
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	±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	

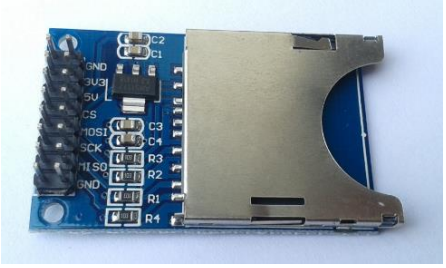
ที่มา www.maximintegrated.com

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของโมดูล max6675

2.7.3 โมดูล SD Card

โมดูล SD Card เป็นโมดูลบันทึกข้อมูลที่สามารถเชื่อมต่อ รับ -ส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอล SPI (Serial Peripheral Interface) แสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โมดูล SD Card

คุณสมบัติของโมดูล SD Card

1. ใช้งานได้ทั้งแรงดัน 5V และ 3.3V
2. ใช้งานได้กับบอร์ด Arduino ทุกรุ่น
3. ใช้การเชื่อมต่อแบบ SPI
4. บนบอร์ดใช้ไอซี LM1117 - 3.3V ในการแปลงดันดันจาก 5V เป็น 3.3V

2.7.4 ไอซีเบอร์ PCF8574

ไอซี PCF8574 I/O Port Expander สามารถนำมาใช้เชื่อมต่อ I/O แบบดิจิทัลได้ถึง 8 บิต และเชื่อมต่อแบบบัส I2C ซึ่งใช้สัญญาณเพียงสองเส้น (SCL และ SDA) เท่านั้น ดังนั้นจึงใช้ขาดิจิทัล I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงสองเส้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็น I2C Master (เป็นฝ่ายเริ่มติดต่อสื่อสารและกำหนดจังหวะการทำงานด้วยสัญญาณ clock) ในขณะที่ไอซี PCF8574 ทำงานเป็น I2C Slave (เป็นฝ่ายคอยตอบสนองต่อการติดต่อสื่อสารจาก I2C Master) นอกจากนั้น ถ้าต้องการมากกว่า 8 บิต ก็สามารถใช้ไอซี PCF8574 ได้หลายตัวในระบบบัสเดียวกัน เพียงแต่กำหนดหมายเลขที่อยู่ของไอซีแต่ละตัวได้ต่างกัน (เรียกที่อยู่นี้ว่า I2C Slave Address) ตัวถังของไอซีมีขา A2,A1,A0 สำหรับใช้กำหนดค่าให้ 3 บิตล่างจากทั้งหมด 7 บิตของเลขที่อยู่ (7-bit Address) ดังนั้นในบัส I2C เดียวกัน สามารถต่อไอซีนี้ได้จำนวนถึง 8 ตัว ไอซี PCF8574 และ PCF8574A ทำงานได้เหมือนกัน ต่างกันที่บิตของหมายเลขที่อยู่ หมายเลขที่อยู่ขนาด 7 บิต มีรูปแบบดังนี้ PCF8574: "0100xxx" และ PCF8574A: "0111xxx" โดยที่ xxx คือ 3 บิต ที่จะถูกกำหนดโดยขา A2, A1, A0

คุณสมบัติของไอซีเบอร์ PCF8574

1. ช่วงแรงดันไฟเลี้ยง: 2.5V ถึง 6V
2. กำหนดค่าบิตสำหรับเลขที่อยู่ได้ 3 บิต (ขา A2, A1,A0)
3. ใช้ความถี่ SCL ได้เพียง 100kHz
4. ขา I/O มี 8 บิต ใช้งานได้แบบดิจิทัลและสองทิศทาง (bidirectional)
5. ปริมาณกระแสไหลแบบ Sink ได้ขาละไม่เกิน 25mA แต่ปริมาณกระแสไหลแบบ Source ได้ขาละไม่เกิน 0.3 mA

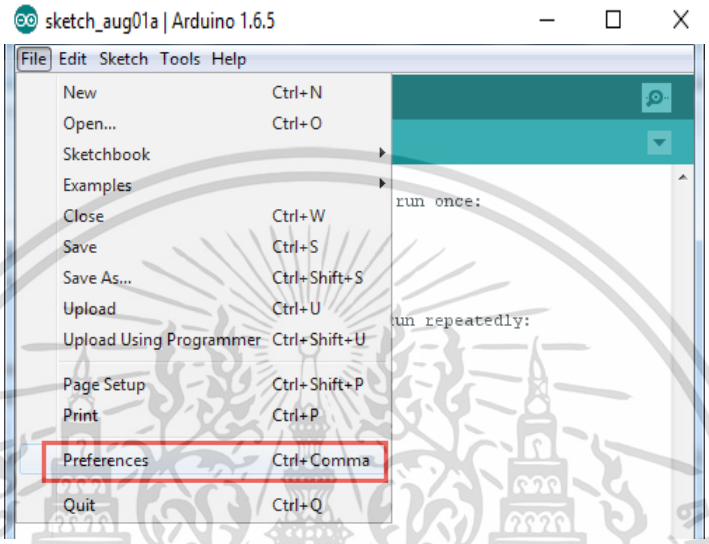
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ซอร์ฟแวร์

2.8.1 การติดตั้งบอร์ด NodeMCU V.3 ลงในโปรแกรม Arduino IDE

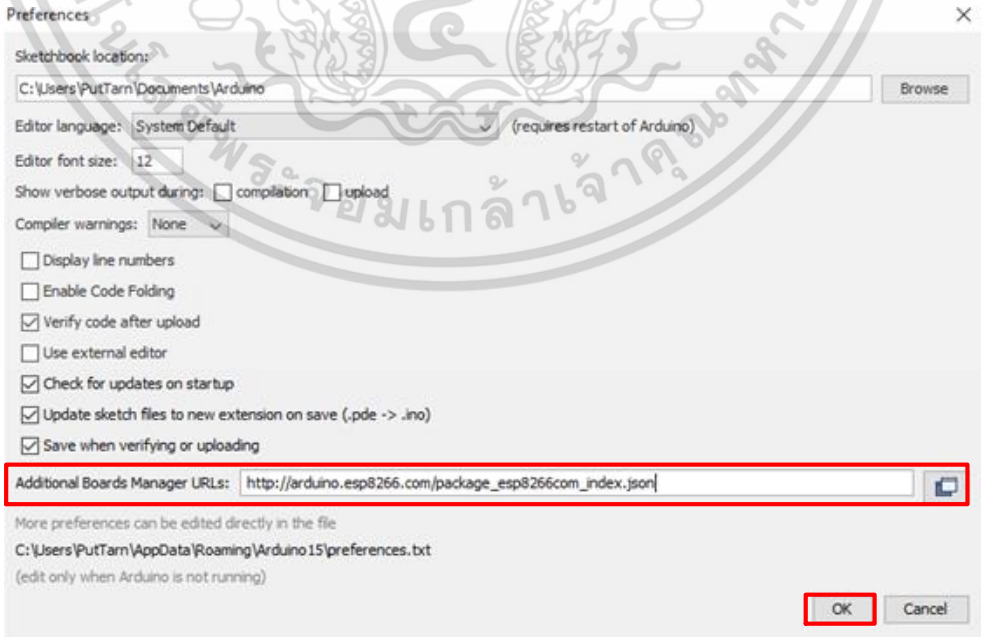
ขั้นตอนการติดตั้งบอร์ด NodeMCU V.3 ลงในโปรแกรม Arduino IDE มีวิธีดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Arduino IDE ขึ้นมา ไปที่เมนู File คลิกเลือก Preferences แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนที่ 1 ของการติดตั้งโปรแกรม

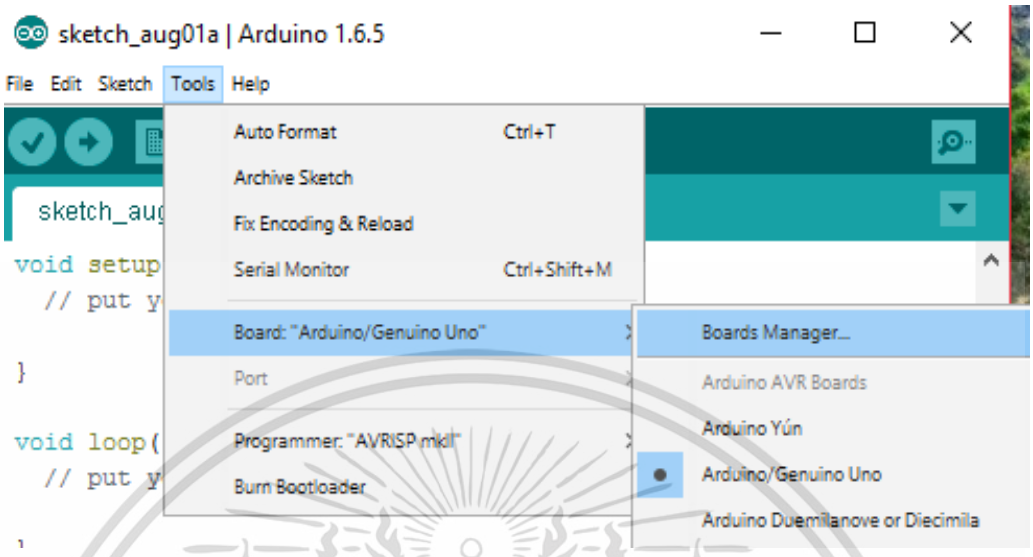
2. ใส่ URL http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json ลงในช่อง Addition Board Manager URLs: แล้วคลิก Ok แสดงดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนที่ 2 ของการติดตั้งโปรแกรม

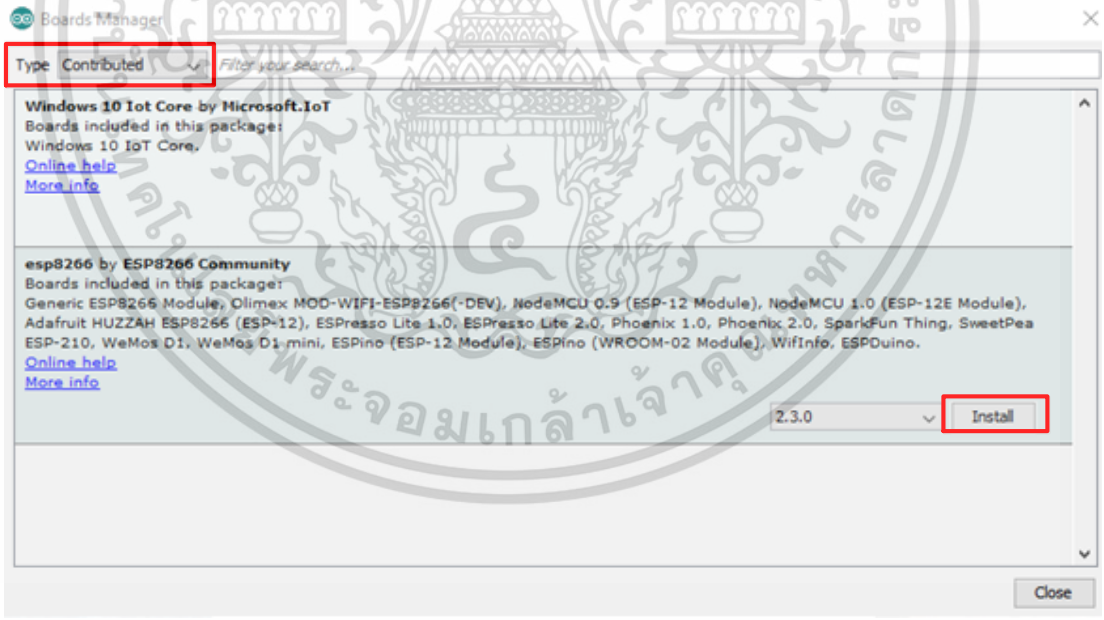
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นไปที่เมนู Tools คลิกเลือก Boar:"xxxxxx" และ Board Manager... ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนที่ 3 ของการติดตั้งโปรแกรม

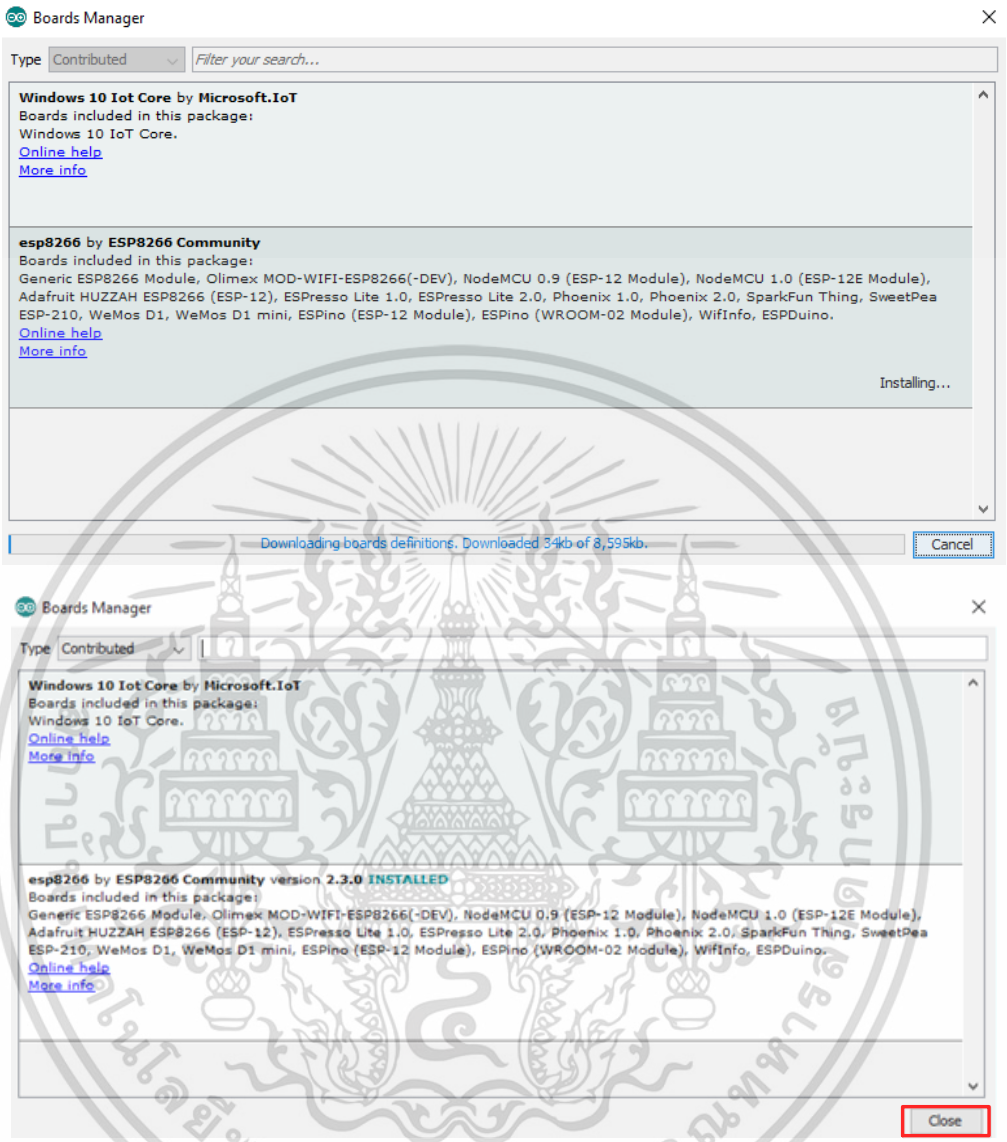
4. คลิกเลือก Type เป็น Contributed ไปที่ ESP8266 และกด Install แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนที่ 4 ของการติดตั้งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

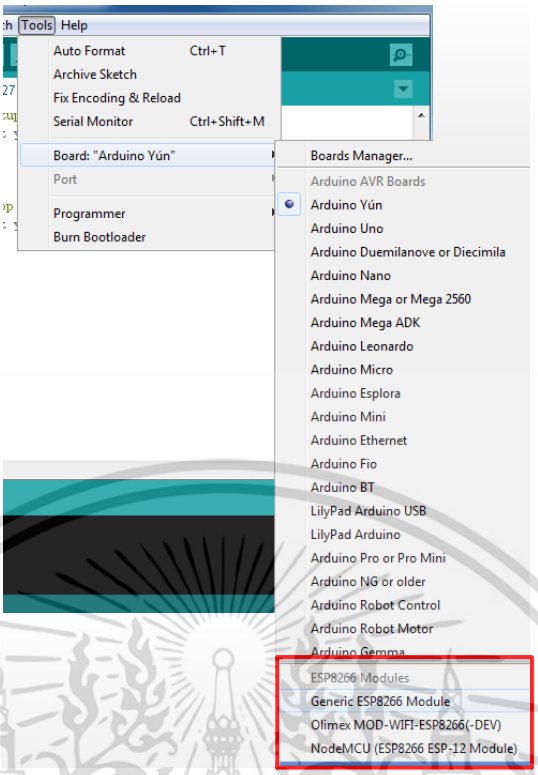
5. โปรแกรมจะเริ่มทำการติดตั้งเมื่อโปรแกรมติดตั้งเสร็จแล้วให้คลิก Close แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนที่ 5 ของการติดตั้งโปรแกรม

6. เมื่อติดตั้ง ESP8266 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดโปรแกรม Arduino IDE ก่อน แล้วจึงเปิดขึ้นมาใหม่เมื่อเปิดโปรแกรม Arduino IDE ขึ้นมาใหม่ ให้คลิกเมนู Tools เลือกBoard:"xxxxxx" จะพบว่า มีเมนูสำหรับเลือกใช้งาน ESP8266 กับ Arduino IDE ขึ้นมาให้เลือกใช้งาน ดังรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนที่ 6 ของการติดตั้งโปรแกรม

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Khizir Mahmud, Md. Shamsul Alam และ Rakesh Ghosh [10] ได้อธิบายวิธีการออกแบบอย่างง่ายของเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอลราคาถูกบนพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F77A และ LM35เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ไอซี LM35 เป็นอะนาล็อกเซ็นเซอร์ที่แปลงแรงดันไฟฟ้าแบบอะนาล็อกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิแวดล้อม เอาต์พุตของเซ็นเซอร์ถูกเชื่อมต่อกับหนึ่งช่องอินพุต ADC (Analog to Digital Converter) ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิเท่ากับค่าดิจิตอล ภายในระยะเวลาสั้น ๆ 10 ค่าดิจิทัลของอุณหภูมิจะถูกเก็บไว้และคำนวณได้ค่าอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและเฉลี่ยค่าอุณหภูมิเหล่านี้ หลังจากนั้น รูปแบบการคำนวณของอุณหภูมิจะถูกแสดงตัวอักษรบนหน้าจอ LCD ขนาด 16 x 2 ในหน่วยองศาเซลเซียส กระบวนการออกแบบนี้สะดวกกว่าคนอื่นเพราะมีความประหยัด มีประสิทธิภาพ และเรียบง่าย

Hesham H. Shaker, A.A Saleh, Azza H. Ali และ M. Abd Elaziz [11] ได้นำเสนอวิธีการออกแบบใหม่ของวงจรอินเตอร์เฟสเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 2 แชนแนล ราคาถูก วงจรอินเตอร์เฟสนี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำให้การวัดอุณหภูมิแม่นยำในช่วง 0 ถึง 250 องศาเซลเซียส ด้วยความละเอียด 1 องศาเซลเซียส ประโยชน์ของความสามารถในการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำเสนอเพื่อทำการปรับเทียบตัวเองสำหรับการออกแบบวงจรอินเตอร์เฟส ความสามารถเหล่านี้ยังใช้ในการแก้ปัญหาที่สำคัญสองอย่าง ด้วยปัญหาเกี่ยวกับการวัดสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิ้ล ปัญหาความไม่เชิงเส้นเทอร์โมคัปเปิล และปัญหารอยต่อจุดอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Madukar S. Chavan, V.S.Suryawanshi และ S. S. Sankpal [12] ได้พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิบนไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยระบบบันทึกข้อมูลแบบเวลาจริง (real time) การตรวจสอบอุณหภูมิและการควบคุมกลายเป็นประเด็นสำคัญของทุกวันนี้ และนอกจากนี้ยังมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมต่างๆ และโรงงานแปรรูปต่างๆ ระบบที่นำเสนอนี้ประกอบด้วยการออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR และระบบบันทึกข้อมูล เครื่องบันทึกข้อมูลจะเก็บบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาของการวัดอุณหภูมิ เครื่องบันทึกข้อมูลจะมีนาฬิกาเวลาแบบเรียลไทม์ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ ระบบที่นำเสนอจะเก็บอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ตั้งค่าไว้ นอกจากนี้การควบคุมการผลิตที่จำเป็นของเครื่องทำความร้อนและพัดลม เครื่องทำความร้อนถูกตั้งค่าในช่วงอุณหภูมิ 580 ถึง 620 องศาเซลเซียส ระบบที่ออกแบบถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน ที่อุณหภุมิห้อง อุณหภูมิต่ำ ตลอดจนเงื่อนไขอุณหภูมิที่ต่างกัน ระบบที่นำเสนอให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ระบบที่นำเสนอมีต้นทุนต่ำสามารถพกพาได้ ระบบนี้มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิเป็นงานสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล แสดงผลข้อมูลแบบเวลาจริงบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต ออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลและส่งข้อมูลของข้อมูลการวัดอุณหภูมิผ่านระบบบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ตในรูปแบบเวลาจริง มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษาระบบการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

3.2 ศึกษาวิธีออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

3.3 ศึกษาและออกแบบระบบบันทึกข้อมูลของระบบวัดอุณหภูมิ และการส่งข้อมูลไปยังบนเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ต

3.4 ทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

3.5 ปรับเทียบระบบวัดอุณหภูมิของเครื่องที่สร้างกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)

3.1 การศึกษาระบบการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K เป็นหัววัดอุณหภูมิที่สามารถวัดอุณหภูมิในย่าน -250 °C ถึง 1300 °C โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของโลหะ 2 ชนิดคือ Chromium กับ Aluminium ออกมาในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลนั้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิที่จุดตรวจสอบกับอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.1

$$V = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 + fT^5 \qquad \text{..... (3.1)}$$

โดยที่ V คือ แรงดันเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิล มีหน่วยเป็นโวลต์

T คือ ค่าอุณหภูมิที่จุดตรวจสอบ

a, b, c, d, e, f คือ ค่าคงที่ซึ่งเป็นค่าฟังก์ชันขึ้นกับชนิดของโลหะตัวนำมาเป็นเทอร์โมคัปเปิล

ในทางปฏิบัติแล้วการคำนวณหาค่าแรงดันเอาต์พุตจากสมการที่ 3.1 มักใช้เทอมการคำนวณเพียงสามเทอมแรกของสมการเท่านั้น ยกเว้นในบางกรณีที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าสมการที่ 3.1 นั้นเป็นลักษณะของสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ทำให้การนำไปใช้งานรวมทั้งการอ่านค่าที่ได้ไม่ค่อยสะดวกนัก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการประมาณค่าสมการให้อยู่ในลักษณะของสมการเชิงเส้น และจากวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (computation method) โดยอาศัยคอมพิวเตอร์เข้าช่วย ทำให้สามารถประมาณค่าสมการ 3.1 ได้ใหม่ดังสมการที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = a_0 + a_1 V_1 + a_2 V_2 + a_3 V_3 + ... + a_n V_n \quad \text{..... (3.2)}$$

โดยที่ T คือ อุณหภูมิ (°C)

V คือ รงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

$a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของโพลิโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด และ n คือ กำลัง (order) สูงสูดของโพลิโนเมียล แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของโพลิโนเมียลของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ

	Type E -100 to 1000°C n = 9	Type J -0 to 760 °C n = 5	Type K 0 to 1370 °C n = 8	Type R 0 to 1000 °C n = 8	Type S 0 to 1750 °C n = 9
a_0	0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.26332917	0.927763167
a_1	17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150
a_2	-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94
a	1265339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E+10	899073663
a_4	-448703084.6	-264917531.4	-8.60963914.9	-4.82704E+12	-1.63565E+12
a_5	1.10866E+10	2018441314	4.83506E+10	7.62091E+14	1.88027E+14
a_6	-1.76807E+11		-1.18453E+10	-7.20026E+16	-1.37241E+16
a_7	1.71842E+12		1.38690E+13	3.71496E+18	6.17501E+17
a_8	-9.19278E+12		-6.33708E+13	-8.03104E+13	-1.56105E+19
a_9	2.06132E+13				1.69535E+20

3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

3.2.1 การออกแบบระบบการวัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนลในช่วงการวัดอุณหภูมิ 0 ถึง 500 °C โดยมีระบบการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.2 เมื่อเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมจะส่งเอาต์พุตในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปยังโมดูล MAX6675 โมดูลนี้จะทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีขนาด 12 บิต ที่ความละเอียด 0.25°C หลังจากนั้นบอร์ด NodeMCU ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประมาณผลจะคำนวณค่าอุณหภูมิแสดงดังสมการที่ 3.3

$$Temperature = Digital\ \ value \times 0.25\ ^{o}C \quad \text{..... (3.3)}$$

$Temperature$ คือ ค่าอุณหภูมิ (°C)

$Digital\ value$ คือ ค่าดิจิตอลที่โมดูล Max6675 แปลงมาจากสัญญาณเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิล

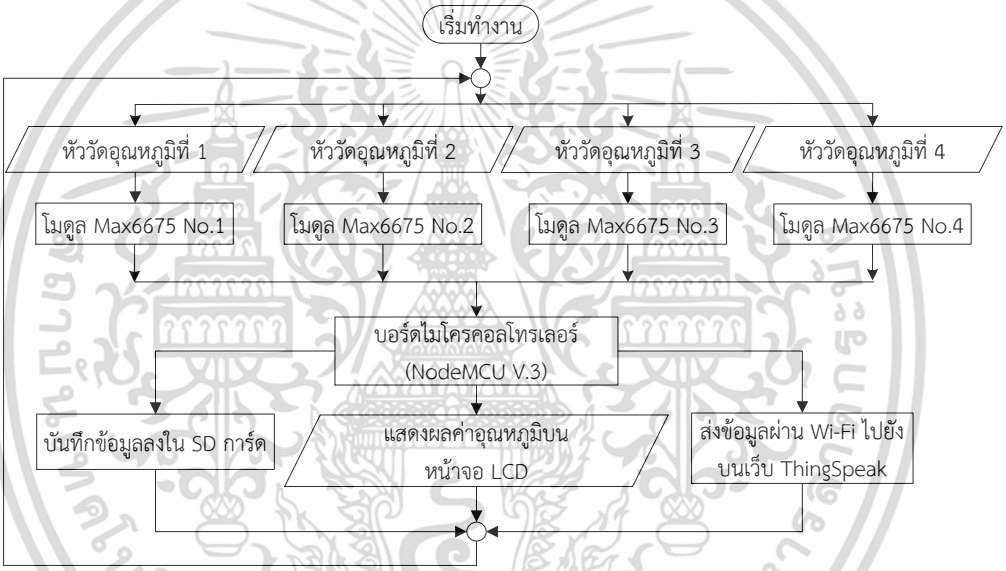
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.3

$$Digital\ \ value\ =\ 2^{n} \qquad \text{..... (3.4)}$$

โดยที่ n คือ ขนาดบิตของข้อมูล

ดังนั้นจากสมการที่ 3.4 ค่า Digital Value ที่โมดูล Max6675 สามารถอ่านได้สูงสุดคือ 2^{12} = 4096 และค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ บอร์ด NodeMCU สามารถคำนวณได้คือ 1024 °C ซึ่งตรงกับข้อมูลคุณสมบัติของโมดูล Max6675 ที่สามารถแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลในช่วงอุณหภูมิ 0 – 1024 °C และเมื่อระบบคำนวณค่าอุณหภูมิแล้วจะแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD บันทึกข้อมูลลงใน SD Card และส่งข้อมูลแบบ Real Time ไปยังบนเว็บ ThingSpeak



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบวัดอุณหภูมิ

3.2.2 การสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล

การสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนแนล แสดงผลข้อมูลบนหน้าจอ LCD บันทึกข้อมูลลงใน SD Card และส่งข้อมูลไปยังบนเว็บ ThingSpeak ในรูปแบบ Real Time มีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1. ศึกษาและพิจารณาคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ ดังนี้

- **บอร์ด NodeMCU V.3** คือ บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้ชิฟเบอร์ ESP8266-12E ดังรูปที่ 3.2 ในการประมวลผลซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์นี้สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้และมีราคาที่ถูกเมื่อเทียบกับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ชนิดอื่น นอกจากนี้ยังสามารถใช้โปรแกรม Arduino ในการควบคุมและเป็นบอร์ด Open Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 บอร์ด NodeMCU V.3

รายละเอียดของบอร์ด NodeMCU V.3

1. ใช้โมดูล ESP8266-12E ซึ่งมีหน่วยความจำ flash 4 MBytes
2. ใช้ชิพ USB to UART เบอร์ CP2102
3. ระดับสัญญาณลอจิกของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต (GPIO) 3.3 V
4. สามารถใช้ไฟเลี้ยงบอร์ดจากพอร์ต USB 5V DC หรือ จากแหล่งจ่ายไฟภายนอก 5-10 V DC
5. ขนาดของบอร์ด 25.4 mm x 48.26 mm

- **โมดูล Max6675** เป็นโมดูลที่ใช้ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

รูปที่ 3.3 โมดูล MAX6675

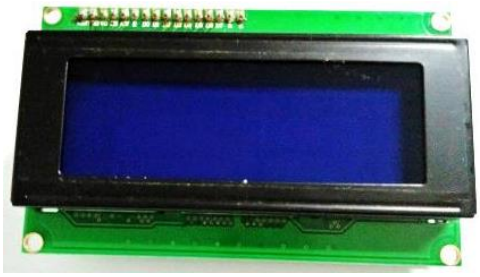
รายละเอียดของโมดูล MAX6675

1. Supply Voltage (V_{cc} to GND)	-0.3V ถึง +6V
2. SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V ถึง V_{cc} +0.3V
3. SO Current	50mA
4. ESD Protection	±2000V
5. Operating Temperature Range	-20 °C ถึง +85°C
6. Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
7. Junction Temperature	+150 °C
8. Conversion Time	0.22 sec

9. เชื่อมต่อแบบ SPI
10. ส่งข้อมูลออกมาแบบ MSB First ขนาด 16 บิตและมีความละเอียด 0.25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **หน้าจอแสดงผล LCD**



รูปที่ 3.4 จอแสดงผล LCD ขนาด 20 x 4

รายละเอียดของหน้าจอ LCD

1. โครงสร้างแบบ COB (Chip-on-Board)
2. แสดงตัวอักษรทั้งหมด 20 ตัวอักษร 4 แถว
3. รูปแบบแสดง STN, Transflective, Positive, Y-G
4. ไมโครคอนโทรลเลอร์ SPLC780D1 หรือ equivalent controller
5. เชื่อมต่อแบบขนานขนาด 8 บิต
6. Backlight เป็นสีน้ำเงิน
7. Driving Scheme: 1/16 Duty Cycle, 1/5 Bias
8. แรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน 5.0 V
9. ทำงานในช่วงอุณหภูมิ-10 ℃ to +60 ℃

- **บอร์ด I2C** เป็นบอร์ดไมโครคอลโทรเลอร์ที่เชื่อมต่อแบบ Serial กับหน้าจอ LCD เพื่อลดจำนวนการเชื่อมต่อระหว่างขาของอุปกรณ์หน้าจอ LCD ไปยังบอร์ดไมโครคอลโทรเลอร์ชนิดอื่น

รูปที่ 3.5 บอร์ด I2C

รายละเอียดของบอร์ด I2C

1. Parallel-bus to I2C-bus protocol converter and interface
2. Both master and slave functions
3. Programmable interrupt vector
4. I2C-bus monitor mode
5. Long-distance mode (4-wire)
6. Operating supply voltage 4.5 ถึง 5.5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Operating temperature range −40 to +85 °C.

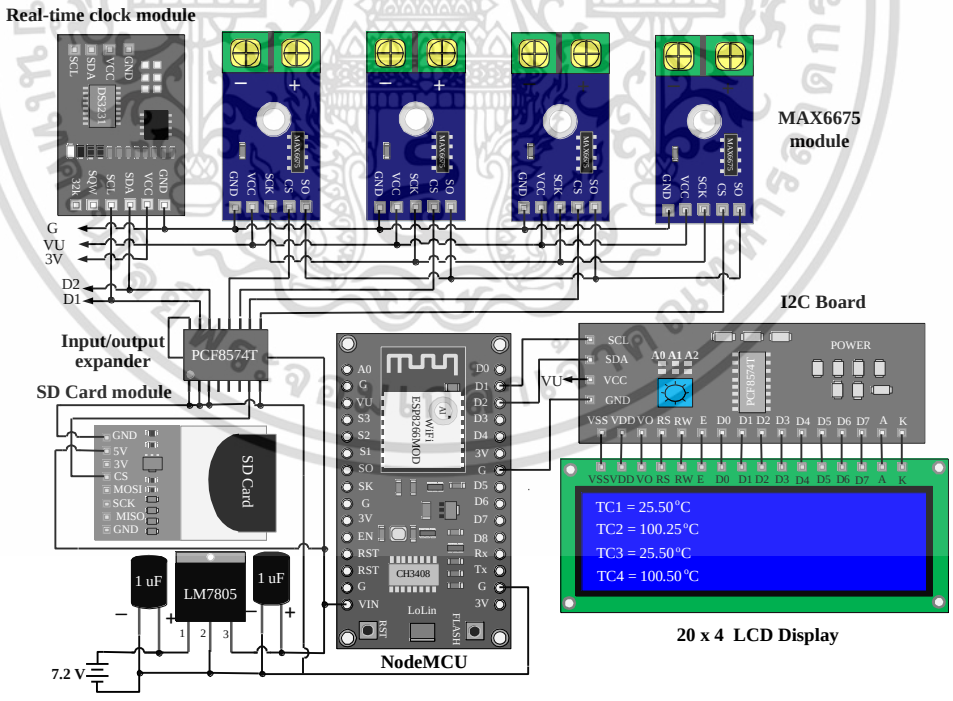
- **ไอซีเบอร์ PCF8574**

รูปที่ 3.6 ไอซีเบอร์ PCF8584

รายละเอียดของไอซี PCF8574

1. Compatible with most parallel-bus microcontrollers/microprocessors including 8049, 8051,6800, 68000 and Z80
2. Parallel-bus to I^2C-bus protocol converter and interface
3. Operating supply voltage 4.5 to 5.5 V
4. Operating temperature range −40 to +85 °C
5. Long-distance mode 4-wire
6. I^2C-bus monitor mode

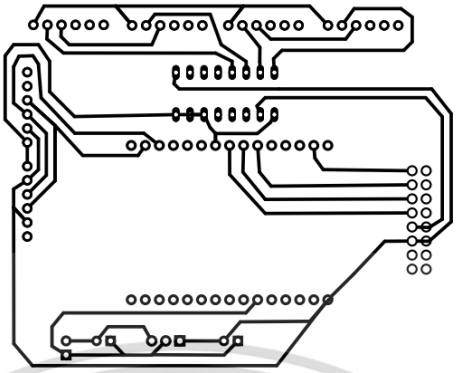
2. ศึกษาและออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละตัวของเครื่องวัดอุณหภูมิ ดังแสดงรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเครื่องวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ออกแบบลายวงจรบนแผ่น PCB โดยใช้โปรแกรม Fritzing แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลายปริ้นวงจรของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ออกแบบโดยโปรแกรม Fritzing

4. กัดลายปริ้นลงบนแผ่น PCB
5. สร้างกล่องของเครื่องวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

3.2.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบวัดอุณหภูมิ

การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบวัดอุณหภูมินั้น โปรแกรมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 คือ การกำหนดตัวแปรและเรียก Library Arduino ของ Arduino IDE ส่วนที่ 2 คือ การเขียนโปรแกรมย่อยให้มีการทำงานเพียงครั้งเดียว (void setup) และส่วนที่ 3 คือ การเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานวนซ้ำ (Void loop) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดตัวแปรและเรียกไลบราลีของโปรแกรมควบคุมระบบวัดอุณหภูมิแบบ 4 แชนแนล แสดงดังตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ควบคุมระบบวัดอุณหภูมิ

การกำหนดตัวแปร	คำอธิบาย
File myFile;	สร้างออฟเจก File สำหรับจัดเก็บข้อมูลชื่อ myFile
const char* ssid = "**ชื่อ Wi-Fi**";	กำหนดชื่อของ Wi-Fi ที่ต้องการเชื่อมต่อ
const char* password = "**รหัส Wi-Fi**";	กำหนดรหัสของ Wi-Fi ที่ต้องการเชื่อมต่อ
WiFiClient client;	สร้าง object client
unsigned long myChannelNumber = **รหัส Channel ID**;	กำหนดรหัส Channel ID ของ Thingspeak ที่สมัครบนเว็บ Thingspeak
const char * myWriteAPIKey = " Write API Key ของ Thingspeak ";	กำหนด Write API Key ของ Thingspeak ที่ปรากฏบนเว็บ Thingspeak
int timezone = 7 * 3600;	ตั้งค่า TimeZone ตามเวลาประเทศไทย
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 20 , 4);	กำหนด address จำนวนตัวอักษร และจำนวนแถวของหน้าจอ LCD
int thermoDO;	กำหนดตัวแปรชื่อ thermoDo เก็บข้อมูลแบบ int
int thermoCS1;	กำหนดตัวแปรชื่อ thermoCS1 เก็บข้อมูลแบบ int
int thermoCLK;	กำหนดตัวแปรชื่อ thermoCLK เก็บข้อมูลแบบ int
int thermoCS2;	กำหนดตัวแปรชื่อ thermoCS2 เก็บข้อมูลแบบ int
int thermoCS3;	กำหนดตัวแปรชื่อ thermoCS3 เก็บข้อมูลแบบ int
int thermoCS4;	กำหนดตัวแปรชื่อ thermoCS4 เก็บข้อมูลแบบ int
float Temp1,Temp2,Temp3,Temp4;	กำหนดตัวแปรชื่อ Temp1, Temp2, Temp3 และ Temp4 เก็บข้อมูลแบบ float

ตารางที่ 3.3 ไลบรารี่ของโปรแกรมที่เรียกใช้ควบคุมระบบวัดอุณหภูมิ

ชื่อไลบรารี่	คำอธิบาย
#include <ESP8266WiFi.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่ wi-Fi ของ ESP8226
#include <WiFiClient.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่ สร้าง object ของ WifiClient
#include <ThingSpeak.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่ของเว็บ Thingspeak
#include <SPI.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารีการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ SPI
#include <SD.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารีของ SD Card
#include <Wire.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่ wire สำหรับหน้าจอ LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่ wire สำหรับหน้าจอ LCD
#include <time.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่เวลาสำหรับ โมดูล RTC
#include <max6675.h>	ประกาศเรียกใช้ไลบรารี่สำหรับโมดูล MAX6675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเขียนโปรแกรมย่อยให้มีการทำงานเพียงครั้งเดียว (void setup)

สำหรับเครื่องวัดอุณหภูมินี้ระบบได้ทำการตั้งค่าโปรแกรมก่อนที่เครื่องวัดอุณหภูมิจะเริ่มวัดอุณหภูมิคือการตรวจสอบสภาพของ SD Card เพื่อดูว่าภายในเครื่องมี SD Card หรือไม่ ถ้าไม่มีจะแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ว่า “ SD Card failed” แต่ถ้ามีจะแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ว่า “ SD Card Ok” โค๊ดการตรวจสอบสภาพ SD card แสดงดังนี้

```
void setup() {
 Wire.begin();
Serial.begin(115200);
 if (!SD.begin(chipSelect)) {
   lcd.setCursor(0, 2);
   lcd.print("  SD Card failed!");
   delay(1000);
   }
   else{
   lcd.setCursor(0, 2);
   lcd.print(" SD Card OK.");
   delay(1000);}
   lcd.clear();
```

3. การเขียนโปรแกรมให้มีการทำงานวนซ้ำ (Void loop)

ในส่วนการทำงานของโปรแกรมการทำงานวนซ้ำ คือส่วนการทำงานของระบบประมวณผลค่าการวัดอุณหภูมิ แสดงผลข้อมูลผ่านหน้าจอ LCD บันทึกข้อมูลลงใน SD Card และส่งข้อมูลไปยังเว็บ ThingSpeak โค๊ดการทำงานแสดงดังนี้

```
void loop() {
  int thermoCS1 = 15; // fake pin for the code
 expanderWrite(B01111111);
 delay(10);
 int thermoCS2 = 15; // fake pin for the code
  delay(10);
 expanderWrite(B10111111);
 delay(10);
 int thermoCS3 = 15; // fake pin for the code
  delay(10);
 expanderWrite(B11011111);
 delay(10);
 int thermoCS4 = 15; // fake pin for the code
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 delay(10);
 expanderWrite(B11101111);
 delay(10);
  A = thermocouple1.readCelsius(); //กำหนดหัววัดเทอร์โมคัปเปิล 1 อ่านค่าอุณหภูมิ
  B = thermocouple2.readCelsius(); //กำหนดหัววัดเทอร์โมคัปเปิล 2 อ่านค่าอุณหภูมิ
  C = thermocouple3.readCelsius(); //กำหนดหัววัดเทอร์โมคัปเปิล 3 อ่านค่าอุณหภูมิ
  D = thermocouple1.readCelsius(); //กำหนดหัววัดเทอร์โมคัปเปิล 4 อ่านค่าอุณหภูมิ

---ส่งค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล 1 2 3 และ 4 ไปยัง field 1 2 3 และ 4 บนเว็บ ThingSpeak---
  ThingSpeak.setField(1,A);
  ThingSpeak.setField(2,B);
  ThingSpeak.setField(3,C);
  ThingSpeak.setField(4,D);
-----------------------------------แสดงผลค่าอุณหภูมิบนหน้าจอ LCD-----------------------------------
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("T1=");
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print(A);
  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");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("T2=");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print(B);
  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");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("T3=");
lcd.setCursor(3, 2);
lcd.print(C);
lcd.setCursor(9, 2);
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");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("T4=");
lcd.setCursor(3, 3);
lcd.print(D);
lcd.setCursor(9, 3);
lcd.print((char)223);//degree sign
lcd.print("C");
lcd.print(" ");
const int chipSelect = 15;
expanderWrite(B11110111);
delay(10);

--------------------------------บันทึกข้อมูลลงบน SD Card----------------------------------------
myFile = SD.open("Temp.txt", FILE_WRITE);
if (myFile) {
        myFile.println("Time    Temp1    Temp2    Temp3    Temp4");
        myFile.print(p_tm->tm_hour);
        myFile.print(".");
        myFile.print(p_tm->tm_min);
        myFile.print(".");
        myFile.print(p_tm->tm_sec);
        myFile.print("     ");
  myFile.print(A);
        myFile.print("     ");
        myFile.print(B);
        myFile.print("     ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            myFile.print(C);
            myFile.print("      ");
            myFile.print(D);
            myFile.close();
  }
  else {
    // if the file didn't open, print an error:
   Serial.println("error opening test.txt");
  }
  delay(10);
 ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
  delay(20000);
}
```

3.3 ศึกษาและออกแบบระบบบันทึกข้อมูลของระบบวัดอุณหภูมิ และการส่งข้อมูลไปยังบนเว็บ ThingSpeak

ในงานวิจัยนี้ต้องการบันทึกผลการวัดอุณหภูมิแบบ Real Time จึงได้ออกแบบ data logger โดยการสร้างระบบ Data logger เพื่อเป็นตัวเก็บข้อมูลผลการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล 4 หัววัด และส่งข้อมูลผลการวัดไปยังบนเว็บ ThingSpeak ในรูปแบบกราฟ โดยผ่าน IoT Platform

3.3.1 การออกแบบการเก็บข้อมูลแบบ data Logger

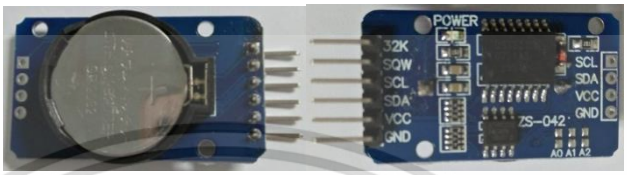
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบเก็บข้อมูลแบบ data Logger โดยใช้โมดูล SD Card ดังรูปที่ 3.10 จะเก็บข้อมูลและบันทึกผลที่ได้รับค่าจากเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 4 หัววัด การเก็บข้อมูลข้อมูลลงใน SD Card มีข้อดีคือสามารถใช้คอมพิวเตอร์หรือโน๊ตบุกในการอ่านข้อมูลที่อยู่ภายใน SD Card ได้ง่ายและสะดวกต่อการนำข้อมูลนั้นไปวิเคราะห์ผล คุณสมบัติของโมดูล SD Card แสดงดังตารางที่ 3.2 นอกจากนี้ค่าที่เก็บและบันทึกข้อมูลจะสัมพันธ์กับเวลาที่ตั้งค่าในโมดูล โมดูลนาฬิกา (DS3231) ดังรูปที่ โมดูลนาฬิกา (DS3231) เป็นโมดูลที่มีความแม่นยำสูง และมีคุณสมบัติของโมดูลนาฬิกา (DS3231) แสดงดังตารางที่ 3.3

รูปที่ 3.10 โมดูล SD Card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของโมดูล SD Card

รายละเอียดของโมดูล SD Card	
1. Operating Voltage	3.3 V หรือ 5V
2. ขนาดความจุเก็บข้อมูล	8 GB
3. รูปแบบการเชื่อมต่อ	SPI



รูปที่ 3.11 โมดูลนาฬิกา (DS3231)

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของโมดูลนาฬิกา (DS3231)

รายละเอียดของโมดูลนาฬิกา (DS3231)	
1. Operating Voltage	3.3 V
2. Operating Temperature Ranges	0 ถึง 70°C
3. Fast I^2C Interface	400 kHz
4. Accuracy	±2 ppm from 0°C to +40°C
5. Accuracy	±3.5 ppm from -40°C to +85°C

3.3.2 การออกแบบการส่งข้อมูลไปยังเว็บ ThingSpeak

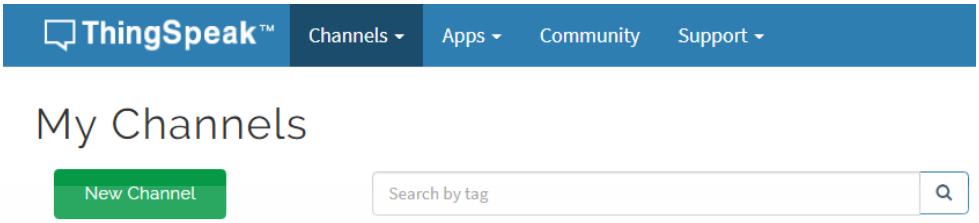
งานวิจัยนี้เลือกการส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลไปยังเว็บ ThingSpeak เนื่องจากเว็บ ThingSpeak เป็นเว็บที่สามารถใช้ร่วมกับบอร์ด NodeMCU V.3 และสามารถรับสัญญาณจากเซนเซอร์ได้สูงสุด 8 ตัว โดยขั้นตอนการส่งข้อมูลไปยังบนเว็บ ThingSpeak มีขั้นตอนดังนี้

1. สมัครเข้าในงานของเว็บ ThingSpeak ที่ https://thingspeak.com/ ดังรูปที่ 3.12

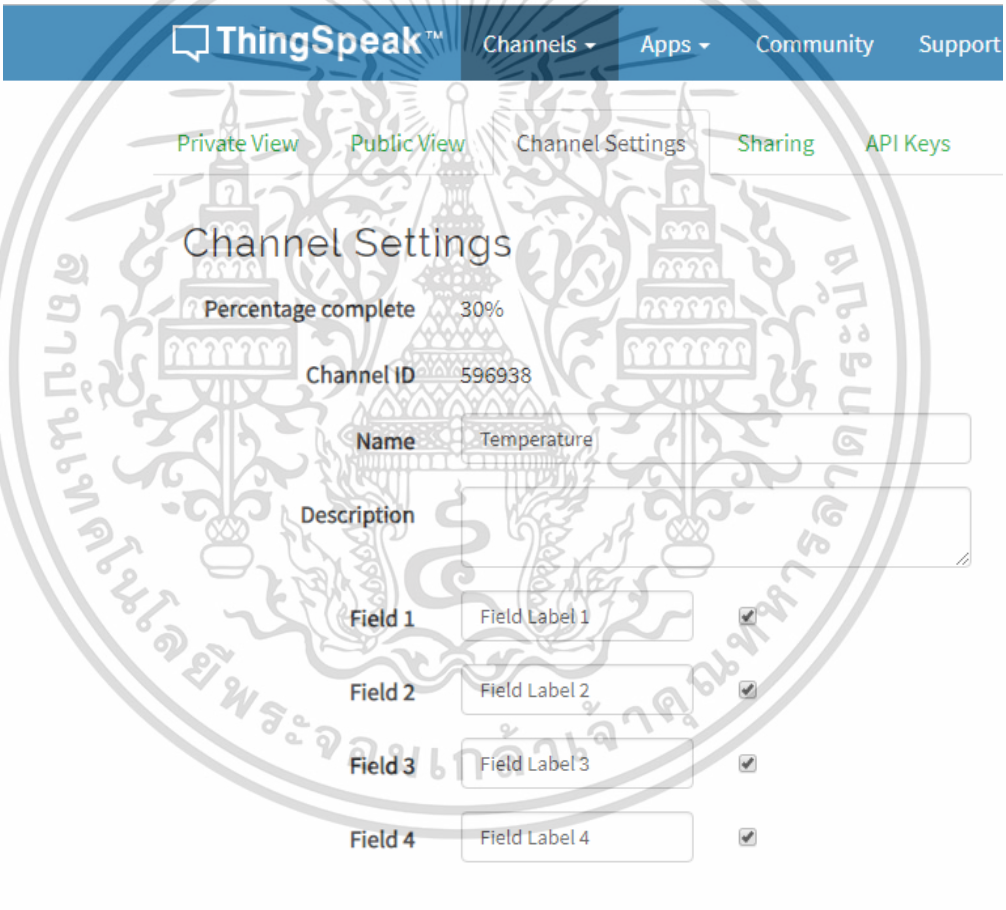
รูปที่ 3.12 การเข้าใช้งานของเว็บ ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สร้าง Channel การใช้งานในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 4 หัววัด ดังนั้นจึงสร้าง Channel สำหรับแสดงข้อมูลจำนวน 4 แชนเนล ดังรูปที่ 3.13 3.14 และ 3.15

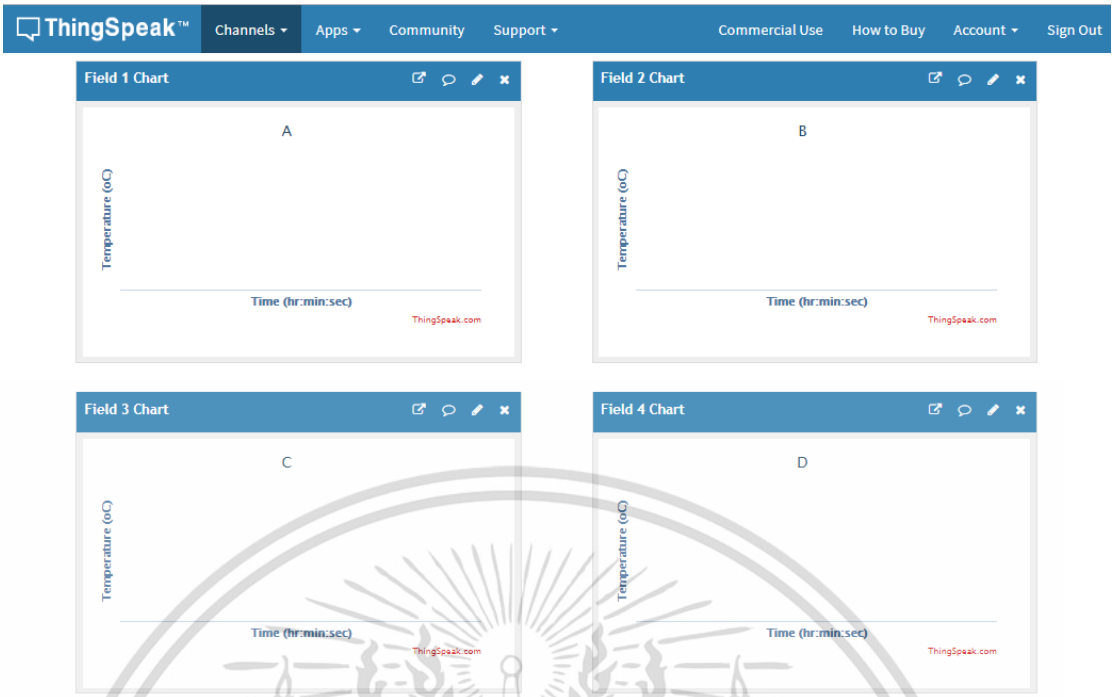


รูปที่ 3.13 การเพิ่มจำนวนแชนแนลบนเว็บ ThingSpeak



รูปที่ 3.14 เลือกจำนวน field 4 ช่องสำหรับการแสดงผลของเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 หน้าต่างแสดงผลแบบเรียลไทล์บนเว็บ ThingSpeak

3.4 ศึกษาและทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ทดสอบการวัดอุณหภูมิของน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส และการทดสอบวัดอุณหภูมิแบบ Real Time เพื่อแสดงผลบนเว็บ Thingspeak

3.4.1 การทดสอบวัดอุณหภูมิน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมี ดังนี้

1. เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2) ดังแสดงรูปที่
2. เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง
3. ภาชนะสำหรับต้มน้ำ

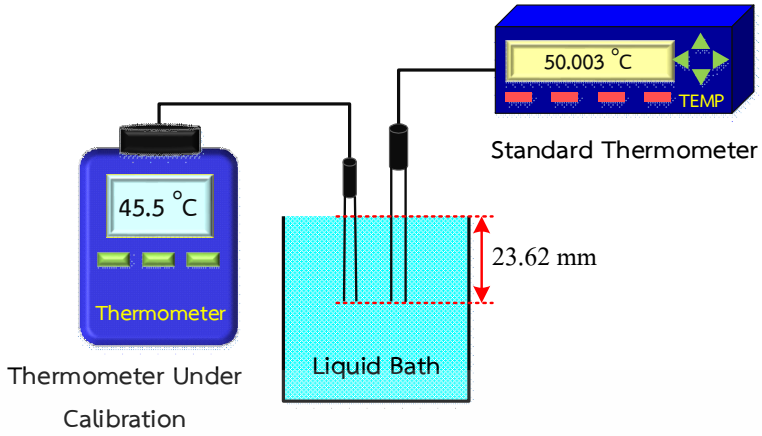
3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ ในงานนี้ได้เลือกการทดสอบวัดอุณหภูมิของน้ำเดือด

2. การเลือกหัววัดอุณหภูมิและการแสดงผล การปรับเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานต้องใช้หัววัดอุณหภูมิประเภทเดียวกันและหัววัดนั้นต้องมีค่าผิดพลาดเท่ากันสำหรับใช้ในการทดสอบ

3. จุ่มหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานให้มีระยะการจุ่มอย่างน้อย 15 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดอุณหภูมิ ดังแสดงรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 ในงานวิจัยนี้ใช้หัววัดอุณหภูมิ Fluke 80pk-26 มีเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัด 1.5748 mm ดังนั้นระยะการจุ่มของหัววัดอุณหภูมิอย่างน้อยเป็น 1.5748 mm x 15 = 23.62 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง (Liquid Bath)

รูปที่ 3.17 ระยะการจุ่มหัววัดอุณหภูมิ

4. การบันทึกผลการสอบเทียบให้บันทึกค่าอุณหภูมิของเทอร์มิเตอร์มาตรฐาน (STD) และค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (TUC) ควรบันทึกผลในเวลาที่ใกล้เคียงกัน และควรบันทึกผลอย่างน้อย 3 ครั้ง ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิน้ำเดือดทั้งหมด 5 ครั้ง เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน เป็นเวลา 10 นาที

5. วิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานและเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างโดยใช้สมการที่ 3.5

$$u(t_s) = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \qquad \text{..... (3.5)}$$

เมื่อ $S_{\bar{x}}$ คือ Experimental standard deviation of mean (ESDM)

n คือ จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ

S_x คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทำการวัดหาได้จากสมการที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{m}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \quad \text{..... (3.6)}$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด

n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการวัด

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งหาได้โดยสมการที่ 3.7

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i}{n} \quad \text{..... (3.7)}$$

3.5 ปรับเทียบระบบวัดอุณหภูมิของเครื่องที่สร้างกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)

การปรับเทียบระบบวัดอุณหภูมิของเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานมีวิธีการดังนี้

1. เลือกอุณหภูมิที่คงที่หรือช่วงอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ
2. วัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตราฐานที่ตำแหน่งเดียวกัน
3. คำนวณหาค่าแก้ไขของระบบวัดอุณหภูมิดังสมการที่ 3.8 และนำค่าแก้ไขไปแทนในสมการของระบบวัดอุณหภูมิดังสมการที่ 3.9

ค่าแก้ (Correction) = ค่าจริง (True value) – ค่าที่อ่านได้ (Uncorrected value) ... (3.8)

โดย ค่าจริง คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD)
ค่าที่อ่านได้ คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (TUC)

T = (Digital value x 0.25°C) ± ค่าแก้ ... (3.9)

T คือ อุณหภูมิ (°C)

Digtal value คือ ค่าดิจิตอลที่โมดูล Max6675 แปลงมาจากสัญญาณเอาต์พุตของเทอร์โมคัปเปิล

4. บันทึกผลการทดสอบและทดสอบวัดอุณหภูมิซ้ำเพื่อเปรียบเทียบผลวัดอุณหภูมิก่อนการแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ
5. วิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานและเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างโดยใช้สมการที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K แบบ 4 แชนเนล และส่งผลข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ต การทดสอบและการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ 1. ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิน้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2) 2. ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่น้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานหลังปรับค่าแก้ไขในโปรแกรมระบบวัดอุณหภูมิ 3. ผลทดสอบการวัดอุณหภูมิในช่วงอุณภูมิ 28 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส และสมการเส้นตรง Calibration Curve และ 4. ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บ ThinkSpeaks ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิน้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)
2. เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง
3. ภาชนะสำหรับต้มน้ำ
4. สายวัดอุณหภูมิชนิด K (Fluke 80pk-26)

4.1.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2)

1. กำหนดอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ ในงานนี้ได้เลือกการทดสอบวัดอุณหภูมิของน้ำเดือด
2. การเลือกหัววัดอุณหภูมิและการแสดงผล การปรับเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานต้องใช้หัววัดอุณหภูมิประเภทเดียวกันและหัววัดนั้นต้องมีค่าผิดพลาดเท่ากันสำหรับใช้ในการทดสอบ
3. จุ่มหัววัดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานให้มีระยะการจุ่มอย่างน้อย 15 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดอุณหภูมิ ดังแสดงรูปที่ 4.1

หมายเหตุ หัววัดอุณหภูมิ Fluke 80pk-26 มีเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัด 1.5748 mm ดังนั้นระยะการจุ่มของหัววัดอุณหภูมิอย่างน้อยเป็น 1.5748 mm x 15 = 23.62 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ระยะการจุ่มหัววัดอุณหภูมิ

ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน และค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิน้ำเดือดในทุกๆ 10 วินาที โดยทดสอบวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน เป็นเวลา 10 นาที ผลการวัดอุณหภูมิของแต่ละแชนเนลแสดงดังตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 ในภาคผนวก และผลการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละแชนเนลแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนเนล

เวลา (s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องมาตรฐาน (°C)
	แชนเนลที่ 1	แชนเนลที่ 2	แชนเนลที่ 3	แชนเนลที่ 4	
0	99.10	99.95	99.55	99.70	98.60
10	99.05	100.10	99.75	99.60	98.73
20	98.95	99.65	99.85	99.60	98.50
30	99.15	100.05	99.75	99.25	98.63
40	99.00	99.90	99.50	99.65	98.60
50	98.75	99.75	100.00	99.80	98.47
60	99.10	99.80	100.05	99.85	98.73
70	98.90	99.50	99.55	99.65	98.47
80	99.20	99.90	99.90	99.60	98.70
90	99.15	99.90	99.85	99.70	98.60
100	98.95	99.95	99.90	99.85	98.83
110	99.25	99.90	99.80	99.75	98.73
120	99.00	99.90	99.75	99.60	98.57
130	99.10	99.60	99.85	99.95	98.60
140	99.30	99.95	99.85	99.95	98.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนเนล

เวลา (s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องมาตรฐาน (°C)
	แชนเนลที่ 1	แชนเนลที่ 2	แชนเนลที่ 3	แชนเนลที่ 4	
150	99.00	99.90	99.90	99.70	98.63
160	98.95	99.70	100.00	99.55	98.77
170	99.25	99.80	99.85	99.80	98.63
180	99.10	99.50	99.95	99.85	98.57
190	99.35	99.70	100.05	99.85	98.87
200	99.45	100.00	99.95	99.90	98.53
210	99.25	100.00	99.95	99.90	98.73
220	99.55	100.05	99.80	99.80	98.77
230	99.10	99.95	100.05	99.60	98.60
240	99.40	100.10	99.85	99.75	98.40
250	99.50	100.00	100.05	99.65	98.70
260	99.45	99.60	100.00	99.90	98.53
270	98.95	99.95	99.95	99.85	98.63
280	99.25	100.00	100.00	99.85	98.70
290	99.30	99.95	100.05	99.75	98.70
300	99.40	100.05	99.85	99.90	98.80
310	99.20	99.90	99.70	99.85	98.67
320	99.45	100.10	99.90	99.75	98.77
330	99.45	100.05	99.90	99.65	98.87
340	99.60	99.80	100.00	99.90	98.60
350	99.40	99.70	99.70	99.90	98.67
360	99.35	100.10	100.00	99.90	98.70
370	99.25	99.85	99.85	99.75	98.77
380	99.40	100.00	99.90	99.90	98.83
390	99.75	100.15	99.90	99.75	98.70
400	99.60	100.10	100.00	100.15	98.80
410	99.50	100.00	100.05	99.75	98.63
420	99.30	99.95	99.95	99.85	98.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิ 4 แชนเนล

เวลา (s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องมาตรฐาน (°C)
	แชนเนลที่ 1	แชนเนลที่ 2	แชนเนลที่ 3	แชนเนลที่ 4	
430	99.40	100.10	99.80	99.90	98.70
440	99.70	99.85	100.15	99.85	98.60
450	99.60	100.40	100.10	100.05	98.70
460	99.50	99.95	100.10	99.75	98.77
470	99.50	100.10	99.85	99.90	98.83
480	99.50	99.85	99.80	99.85	98.77
490	99.70	100.05	100.10	100.10	98.83
500	99.35	100.05	99.90	99.95	98.83
510	99.45	100.25	99.90	100.00	98.73
520	99.45	100.05	99.90	100.00	98.80
530	99.10	99.85	100.05	99.85	98.87
540	99.45	100.15	100.15	100.10	98.70
550	99.40	100.30	100.05	100.15	98.97
560	99.60	99.95	100.10	99.95	98.90
570	99.65	100.20	100.00	100.10	98.73
580	99.55	100.30	100.30	99.95	98.77
590	99.20	100.15	100.10	100.00	98.73
เฉลี่ย	99.31	99.96	99.92	99.83	98.70

4.1.3 การวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability และเปอร์เซ็นความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น, $u(t_s)$

การวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นของแต่ละแชนแนลโดยใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$u(t_s) = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \qquad \text{..... (4.1)}$$

เมื่อ $S_{\bar{x}}$ คือ Experimental standard deviation of mean (ESDM)

n คือ จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ

S_x คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทำการวัดหาได้จากสมการที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{m}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \quad \text{..... (4.2)}$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด

n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการวัด

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งหาได้โดยสมการที่ 4.3

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i}{n} \quad \text{..... (4.3)}$$

- การคำนวณเปอร์เซ็นความผิดพลาดสามารถหาได้โดยสมการที่ 4.4

$$\%\,Error = \left|\frac{TUC - STD}{STD}\right| \times 100\% \quad \text{..... (4.4)}$$

เมื่อ $\%\,Error$ คือ เปอร์ความผิดพลาดของอุณหภูมิ (°C)

TUC คือ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)

STD คือ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)

จากตารางที่ 4.1 สามารถหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำ(repeatability) และเปอร์เซ็นความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นในแต่ละแชนเนลได้ดังตารางที่

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ผลค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำและเปอร์เซ็นความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (ก่อนแก้ค่าไขในระบบวัดอุณหภูมิ)

สมการวิเคราะห์	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ช่องวัดที่ 1	ช่องวัดที่ 2	ช่องวัดที่ 3	ช่องวัดที่ 4	
$\bar{x}$	99.31	99.96	99.92	99.83	98.70
S_x	0.2315	0.1866	0.1508	0.1645	0.1151
$S_{\bar{x}}$	0.1035	0.0834	0.0675	0.0736	0.0515
$\%\,Error$	0.6180	1.2766	1.2361	1.1449	0.05*

* ค่าความผิดพลาดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน รุ่น Fluke 54-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่น้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานหลังปรับค่าแก้ไขในโปรแกรมระบบวัดอุณหภูมิ

จากผลการทดสอบที่ได้จากตารางที่ 4.1 ทำการหาค่าแก้ไขให้แก่เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นตามสมการที่ 4.1

ค่าแก้ (Correction) = ค่าจริง (True value) – ค่าที่อ่านได้ (Uncorrected value) ..... (4.4)

โดย ค่าจริง คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD)
ค่าที่อ่านได้ คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (TUC)

จากตารางที่ 4.1 นำค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD) และ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (TUC) แทนในสมการที่ (4.4) จะได้ดังนี้

แชนแนลที่ 1 มีค่าแก้ (Correction) = 98.69 °C – 99.31°C = –0.62 °C
แชนแนลที่ 2 มีค่าแก้ (Correction) = 98.69 °C – 99.96°C = –1.27 °C
แชนแนลที่ 3 มีค่าแก้ (Correction) = 98.69 °C – 99.92°C = –1.23 °C
แชนแนลที่ 4 มีค่าแก้ (Correction) = 98.69 °C – 99.83°C = –1.14 °C

- นำค่าแก้ไขที่คำนวณได้ของแต่ละแชนแนลไปลบกับสมการของการวัดอุณหภูมิในโปรแกรมจะได้สมการการวัดอุณหภูมิใหม่ ดังนี้
  - แชนแนลที่ 1 สมการการวัดอุณหภูมิ คือ T = (Digital value x 0.25°C) –0.62 °C
  - แชนแนลที่ 2 สมการการวัดอุณหภูมิ คือ T = (Digital value x 0.25°C) –1.27 °C
  - แชนแนลที่ 3 สมการการวัดอุณหภูมิ คือ T = (Digital value x 0.25°C) –1.23 °C
  - แชนแนลที่ 4 สมการการวัดอุณหภูมิ คือ T = (Digital value x 0.25°C) –1.14 °C

ผลการบันทึกค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน และค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังมีค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิน้ำเดือดในทุกๆ 10 วินาที โดยทดสอบวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน เป็นเวลา 10 นาที ผลการวัดอุณหภูมิของแต่ละแชนแนล ดังตารางที่ 5 ถึง ตารางที่ 8 ในภาคผนวก และผลการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละแชนแนล ดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องมาตรฐาน (°C)
	แชนเนลที่ 1	แชนเนลที่ 2	แชนเนลที่ 3	แชนเนลที่ 4	
0	98.72	98.22	98.50	98.50	98.83
10	98.42	98.02	98.55	98.45	98.82
20	98.57	98.17	98.60	98.40	98.77
30	98.17	97.87	98.70	98.50	98.67
40	98.57	98.02	98.50	98.40	98.58
50	98.47	98.12	98.45	98.30	98.84
60	98.52	98.22	98.40	98.35	98.84
70	98.47	98.02	98.40	98.40	98.86
80	98.12	98.22	98.50	98.40	98.84
90	98.82	98.17	98.75	98.50	98.80
100	98.32	98.22	98.50	98.70	98.93
110	98.37	98.02	98.65	98.35	98.88
120	98.62	98.27	98.60	98.50	98.75
130	98.57	98.42	98.60	98.65	98.80
140	98.57	98.27	98.75	98.60	98.79
150	98.42	98.22	98.65	98.45	98.94
160	98.42	98.27	98.75	98.75	98.86
170	98.52	98.12	98.55	98.55	98.88
180	98.72	98.47	98.55	98.60	98.78
190	98.22	98.47	98.50	98.70	98.87
200	98.57	97.92	98.55	98.50	98.97
210	98.27	98.12	98.65	98.70	99.04
220	98.37	98.22	98.70	98.70	98.78
230	98.67	98.12	98.85	98.70	98.96
240	98.52	98.12	98.60	98.50	99.02
250	98.37	98.17	98.85	98.55	98.96
260	98.57	98.27	98.70	98.50	98.94
270	98.37	98.32	98.85	98.55	99.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น หลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องมาตรฐาน (°C)
	แชนเนลที่ 1	แชนเนลที่ 2	แชนเนลที่ 3	แชนเนลที่ 4	
280	98.72	98.07	98.50	98.75	98.97
290	98.62	98.52	98.85	98.65	98.99
300	98.52	98.12	98.75	98.65	99.03
310	98.42	98.37	98.80	98.65	98.97
320	98.52	98.42	98.80	98.50	98.92
330	98.47	98.27	98.70	98.60	98.90
340	98.42	98.37	98.85	98.40	99.01
350	98.07	98.17	98.80	98.60	98.92
360	98.72	98.12	98.80	98.60	98.89
370	98.57	98.22	98.80	98.50	99.01
380	98.62	98.42	98.95	98.55	98.98
390	98.77	98.22	98.60	98.60	98.91
400	98.47	98.27	98.90	98.35	98.94
410	98.77	98.47	98.90	98.65	99.02
420	98.22	98.57	98.70	98.75	99.02
430	98.72	98.37	98.75	98.45	99.07
440	98.42	98.22	98.75	98.55	99.03
450	98.57	98.32	98.85	98.75	98.93
460	98.67	98.67	98.90	98.65	98.97
470	98.67	98.32	98.90	98.60	98.99
480	98.57	98.42	98.80	98.55	99.02
490	98.57	98.62	98.95	98.70	99.04
500	98.62	98.42	98.65	98.70	99.09
510	98.47	98.37	98.55	99.00	99.06
520	98.67	98.12	98.95	98.75	99.14
530	98.57	98.32	98.85	98.85	99.03
540	98.52	98.52	98.85	98.55	99.01
550	98.57	98.52	98.80	98.75	99.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องมาตรฐาน (°C)
	แชนเนลที่ 1	แชนเนลที่ 2	แชนเนลที่ 3	แชนเนลที่ 4	
560	98.67	98.42	98.80	98.85	99.07
570	98.77	98.67	98.90	98.75	99.15
580	98.82	98.62	98.75	98.70	99.08
590	98.82	98.27	98.80	98.75	99.15
เฉลี่ย	98.53	98.28	98.71	98.59	98.94

4.2.1 การวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ, $u(t_s)$

การวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นของแต่ละแชนแนลหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิโดยใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ 4.1 และ 4.4 จากตารางที่ 4.3 สามารถหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นในแต่ละแชนแนลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ผลค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการทวนซ้ำและเปอร์เซ็นความผิดพลาดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (หลังแก้ค่าไขในระบบวัดอุณหภูมิ)

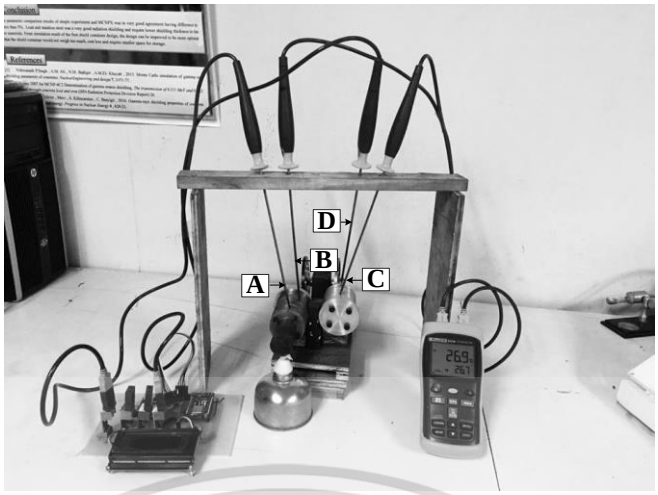
สมการวิเคราะห์	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)				เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ช่องวัดที่ 1	ช่องวัดที่ 2	ช่องวัดที่ 3	ช่องวัดที่ 4	
$\bar{x}$	98.53	98.28	98.71	98.59	98.94
S_x	0.1728	0.1821	0.1497	0.1431	0.1168
$S_{\bar{x}}$	0.0773	0.0814	0.0669	0.0640	0.0522
$\%Error$	0.4144	0.6671	0.2325	0.3537	0.05*

* ค่าความผิดพลาดอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน รุ่น Fluke 54-2

4.3 ผลทดสอบการวัดอุณหภูมิในช่วงอุณภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส และสมการเส้นตรง Calibration Curve

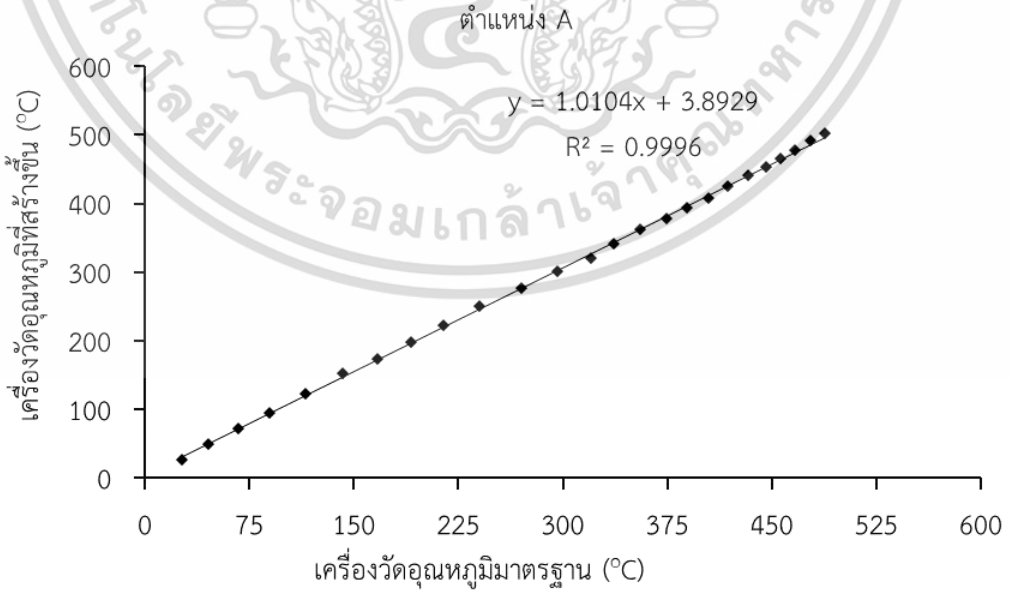
การทดสอบวัดอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียสของวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ในการทดลองได้วัดอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานทุกๆ 10 วินาที ผลบันทึกการวัดอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 9 ในภาคผนวก วิธีการวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



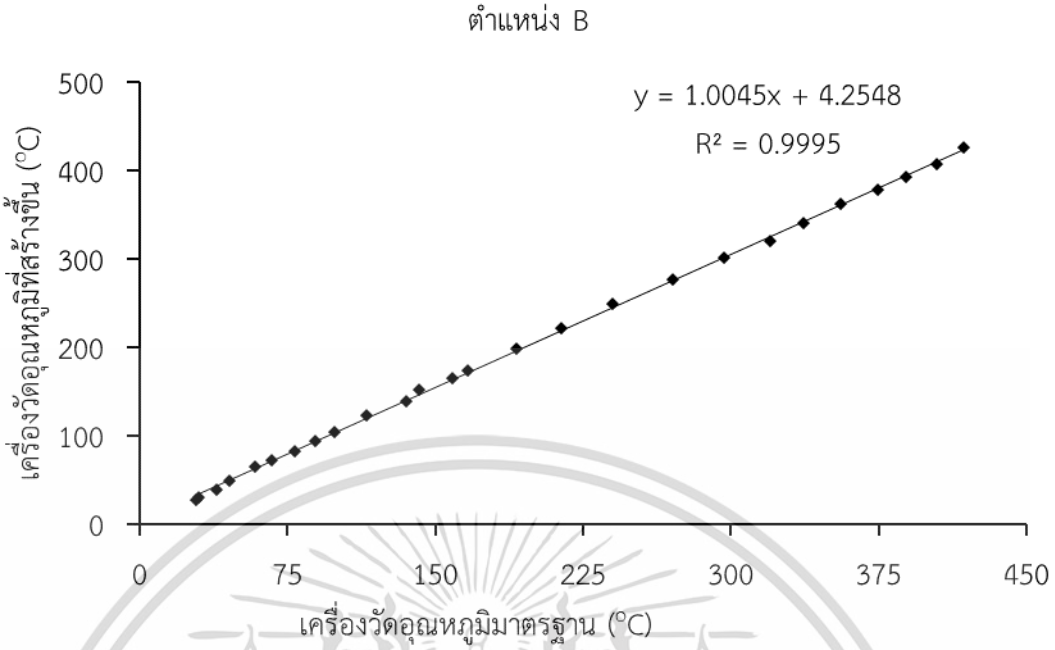
รูปที่ 4.2 การทดสอบวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง A, B, C, และ D ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานเมื่อนำข้อมูลมาหาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ค่าหาค่าความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น ผลแสดงดังรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.6 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ผลจาก สมการเส้นตรง Calibration Curve มีค่าอัตราส่วนของอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นกับอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานที่ตำแหน่ง A, B, C และ D มีค่าคือ 1.0104, 1.0045, 1.2183 และ 0.967 นั่นหมายความว่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขั้นเมื่อเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานมีอัตราส่วนใกล้เคียง 1 และ การวิเคราะห์ทางสถิติมีค่า R^2 มากกว่า 0.95 ซึ่งแสดงว่าการวัดอุณหภูมิในช่วงประมาณ 25 ถึง 500 องศาค่อนข้างแม่นยำ

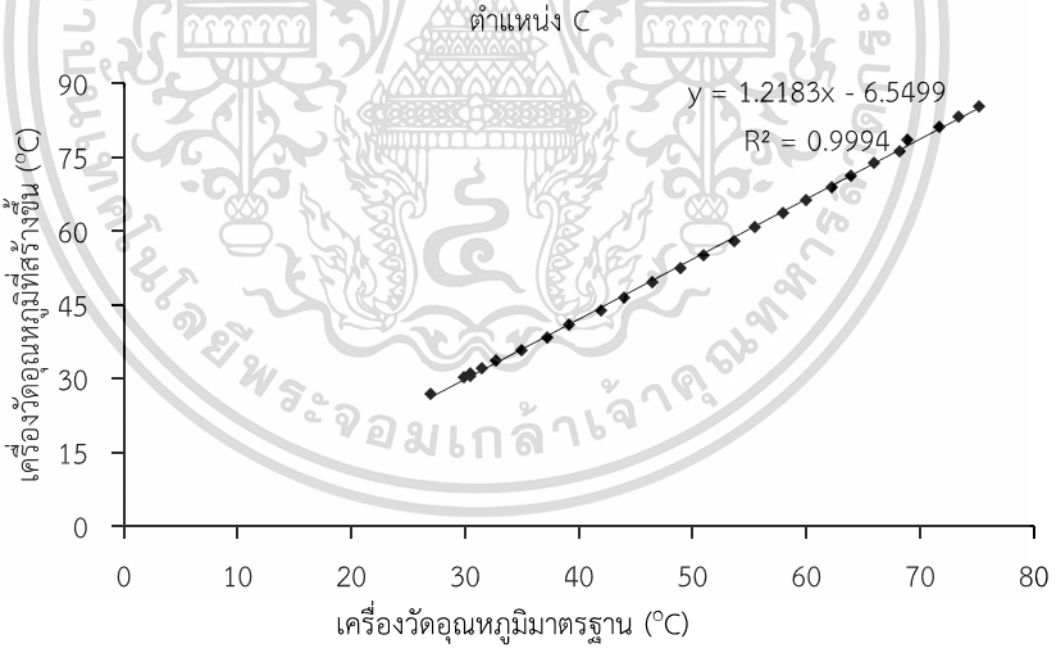


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

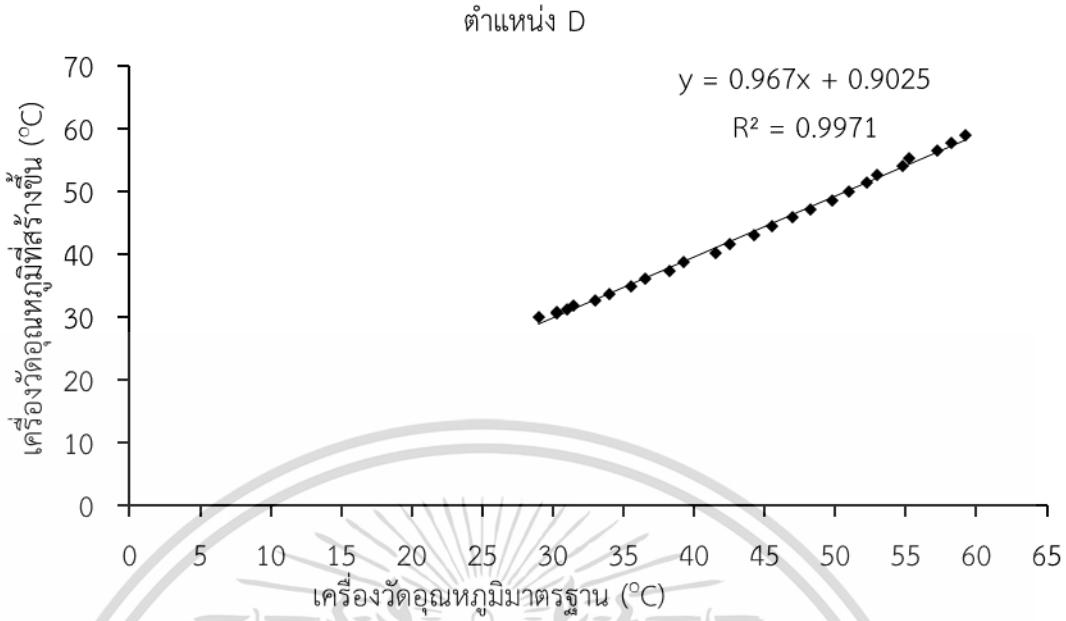


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง B



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง D

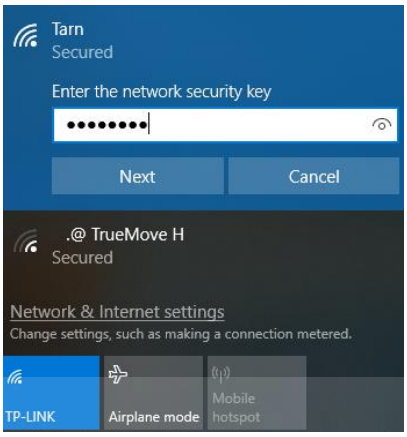
4.4 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บ ThingSpeak

4.4.1 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อส่งข้อมูลไปยังเว็บ ThingSpeak

การตั้งค่าโปรแกรมของระบบควบคุมเครื่องวัดอุณหภูมิในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนคำสั่งควบคุมระบบวัดอุณหภูมิร่วมกับเทคโนโลยี IoT และส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลการส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง A B C และ D ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงผ่านระบบ Wi-Fi แบบเรียลไทม์ไปยังบนเว็บ ThingSpesk โดยขั้นตอนการส่งข้อมูลจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นไปยังบนเว็บ ThingSpeak มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ต้องการเชื่อมต่อและรหัสผ่านการเชื่อมต่อให้ตรงกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างคือโดยการตั้งค่าที่ระบบครบคุมระบบวัดอุณหภูมิในโปรแกรม Arduino โดยรายละเอียดการเขียนโค๊ดและการเรียกใช้ไลบรารีได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.3 รูปที่ 4.7 แสดงการกำหนดสัญญาณ Wi-Fi และ การปล่อยสัญญาณจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น

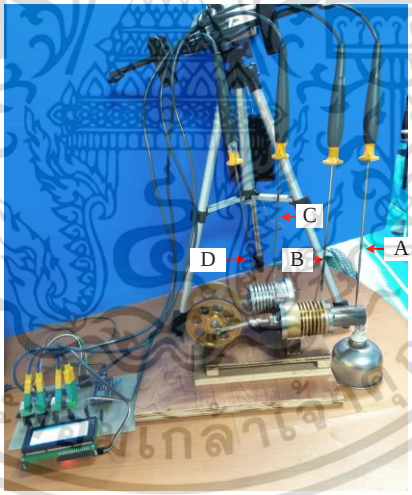
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




```
const char* ssid = "Tarn"; // กำหนดชื่อ Wi-Fi ที่จะใช้เชื่อมต่อชื่อ Tarn
const char* password = "123456789"; // กำหนดรหัส Wi-Fi คือ 123456789
```

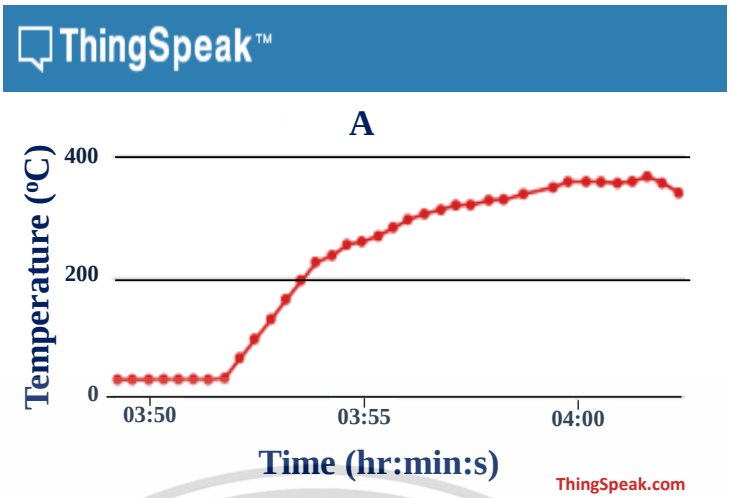
รูปที่ 4.7 การเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น

2. เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นจะทำการส่งข้อมูลไปยังบนเว็บ ThingSpeak ตามที่ได้ออกแบบดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.3.2 รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบการวัดอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ตำแหน่ง A B C และ D พบว่าเมื่อทำการทดลองวัดอุณหภูมิที่ห้องๆหนึ่งและดูผลอีกสถานที่หนึ่งผ่านบนเว็บ ThingSpeak เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้ ผลการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง A B C และ D แสดงดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.12

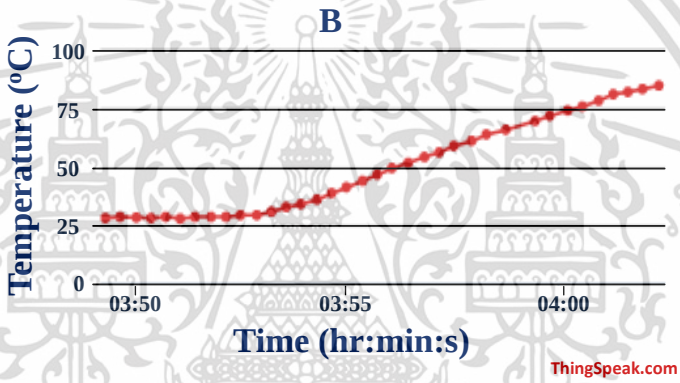


รูปที่ 4.8 การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อส่งข้อมูลไปยังบนเว็บ ThingSpeak

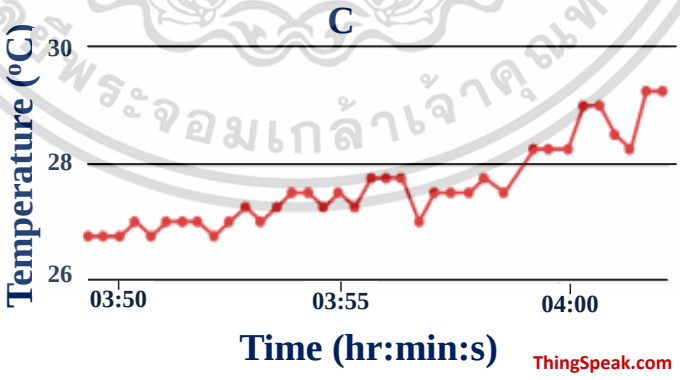
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง A

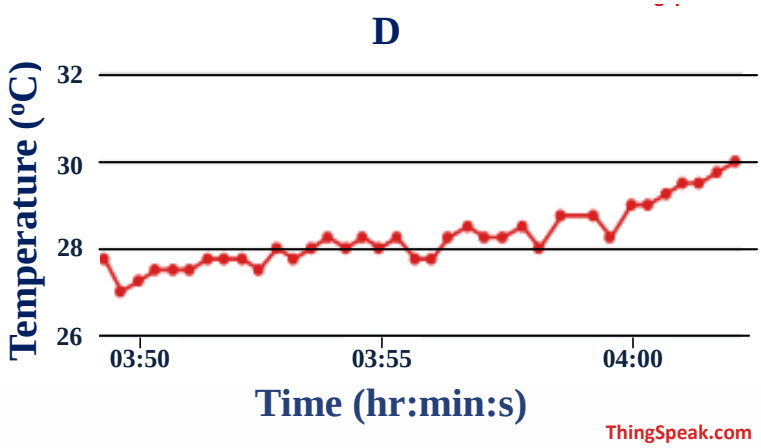


รูปที่ 4.10 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง B



รูปที่ 4.11 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลออนไลน์การส่งข้อมูลการวัดอุณหภูมิไปยังบนเว็บ ThingSpeak ที่ตำแหน่ง D

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อสัญญาณของระบบ Wi-Fi ขณะที่ทำการวัดอุณหภูมิมีสัญญาณที่ขาดหายระบบการเก็บข้อมูล Data logger ของเครื่องวัดอุณหภูมิจะทำการเก็บข้อมูลทั้งในกรณีที่มีสัญญาณ Wi-Fi และไม่มีสัญญาณ Wi-Fi อยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสอนแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดแบบ 4 แชนแนล โดยใช้หัววัดเทอร์คัปเปิลชนิด K ระบบวัดอุณหภูมินี้สามารถบันทึกข้อมูลในรูปแบบเวลาจริงใน SD การ์ด แสดงผลผ่านบนหน้าจอ LCD และส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บไซต์ ThingSpeaks ซึ่งการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ 1. ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิน้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2) 2. ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่น้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานหลังปรับค่าแก้ไขในโปรแกรมระบบวัดอุณหภูมิ 3. ผลทดสอบการวัดอุณหภูมิในช่วงอุณภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส และสมการเส้นตรง Calibration Curve และ 4. ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านระบบเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บ ThingSpeaks จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิน้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fluke 54-2) พบว่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละแชนแนลคือ 99.31, 99.96, 99.92 และ 99.83 ซึ่งเทียบกับอุณหภูมิของเครื่องมาตรฐานจะมีค่าความเคลื่อนเป็น 0.618%, 1.2766%, 1.2361% และ 1.1449% ตามลำดับ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.2315°C, 0.1866 °C, 0.1508 °C และ 0.1645 °C ตามลำดับ และการวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมีค่าเป็น 0.1035 °C, 0.0834 °C, 0.0675 °C และ 0.0736 °C ตามลำดับ

ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิที่น้ำเดือดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานหลังปรับค่าแก้ไขในโปรแกรมระบบวัดอุณหภูมิ พบว่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละแชนแนลคือ 98.53, 98.28, 98.71 และ 98.59 ซึ่งเทียบกับอุณหภูมิของเครื่องมาตรฐานจะมีค่าความเคลื่อนเป็น 0.4144%, 0.6671%, 0.2325% และ 0.3537% ตามลำดับ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.1728°C, 0.1821°C, 0.1497 °C และ 0.1431 °C ตามลำดับ และการวิเคราะห์ผลหาความไม่แน่นอนเนื่องจาก repeatability ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมีค่าเป็น 0.0773 °C, 0.0814 °C, 0.0669 °C และ 0.0640 °C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังการปรับค่าแก้ไขในโปรแกรมระบบวัดอุณหภูมิทำให้เครื่องวัดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพในการวัดอุณหภูมิที่ดีขึ้น

ผลทดสอบการวัดอุณหภูมิในช่วงอุณภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส และสมการเส้นตรง Calibration Curve จากการทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิของแต่ละแชนแนลมีค่า R^2 คือ 0.9996, 0.9995, 0.9993 และ 0.9971 ตามลำดับ ซึ่งค่า R^2 มากกว่า 0.95 ซึ่งถือได้ว่าเครื่องวัดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพดี

ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านระบบเครื่อข่ายอินเตอร์เน็ตไปยังบนเว็บ ThingSpeaks พบว่าเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ได้จริง และสามารถบันทึกข้อมูลลงใน SD การ์ดได้ทั้งในกรณีที่มีการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตและกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องวัดอุณหภูมินี้ควรมีการปรับเทียบเวลาของการส่งข้อมูลระหว่าง SD การ์ด กับเวลาส่งข้อมูลที่แสดงบนเว็บ ThigSpeak
2. เครื่องวัดอุณหภูมินี้ควรมีการหาค่าแก้ไขของระบบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] K. Saenyot, K. Locharoenrat and S. Lekchaum: Appl. Mech. Mater. Vol. 851 (2016), p.383

[2] S. Lekchaum and K. Locharoenrat: Appl. Mech. Mater. Vol. 835 (2016), p. 731

[3] H. H. Shaker, A. A. Saleh, A. H. Ali and M. A. Elaziz: Proceedings of ICM (2016), p. 309

[4] F. Arnold, I. Demallie, L. Florence and D. O. Kashinski: Rev. of Sci. Instr. Vol. 86 (2015), p. 0351121

[5] M. S. Chavan, V. S. Suryawanshi and S. S. Sankpal: Inter. J. Adv. Res. in Com. Sci. & Mgt.Studies Vol. 2 No. 11 (2014), p. 51

[6] ASTM committee E20 on temperature measurement, Manual on the use of thermocouples in temperature measurement fourth edition, 1993

[7] พล.อ.ต.ดร. เพียร โตท่าโรง. **ระบบมาตรวิทยา**. กรุงเทพฯ: สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, 2550

[8] ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). **คู่มือการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ, 2546

[9] สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2528

[10] S. M. Kim, H. S. Choi: Proceedings of ICWiSe (2015), p. 12

[11] P. Thota and Y. Kim: Proceedings of ACIT-CSII-BCD (2016), p. 43

[12] P. R. Dandekar, S. V. Gumaste and P. D. Dahiwale: Proceedings of ICWET (2010), p. 940

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	99.00	99.25	98.75	99.25	99.25	99.10	98.60
10	99.00	99.00	98.75	99.50	99.00	99.05	98.73
20	98.75	99.25	98.00	99.25	99.50	98.95	98.50
30	99.00	99.50	98.50	99.25	99.50	99.15	98.63
40	98.75	99.50	98.75	99.25	98.75	99.00	98.60
50	99.00	99.00	99.25	98.25	98.25	98.75	98.47
60	98.50	99.25	98.75	99.75	99.25	99.10	98.73
70	98.50	99.25	98.00	99.25	99.50	98.90	98.47
80	98.75	99.25	99.25	99.50	99.25	99.20	98.70
90	98.50	100.25	98.75	99.25	99.00	99.15	98.60
100	98.50	99.50	99.00	98.50	99.25	98.95	98.83
110	98.75	100.00	99.25	99.25	99.00	99.25	98.73
120	99.25	99.25	99.00	98.75	98.75	99.00	98.57
130	98.50	99.25	99.00	99.50	99.25	99.10	98.60
140	98.50	99.25	99.25	99.75	99.75	99.30	98.63
150	98.25	99.50	99.25	99.25	98.75	99.00	98.63
160	99.50	99.50	98.00	98.75	99.00	98.95	98.77
170	99.25	99.75	99.25	99.25	98.75	99.25	98.63
180	98.25	99.50	99.00	99.50	99.25	99.10	98.57
190	99.00	100.25	99.00	99.00	99.50	99.35	98.87
200	99.00	100.00	99.50	99.25	99.50	99.45	98.53
210	98.00	99.75	99.25	99.75	99.50	99.25	98.73
220	99.25	100.00	99.50	99.50	99.50	99.55	98.77
230	99.25	99.75	98.25	99.25	99.00	99.10	98.60
240	99.00	100.00	99.00	99.50	99.50	99.40	98.40
250	99.00	100.50	98.75	99.50	99.75	99.50	98.70
260	99.00	100.25	98.50	100.00	99.50	99.45	98.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
270	98.25	99.75	98.75	98.75	99.25	98.95	98.63
280	99.25	99.50	99.00	99.25	99.25	99.25	98.70
290	99.00	99.75	99.00	99.75	99.00	99.30	98.70
300	99.25	99.75	99.25	99.50	99.25	99.40	98.80
310	98.75	99.00	99.50	99.25	99.50	99.20	98.67
320	99.25	99.50	99.50	99.50	99.50	99.45	98.77
330	99.00	100.00	99.25	100.00	99.00	99.45	98.87
340	99.75	99.75	99.25	100.00	99.25	99.60	98.60
350	99.00	100.00	99.25	99.50	99.25	99.40	98.67
360	99.00	99.75	99.25	99.75	99.00	99.35	98.70
370	99.00	99.50	99.00	99.50	99.25	99.25	98.77
380	99.50	99.75	99.50	99.00	99.25	99.40	98.83
390	99.75	100.00	99.50	99.25	100.25	99.75	98.70
400	100.00	99.50	98.75	100.00	99.75	99.60	98.80
410	99.00	100.00	99.50	99.50	99.50	99.50	98.63
420	99.50	99.50	98.25	99.75	99.50	99.30	98.67
430	99.50	99.75	99.00	99.50	99.25	99.40	98.70
440	99.00	100.50	99.75	99.50	99.75	99.70	98.60
450	99.50	100.25	99.00	99.75	99.50	99.60	98.70
460	99.00	100.50	99.75	99.25	99.00	99.50	98.77
470	99.75	99.75	99.25	99.25	99.50	99.50	98.83
480	99.50	99.50	99.25	99.50	99.75	99.50	98.77
490	99.75	99.75	99.50	99.75	99.75	99.70	98.83
500	98.75	99.50	99.50	99.50	99.50	99.35	98.83
510	98.75	99.75	99.50	100.00	99.25	99.45	98.73
520	99.50	100.00	99.25	99.75	98.75	99.45	98.80
530	99.00	99.25	99.25	99.00	99.00	99.10	98.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
540	99.50	100.00	99.00	99.25	99.50	99.45	98.70
550	99.25	99.75	99.00	99.25	99.75	99.40	98.97
560	99.75	99.75	99.25	99.25	100.00	99.60	98.90
570	99.25	99.75	99.50	100.00	99.75	99.65	98.73
580	100.00	99.50	99.50	99.75	99.00	99.55	98.77
590	99.50	99.50	99.50	98.25	99.25	99.20	98.73
เฉลี่ย						99.3092	98.6978

ตารางที่ 2 การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	100.00	100.00	100.25	99.75	99.75	99.95	98.60
10	100.50	100.50	100.00	100.00	99.50	100.10	98.73
20	99.75	99.75	99.50	100.00	99.25	99.65	98.50
30	100.00	100.00	99.75	100.50	100.00	100.05	98.63
40	99.75	99.75	100.50	99.75	99.75	99.90	98.60
50	99.25	99.25	99.75	100.50	100.00	99.75	98.47
60	99.75	99.75	100.00	99.50	100.00	99.80	98.73
70	99.50	99.50	100.00	99.00	99.50	99.50	98.47
80	99.50	99.50	100.00	100.25	100.25	99.90	98.70
90	99.75	99.75	100.25	100.00	99.75	99.90	98.60
100	99.75	99.75	100.50	100.00	99.75	99.95	98.83
110	99.75	99.75	100.25	100.00	99.75	99.90	98.73
120	99.75	99.75	100.25	99.75	100.00	99.90	98.57
130	99.25	99.25	100.25	99.50	99.75	99.60	98.60
140	100.25	100.25	100.00	99.50	99.75	99.95	98.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
150	99.75	99.75	100.00	100.25	99.75	99.90	98.63
160	99.75	99.75	99.50	99.50	100.00	99.70	98.77
170	99.75	99.75	100.50	99.50	99.50	99.80	98.63
180	99.50	99.50	99.75	99.75	99.00	99.50	98.57
190	99.75	99.75	100.25	99.25	99.50	99.70	98.87
200	100.00	100.00	100.25	99.75	100.00	100.00	98.53
210	100.25	100.25	99.75	100.00	99.75	100.00	98.73
220	99.75	99.75	100.25	100.25	100.25	100.05	98.77
230	100.00	100.00	100.00	99.75	100.00	99.95	98.60
240	100.25	100.25	100.00	100.50	99.50	100.10	98.40
250	99.75	99.75	100.25	100.25	100.00	100.00	98.70
260	99.00	99.00	100.50	100.00	99.50	99.60	98.53
270	100.00	100.00	100.25	99.75	99.75	99.95	98.63
280	100.00	100.00	100.25	100.25	99.50	100.00	98.70
290	99.75	99.75	100.25	100.25	99.75	99.95	98.70
300	100.00	100.00	100.00	100.75	99.50	100.05	98.80
310	99.50	99.50	100.00	100.50	100.00	99.90	98.67
320	100.25	100.25	100.25	100.00	99.75	100.10	98.77
330	100.00	100.00	99.50	100.75	100.00	100.05	98.87
340	100.25	100.25	99.50	99.50	99.50	99.80	98.60
350	99.25	99.25	100.75	99.75	99.50	99.70	98.67
360	100.00	100.00	100.50	100.00	100.00	100.10	98.70
370	99.75	99.75	100.00	99.75	100.00	99.85	98.77
380	100.25	100.25	99.75	99.75	100.00	100.00	98.83
390	100.25	100.25	100.00	100.75	99.50	100.15	98.70
400	100.00	100.00	100.00	100.75	99.75	100.10	98.80
410	100.00	100.00	100.25	100.00	99.75	100.00	98.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
420	100.25	100.25	99.50	100.25	99.50	99.95	98.67
430	100.50	100.50	99.75	100.00	99.75	100.10	98.70
440	99.75	99.75	100.00	99.75	100.00	99.85	98.60
450	100.50	100.50	100.50	100.25	100.25	100.40	98.70
460	99.75	99.75	100.00	100.50	99.75	99.95	98.77
470	100.25	100.25	100.50	100.00	99.50	100.10	98.83
480	99.75	99.75	99.25	100.50	100.00	99.85	98.77
490	100.00	100.00	99.75	100.25	100.25	100.05	98.83
500	100.50	100.50	99.50	100.25	99.50	100.05	98.83
510	100.00	100.00	100.25	100.75	100.25	100.25	98.73
520	100.00	100.00	100.00	100.25	100.00	100.05	98.80
530	99.75	99.75	100.25	100.50	99.00	99.85	98.87
540	100.00	100.00	100.25	100.75	99.75	100.15	98.70
550	100.50	100.50	100.25	100.50	99.75	100.30	98.97
560	100.00	100.00	100.00	100.25	99.50	99.95	98.90
570	100.50	100.50	100.25	100.00	99.75	100.20	98.73
580	100.25	100.25	100.75	100.25	100.00	100.30	98.77
590	100.50	100.50	99.75	100.50	99.50	100.15	98.73
เฉลี่ย						99.96	98.70

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	98.75	100.25	99.50	99.50	99.75	99.55	98.60
10	99.25	100.00	100.00	99.75	99.75	99.75	98.73
20	99.00	100.25	99.75	100.00	100.25	99.85	98.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
30	99.50	100.00	99.75	99.75	99.75	99.75	98.63
40	99.00	100.00	99.25	100.00	99.25	99.50	98.60
50	99.25	100.25	99.75	100.25	100.50	100.00	98.47
60	99.75	100.25	99.75	100.25	100.25	100.05	98.73
70	98.75	100.00	99.50	99.75	99.75	99.55	98.47
80	99.50	99.75	99.75	100.25	100.25	99.90	98.70
90	99.25	100.00	99.75	100.25	100.00	99.85	98.60
100	99.50	100.25	99.75	100.00	100.00	99.90	98.83
110	99.00	100.50	99.50	99.75	100.25	99.80	98.73
120	99.25	99.75	99.75	99.50	100.50	99.75	98.57
130	99.25	100.50	99.25	100.25	100.00	99.85	98.60
140	99.25	100.00	99.75	100.00	100.25	99.85	98.63
150	99.50	100.25	100.00	100.00	99.75	99.90	98.63
160	99.50	100.25	100.25	100.25	99.75	100.00	98.77
170	99.25	99.75	99.75	99.75	100.75	99.85	98.63
180	99.50	99.75	100.00	100.50	100.00	99.95	98.57
190	99.50	100.25	99.75	100.25	100.50	100.05	98.87
200	99.25	100.00	100.00	100.25	100.25	99.95	98.53
210	99.50	99.75	100.25	100.25	100.00	99.95	98.73
220	99.50	99.75	100.00	99.50	100.25	99.80	98.77
230	99.25	100.25	100.25	100.25	100.25	100.05	98.60
240	99.25	100.25	99.25	100.25	100.25	99.85	98.40
250	99.75	100.25	99.75	100.00	100.50	100.05	98.70
260	100.00	100.25	100.00	100.00	99.75	100.00	98.53
270	99.50	100.25	100.00	100.00	100.00	99.95	98.63
280	99.50	100.25	100.00	99.75	100.50	100.00	98.70
290	99.50	100.00	100.25	100.25	100.25	100.05	98.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
300	99.00	99.50	100.00	100.25	100.50	99.85	98.80
310	99.00	99.25	100.25	100.00	100.00	99.70	98.67
320	99.50	100.00	100.25	99.75	100.00	99.90	98.77
330	99.25	100.00	99.75	100.00	100.50	99.90	98.87
340	99.50	100.25	100.00	100.25	100.00	100.00	98.60
350	99.00	100.00	99.50	100.00	100.00	99.70	98.67
360	99.75	99.75	100.25	100.00	100.25	100.00	98.70
370	99.50	100.25	99.25	100.00	100.25	99.85	98.77
380	99.75	100.00	100.00	99.75	100.00	99.90	98.83
390	99.75	100.00	100.00	100.00	99.75	99.90	98.70
400	100.00	100.25	100.00	99.75	100.00	100.00	98.80
410	99.25	100.25	100.00	100.25	100.50	100.05	98.63
420	99.50	100.00	100.00	100.25	100.00	99.95	98.67
430	99.25	100.25	99.75	99.75	100.00	99.80	98.70
440	99.75	100.25	100.00	100.50	100.25	100.15	98.60
450	99.75	100.00	100.25	100.00	100.50	100.10	98.70
460	99.25	100.00	100.00	100.50	100.75	100.10	98.77
470	99.75	100.00	99.50	100.00	100.00	99.85	98.83
480	99.25	99.25	100.00	100.50	100.00	99.80	98.77
490	99.75	100.25	100.25	100.25	100.00	100.10	98.83
500	99.75	99.75	99.75	100.00	100.25	99.90	98.83
510	99.75	99.25	99.75	100.50	100.25	99.90	98.73
520	99.50	99.75	100.00	100.00	100.25	99.90	98.80
530	99.00	100.25	100.25	100.50	100.25	100.05	98.87
540	99.75	100.00	100.00	100.50	100.50	100.15	98.70
550	99.50	100.25	100.00	100.25	100.25	100.05	98.97
560	100.25	100.00	99.75	100.50	100.00	100.10	98.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
570	99.75	100.25	100.00	100.25	99.75	100.00	98.73
580	100.00	100.25	100.50	100.50	100.25	100.30	98.77
590	99.75	100.00	100.25	100.25	100.25	100.10	98.73
เฉลี่ย						99.92	98.70

ตารางที่ 4 การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 4 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	99.25	100.00	99.25	100.00	100.00	99.70	98.60
10	99.50	99.50	99.00	100.25	99.75	99.60	98.73
20	99.00	100.25	99.50	100.00	99.25	99.60	98.50
30	99.25	99.25	98.75	99.75	99.25	99.25	98.63
40	99.50	99.50	99.25	100.25	99.75	99.65	98.60
50	99.50	100.00	99.50	100.25	99.75	99.80	98.47
60	100.00	99.75	99.50	100.00	100.00	99.85	98.73
70	99.25	99.50	99.00	100.50	100.00	99.65	98.47
80	99.00	100.00	99.25	100.00	99.75	99.60	98.70
90	99.25	100.00	99.25	100.00	100.00	99.70	98.60
100	99.50	99.50	99.75	100.50	100.00	99.85	98.83
110	99.50	99.75	99.75	100.00	99.75	99.75	98.73
120	99.25	100.00	99.50	99.75	99.50	99.60	98.57
130	99.75	100.00	99.50	100.50	100.00	99.95	98.60
140	99.75	100.25	100.25	99.50	100.00	99.95	98.63
150	99.50	100.25	99.75	100.00	99.00	99.70	98.63
160	100.00	98.75	99.00	100.25	99.75	99.55	98.77
170	100.00	99.50	99.50	100.25	99.75	99.80	98.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 4 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
180	99.50	99.75	99.50	100.25	100.25	99.85	98.57
190	100.25	99.50	100.00	100.00	99.50	99.85	98.87
200	99.50	99.75	99.75	100.50	100.00	99.90	98.53
210	99.50	99.50	100.00	100.50	100.00	99.90	98.73
220	99.75	99.50	100.00	100.00	99.75	99.80	98.77
230	99.00	99.50	99.50	100.00	100.00	99.60	98.60
240	100.00	99.00	99.25	100.50	100.00	99.75	98.40
250	99.75	99.50	99.00	99.75	100.25	99.65	98.70
260	99.25	99.75	99.75	100.50	100.25	99.90	98.53
270	99.75	99.25	99.75	100.50	100.00	99.85	98.63
280	99.25	100.25	99.50	100.25	100.00	99.85	98.70
290	99.50	99.00	99.75	100.50	100.00	99.75	98.70
300	99.50	100.00	99.50	100.50	100.00	99.90	98.80
310	99.50	100.50	99.25	100.00	100.00	99.85	98.67
320	100.00	99.50	98.50	100.75	100.00	99.75	98.77
330	100.00	100.00	98.50	100.25	99.50	99.65	98.87
340	99.75	99.75	99.75	100.50	99.75	99.90	98.60
350	100.00	99.75	99.50	100.00	100.25	99.90	98.67
360	99.75	99.50	99.50	100.50	100.25	99.90	98.70
370	100.00	99.25	99.25	100.00	100.25	99.75	98.77
380	99.50	100.50	98.75	100.50	100.25	99.90	98.83
390	99.50	99.50	99.25	100.50	100.00	99.75	98.70
400	100.00	100.50	99.50	100.25	100.50	100.15	98.80
410	100.00	100.00	99.00	100.00	99.75	99.75	98.63
420	100.00	99.25	100.00	100.25	99.75	99.85	98.67
430	99.75	100.00	99.75	100.25	99.75	99.90	98.70
440	99.50	100.00	99.75	100.50	99.50	99.85	98.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 4 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้าง

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
450	99.75	100.50	99.50	100.50	100.00	100.05	98.70
460	99.50	100.00	99.25	100.00	100.00	99.75	98.77
470	100.00	100.00	99.00	100.25	100.25	99.90	98.83
480	99.25	100.00	99.75	100.00	100.25	99.85	98.77
490	99.75	100.75	99.75	100.25	100.00	100.10	98.83
500	99.75	100.25	99.50	100.25	100.00	99.95	98.83
510	99.75	100.25	99.50	100.50	100.00	100.00	98.73
520	99.75	100.00	99.50	100.50	100.25	100.00	98.80
530	99.75	99.75	99.25	100.50	100.00	99.85	98.87
540	99.50	100.25	100.00	100.25	100.50	100.10	98.70
550	100.25	100.00	99.75	100.50	100.25	100.15	98.97
560	100.00	100.00	99.50	100.50	99.75	99.95	98.90
570	100.25	99.75	99.75	100.25	100.50	100.10	98.73
580	99.25	100.50	99.25	100.75	100.00	99.95	98.77
590	100.00	100.50	99.50	100.50	99.50	100.00	98.73
เฉลี่ย						99.83	98.70

ตารางที่ 5 การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	98.92	99.17	97.92	98.67	98.92	98.72	98.83
10	98.42	98.42	98.67	98.17	98.42	98.42	98.82
20	98.92	98.67	98.42	98.42	98.42	98.57	98.77
30	99.42	97.67	97.67	98.17	97.92	98.17	98.67
40	99.67	98.42	98.42	97.92	98.42	98.57	98.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
50	98.92	98.67	97.92	98.67	98.17	98.47	98.84
60	98.92	98.67	98.67	98.17	98.17	98.52	98.84
70	99.17	98.42	98.42	98.42	97.92	98.47	98.86
80	98.67	98.67	97.67	97.67	97.92	98.12	98.84
90	99.42	98.92	98.67	98.67	98.42	98.82	98.8
100	98.67	98.42	98.17	98.42	97.92	98.32	98.93
110	99.17	98.42	97.92	98.42	97.92	98.37	98.88
120	98.92	98.67	98.42	98.67	98.42	98.62	98.75
130	98.92	98.92	98.17	98.67	98.17	98.57	98.8
140	98.67	98.67	98.42	98.67	98.42	98.57	98.79
150	99.17	98.42	98.42	98.17	97.92	98.42	98.94
160	98.17	98.17	98.67	98.67	98.42	98.42	98.86
170	99.17	98.67	97.67	98.67	98.42	98.52	98.88
180	98.92	99.17	98.42	98.42	98.67	98.72	98.78
190	98.67	98.67	97.67	97.92	98.17	98.22	98.87
200	99.17	98.67	98.17	98.42	98.42	98.57	98.97
210	98.42	98.42	98.17	98.17	98.17	98.27	99.04
220	98.92	98.42	97.92	98.42	98.17	98.37	98.78
230	99.17	98.67	98.42	98.42	98.67	98.67	98.96
240	98.42	98.42	98.17	98.67	98.92	98.52	99.02
250	98.42	98.67	97.92	98.17	98.67	98.37	98.96
260	98.67	98.67	98.42	98.67	98.42	98.57	98.94
270	98.92	98.92	98.42	97.42	98.17	98.37	99.03
280	99.17	98.92	98.67	98.17	98.67	98.72	98.97
290	99.17	99.17	98.42	98.17	98.17	98.62	98.99
300	99.17	98.67	98.42	98.17	98.17	98.52	99.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
310	99.42	98.67	97.67	97.92	98.42	98.42	98.97
320	99.17	98.42	98.42	98.17	98.42	98.52	98.92
330	99.17	99.17	97.92	97.67	98.42	98.47	98.9
340	99.17	98.42	98.42	98.42	97.67	98.42	99.01
350	98.42	98.42	97.92	97.42	98.17	98.07	98.92
360	98.67	99.17	98.67	98.42	98.67	98.72	98.89
370	98.92	99.17	98.17	98.17	98.42	98.57	99.01
380	99.17	98.42	98.42	98.67	98.42	98.62	98.98
390	99.67	98.92	98.42	98.42	98.42	98.77	98.91
400	98.67	99.17	98.17	97.67	98.67	98.47	98.94
410	99.17	98.92	98.67	98.17	98.92	98.77	99.02
420	98.92	98.42	97.92	97.92	97.92	98.22	99.02
430	99.42	98.92	98.42	98.42	98.42	98.72	99.07
440	98.92	98.67	98.17	97.92	98.42	98.42	99.03
450	99.17	98.67	98.17	98.67	98.17	98.57	98.93
460	98.92	98.92	98.67	98.42	98.42	98.67	98.97
470	98.92	98.42	98.42	98.67	98.92	98.67	98.99
480	98.92	98.67	98.42	98.17	98.67	98.57	99.02
490	98.92	99.17	97.92	98.42	98.42	98.57	99.04
500	98.92	98.67	98.17	98.67	98.67	98.62	99.09
510	99.42	98.17	98.17	98.42	98.17	98.47	99.06
520	99.17	98.42	98.92	98.42	98.42	98.67	99.14
530	99.42	98.92	98.17	98.17	98.17	98.57	99.03
540	99.17	98.67	97.42	98.17	99.17	98.52	99.01
550	99.42	98.42	98.42	98.17	98.42	98.57	99.06
560	99.17	98.92	98.67	98.67	97.92	98.67	99.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 1 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
570	99.42	98.92	98.67	98.42	98.42	98.77	99.15
580	99.17	99.42	98.92	97.92	98.67	98.82	99.08
590	98.92	98.92	98.42	98.92	98.92	98.82	99.15
เฉลี่ย						98.53	98.94

ตารางที่ 6 การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	98.17	98.42	98.17	98.17	98.17	98.22	98.83
10	98.17	97.92	97.92	98.42	97.67	98.02	98.82
20	98.17	97.67	98.42	98.67	97.92	98.17	98.77
30	97.67	98.17	97.67	97.42	98.42	97.87	98.67
40	97.92	98.17	98.17	98.17	97.67	98.02	98.58
50	98.17	98.17	98.42	97.92	97.92	98.12	98.84
60	98.92	98.42	98.17	97.67	97.92	98.22	98.84
70	98.17	97.92	98.17	98.17	97.67	98.02	98.86
80	98.17	98.17	98.42	98.67	97.67	98.22	98.84
90	98.42	97.92	98.67	98.17	97.67	98.17	98.80
100	98.67	98.17	98.17	98.42	97.67	98.22	98.93
110	98.17	97.92	97.92	98.17	97.92	98.02	98.88
120	98.42	97.92	98.42	98.42	98.17	98.27	98.75
130	98.42	98.42	98.42	98.42	98.42	98.42	98.80
140	98.17	98.67	98.17	98.67	97.67	98.27	98.79
150	98.17	98.17	98.17	98.42	98.17	98.22	98.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
160	98.67	98.17	98.17	97.67	98.67	98.27	98.86
170	98.42	97.67	97.92	98.67	97.92	98.12	98.88
180	98.92	98.92	98.42	98.42	97.67	98.47	98.78
190	98.67	98.17	98.42	98.67	98.42	98.47	98.87
200	98.17	97.42	98.42	97.67	97.92	97.92	98.97
210	98.42	98.42	97.92	98.17	97.67	98.12	99.04
220	98.17	98.17	98.67	98.42	97.67	98.22	98.78
230	98.42	98.17	98.17	97.67	98.17	98.12	98.96
240	97.92	98.17	98.42	98.17	97.92	98.12	99.02
250	98.42	97.92	98.42	98.42	97.67	98.17	98.96
260	98.42	97.92	98.67	98.42	97.92	98.27	98.94
270	98.42	98.42	98.42	98.17	98.17	98.32	99.03
280	98.92	97.92	97.67	98.17	97.67	98.07	98.97
290	98.67	98.67	98.67	98.17	98.42	98.52	98.99
300	98.17	98.17	98.42	98.67	97.17	98.12	99.03
310	98.67	98.67	97.92	98.42	98.17	98.37	98.97
320	98.42	98.67	97.92	98.42	98.67	98.42	98.92
330	98.17	98.92	98.17	97.92	98.17	98.27	98.90
340	98.17	98.42	98.42	98.42	98.42	98.37	99.01
350	98.17	98.42	98.67	97.67	97.92	98.17	98.92
360	98.17	98.42	97.92	98.17	97.92	98.12	98.89
370	98.67	97.92	98.42	97.92	98.17	98.22	99.01
380	98.42	97.92	98.92	98.67	98.17	98.42	98.98
390	97.92	98.67	98.67	98.17	97.67	98.22	98.91
400	98.42	98.42	97.67	98.42	98.42	98.27	98.94
410	98.92	98.42	98.67	98.17	98.17	98.47	99.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 2 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น หลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
420	98.92	98.17	98.92	98.67	98.17	98.57	99.02
430	98.92	98.17	98.42	98.42	97.92	98.37	99.07
440	98.42	98.42	98.17	98.42	97.67	98.22	99.03
450	98.67	98.17	98.42	98.17	98.17	98.32	98.93
460	98.42	99.17	99.17	98.67	97.92	98.67	98.97
470	98.17	99.17	98.17	98.17	97.92	98.32	98.99
480	98.67	98.17	98.42	98.67	98.17	98.42	99.02
490	98.67	98.17	98.92	98.67	98.67	98.62	99.04
500	98.42	98.92	98.42	98.67	97.67	98.42	99.09
510	98.92	98.67	98.17	97.92	98.17	98.37	99.06
520	98.17	98.42	98.17	97.92	97.92	98.12	99.14
530	98.67	98.67	98.42	97.92	97.92	98.32	99.03
540	98.92	98.67	98.67	98.17	98.17	98.52	99.01
550	98.42	98.67	98.67	98.67	98.17	98.52	99.06
560	98.92	98.42	98.17	98.67	97.92	98.42	99.07
570	98.42	98.92	98.67	98.92	98.42	98.67	99.15
580	98.67	98.67	98.67	98.67	98.42	98.62	99.08
590	98.42	98.67	98.42	98.42	97.42	98.27	99.15
เฉลี่ย						98.28	98.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	98.40	98.65	98.40	98.40	98.65	98.50	98.83
10	98.40	98.65	98.40	99.15	98.15	98.55	98.82
20	98.90	98.65	98.40	98.40	98.65	98.60	98.77
30	99.15	98.40	98.15	99.15	98.65	98.70	98.67
40	98.15	98.65	98.40	98.90	98.40	98.50	98.58
50	98.40	98.40	98.40	98.90	98.15	98.45	98.84
60	98.40	98.15	98.65	98.40	98.40	98.40	98.84
70	98.15	98.15	98.65	98.90	98.15	98.40	98.86
80	98.65	98.90	98.40	98.40	98.15	98.50	98.84
90	98.90	98.65	98.65	99.15	98.40	98.75	98.80
100	98.15	98.40	98.65	98.90	98.40	98.50	98.93
110	98.90	98.90	98.65	98.65	98.15	98.65	98.88
120	98.15	98.65	98.90	98.90	98.40	98.60	98.75
130	98.40	98.90	98.40	98.90	98.40	98.60	98.80
140	98.65	98.65	98.90	99.15	98.40	98.75	98.79
150	98.40	98.65	98.40	99.15	98.65	98.65	98.94
160	98.65	98.40	98.65	99.15	98.90	98.75	98.86
170	98.40	98.15	98.90	99.15	98.15	98.55	98.88
180	98.65	98.15	98.90	98.90	98.15	98.55	98.78
190	98.15	98.15	98.90	98.65	98.65	98.50	98.87
200	98.90	98.65	98.65	98.40	98.15	98.55	98.97
210	98.15	99.15	98.90	98.65	98.40	98.65	99.04
220	98.90	98.65	98.65	99.15	98.15	98.70	98.78
230	98.90	98.90	98.65	99.15	98.65	98.85	98.96
240	98.65	98.40	98.90	98.65	98.40	98.60	99.02
250	98.90	98.90	98.90	98.90	98.65	98.85	98.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
260	98.65	98.65	98.65	98.90	98.65	98.70	98.94
270	98.65	98.90	98.90	98.90	98.90	98.85	99.03
280	99.15	98.40	98.40	98.15	98.40	98.50	98.97
290	99.15	98.90	99.15	98.90	98.15	98.85	98.99
300	99.15	98.90	98.40	98.65	98.65	98.75	99.03
310	99.15	99.15	98.65	99.15	97.90	98.80	98.97
320	98.40	98.90	99.15	99.15	98.40	98.80	98.92
330	98.40	98.40	99.15	98.90	98.65	98.70	98.90
340	98.40	98.90	98.90	99.15	98.90	98.85	99.01
350	98.90	98.90	99.15	98.65	98.40	98.80	98.92
360	98.90	99.15	98.65	98.90	98.40	98.80	98.89
370	98.90	98.90	98.40	99.40	98.40	98.80	99.01
380	99.15	98.90	98.90	99.15	98.65	98.95	98.98
390	98.65	98.65	99.15	98.40	98.15	98.60	98.91
400	98.65	98.90	99.15	98.90	98.90	98.90	98.94
410	99.15	99.15	98.90	98.90	98.40	98.90	99.02
420	98.90	98.40	98.90	98.90	98.40	98.70	99.02
430	98.90	98.90	98.65	98.65	98.65	98.75	99.07
440	99.15	98.65	98.65	98.90	98.40	98.75	99.03
450	99.15	98.90	98.90	98.90	98.40	98.85	98.93
460	98.90	98.65	99.15	99.15	98.65	98.90	98.97
470	98.90	98.65	99.15	99.15	98.65	98.90	98.99
480	98.90	98.90	98.40	99.40	98.40	98.80	99.02
490	98.40	99.40	99.15	99.15	98.65	98.95	99.04
500	98.65	98.65	99.15	98.65	98.15	98.65	99.09
510	98.90	98.40	98.65	98.40	98.40	98.55	99.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 3 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
520	98.90	99.15	99.15	99.15	98.40	98.95	99.14
530	98.65	98.90	98.90	99.15	98.65	98.85	99.03
540	98.90	98.90	99.15	99.15	98.15	98.85	99.01
550	99.15	98.15	99.15	99.15	98.40	98.80	99.06
560	99.15	98.40	98.65	99.15	98.65	98.80	99.07
570	98.90	98.90	99.15	99.15	98.40	98.90	99.15
580	98.90	98.40	98.90	99.40	98.15	98.75	99.08
590	98.65	98.90	98.90	99.15	98.40	98.80	99.15
เฉลี่ย						98.71	98.94

ตารางที่ 8 การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 4 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	98.65	98.40	98.40	98.65	98.40	98.50	98.83
10	98.15	98.40	98.40	98.90	98.40	98.45	98.82
20	98.15	98.90	98.15	98.15	98.65	98.40	98.77
30	98.15	98.90	98.40	98.40	98.65	98.50	98.67
40	98.15	98.15	98.40	98.65	98.65	98.40	98.58
50	98.40	98.15	98.40	98.40	98.15	98.30	98.84
60	98.40	98.15	98.15	98.65	98.40	98.35	98.84
70	98.40	98.15	98.15	98.40	98.90	98.40	98.86
80	98.65	98.40	98.15	98.15	98.65	98.40	98.84
90	98.65	98.40	98.40	98.90	98.15	98.50	98.80
100	98.65	98.65	98.65	98.90	98.65	98.70	98.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 4 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
110	98.40	98.15	98.40	98.40	98.40	98.35	98.88
120	98.40	98.40	98.40	98.40	98.90	98.50	98.75
130	98.40	98.65	98.90	98.40	98.90	98.65	98.80
140	98.40	98.65	98.40	98.65	98.90	98.60	98.79
150	98.40	98.40	98.40	98.40	98.65	98.45	98.94
160	98.40	98.65	98.65	98.65	99.40	98.75	98.86
170	98.65	98.65	98.40	98.65	98.40	98.55	98.88
180	98.65	98.65	98.40	98.65	98.65	98.60	98.78
190	98.65	98.65	98.90	98.90	98.40	98.70	98.87
200	98.65	98.15	98.90	98.40	98.40	98.50	98.97
210	98.40	98.90	98.90	98.65	98.65	98.70	99.04
220	98.65	98.90	98.65	98.90	98.40	98.70	98.78
230	98.65	98.65	98.65	98.65	98.90	98.70	98.96
240	98.15	98.65	98.65	98.40	98.65	98.50	99.02
250	98.65	98.65	98.40	98.65	98.40	98.55	98.96
260	98.65	98.65	98.15	98.40	98.65	98.50	98.94
270	98.65	98.65	98.15	98.65	98.65	98.55	99.03
280	98.65	98.90	98.40	98.90	98.90	98.75	98.97
290	98.65	98.90	98.15	98.90	98.65	98.65	98.99
300	98.65	98.90	98.15	98.90	98.65	98.65	99.03
310	98.65	98.90	98.65	98.65	98.40	98.65	98.97
320	98.65	98.40	98.40	98.40	98.65	98.50	98.92
330	98.40	98.90	98.65	98.65	98.40	98.60	98.90
340	98.40	98.15	98.40	98.65	98.40	98.40	99.01
350	98.65	98.40	98.65	98.90	98.40	98.60	98.92
360	98.65	98.65	98.40	98.90	98.40	98.60	98.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 (ต่อ) การบันทึกผลการทดสอบวัดอุณหภูมิแชนแนลที่ 4 ของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นหลังแก้ค่าแก้ไขในระบบวัดอุณหภูมิ

เวลา (s)	เครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C)						เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
370	98.40	98.65	98.40	98.40	98.65	98.50	99.01
380	98.40	98.65	98.65	98.90	98.15	98.55	98.98
390	98.90	98.40	98.40	98.65	98.65	98.60	98.91
400	98.40	98.15	98.15	98.40	98.65	98.35	98.94
410	98.40	98.65	98.40	98.90	98.90	98.65	99.02
420	98.65	98.65	98.90	98.65	98.90	98.75	99.02
430	98.40	98.15	98.40	98.65	98.65	98.45	99.07
440	98.65	98.40	98.65	98.90	98.15	98.55	99.03
450	98.90	98.15	98.65	98.90	99.15	98.75	98.93
460	98.65	98.90	98.15	98.65	98.90	98.65	98.97
470	98.65	98.15	98.90	98.65	98.65	98.60	98.99
480	98.40	98.40	98.40	98.65	98.90	98.55	99.02
490	98.65	98.65	98.90	98.65	98.65	98.70	99.04
500	98.65	98.90	98.65	98.90	98.40	98.70	99.09
510	98.90	99.15	98.90	98.90	99.15	99.00	99.06
520	98.40	99.15	98.65	98.90	98.65	98.75	99.14
530	98.65	98.90	98.90	98.90	98.90	98.85	99.03
540	98.40	98.65	98.40	98.65	98.65	98.55	99.01
550	98.40	99.15	98.65	98.90	98.65	98.75	99.06
560	98.65	98.65	98.90	99.15	98.90	98.85	99.07
570	98.65	98.90	98.40	98.90	98.90	98.75	99.15
580	98.15	98.90	98.40	98.90	99.15	98.70	99.08
590	98.65	98.90	98.90	98.65	98.65	98.75	99.15
เฉลี่ย						98.59	98.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมด
วัน เดือน ปีเกิด	3 เมษายน พ.ศ. 2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	156 หมู่ 5 ตำบลสี่หมื่น อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี 70130
ประวัติการศึกษา	(2558) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.85 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	(2561) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.44 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	1. Home-made temperature monitoring system from four-channel K-type thermocouples via internet of thing technology platform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้