



วิทยานิพนธ์

การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด

**NON- CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT WITH
INFRARED THERMOCOUPLE SENSORS**

นายศิริพงษ์ เทศนา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (มาตรวิทยา)

ปริญญา

มาตรวิทยา

ฟิสิกส์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด

Non-Contact Temperature Measurement with Infrared Thermocouple Sensors

นามผู้วิจัย นายศิริพงษ์ เทศนา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ เชียงกา, Dr.rer.nat.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพปฎล สุทธิศิริ, M.S.)

กรรมการ

(อาจารย์เอกชัย หุ่นนิวัฒน์, M.S.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์เอกชัย หุ่นนิวัฒน์, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๕ เดือน พ.ศ. พ.ศ. 255๐

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด

Non-Contact Temperature Measurement with Infrared Thermocouple Sensors

โดย

นายศิริพงษ์ เทศนา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (มาตรวิทยา)

พ.ศ. 2550

ศิริพงษ์ เทศนา 2550: การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิล
อินฟราเรด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (มาตรวิทยา) สาขามาตรวิทยา
ภาควิชาฟิสิกส์ ปรชานกรรการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ เชียงกา, Dr.rer.nat.
50 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดของบริษัท Exergen รุ่น IRT/CX1 เพื่อใช้เป็นตัวตรวจรู้อุณหภูมิแบบไม่สัมผัส สัญญาณเอาท์พุทจากเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดได้รับการขยายด้วยไอซีเบอร์ AD595 และส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16 เพื่อแปลงสัญญาณและประมวลผลซึ่งผลของการวัดจะแสดงเป็นอุณหภูมิองศาเซลเซียสทางจอคอมพิวเตอร์โดยซอฟต์แวร์โปรแกรม Visual Basic และ Microsoft Excel

จากการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับตัวสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดของบริษัท Hart Scientific รุ่น 9133 ณ ห้องปฏิบัติการอุณหภูมิเชิงแสง ฝ่ายมาตรวิทยา อุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ประเทศไทย พบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีการตอบสนอง (Responsibility) อุณหภูมิในช่วง 40 c ถึง 140 c ได้ดี มีความแม่นยำ (Accuracy) เท่ากับ ± 3.719 °c มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) และสามารถสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ผลของการวัด



ลายมือชื่อนิติสด



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

๒๑ / ๓๑๓. / ๒๕๕๐.

Siripong Tesana 2007: Non-Contact Temperature Measurement with Infrared Thermocouple Sensors. Master of Science (Metrology), Major Field: Metrology, Department of Physics.
Thesis Advisor: Assistant Professor Surasak Chiangga, Dr.rer.nat. 50 pages.

This thesis studies the performance of infrared thermo couple product of Exergen, Model IRT/CX1 for non-contact temperature sensor. The output of infrared thermocouple is amplified by IC AD595, and then passed to the PIC16 microcontroller which has been programmed to read the values of the infrared thermocouple and sent them to the computer. The Visual Basic programming and Microsoft Excel are used to display temperature via a personal computer monitor.

This constructed device was calibrated against the infrared thermocouple product of Hart Scientific model 9133, at the laboratory of temperature thermometry. National Institute of Metrology, Thailand. The results show that the device has temperature responsibility, linearity, measurement traceability in the range of 40° c to 120° c and accuracy to within $\pm 3.719^\circ$

Mr. Siripong Tesana

Student's signature

Surasak Chiangga

Thesis Advisor's signature

29 / 10 / 50

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เชียงกา ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพพล สุทธิศิริ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก อาจารย์เอกชัย หุ่นนิวัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง และขอกราบขอบพระคุณผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย รองศาสตราจารย์สัจจาทิพย์ ทศนียพันธ์ุ ที่ได้ให้ความกรุณาอบรมสั่งสอนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณอุทัย นรนิ่ม หัวหน้าห้องปฏิบัติการมาตรวิทยาอุณหภูมิจำกัดและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการมาตรวิทยาอุณหภูมิจำกัด เชียงแสง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ประเทศไทย ที่ได้กรุณารับเป็นที่ปรึกษาในด้านการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ และขอกราบขอบพระคุณ Professor Dr. Keneth Janes ห้องปฏิบัติการ Astronomy physics. The Department of Astronomy at Boston University Massachusetts USA. ที่ได้กรุณารับเป็นที่ปรึกษาในด้านการออกแบบเครื่องมือวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด และขอกราบขอบพระคุณ คุณมนทกานต์ ภรรยาของท่านอาจารย์ Professor Dr. Keneth Janes ได้กรุณาให้ที่พักและอาหารตลอดระยะเวลาที่ไปศึกษาวิจัย ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา ขอกราบขอบพระคุณ Dr.Francisco Pompai at exergen company ที่กรุณาสนับสนุนอุปกรณ์การทำวิจัยและการศึกษาคูงาน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพนม วรวิทย์ธร เจ้าของภัตตาคาร Thai Garden USA.

ขอขอบพระคุณท่านผู้บริหารสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความสำคัญในการพัฒนาบุคลากรและให้การสนับสนุนในศึกษา

ลูกขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดาผู้ให้กำเนิดและเลี้ยงดูลูกอย่างดี ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวและเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจ

ศิริพงษ์ เทศนา

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
วัสดุและอุปกรณ์	31
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	34
ผล	34
วิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	38
สรุป	38
ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่า การเปล่งรังสี ของวัสดุบางชนิด	9
2	แสดงความไวและย่านการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิล	15
ตารางผนวกที่		
1	ค่าประมาณสภาพการแผ่รังสีของวัสดุ	42
2	สภาพการแผ่รังสีของโลหะ	44
3	ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของ เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับตัวสอบเทียบแบบวัดจุดดำที่อุณหภูมิ 50°C	46
4	ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของ เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับตัวสอบเทียบแบบวัดจุดดำที่อุณหภูมิ 60°C	46
5	ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของ เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับตัวสอบเทียบแบบวัดจุดดำที่อุณหภูมิ 90°C	47
6	ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของ เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับตัวสอบเทียบแบบวัดจุดดำที่อุณหภูมิ 100°C	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
2	กราฟแสดงการแจกแจงพลังงานการแผ่รังสีของวัตถุดำ	7
3	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเข้มของการแผ่รังสีตามกฎการกระจัดของวิน	10
4	แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K-140	14
5	หัววัดการแผ่รังสีความร้อนใช้เทอร์โมคัปเปิลต่ออนุกรมกันเรียกว่าเทอร์โมโพล์	22
6	ส่วนประกอบของหัววัดเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด	23
7	วงจรภายในไอซีเบอร์ AD595	24
8	การอินเตอร์เฟสเครื่องมือวัดการแผ่รังสีความร้อนกับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์	24
9	ตัวสอบเทียบแบบวัตถุดำ	25
10	การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบอุณหภูมิเชิงแสง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	26
11	แผนภาพการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส	32
12	กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 50 °C	34
13	กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 60 °C	35
14	กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 90 °C	36
15	กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 100 °C	36
ภาพผนวกที่		
1	รายการจำเพาะของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด	48
2	แสดงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Tables) ของ Exergen	49

การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด

Non-Contact Temperature Measurement with Infrared Thermocouple Sensors

คำนำ

การศึกษาระบบการวัดอุณหภูมิที่ไม่ต้องนำตัวตรวจรู้ไปสัมผัสโดยตรงกับแหล่งกำเนิดความร้อนจะเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมมุติฐานของพลังค์ พลังงานของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นกลุ่มก้อนพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งต่อมาเรียกกลุ่มก้อนพลังงานนี้ว่า “โฟตอน” มีคุณสมบัติคือมีสมบัติของคลื่นและอนุภาค จะเดินทางในสุญญากาศด้วยอัตราเร็วเท่ากับแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังพื้นผิวของวัตถุซึ่งพื้นผิวนั้นอาจจะดูดกลืน สะท้อน หรือส่งผ่านโฟตอนที่ตกกระทบ จากการศึกษารังสีของผิววัตถุดำ ของ แมกซ์พลังค์ (Max Planck) พบความสัมพันธ์ของการแผ่รังสีของวัตถุที่ปล่อยออกมาต่อพื้นที่ต่อเวลาซึ่งวัตถุดำสามารถดูดกลืนและปล่อยรังสีทั้งหมดจากผิวโดยพลังค์ได้อธิบายกำลังของการแผ่รังสี ในพจน์ของอุณหภูมิสัมบูรณ์และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีโบลต์ซมันน์ได้ค้นพบหลักทางกายภาพสำหรับการวัดอุณหภูมิคือ พลังงานทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามฟังก์ชันของอุณหภูมิกำลังสี่และพบว่าค่าสูงสุดของกำลังการแผ่รังสีเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นสั้นกว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การวัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการแผ่รังสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมีอยู่ด้วยกันสองวิธีได้แก่การเปรียบเทียบกับความสว่างของแสงที่แผ่ออกมาจากวัตถุกับค่ามาตรฐาน อุปกรณ์ที่ใช้คือ ไพโรมิเตอร์แบบแสง และวิธีที่สองคือใช้ตัวตรวจจับโฟตอนวัดความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอน ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของผิววัตถุ ปัจจุบันในต่างประเทศมีนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้หลักการของการแผ่รังสีอินฟราเรดขึ้นหลายบริษัท จากการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตที่ www.exergen.com เมื่อวันที่ 26/11/2546 พบว่ามีอุปกรณ์หัววัดอินฟราเรดอย่างกว้างขวาง เช่นทางการแพทย์โดยบริษัท Exergen แห่งรัฐแมสซาชูเซต ประเทศ สหรัฐอเมริกาโดย Dr.Francisco Pompai ผู้ค้นคว้าวิจัยและประดิษฐ์ตัวรับรู้อินฟราเรด ได้นำเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดไปใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิของร่างกายผู้ป่วย โดยการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ขณะใช้ซาร์ (Severe Acute Respiratory Syndrome :SARS) ระบาด ณ ประเทศฮ่องกงและตามโรงพยาบาลต่างๆ ในสหรัฐอเมริกาเช่น โรงพยาบาล จอนส์ ฮอปกินส์ และ โรงพยาบาลฮาร์วาร์ด เมดิกอล นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ในทางอุตสาหกรรมยานยนต์ได้แก่การวัดอุณหภูมิยางรถยนต์ โดยการทดสอบขณะขับเคลื่อนในสภาพใช้งานจริงในอุตสาหกรรมอื่นๆเช่น การวัดอุณหภูมิของสายพานลำเลียงในอุตสาหกรรมอาหาร การวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้

แบบอินฟราเรดยังสามารถนำไปประยุกต์ในงานด้านอื่นๆ ซึ่งต้องการระบบการวัดแบบไม่
ต้องสัมผัสกับเป้าหมาย หากแต่ผู้ทำการวัดต้องศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับปริมาณที่จะวัดและความสัมพันธ์
กับปริมาณอื่นๆและต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของตัวตรวจรู้และระบบการวัดที่ประกอบด้วยค่าความ
คลาดเคลื่อนตามหลักการทางมาตรวิทยาซึ่งต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ทางฟิสิกส์และวิศวกรรมเป็น
อย่างมาก ในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้รวบรวมและนำเสนอไว้ทั้งหมดหากแต่ผู้เรียบเรียงได้เพิ่มเติม
ข้อมูลตารางสำหรับเชื่อมโยงการสืบค้นไว้ในภาคผนวกและหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจโดย
ได้วางแผนงานที่จะศึกษาระบบการวัดอุณหภูมิเป้าหมายแบบไม่สัมผัสโดยใช้ตัวตรวจรู้แบบ
อินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิลรุ่น IRT/CXI เชื่อมต่อกับวงจรรขยายสัญญาณที่ออกแบบสร้างขึ้น โดยใช้
ไอซีเบอร์ AD595 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและชดเชยสัญญาณ โดยการวัดอุณหภูมิรอบตัวและส่ง
ข้อมูลไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไอซีตระกูล PIC16 ทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณจากแบบแอน
ะล็อกไปเป็นแบบดิจิทัลและประมวลผลของสัญญาณโดยซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้นจากภาษา Visual
Basic และศึกษาการประยุกต์การเชื่อมต่อข้อมูล ไปยังโปรแกรมสำเร็จรูปที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล
จำนวนมากที่ถูกแปลผลจากปริมาณที่วัดได้แก่โปรแกรม Access และสามารถนำผลการวัดตาม
หลักการทางมาตรวิทยามาคำนวณและสามารถสร้างแผนภูมิเพื่อการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม Excel
โดยแสดงผลของอุณหภูมิบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic ที่เขียนขึ้นในแบบเวลาจริง
(Real time) โดยผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลจากการวัดสามารถบันทึกข้อมูลและ
ลบข้อมูลในหน่วยความจำจากการเลือกปุ่มควบคุมบนหน้าจอที่เขียนจำลองเป็นเครื่องมือวัด
นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการวัดกลับมาสสร้างเป็นแผนภูมิ เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับ
ข้อมูลจากการวัดครั้งก่อนหน้าเพื่อทำการสอบเทียบรวมถึงสามารถพิมพ์ผลการวัดออกมาทาง
เครื่องพิมพ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของตัวตรวจรู้ อินฟราเรดและออกแบบสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสโดยใช้ตัวตรวจรู้ เทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดของบริษัทExergen โมเดล IRT/CX1
2. ศึกษาระบบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสแหล่งกำเนิดความร้อนโดยเครื่องมือที่ออกแบบสร้างขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางUSB PORTผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16โดยใช้โปรแกรม Visual Basic ที่เขียนขึ้นเพื่อการจัดเก็บข้อมูลและนำกลับมาวิเคราะห์และรายงานผลการวัดอุณหภูมิในแบบตาราง แบบแผนภูมิ สามารถพิมพ์ผลการวัดออกทางเครื่องพิมพ์สามารถแสดง ผลการวัดอุณหภูมิแบบตัวเลขและแบบกราฟแท่งเคลื่อนไหว
3. ศึกษาการสอบเทียบเครื่องมือและการประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหาร

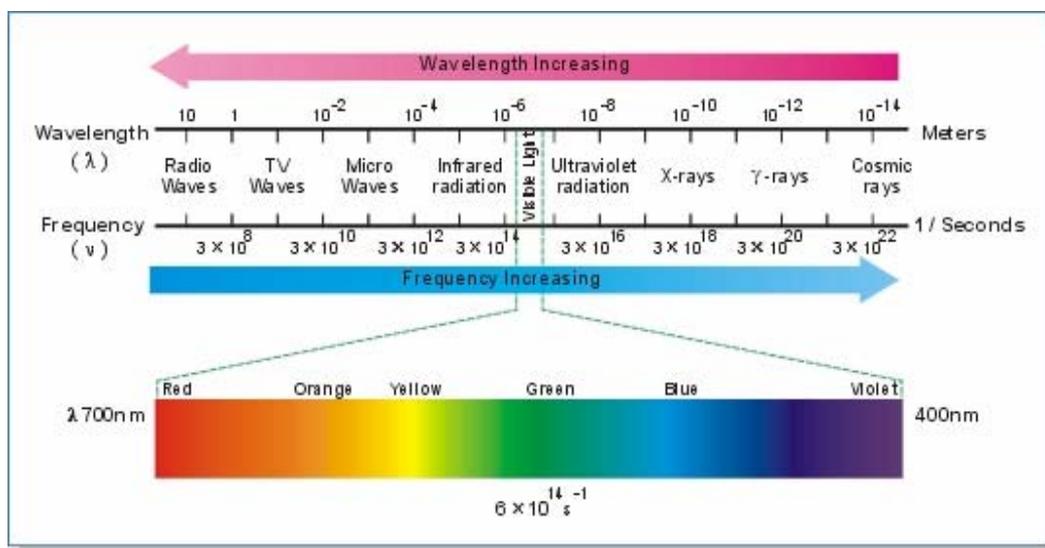
การตรวจเอกสาร

จากการศึกษาด้านพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดใช้หลักการแผ่รังสีของวัตถุดำเป็นเกณฑ์ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิมากกว่า -273°C จะแผ่รังสี และสสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะต้องมีการแผ่รังสีความร้อนที่แตกต่างกันทำให้เกิดพลังงานที่แตกต่างกันซึ่งพลังงานและอุณหภูมิที่กล่าวนั้นมี ความสัมพันธ์กันจากความรู้ข้างต้นใช้เป็นหลักการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส โดยใช้วัดกับ เป้าหมายที่ เล็กกว่า ร้อนกว่า เคลื่อนที่ได้ แต่จะให้ผลในด้านความแม่นยำ (Accuracy) ที่น้อยกว่าวิธีวัด แบบสัมผัส และต้องใช้ค่าแก้ (Correction factor) ที่มีผลมาจากความแตกต่างของการแผ่รังสีของ เป้าหมาย หลักการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของไพโรมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยอาศัย การแผ่รังสีความร้อน คือตัวตรวจรู้อุณหภูมิไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการทราบค่าอุณหภูมิ ใน ปัจจุบัน ต่างประเทศ มีหลายบริษัทที่ค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับตัวตรวจรู้อินฟราเรด และผลิตเครื่องมือวัด อุณหภูมิแบบไม่สัมผัสกับเป้าหมาย ออกมาจำหน่าย อาทิเช่น บริษัท Exergen ซึ่งตั้งอยู่เมือง วอเตอร์ รัฐแมสซาชูเซต ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้มีโอกาสเดินทางไปศึกษาดูงาน ณ บริษัทดังกล่าว โดย Dr.Francisco Pompai ประธานบริษัท ทำการค้นคว้าวิจัยและออกแบบตัวตรวจ รู้อินฟราเรดแบบต่างๆ ซึ่งสามารถประยุกต์งานได้หลากหลาย ตัวตรวจรู้ของบริษัท Exergen ไม่ ต้องการกำลังงานหรือแหล่งจ่ายไฟ และมีความ แม่นยำสูง (High Accuracy) โดยผ่านการสอบเทียบ มาตรฐานจากสถาบันมาตรวิทยาของ สหรัฐอเมริกา (National Institute of standard :NIST) จาก งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ระบบการวัดแบบไม่สัมผัสในอุตสาหกรรมหลายประเภทซึ่งพบ น้อยมากในอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตร จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยก่อนหน้าพบว่า มี วิทยานิพนธ์หนึ่งเรื่องที่มีแนวทางคล้ายกันหากแต่ยังมีความแตกต่างกันในหลายด้านซึ่งเป็นประเด็น ที่ต้องศึกษาวิจัยต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไพโรเมตรี (Pyrometry)

คำว่า pyrometry มาจากคำภาษากรีกว่า pyro หมายถึง “ไฟ” และ metry หมายถึง “การวัด” ตามอักษรแล้วหมายถึงการวัดอุณหภูมินั่นเอง โดยทั่วไปไพโรเมตรีหมายถึงการวัดอุณหภูมิโดยวิธีวัดการแผ่รังสีความร้อนด้วย ไพโรมิเตอร์อินฟราเรด เป็นเครื่องมือที่แพร่หลายซึ่งหาค่าอุณหภูมิจากการวัดในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด เนื่องจากวัตถุที่อุณหภูมิห้องจะแผ่รังสีพลังงานส่วนใหญ่ที่ความยาวคลื่นอินฟราเรด ไพโรมิเตอร์หรืออินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิลใช้ในการวัดช่วงอินฟราเรด เริ่มจากความยาวคลื่นประมาณ 0.75 ไมโครเมตร ที่ตาเริ่มไม่เห็นจนถึงความยาวคลื่นประมาณ 1000 ไมโครเมตรก็คือการวัดช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดนั่นเอง ปกติทำโดยการกรองรังสีที่รับจากแหล่งตรวจวัด ข้อดีของการตรวจวัดรังสีอินฟราเรด พบใน กฎการกระจัดของวิน ที่แสดงถึงปริมาณการแผ่รังสีสูงสุดของวัตถุอุณหภูมิต่ำ เกิดที่ช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด (สมศักดิ์, 2544)



ภาพที่ 1 สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ตัวอย่างเช่นวัตถุที่ 25°C (298 K) จะแผ่รังสีสูงสุดที่ความยาวคลื่น 9.7 nm . ดังนั้นการตรวจวัดอินฟราเรดจึงเป็นปัจจัยหลัก ในการวัดการแผ่รังสีของวัตถุที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง

จากภาพที่ 1 แสดงการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปความยาวคลื่น (หรือ ความถี่) ขยายเป็นช่วงกว้างมาก ไพโรเมตรีใช้พื้นฐานจากการสุ่มตัวอย่างค่าพลังงาน ในช่วงแถบความยาวคลื่นช่วงหนึ่งของสเปกตรัม ที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆวัตถุจะแผ่รังสี ด้วยพลังงานความเข้มสูงขึ้นตามอุณหภูมิของวัตถุ โดยการหาค่าพลังงานที่ความยาวคลื่นที่ทราบ ก็สามารถหาค่าอุณหภูมิของวัตถุนั้นได้ ในระบบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสจำเป็นต้องมีการศึกษาการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุดำ ซึ่งเป็นวัตถุที่สามารถดูดกลืนพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบและสามารถแผ่รังสีทุกความยาวคลื่นได้โดยสมบูรณ์ วัตถุทุกชนิดเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 0 เคลวิน (K) จะแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ที่อุณหภูมิห้องเราจะไม่รู้ว่ามีรังสี เนื่องจากรังสีมีความเข้มน้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นวัตถุแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา เราจึงรู้สึกได้เมื่อเข้าใกล้วัตถุนั้น กำลังของการแผ่รังสี (Radiation power “P”) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ตามกฎ สเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann law) โดยสัมพันธ์กับพื้นที่ผิว A มีหน่วยเป็นตารางเมตร อุณหภูมิ เป็นเคลวิน และสภาพเปล่งรังสีของวัตถุก่อนหนึ่งโดยมีค่าคงตัวสัดส่วนคือค่าคงตัวสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (σ)

โดยในระบบ SI $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \times \text{K}^4$

$$\text{และกำลังของการแผ่รังสี} \quad P \propto AeT^4 = \sigma AeT^4 \quad (1)$$

สภาพเปล่งรังสี (e) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของวัตถุผิวหนึ่ง หมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตรารังสีจากวัตถุผิวหนึ่งกับรังสีจากผิวอุดมคติที่มีพื้นที่ผิวเท่ากัน ณ อุณหภูมิเดียวกันปรากฏว่าสภาพเปล่งรังสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

ถ้า λ_{max} แทนค่าความยาวคลื่น ณ ความเข้มการแผ่รังสี (Radiation Intensity “I”) สูงสุด มีหน่วยเป็นเมตร

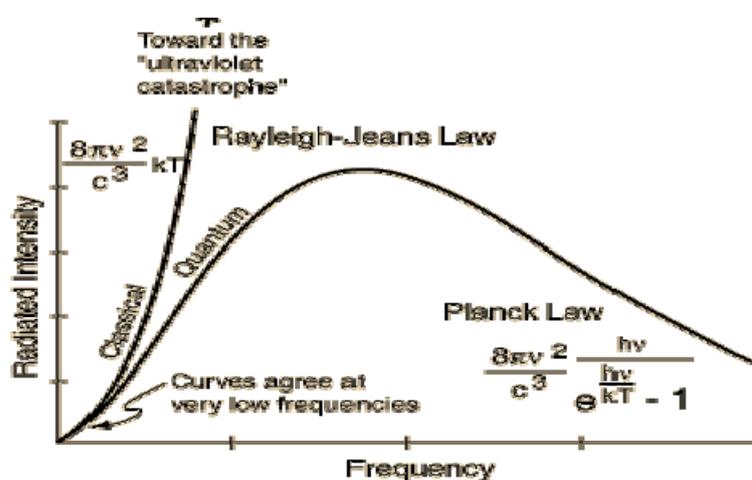
T แทนอุณหภูมิเคลวินของวัตถุดำก้อนหนึ่ง

C แทนค่าคงตัวสัดส่วน มีค่าเท่ากับ 2.898×10^{-3} เมตร-เคลวิน

จากกฎการกระจายของวินซึ่งแสดงว่าค่า λ_{\max} จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเคลวิน (T) ของวัตถุดำเพิ่มขึ้นดังนี้

$$\lambda_{\max} \propto \frac{1}{T} = \frac{C}{T} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} \quad (2)$$

โดยกฎดังกล่าวสื่อความหมายค่าของ λ_{\max} ตอบสนองต่อผลการทดลอง



ภาพที่ 2 กราฟ แสดงการแจกแจงพลังงานแผ่รังสีของวัตถุดำ

จากภาพที่ 2 กราฟ แสดงการแจกแจงพลังงานแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าความยาวคลื่น (λ) และความเข้มการแผ่รังสี ณ อุณหภูมิ 4000 K 5000 K 6000 K โดยปรากฏว่าพลังงานแผ่รังสีรวม ย่อมเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ใต้เส้นกราฟและมีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิเคลวินของวัตถุดำก่อนนั้นถ้าให้ $R(\lambda)$ เป็นอัตราการแผ่รังสีต่อหน่วยพื้นที่ผิวของวัตถุดำต่อหน่วยความยาวคลื่นจะได้อัตราการแผ่รังสีทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่ของวัตถุดำ R เป็น

$$R = \int_0^{\infty} R(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

สิ่งสำคัญที่ปรากฏอีกประการหนึ่งก็คือ การแผ่รังสีของพลังงานดังกล่าวให้สเปกตรัมต่อเนื่อง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการแผ่รังสีจะเพิ่มขึ้นโดยตำแหน่งสูงสุดของการแผ่รังสีจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลง หรือความถี่สูงขึ้น

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะแผ่รังสีพลังงานออกมา และไม่เพียงแต่แผ่หรือส่งพลังงานออกมา, มันยังรับหรือดูดกลืนจากแหล่งอื่นด้วยเราทราบกันดีว่าเมื่อชิ้นเหล็กกล้าได้รับความร้อนจนถึงประมาณ 550 °C มันจะเริ่มมีสีแดง นั่นคือเรารู้สึกถึงแสงที่มองเห็นได้เปล่งหรือแผ่ออกมาจากผิวมัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแสงจะยิ่งสว่างขึ้นหรือเข้มขึ้นขึ้น และยังมีการเปลี่ยนสีจากแดงหม่นเป็นส้มแล้วเหลือง และสุดท้ายเกือบเป็นสีขาวที่อุณหภูมิหลอมเหลว (1430 °C ถึง 1540 °C) นั่นคือเราทราบว่า ในช่วงอุณหภูมิจากประมาณ 550 °C ถึง 1540 °C, พลังงานในรูปของแสงที่มองเห็นได้แผ่รังสีออกจากเหล็กกล้า และรับรู้ได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 550 °C ต่ำลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชิ้นของเหล็กกล้ายังคงแผ่รังสีพลังงาน หรือ ความร้อน ในรูปของ การแผ่รังสีอินฟราเรดและถ้าเป็นมวลขนาดใหญ่พอ เราจะรู้สึกถึงการแผ่ความร้อน ได้โดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง เราทราบต่อไปว่ามีการแผ่รังสีพลังงานออกมาในช่วงหนึ่งของอุณหภูมิจากประสาทสัมผัสของเรา แม้ว่าเราอาจรับรู้ได้ไม่ดึกที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในกรณีที่มิพจน์งเย็นอยู่ในห้อง คนเราก็รู้สึกได้เนื่องจากความร้อนกำลังแผ่ออกจากร่างกายไปยังผนังนั้น การส่งผ่านพลังงานในลักษณะนี้ไม่ต้องมีตัวกลางมาคั่น และความจริงแล้วถ้ามีอะไรมาคั่นกลางจะส่งผลกระทบต่อการส่งผ่าน พลังงานที่กำลังพูดถึง ส่งออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง วัตถุทุกอย่าง แพร่และดูดกลืนพลังงานที่แผ่รังสี ด้วยอัตราที่ขึ้นกับ อุณหภูมิสัมบูรณ์และคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุ รังสีที่ตกกระทบผิววัสดุ บางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนสะท้อนและบางส่วนส่งผ่านออกไปสัดส่วนเหล่านี้วัดได้ในรูปของสภาพการดูดกลืน (a) สภาพการสะท้อน (r) และสภาพการส่งผ่าน (t) เมื่อ

$$a + r + t \approx 1 \quad (4)$$

สำหรับแผ่นสะท้อนอุดมคติ, ทำโดยการขัดเงาผิววัตถุอย่างดี r ประมาณ 1 ถ้าหลายชนิดเป็นสารที่มีลักษณะการส่งผ่านได้สูง ซึ่ง ประมาณ 1 รูเปิดขนาดเล็กของห้องใหญ่ภายในมีลักษณะใกล้เคียงตัวดูดกลืนอุดมคติ หรือวัตถุดำ ซึ่ง a ประมาณ 1 วัตถุอยู่ในสภาพสมดุลการแผ่รังสีกับภาวะแวดล้อม จะแผ่พลังงานเท่ากับปริมาณที่ดูดกลืน เป็นผลให้วัตถุที่ดูดกลืนได้ดีจะแผ่รังสีได้ดีด้วย และอาจ

สรุปได้ว่า ตัวแผ่รังสีอุดมคติ (Ideal radiator) คือวัตถุที่มีค่าสภาพดูดกลืน (a) เป็นหนึ่ง เมื่อเรากล่าวถึงการแผ่รังสีที่เปล่งออกจากวัตถุ (e) โดยจะใช้คำว่าสภาพการเปล่งรังสีแทนที่จะใช้สภาพดูดกลืน อย่างไรก็ตามค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงตามกฎ Kirchhoffs law

$$e = a \quad (5)$$

ตารางที่ 1 แสดงรายการค่าสภาพการเปล่งรังสีของวัสดุบางชนิด

Surface	อุณหภูมิ, °C	Emissivity
Polished silver	225-625	0.0198-0.0324
Platinum filament	25-1225	0.036-0.192
Polished nickel	23	0.045
Aluminum foil	100	0.087
Concrete	21	0.63
Roofing paper	20	0.91
Plaster	10-88	0.91
Rough red brick	21	0.93
Asbestos paper	38-371	0.93-0.945
Smooth glass	22	0.937
Water	0-100	0.95-0.963
Blackbody	-	1.00

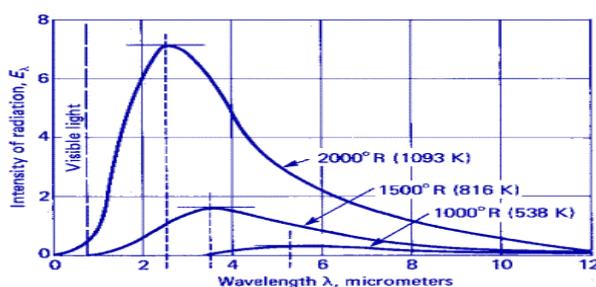
ตามกฎของ Stefan-Boltzmann law อัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานสุทธิ ระหว่างวัตถุแผ่รังสีอุดมคติ A และ B ที่มองเห็นกัน คือ

$$q = \sigma(T_A^4 - T_B^4) \quad (6)$$

ในกรณีที่วัตถุไม่อุดมคติ A แผ่รังสีไปยังวัตถุดูดกลืนสมบูรณ์แบบ B เช่นเดียวกับวัตถุอื่นๆ สมการต้องปรับปรุงเป็น

$$q = E_A F_{BA} \sigma (T_A^4 - T_B^4) \quad (7)$$

สมการนี้ให้พื้นฐานของไพโรเมตริกการวัดความร้อนแบบแผ่รังสีรวม ส่วนปฐมหัววัด B รับพลังความร้อน q จากวัตถุที่ตรวจวัด A มีการปรับเทียบไว้แล้วการถึงค่าอุณหภูมิ T_B ที่ส่วนปฐมหัววัดร้อนขึ้นเมื่อได้รับพลังความร้อนค่าหนึ่ง จึงสามารถหาอุณหภูมิที่ไม่ทราบ T_A ได้จากอุณหภูมิหัววัดดังกล่าว ในทางปฏิบัติมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนหลายอย่างที่ควรพิจารณา อาจไม่ทราบค่าสภาพเปล่งรังสีของวัตถุที่ตรวจวัด ก๊าซและฝุ่นระหว่างวัตถุอาจเบี่ยงเบนและดูดกลืนรังสี ความร้อนที่แผ่จากวัตถุรอบข้างอาจสะท้อนจากวัตถุที่กำลังตรวจวัดเข้าสู่ไพโรมิเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวัตถุที่ตรวจวัดมีค่าสภาพเปล่งรังสีต่ำ ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างวัตถุที่ตรวจวัดกับหัววัดอาจเปลี่ยนแปลง ผลเหล่านี้จะกระทบต่อค่าพลังความร้อน ที่ทำนายโดยสมการ (7) การปรับเทียบ (Calibration) ไพโรมิเตอร์จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการวัดที่แม่นยำและผู้ใช้ต้องระมัดระวังตลอดเวลาถึงความซับซ้อนที่อาจเกิดขึ้นนี้ ดังได้กล่าวแล้วสีของแสง เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนสีย่อมสัมพันธ์กับการเปลี่ยนความยาวคลื่น และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีสูงสุดลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การลดลงของความยาวคลื่น ทำให้สีเปลี่ยนจากแดงไปทางเหลือง เหล็กกล้าที่ 540°C มีสีแดงดำ ที่ 815°C เป็นสีแดงสด, และที่ 1200°C สีออกเป็นขาว ค่าพลังงานแผ่รังสีสูงสุด ที่สมนัยเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 3.5, 2.6, และ 1.9 mm, ตามลำดับ (ณัฐชัย, 2543)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเข้มของการแผ่รังสีตามกฎการกระจายของวิน

ถ้าเราให้ความร้อนแก่ตัวแผ่รังสีอุดมคติ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และหาความเข้มสัมพัทธ์ของแต่ละความยาวคลื่น เราจะได้คุณลักษณะ รูปกราฟการกระจายพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 3 ไม่เพียงแต่วัตถุที่อุณหภูมิสูงกว่ามีความเข้มของการแผ่รังสีเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ความยาวคลื่นสูงสุดของการแผ่ก็เลื่อนไปที่คลื่นสั้นกว่า การกระจายความเข้มของตัวแผ่รังสีอุดมคติ

แสดงเป็นสมการดังนี้

$$E_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (8)$$

เมื่อ	E_{λ}	=	พลังงานที่แผ่ด้วยความยาวคลื่น λ เป็น W/m^2
	T	=	อุณหภูมิสัมบูรณ์เป็น K
	λ	=	ความยาวคลื่นเป็น μm
	C_1	=	$374.15 \text{ MW mm}^4 / m^2$
	C_2	=	14388 mK .

สำหรับวัตถุที่ไม่อุณหคณิต การกระจายความเข้มต้องคูณด้วยค่า emissivity e ความยาวคลื่นที่ขุดความเข้ม กำหนดได้ตามกฎการกระจายของวิน

$$\lambda_{max} T = 2898 \mu m K \quad (9)$$

สมการเหล่านี้เป็นพื้นฐานของ ไพโรมิเตอร์สายตา และแบบสองสี. ใช้เว้นกรองแสงในการกำจัด ความยาวคลื่นอื่น ๆ ออกไปวัดความเข้มเฉพาะที่ต้องการ อุณหภูมิวัตถุคำนวณจากความเข้มที่วัดได้เช่นเดียวกับการวัดรังสีรวม ต้องระวังแหล่งรบกวนที่อาจมีได้และปรกติจะต้องมีการเปรียบเทียบ

ปรากฏการณ์ซีเบค

นักฟิสิกส์ชื่อ โทมัส โจฮันน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck พ.ศ. 2313-2317) ได้ทำการทดลองและค้นพบผลของ เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) อันเป็นรากฐานการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลหรือเรียกอีกอย่างว่าคู่ควบความร้อน ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ โดยเกิดจากการนำเอาลวดโลหะสองชนิดที่มีสมบัติต่างกัน มาเชื่อมปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกัน เมื่อนำปลายด้านที่เชื่อมติดกันของเทอร์โมคัปเปิลไปวางที่บริเวณต้องการวัด อุณหภูมิ จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ณ ปลายที่เปิดอยู่ ทั้งนี้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรเป็นสัดส่วนกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายด้านที่เชื่อมต่อกันกับปลายด้านที่เปิดอยู่ ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่แตกต่างกัน อิเล็กตรอนใน

ปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็นจึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามสมบัติทางเคมี จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น

ผลของซีเบ็ค

จากผลของซีเบ็คจะได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) พบว่า ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันสร้างเทอร์โมคัปเปิลค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์และถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและ จุดอ้างอิงเหมือนกันค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะเป็นศูนย์ สมการนี้จะอธิบายผลของซีเบ็คซึ่งพบว่า

1. ค่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์และ
3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า แรงเคลื่อน ไฟฟ้าก็จะเป็นศูนย์

โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\mathcal{E} = \alpha (T_2 - T_1) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \alpha &= \text{ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค volts /K} \\ T_1, T_2 &= \text{อุณหภูมิที่จุดต่อ ; K} \end{aligned}$$

การนำผลของซีเบ็คมาสร้างเทอร์โมมิเตอร์โดยมีหัววัดอุณหภูมิหรือที่เรียกว่าเทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิล ทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันที่โครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองขึ้น จากสมการ (11) อธิบายผลของซีเบ็ค ซึ่งพบว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่เกิดจากความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์และถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ก็จะเป็นศูนย์ (พจนานุกรม, 2545)

<p style="text-align: center;">mV Table For All K-140 millivolts EMF produced at specified target temperatures Actual Signal = [(Base Signal*) x (Actual Emissivity/9)] *With electronic 0 C cold junction compensation, zero leakage current offset, 25 C ambient.</p>												<p style="text-align: center;">IRt/c-K-140, IRt/c.SV-K-140 IRt/c.01-K-140 IRt/c.2-K-140, IRt/c.2SV-K-140 IRt/c.5-K-140 IRt/c.10-K-140</p>					
Base Signal			Base Signal			Base Signal			Base Signal			Base Signal			Base Signal		
F	C	mV	F	C	mV	F	C	mV	F	C	mV	F	C	mV	F	C	mV
-50	-46	-0.4707	200	93	4.2265	450	232	15.077	700	371	29.315	950	510	44.793	1200	649	60.266
-45	-43	-0.4493	205	96	4.3920	455	235	15.338	705	374	29.618	955	513	45.105	1205	652	60.570
-40	-40	-0.4250	210	99	4.5600	460	238	15.599	710	377	29.922	960	516	45.418	1210	654	60.874
-35	-37	-0.3977	215	102	4.7305	465	241	15.862	715	379	30.225	965	518	45.730	1215	657	61.178
-30	-34	-0.3676	220	104	4.9034	470	243	16.127	720	382	30.530	970	521	46.042	1220	660	61.481
-25	-32	-0.3344	225	107	5.0787	475	246	16.392	725	385	30.834	975	524	46.355	1225	663	61.785
-20	-29	-0.2983	230	110	5.2565	480	249	16.659	730	388	31.139	980	527	46.667	1230	666	62.087
-15	-26	-0.2592	235	113	5.4366	485	252	16.927	735	391	31.445	985	529	46.979	1235	668	62.390
-10	-23	-0.2171	240	116	5.6190	490	254	17.196	740	393	31.750	990	532	47.291	1240	671	62.693
-5	-21	-0.1720	245	118	5.8038	495	257	17.466	745	396	32.056	995	535	47.603	1245	674	62.995
0	-18	-0.1238	250	121	5.9909	500	260	17.737	750	399	32.363	1000	538	47.915	1250	677	63.296
5	-15	-0.0727	255	124	6.1803	505	263	18.010	755	402	32.670	1005	541	48.227	1255	679	63.598
10	-12	-0.0185	260	127	6.3719	510	266	18.283	760	404	32.977	1010	543	48.538	1260	682	63.899
15	-9	0.0387	265	129	6.5657	515	268	18.558	765	407	33.284	1015	546	48.850	1265	685	64.200
20	-7	0.0990	270	132	6.7617	520	271	18.834	770	410	33.592	1020	549	49.162	1270	688	64.501
25	-4	0.1623	275	135	6.9599	525	274	19.110	775	413	33.900	1025	552	49.473	1275	691	64.801
30	-1	0.2286	280	138	7.1603	530	277	19.388	780	416	34.209	1030	554	49.784	1280	693	65.101
35	2	0.2980	285	141	7.3628	535	279	19.667	785	418	34.517	1035	557	50.096	1285	696	65.400
40	4	0.3704	290	143	7.5674	540	282	19.947	790	421	34.826	1040	560	50.407	1290	699	65.700
45	7	0.4458	295	146	7.7740	545	285	20.227	795	424	35.135	1045	563	50.718	1295	702	65.999
50	10	0.5243	300	149	7.9827	550	288	20.509	800	427	35.445	1050	566	51.028	1300	704	66.298
55	13	0.6058	305	152	8.1935	555	291	20.792	805	429	35.754	1055	568	51.339	1305	707	66.596
60	16	0.6903	310	154	8.4062	560	293	21.075	810	432	36.064	1060	571	51.650	1310	710	66.894
65	18	0.7778	315	157	8.6209	565	296	21.360	815	435	36.374	1065	574	51.960	1315	713	67.192
70	21	0.8683	320	160	8.8376	570	299	21.645	820	438	36.685	1070	577	52.270	1320	716	67.489
75	24	0.9618	325	163	9.0562	575	302	21.931	825	441	36.995	1075	579	52.580	1325	718	67.786
80	27	1.0582	330	166	9.2767	580	304	22.218	830	443	37.306	1080	582	52.890	1330	721	68.083
85	29	1.1577	335	168	9.4991	585	307	22.506	835	446	37.616	1085	585	53.200	1335	724	68.379
90	32	1.2600	340	171	9.7233	590	310	22.794	840	449	37.927	1090	588	53.509	1340	727	68.676
95	35	1.3654	345	174	9.9494	595	313	23.084	845	452	38.239	1095	591	53.819	1345	729	68.971
100	38	1.4736	350	177	10.1773	600	316	23.374	850	454	38.550	1100	593	54.128	1350	732	69.267
105	41	1.5848	355	179	10.4069	605	318	23.665	855	457	38.861	1105	596	54.437	1355	735	69.562
110	43	1.6988	360	182	10.6383	610	321	23.956	860	460	39.173	1110	599	54.746	1360	738	69.856
115	46	1.8157	365	185	10.8715	615	324	24.249	865	463	39.484	1115	602	55.054	1365	741	70.151
120	49	1.9355	370	188	11.1063	620	327	24.542	870	466	39.796	1120	604	55.362	1370	743	70.445
125	52	2.0582	375	191	11.3429	625	329	24.836	875	468	40.108	1125	607	55.671	1375	746	70.738
130	54	2.1837	380	193	11.5811	630	332	25.130	880	471	40.420	1130	610	55.979	1380	749	71.032
135	57	2.3119	385	196	11.8209	635	335	25.425	885	474	40.732	1135	613	56.286	1385	752	71.325
140	60	2.4430	390	199	12.0624	640	338	25.721	890	477	41.044	1140	616	56.594	1390	754	71.617
145	63	2.5769	395	202	12.3054	645	341	26.017	895	479	41.356	1145	618	56.901	1395	757	71.910
150	66	2.7135	400	204	12.5500	650	343	26.314	900	482	41.669	1150	621	57.208	1400	760	72.202
155	68	2.8528	405	207	12.7962	655	346	26.612	905	485	41.981	1155	624	57.515	1405	763	72.493
160	71	2.9949	410	210	13.0439	660	349	26.910	910	488	42.293	1160	627	57.822	1410	766	72.784
165	74	3.1396	415	213	13.2930	665	352	27.209	915	491	42.606	1165	629	58.128	1415	768	73.075
170	77	3.2871	420	216	13.5437	670	354	27.508	920	493	42.918	1170	632	58.434	1420	771	73.365
175	79	3.4371	425	218	13.7958	675	357	27.808	925	496	43.231	1175	635	58.740	1425	774	73.656
180	82	3.5898	430	221	14.0494	680	360	28.109	930	499	43.543	1180	638	59.046	1430	777	73.945
185	85	3.7451	435	224	14.3043	685	363	28.410	935	502	43.856	1185	641	59.351	1435	779	74.235
190	88	3.9030	440	227	14.5607	690	366	28.711	940	504	44.168	1190	643	59.656	1440	782	74.524
195	91	4.0635	445	229	14.8184	695	368	29.013	945	507	44.480	1195	646	59.961	1445	785	74.812

ภาพที่ 4 แสดงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา: Francesco Pompai (1995)

ตารางเทอร์โมคัปเปิล จะให้แรงเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด เมื่ออ้างอิงกับจุดอ้างอิงที่กำหนด (0 °C) ณ อุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ จากการอ้างอิงตารางในภาคผนวก พบว่าที่อุณหภูมิ 210 °C เทอร์โมคัปเปิลชนิด K เมื่ออ้างอิงที่ 0 °C จะมีแรงเคลื่อนเป็น mV (210 °C) = 13.043 mV ในทางกลับกัน ถ้าเราวัดแรงเคลื่อนได้ 4.768 mV กับชนิด S และอุณหภูมิที่อ้างอิงที่ 0 °C เราพบว่าจากภาคผนวก (4.768 mV) = 555 °C

แต่บางกรณี แรงเคลื่อนที่วัดได้จะไม่ตรงกับค่าในตาราง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (Interpol) ระหว่างค่าในตาราง

การเปลี่ยนจุดอ้างอิงของตาราง

หากอุณหภูมิอ้างอิงแตกต่างจากตารางเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนดไว้ เราก็ยังสามารถใช้ค่าจากตารางนี้เป็นฐานในการคำนวณได้ ข้อควรจำคือเมื่อวัดอุณหภูมิเดียวกันแต่เปลี่ยนไปใช้จุดอ้างอิงที่สูงกว่าจะทำให้แรงเคลื่อนทางเอาต์พุตถูกกดให้ต่ำลง ดังนั้นการใช้ตัวประกอบที่ถูกต้องคือ “ลบค่าตัวเลขออกจากค่าในตาราง ถ้าค่าอ้างอิงนั้นมีค่าน้อยกว่าจุดอ้างอิงในตาราง” และ “บวกเข้าไปในตารางถ้าหากว่าค่าอ้างอิงใหม่มีค่ามากกว่าค่าอ้างอิงในตาราง”

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

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

ตารางที่ 2 แสดงความไวและย่านการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิล

ประเภทของโลหะ	วัสดุเทอร์โมคัปเปิล	ความไวโดยประมาณ Mv/K	ย่านอุณหภูมิที่ใช้วัด (K)	ความแน่นอนโดยประมาณ
Base metal	ทองแดง-คอนสแตนแตน (T)	0.05	3-673	± 1/2%
Base metal	เหล็ก-คอนสแตนแตน (J)	0.05	63-1473	± 1%
Base metal	โครเมิล-อะลูเมล (K)	0.04	3-1643±	± 1%
Base metal	โครเมิล-คอนสแตนแตน (E)	0.08	3-1273	± 1%
Rare metal	แพลทินัม-แพลทินัม/โรเดียม 10% (S)	0.01	223-2033	± 1/2%
Rare metal	แพลทินัม-แพลทินัม/โรเดียม 13% (R)	0.012	223-2033	± 1/2%
Rare metal	แพลทินัม/โรเดียม 30% -แพลทินัม/โรเดียม 6% (B)	0.012	273-2093	± 1/2%

Base metal คือ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ส่วนผสมของโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม ทองแดง และนิกเกิล ใช้กับอุณหภูมิได้ถึง 1450 K โดยปกติแล้วส่วนใหญ่จะถูกใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งจะให้ความไวกว่า ถูกกว่า และคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นสูงกว่า หลักสำคัญที่สุดจะต้องจำกัด ย่านการใช้งานให้ต่ำสุด เพราะว่าโลหะจำพวกนี้จะมีจุดหลอมละลายต่ำ และมีโอกาสเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันได้ง่าย Rare metal คือ เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ส่วนผสมของโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม ของแพลทินัม ใช้ กับอุณหภูมิได้สูงถึง 2000 K หากเป็นส่วนผสมของทั้งสแตน โรเดียม และ โมลิบดีนัมใช้อุณหภูมิถึง 2900 K Constantan = copper 60% + nickel 40%, cromel = nickel + chromium Alumel = Nickel+Aluminium สังเกต เทอร์โมคัปเปิลที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์ จะให้ ความเป็นเชิงเส้นที่ดี แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะโดยต้องมีลักษณะ ดังนี้คือมีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ด้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อ ป้องกันส่วนมากจะทำจากโลหะ สแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อ ป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอินเล็กทริกจึงใช้กันมากใน อุปกรณ์ทำความเย็น (Peltier Element) มากกว่าที่จะใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ ในทางปฏิบัติ จุดต่อที่สัมผัสกันอุณหภูมิที่จุดวัดมีอยู่หลาย ๆ แบบ เช่นแบบบิดเข้าด้วยกัน (twist) แล้วบักกรีด้วย ทองเหลือง หรือใช้การเชื่อมด้วยไฟฟ้า ส่วนฉนวนที่ใช้หากว่าในงานที่สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำๆ มักจะเป็นสายเปลือย แต่เมื่ออุณหภูมิที่ต้องการมีค่าวัดสูง ก็ต้องมีท่อป้องกันแตกต่างกันออกไป ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาด # 10 ในสภาวะ แวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ตัวอย่างเช่นในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ย่านอุณหภูมิในการใช้งานของตำราบางสมาคมจะกำหนดแค่ 745 °C บางสมาคมจะเป็น 750 °C ส่วนบางสมาคมจะเป็น 760 °C ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้อง เป็นเอกภาพ เดียวกันหมดทั้งระบบในบางงาน อุณหภูมิที่วัดมีค่าสูงเป็นพิเศษ เช่นในเครื่องยนต์ของเครื่องบิน เครื่องยนต์จรวดและเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งอยู่ในช่วง 2,000 ถึง 4,000 °F ต้องใช้เทอร์โมคัปเปิล

ชนิดพิเศษวัดอุณหภูมิเช่น ชนิดโรเดียม – อิริเดียม /โรเดียม,ทังสเตน/ รีเนียม (rhenium) และ โบรอน/แกรไฟต์ โดยชนิดที่ประกอบด้วย โรเดียม – อิริเดียม ใช้งานได้ถึง 4,000 ° F ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม ความไวอยู่ในช่วง 6 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ โลหะผสมระหว่างทังสเตนและ รีเนียมจะใช้งานได้ถึง 5,000 ° F ภายใต้ภาวะที่เหมาะสมความไวโดยประมาณจะเหมือนค่าอุณหภูมิสูงสุดของ โรเดียม-อิริเดียม ในแบบโบรอน-แกรไฟต์ จะมีความไวสูง (ประมาณ 40 $\text{mV} / ^\circ\text{C}$) หากใช้งานระยะสั้นๆจะวัดได้สูงสุด 4,500 ° F และในแบบซึ่งใช้เทคนิคที่เรียกว่า“cooled thermocouples” สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 5,000 – 8,000 ° F

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำเพื่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานในอุตสาหกรรมในขนาดใหญ่มักจะใช้ท่อแบบหนาหรือห่อหุ้มในท่อป้องกัน แบบ สแตนเลส สตีลซึ่งอาจจะมีเวลาตอบสนองในช่วง 10 ถึง 20 วินาที ในทางกลับกันหากทำจาก gauge wire เล็กๆ ก็จะมีเวลาคงที่อยู่ในช่วง 10 ถึง 20 มิลลิวินาที

จุดต่อแบบเปลือยจะเหมาะสำหรับการวัดแบบสถิติหรือในภาวะที่ไม่มีแก๊สกัดกร่อนไหลผ่าน พร้อมกับเป็นการแยกระบบทางไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลออก ส่วนจุดต่อที่ปิดด้วยฝักซึ่งฉนวนภายในอาจจะเป็นน้ำมัน ปรอท หรือผงโลหะ หากเราต้องการผลตอบสนองที่รวดเร็ว แต่ไม่ต้องการฝักหุ้มหนาๆ ก็จะใช้ฉนวนแร่ แลวใส่ผง MgO, Al₂O₃ หรือ BeO ไว้ภายในประการสุดท้ายผลตอบสนองจะขึ้นอยู่กับความกะทัดรัดของฉนวน และความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับให้ใช้ได้จุดต่อแบบกราวด์ทำให้สามารถวัดอุณหภูมิแบบสถิติหรืออุณหภูมิที่มีการไหลของแก๊สหรือของเหลวกัดกร่อน จุดต่อดังกล่าวจะถูกเชื่อมไปยังท่อหรือฝักหุ้มป้องกัน ทำให้ผลตอบสนองสูงกว่าแบบที่มีฉนวน อย่างไรก็ตาม ก็ไม่สามารถใช้งานต่อได้หากกราวด์มีสัญญาณรบกวน จึงต้องเลี่ยงไปใช้เทอร์โมคัปเปิลที่มีฉนวน บางครั้งจุดต่อแบบกราวด์ก็ยังใช้ในการวัดอุณหภูมิที่มีความดันสูงๆ อีกด้วย

การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning)

ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากๆ จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆซึ่งมีตัวขยายจากหลายบริษัท หลายแบบให้เลือก ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้อิซีเบอร์ AD595 ซึ่งออกแบบมาใช้งานกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งทาง

ผู้ผลิตหัววัดอินฟราเรดระบุว่าหัววัดรุ่น IRT/CX1 มีคุณสมบัติเช่นเดียวกันเมื่อทำการทดลองต่อวงจรขยายสัญญาณเข้ากับหัววัดพบว่ายังคงมีตรรกะการขยายที่ไม่เป็นเชิงเส้นจึงต้องเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปในวงจรเพื่อปรับค่าเกณฑ์ขยายทั้งทางด้านอุณหภูมิต่ำและทางด้านอุณหภูมิสูง ทำให้มีความเป็นเชิงเส้นตลอดย่านการวัดที่ต้องการมากขึ้น

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Types)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลชนิดมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามวัสดุเทอร์โมคัปเปิลที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องมือในวิทยานิพนธ์นี้เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่มีคุณลักษณะแบบเดียวกับ เทอร์โมคัปเปิลแบบ K เป็นชนิดที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ หากแต่อาจมีความแตกต่างกันระหว่างสองแบบโดยในแบบเดิมใช้ ธาตุหนึ่งเป็นฐานสำหรับการสร้างคือนิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้ผลิตเป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นนิกเกิลที่เจือด้วยโครเมียม เพราะในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ จึงต้องเติมสารไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ปัจจุบันได้ระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้ไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุผลนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นมาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสม แต่โดยทั่วไปจะต้องผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน / อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้

ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่จุดคูรี (curie point) คืออุณหภูมิที่ซึ่งมันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็กอยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาพุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้น พบว่าจุดคูรีดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นโลหะผสม จุดคูรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งเป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูงๆ (ช่วง 200°C ถึงช่วง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีฮิสเตอร์ริซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ $1,000^{\circ}\text{C}$ ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์หรือในพื้นที่อื่นๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูงๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาพุค

ข่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 58 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ) เป็นดังต่อไปนี้

- | | |
|---|--|
| 1. Class -40°C ถึง $+1,000^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ |
| 2. Class -40°C ถึง $+1,200^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ |
| 3. Class -200°C ถึง $+40^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ |

เมื่อ t คืออุณหภูมิจริงที่วัดได้

รหัสสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลและเคเบิลกำหนดมาตรฐาน BS 4937 part 30, 1993 (รหัสสีตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชดเชยแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับหัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเหลือง ขั้วลบจะเป็นสีขาว

ข้อดีของแบบ K

1. เป็นที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
2. สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้นๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
3. สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิง หรือสถานะปฏิกิริยาแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น
4. สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
5. ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่นๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

1. ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิง และออกซิไดซิงโดยตรง
2. ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
3. ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้น)
4. หลังใช้งานไป 20 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลให้คุณสมบัติทางแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

การชดเชยจุดอ้างอิง (Reference Compensation)

เพราะว่าแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลมีค่าเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดวัดและอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง ดังนั้นหากอุณหภูมิจุดอ้างอิงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะทำให้การวัดมีค่าผิดพลาด จึงต้องมีเทคนิคในการชดเชยอุณหภูมิอ้างอิงเพื่อให้คงที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ได้สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบการชดเชยจุดอ้างอิงโดยใช้ไอซีAD595ที่ทางผู้ผลิตออกแบบ ไอซีให้มีการชดเชยจุดอ้างอิงโดยมีตัววัดอุณหภูมิภายในตัวอุปกรณ์เองและสามารถใส่ค่าความต้านทานประกอบกับอุปกรณ์เพื่อปรับค่าจากภายนอกอีกด้วยซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ได้ใส่ไว้ในภาคผนวกแล้ว

อุณหภูมิที่ถูกควบคุมด้วยบล็อกอ้างอิง (Controlled Temperature Reference Block)

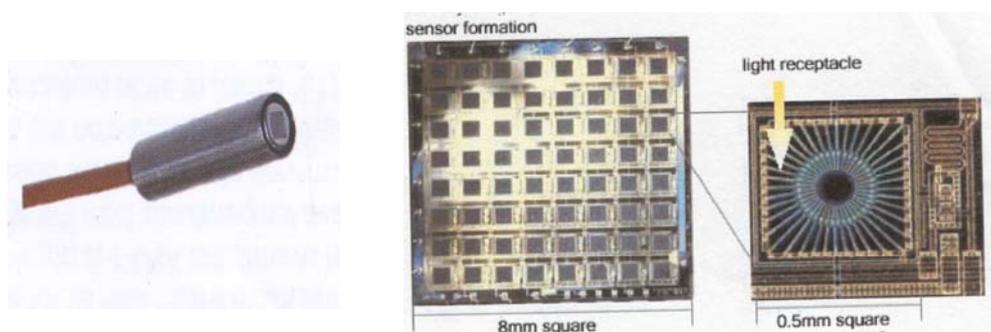
ในบางกรณี ต้องใช้เทอร์โมคัปเปิลหลายตัววัดอุณหภูมิ จึงต้องเดินสายขนานนำจุดต่อทั้งหมดไปยังกล่องที่ควบคุมอุณหภูมิในห้องควบคุม ทำให้เราสามารถหาค่าอุณหภูมิของรอยต่อ J_1 ได้โดยการใส่ J_2 ลงในน้ำแข็งที่มีค่า 0°C และตั้ง J_2 ให้เป็นจุดอ้างอิง จะเห็นว่าในตอนนี้อั้วของโวลต์มิเตอร์ทั้งสองเป็น ทองแดง-ทองแดง จึงไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ในความจริงพบว่าแรงเคลื่อนที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง J_1 และ J_2

$$\text{โวลต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้เป็น} \quad V = V_1 - V_2 = T_{j1} - T_{j2} \quad (11)$$

จากหลักการข้างต้นอาจทำความเข้าใจได้ชัดเจนขึ้น เมื่อพิจารณาตารางที่3 แสดงความไวเทอร์โมอิเล็กทริก(Thermoelectric Sensitivity) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ เมื่อนำมาเชื่อมต่อกัน บอกให้รู้ว่าการที่เรานำวัสดุชนิดต่างๆเชื่อมต่อกัน แล้วนำไปวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมีย่านต่างๆ Kจะมีการเปลี่ยนแปลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายของวัสดุ นั้น เป็นกัมมิลลิโวลต์ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหนึ่งองศา ด้วยเหตุนี้เองหากเราเลือกวัสดุที่เหมาะสม มาเชื่อมต่อเป็นเทอร์โมคัปเปิล เราจะได้เทอร์โมคัปเปิล ที่มีความไวใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 1 ยกตัวอย่างเช่น เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้วัสดุ โครเมลและอลูเมล (Chromel-Alumel) มาเชื่อมปลาย ด้านหนึ่งไว้ จากตารางที่ 3 จะมีความไว (S) เท่ากับ $0.04 \text{ mV/ องศาเซลวิน}$ ในความเป็นจริงเราอาจจะนำวัสดุต่างๆ ในตารางที่ 3 มาทดลองต่อเชื่อมกัน เพื่อทำเป็นเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่าง ๆ ได้ ในทางปฏิบัติเราจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไข ประกอบการใช้เทอร์โมคัปเปิลในการวัด โดยต้องมีความไวสูงสุด(กล่าวคือ ความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงสูงสุด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งองศา) และมีเสถียรภาพในการทำงานขณะทำการวัดอุณหภูมิค่าสูง ๆ โดยที่วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นเทอร์โมคัปเปิล จะยังไม่เปลี่ยนสภาพหรือไม่เกิดออกไซด์ เป็นต้น สำหรับข้อพิจารณาทางด้านความเป็นเชิงเส้นนั้นมีความจำเป็นต้องกล่าวถึงทั้งนี้เมื่อค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น (Linear) กับค่าอุณหภูมิที่วัด เพราะความไวของเทอร์โมคัปเปิล (S) มีค่าไม่คงที่ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามช่วง

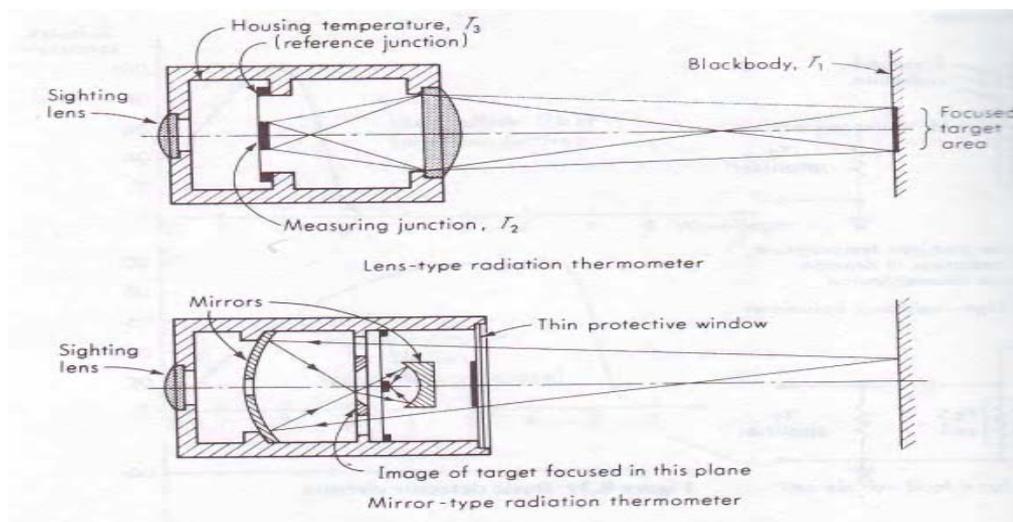
อุณหภูมิที่วัด ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล จึงไม่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอุณหภูมิอย่างสมบูรณ์ เราสามารถวิเคราะห์หาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากสมการที่ (10)

อินฟราเรดเซ็นเซอร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการแผ่รังสีความร้อนซึ่งเป็นตัวแปรทางกายภาพแล้วเปลี่ยนค่าทางด้านเอาต์พุตให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีสมบัติแบบเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ในแบบสัมผัส โดยทั่วไปมีสองชนิด: ได้แก่ หัววัดความร้อนและหัววัดโฟตอน



ภาพที่ 5 หัววัดการแผ่รังสีความร้อนใช้เทอร์โมคัปเปิลต่ออนุกรมกันเรียกว่าเทอร์โมพайล์

จากภาพที่ 5 หัววัดการแผ่รังสีความร้อนใช้เทอร์โมคัปเปิลต่ออนุกรมกันเรียกว่าเทอร์โมพайล์ ใช้หลักการทำให้อุณหภูมิที่จุดโฟกัสสูงขึ้น ตามพลังงานที่แผ่รังสีจากวัตถุ โฟกัสลงบนเป้าในหัววัด หัววัดในเครื่องมือเหล่านี้ตอบสนองโดยตรงต่อความเข้มของแสง ที่แผ่รังสีโดยสมนัยกันกับความต้านทาน หรือกระแสหรือศักดาทางไฟฟ้าที่เกิดบนขั้ว (Junction current or voltage) หัววัดการแผ่รังสีใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิโดยไม่สัมผัส ในช่วงอุณหภูมิสูง เช่น เตาเผา และการวัดอินฟราเรดในช่วงอุณหภูมิต่ำ ด้วยหัววัดรังสีมีธรรมชาติมีการทำงานเหมือนสายตาสามารถใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิภาพรวมได้ (Thermal imaging)

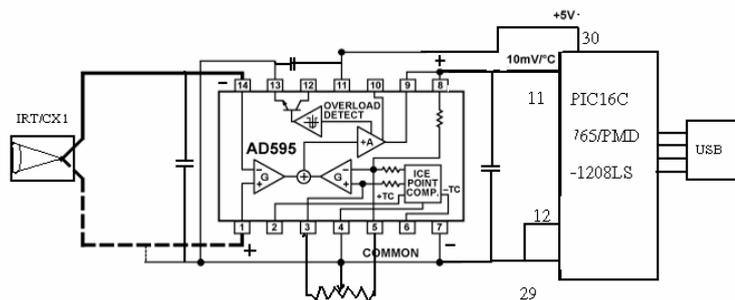


ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของหัววัดอินฟราเรด เทอร์โมคัปเปิล

ที่มา: Doebelin (1990)

หัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดบรรจุอยู่ในท่อสแตนเลสและมีกระจกแก้วสำหรับโฟกัสรังสีให้ตกกระทบบตรงตำแหน่งหัววัด โดยมีอัตราส่วนของระยะโฟกัสต่างๆซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมแต่ละงานเช่น อินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิลรุ่นIRT/C.ใช้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากหัววัดไม่ตรงกับความต้องการของวงจรที่ใช้เก็บข้อมูลและแปลงข้อมูลแบบ แอนะล็อกเป็นแบบดิจิทัลเพื่อส่งไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้นต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตเป็นเชิงเส้น
2. สามารถปรับแรงเคลื่อนสมดุลได้
3. สามารถกำหนดความละเอียดของสัญญาณเอาต์พุตก่อนที่จะส่งไปยังส่วนอื่นๆ ในการวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยใช้ไอซี AD595 โดยใช้ตัวต้านทานที่มีความละเอียดปรับโดยตรงที่ขาของสองและขาห้าของไอซี โดยขยายสัญญาณหรือปรับสภาพสัญญาณขยายสัญญาณแบบเชิงเส้นและต่ออุปกรณ์กรองสัญญาณทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุตด้วยตัวเก็บประจุ



ภาพที่ 7 วงจรภายใน IC AD595C และการ interface กับไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา: พจนานุกรม (2545)

ซึ่งเป็นไอซีที่ทางผู้ผลิตออกแบบมาสำหรับใช้งานกับหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล โดยทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณจากหัววัดและส่งข้อมูลไปยัง Micro chip ตระกูล PIC 16C765 ทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงสัญญาณจากแบบแอนะล็อกเป็นแบบดิจิทัล



ภาพที่ 8 การ Interface เครื่องมือวัดการแผ่รังสีความร้อนกับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบให้ชุดหัววัดเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต USB (Universal serial bus) โดยสัญญาณที่แปลงเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลจากส่วนจัดการสัญญาณ (Signal conditioning) จะถูกส่งแบบอนุกรมเป็นการลดข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาต่อพ่วงและใช้ IRQ (Interrupt request) ร่วมกัน โดยใช้ความเร็วในการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน USB 1.0 ซึ่งเป็นการโอนถ่ายข้อมูลความเร็วต่ำ 1.5-12 เมกะบิตต่อวินาทีในการส่งแบบฮาร์ดแวร์ซึ่งข้อมูลจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ข้อมูลที่ส่งไปจะถูกออกแบบให้ส่งเป็นเฟรมโดยทุกหนึ่งมิลิวินาทีจะส่งข้อมูลไปหนึ่งเฟรมในแต่ละเฟรมแบ่งข้อมูลเป็นแพ็คเกจย่อยๆ โดยคอมพิวเตอร์จะต้องส่งสัญญาณเริ่มต้นเฟรม start of frame (SOF) เพื่อบอกอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อว่าจะเริ่มรับส่งข้อมูลอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในระบบบัสจะเริ่มทำงานตามทคอมพิวเตอรืกำหนดตามการร้องขอโดยที่การออกแบบต้องกำหนดขนาดของข้อมูลต่อหนึ่งเฟรมต่อเวลาหนึ่งวินาทีให้พอดี ฉะนั้นการทำงานของเครื่องมือจึงต้องการการควบคุมจากไดรเวอร์ (Driver) ซึ่งอาจมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์พร้อมกันทีเดียวหลายตัวบนสายสัญญาณคู่เดียวให้ทำงานสอดคล้องกันได้ โดยไดรเวอร์แต่ละตัวจะทำหน้าที่ร้องขอไปยังไดรเวอร์ของ USB เมื่อไดรเวอร์ของ USB ได้รับการร้องขอจากไดรเวอร์ครบทุกตัวแล้วจะคำนวณว่าในรอบการรับส่งข้อมูลหนึ่งๆอุปกรณ์สามารถรับส่งข้อมูลได้มากเพียงใด (लगन และकणः, 2546)



ภาพที่ 9 ตัวสอบเทียบแบบแบล็คบอดีแคลลิเบรเตอร์

การสอบเทียบเครื่องมือที่ออกแบบสร้างขึ้นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ตัวสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดของบริษัท HART SCIENTIFIC รุ่น 9133 ดังภาพที่ 7 ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานระดับทุติยภูมิ (Secondary standard) ที่ทางสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบอุณหภูมิของการแผ่รังสีแบบวัตถุดำ ตัวเครื่องประกอบไปด้วยจานเป้าหมาย (Target plate) ซึ่งมีความสามารถในการแผ่รังสีได้ดีและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ การสอบเทียบทำได้ง่าย

โดยนำเครื่องมือไพโรมิเตอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้นทำการสอบเทียบโดยการวัดที่งานเป้าหมายและอ่านค่าอุณหภูมิจากตัวปรับเทียบที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้โดยมีตัวอ่านค่ามาตรฐานแบบRTDอ่านค่าอุณหภูมิจากงานเป้าหมายของตัวมาตรฐาน โดยวิธีสัมผัส โดยเสียบโพรบของRTDเข้าไปในงานเป้าหมายและอ่านค่า ณ.จุดต่างๆ ของอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้หลักการสอบเทียบตามที่สถาบันมาตรวิทยาใช้สอบเทียบอุณหภูมิหลังจากการบันทึกค่าอุณหภูมิจากตัวสอบเทียบมาตรฐานด้วย RTD เครื่องมือที่สร้างขึ้นซึ่งในทางมาตรวิทยาจะเรียกอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบว่า UUC (UNIT UNDER CALIBRATION)เมื่อพิจารณาผลจากการวัดแล้วนำข้อมูลมาปรับวงจรชดเชยให้ได้ค่าอุณหภูมิที่เป็นเชิงเส้นกับค่ามาตรฐานหรือให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านจากเทอร์โมคัปเปิลแบบ RTD มากที่สุด



ภาพที่ 10 การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่สร้างขึ้น

การวัดการแผ่รังสีความร้อนและการทดสอบค่าคุณสมบัติเกี่ยวกับการดูดกลืนและการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ รวมถึงเครื่องมือและวิธีวิเคราะห์ เน้นความสำคัญในเรื่องระบบการวัดและหลักการความถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์ในแบบมาตรวิทยา การสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการวิเคราะห์ต้องนำความรู้ทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ความรู้ทางสถิติพื้นฐานในการวัดปริมาณการแผ่รังสีความร้อนเช่นการหาค่าเฉลี่ย หมายถึงค่าที่ได้จากการหารผลรวมของการวัดทั้งหมดด้วยจำนวนของการวัด การวัดปริมาณตามหลักวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปนั้น ค่าที่วัดได้ต้องถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่าจริง ค่าที่วัดได้ต้องทำให้เกิดซ้ำได้ และการเกิดซ้ำต้องเป็นการกระจายแบบสุ่ม ความไม่แน่นอนของผลการวัดต้องมีความแม่นยำเพียงพอกับความต้องการของผู้วัด

ดังนั้นผู้วัดปริมาณมักทำการวัดหลายครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าขบวนการวัดมีลักษณะกระจายแบบสุ่ม และมีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่ มักจะใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดหลายๆ ครั้งเป็นตัวแทนของค่าปริมาณที่วัด อย่างไรก็ตามถึงแม้ขบวนการวัดจะเป็นการกระจายแบบสุ่ม และมีความแม่นยำเพียงพอ แต่ผลการวัดทั้งหมดอาจผิดพลาดได้ดังนั้นจึงต้องพิจารณาในเรื่องส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดมีส่วนร่วมในการวัดการกระจาย จึงใช้วัดจากค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนของการวัดมัชฌิมเลขคณิต ถ้าข้อมูลกระจายมากส่วนเบี่ยงเบนจะมีขนาดใหญ่ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนจะใหญ่ด้วย ไม่มีการวัดใดที่จะทำได้อย่างแน่นอน จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษารายละเอียดหรือปัจจัยของความผิดพลาดแต่ละชนิด เช่นความผิดพลาดเนื่องจากระบบ เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากค่าที่มีขนาดและทิศทางเดียวกัน ได้แก่ ความผิดพลาดของเครื่องมือวัด ความผิดพลาดเนื่องจากสภาวะแวดล้อม ความผิดพลาดเนื่องจากการใส่ภาระงาน ค่าผิดพลาดแบบสุ่มเป็นความผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าที่สุ่มไปสุ่มมา ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดชนิดนี้คือ การไม่รวมกลุ่มกันของค่าที่จะวัดกับความแน่นอนในการวัดปริมาณที่มีขนาดเล็กหรือ เกิดจากความบกพร่องที่แน่นอนของระบบและ ผลของการไม่สามารถควบคุมได้ ยังมีความผิดพลาดอื่นๆที่ไม่ถูกจัดกลุ่มไว้ ได้แก่ ความผิดพลาดเนื่องจากตัวบุคคล, ความผิดพลาดเนื่องจากความบกพร่องของส่วนประกอบหรืออาจเกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณที่จะวัด ความไม่แน่นอนของการวัดนั้นมีอยู่หลายประการ อาทิ ความไม่แน่นอนภายนอก เกิดจากขีดจำกัดทางความรู้ในการใช้เครื่องมือ ความไม่แน่นอนภายใน เกิดจากการประเมินปริมาณของตนเอง หรือ เกิดขึ้นเพราะเครื่องมือวัดแสดงค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ในการทดลองใดๆ ชนิดของตัวแปรในการวัดที่เป็นคนละตัวกันนั้น จะนำไปสู่การหาความไม่แน่นอนของตัวแปร ทำให้ต้องหาความไม่แน่นอนของตัวแปรทั้งหมดเพื่อคำนวณความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด สมการความไม่แน่นอนจะอยู่ในรูป (บุรินทร์, 2543)

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_i) \quad (12)$$

เมื่อ y คือตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรมาตรฐาน

โดยเขียน (12) ให้อยู่ในรูปดิฟเฟอเรนเชียล เมื่อจำนวน dy, dx_1, \dots, dx_i ถูกพิจารณาให้เป็นค่าความไม่แน่นอนของ $U_y, U_{x_1}, \dots, U_{x_i}$ จัดสมการจะได้

$$U_y = \frac{\partial y}{\partial x_1} U_{x_1} + \frac{\partial y}{\partial x_2} U_{x_2} + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_i} U_{x_i} \quad (13)$$

ยกกำลังสองทั้งสองข้างเพราะว่าธรรมชาติของการสุ่มค่าความไม่แน่นอนเป็นไปได้อันบวกและลบตัดทอนที่มีค่าน้อยมากออกไปจะได้ความไม่แน่นอนภายในทั้งหมดที่เกิดจากผลรวมของความแตกต่างของตัวแปร

$$U_I = \pm \left[\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right]^2 (U_{x_i})^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

ตัวแปรสถิติในการปฏิบัติงานของระบบการวัดมีอยู่ 7 อย่างคือ

1. ความแน่นอนเป็นการที่เครื่องมือวัดแสดงค่าเข้าใกล้ค่าจริงมากที่สุด
2. ความเที่ยงตรงเป็นความสามารถของเครื่องมือวัดที่จะผลิตหรือสร้างชุดในการอ่านค่าที่แน่นอนภายใต้ความแน่นอนที่กำหนดให้ ซึ่งความแตกต่างของความแน่นอนกับความเที่ยงตรงคือความแน่นอนแสดงดีกรีความถูกต้องในการวัด ส่วนความเที่ยงเป็นตัวแสดงดีกรีความสามารถในการทำซ้ำของการวัดหลายๆครั้ง
3. ความละเอียดเป็นการเพิ่มค่าที่เล็กที่สุดในการวัดตัวแปรใดๆ ซึ่งสามารถจับได้อย่างแน่นอนโดยเครื่องมือวัด
4. ขีดเริ่มเปลี่ยนเป็นกรณีหนึ่งที่บ่งชี้ถึงความละเอียด โดยกำหนดให้เป็นค่าที่น้อยที่สุดทางด้านอินพุตซึ่งไม่สามารถตรวจจับค่าทางด้านเอาต์พุตได้ พบว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนและความละเอียด ไม่มีโอกาสเป็นศูนย์
5. ความไวเชิงสถิติ เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือวัด กำหนดได้จากผลการสอบเทียบในเชิงสถิติ โดยคุณสมบัตินี้เป็นสัดส่วนกับขนาดของผลตอบสนอง
 Static sensitivity = change of output signal / change in input signal
 ความไวสถิติ = การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต / การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต
6. ความเป็นเชิงเส้น เป็นตัวบอกลักษณะสเกลเครื่องมือวัดที่วัดค่า ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องมือวัดที่ค่าทางด้านเอาต์พุตเป็นเชิงเส้นกับค่าทางด้านอินพุต

7. ฮิสเตอร์รีซีสเป็นตัวกำหนดขนาดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าทางด้านเอาต์พุตภายในย่านอินพุตที่กำหนด การประยุกต์ใช้ทฤษฎีโอกาสความน่าจะเป็นกับปัญหาฟิสิกส์เพื่อบอกถึงผลที่เกิดจากการทดลองจึงต้องมีการกำหนดนิยามในแต่ละการทดลองให้ชัดเจนหรือควบคุมตัวแปรของการทดลองต่างๆนอกจากนี้ในระบบการวัดยังต้องคำนึงถึงโอกาสความน่าจะเป็น

สรุปได้ว่าโอกาสความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ใดๆเท่ากับอัตราส่วนของจำนวนผลที่เกิดเหตุการณ์นั้นๆต่อจำนวนผลที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด โดยที่ผลของเหตุการณ์นั้นเป็น Equally likely การศึกษาระบบของเครื่องมือวัดที่สร้างมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะศึกษาที่คุณลักษณะต่างๆของระบบของเครื่องมือวัดที่พิจารณา ประเมินความสามารถของเครื่องมือวัดโดยอาศัยค่าตัวแปรต่างๆ รวมไปถึงการวิเคราะห์เอาต์พุตที่ตอบสนองต่ออินพุตแบบต่างๆ ด้วยระบบการวัดแบ่งเป็นส่วนๆคือ ตัวตรวจรู้ ส่วนประมวลผล และส่วนเอาต์พุต โดยระบบจะมีกระบวนการดังนี้

1. ส่วนรับรู้สภาพที่ต้องการ
2. ส่วนเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานทางกายภาพเป็นพลังงานรูปอื่น ๆ
3. อุปกรณ์ควบคุม
4. ส่วนส่งผ่านข้อมูล
5. ส่วนแสดงผล
6. ส่วนเก็บข้อมูล
7. แหล่งพลังงานของระบบ

ลักษณะของการวัดประกอบด้วย

อินพุต (y) \rightarrow แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (T.F) \rightarrow เอาต์พุต (x)

$$\text{โดยที่} \quad T.F \cong \frac{x}{y} = G \quad (15)$$

ถ้าทราบค่า G, y สามารถหา x ได้จากการวิเคราะห์

G, x สามารถหา y ได้จากการวัด

x, y สามารถหา G ได้จากการออกแบบ

ชนิดของอินพุตประกอบด้วย 3 ชนิดคือ Designed input (y), Interfering input, Modifying input (M)

การแก้ปัญหาระบบวัด และแก้ค่า

1. Inherent insensitivity เป็นวิธีการทำให้ค่าเอาต์พุตที่ได้ขึ้นกับค่าคงที่
2. High gain feedback เป็นการนำค่าความผิดพลาดกลับมาคูณใหม่จนได้ค่าที่ถูกต้อง

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

ในการทำวิทยานิพนธ์ต้องการอุปกรณ์ดังนี้

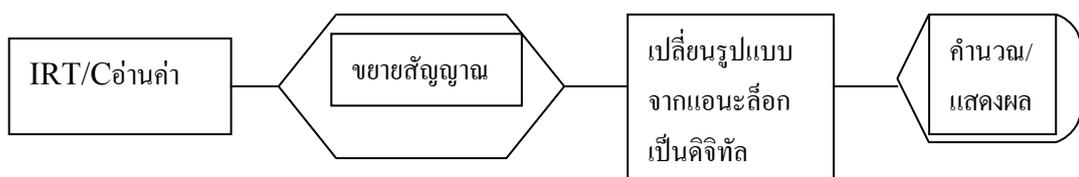
1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. ตัวตรวจรู้อินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิลรุ่น IRT/CX 1(Infrared Thermo Couple)
3. แหล่งกำเนิดมาตรฐานอุณหภูมิแบบวัตถุดำสำหรับสอบเทียบ (Black body Calibrator)
4. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลPIC16
5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้างชุดวงจรจัดการระบบสัญญาณและอินเตอร์เฟส
6. Source code ซอฟต์แวร์สำหรับ ใช้เขียน โปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์ข้อมูล
7. ชุดเครื่องมือพื้นฐานสำหรับงาน อิเล็กทรอนิกส์
8. Digital Multi Meter

วิธีการ

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจาก ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปริมาณที่จะวัด อุปกรณ์ที่จะใช้ในการ ออกแบบสร้างเครื่องมือศึกษาการทำงานของพอร์ต USB ออกแบบอัลกอริทึมของซอฟต์แวร์ และระบบการวัดการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการทางมาตรวิทยาเพื่อสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วยวิธีไม่สัมผัส และนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปผ่านการแปลง สัญญาณ จากแบบแอนะล็อกเป็นแบบ ดิจิตอลและส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์สัญญาณ โดยซอฟต์แวร์ซึ่งออกแบบและเขียน ด้วยภาษา Visual Basic และมีหลักการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักสถิติทางมาตรวิทยา เพื่อศึกษา รูปแบบการแผ่รังสีอินฟราเรด โดยการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส

ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาวิจัยในการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยตัวตรวจรู้การแผ่รังสีอินฟราเรดของบริษัท Exergen รุ่นIRT/CX1ช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง40-120 องศาเซลเซียส โดยผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าหาแนวทางประยุกต์ใช้เทคโนโลยีผสมผสานกับความรู้ในทางมาตรวิทยาและทางวิศวกรรมเพื่อที่จะศึกษาสมบัติของปริมาณที่จะวัดและสมบัติของหัววัดเพื่อ ออกแบบสร้างเครื่องมือและเขียนซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ขึ้นใช้เอง

เพื่อเป็นการลดการซื้อซอฟต์แวร์จากต่างประเทศและประยุกต์กับกระบวนการทางอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรในประเทศ โดยใช้ อุปกรณ์จากต่างประเทศเท่าที่จำเป็นชุดเครื่องมือที่จะสร้างขึ้นมีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส

จากภาพที่ 11 เมื่อนำตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสรุ่น IRT/CX1 ที่สามารถตรวจจับอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อนช่วง 40 องศาเซลเซียสถึง 120 °C เป็นช่วงใช้งานที่มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ตามข้อมูลของผู้ผลิตที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก และตารางค่ามาตรฐานแรงเคลื่อนด้านขาออกของหัววัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ซึ่งจากการทดสอบหัววัดกับอุปกรณ์อื่นๆ ในเบื้องต้นพบว่าต้องออกแบบให้มีวงจรขยายสัญญาณจากหัววัดเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอและสอดคล้องกับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่แปลงปริมาณที่เหมาะสมจากแบบแอนะล็อกเป็นแบบดิจิทัล หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB พอร์ต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผล

จากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องพบว่าเมื่อวัตถุได้รับความร้อนตัวผลึกเกิดการดูดกลืนและคายพลังงานออกมาตามสมการของแมกซ์ แพลงค์

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/k\lambda T} - 1)} \quad \text{W/m}^2 \quad (16)$$

และมีทิศทางของการสะท้อนคลื่นอินฟราเรดตามคุณสมบัติของพื้นผิวของวัตถุนั้น การใช้ตัวตรวจรู้อินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิล ตรวจวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีอินฟราเรดโดยไม่สัมผัสกับแหล่งความร้อนสามารถทำได้ โดยตัวตรวจรู้จะเปลี่ยนปริมาณความร้อนที่ตรวจวัดได้ไปเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามหลักการของ ซีเบ็ค แรงเคลื่อนที่ได้จากหัววัดถูกส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้

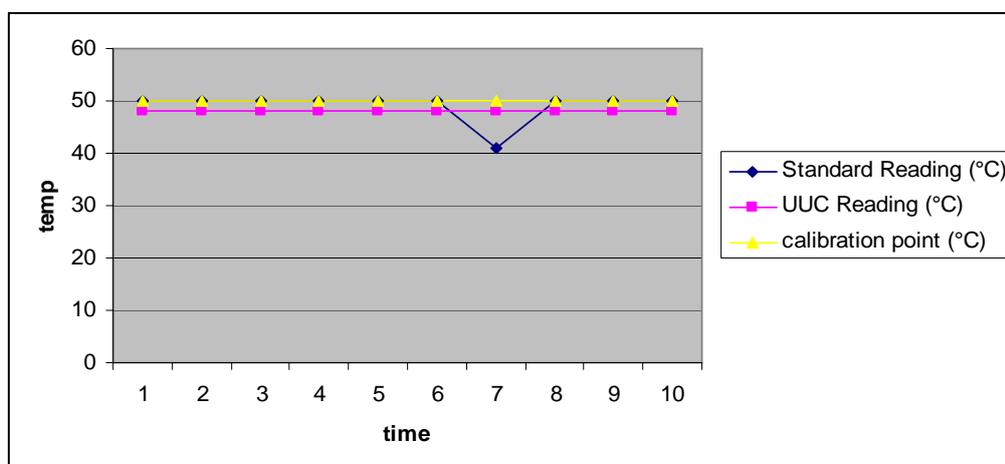
ผู้เขียนได้ออกแบบโดยใช้ไอซีเบอร์ AD595 ซึ่งเป็นไอซีที่ผู้ผลิตออกแบบให้สามารถใช้งานกับเทอร์โมคัปเปิลโดยมีจุดอ้างอิงแบบน้ำแข็งในตัว ทำหน้าที่เป็นตัวขยายและปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสมหลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล PIC16 ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ แอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) เพื่อส่งข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดต่อไปยังพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลจากการวัดเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยจัดเก็บเป็นไฟล์แบบข้อมูลตาราง และสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปซึ่งสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดให้เป็นไปตามวิธีทางสถิติทางมาตรวิทยาสามารถเปรียบเทียบเพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนทั้งทางฮาร์ดแวร์และทางซอฟต์แวร์โดยเครื่องมือสามารถแสดงผลการวัดในรูปแบบตัวเลขบอกอุณหภูมิ แบบแท่งบอกอุณหภูมิที่มีการเคลื่อนที่ตามการแปรปรวนของปริมาณการแผ่รังสีความร้อนและพิมพ์สามารถผลการวัดออกทางเครื่องพิมพ์โดยการเชื่อมโยงข้อมูลรวมทั้งการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษา Visual Basic

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการทดลองและการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ใช้ตัวตรวจรู้แบบเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด เปรียบเทียบกับการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ผลการทดลองและการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ใช้ตัวตรวจรู้แบบเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด เปรียบเทียบกับการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสที่ใช้ตัวตรวจรู้อุณหภูมิแบบสัมผัส ชนิด PRT100 อ่านค่าอุณหภูมิจากตัวสอบเทียบแบบวัดค่าที่อุณหภูมิ 50 °C 60°C 90°C และ 100°C โดยโปรแกรมถูกออกแบบให้อ่านข้อมูล 10 ครั้งต่อ 1 วินาที และอ่านข้อมูลทุกๆช่วง 3 วินาที ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดในแต่ละช่วงเวลา 10 ช่วง ถูกนำมาสร้างกราฟ

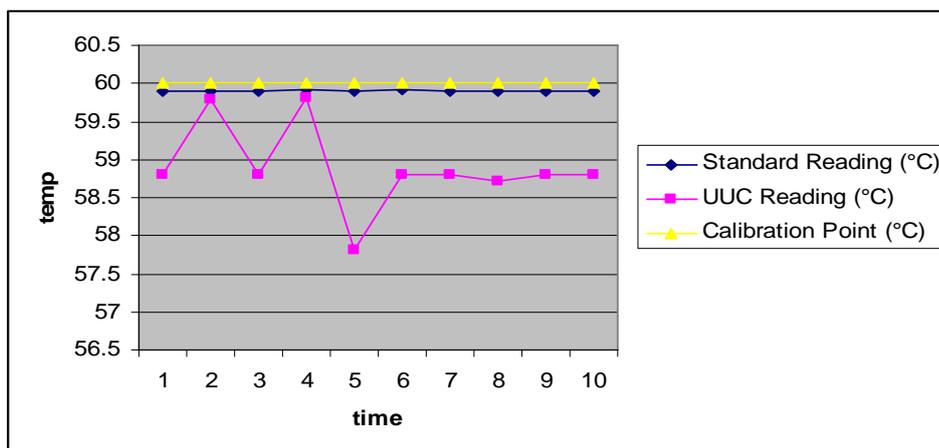


ภาพที่ 12 กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 50 °C

วิจารณ์

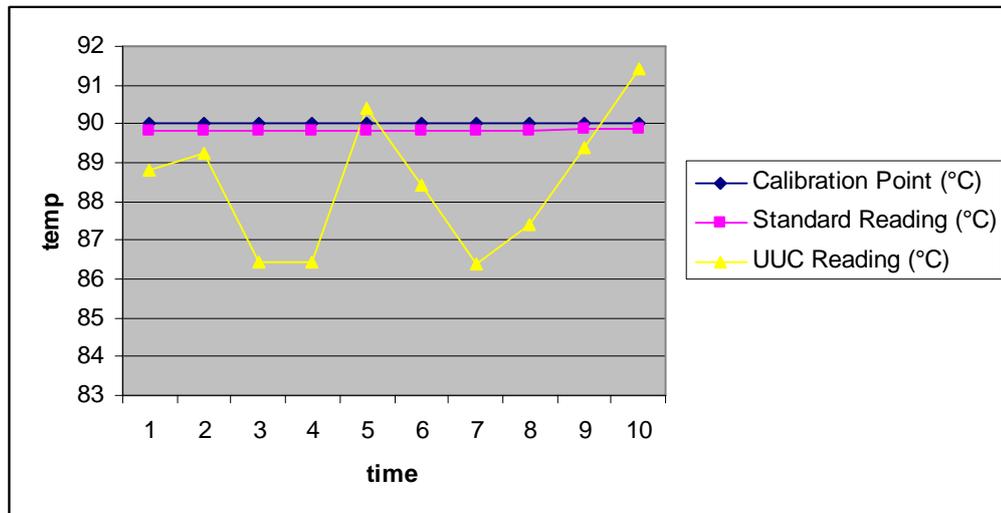
ผลการทดลองและการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ใช้ตัวตรวจรู้แบบเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด เปรียบเทียบกับการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

1. ผลจากการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 50 °C นำมาสร้างกราฟภาพที่ 13 พบว่าข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ PRT100 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.025°C และข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ IRT/cx1 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.039°C ค่าแก้ของระบบมีค่าเท่ากับ 0.986°C. (จากตารางผนวกที่ 3 ในภาคผนวก)



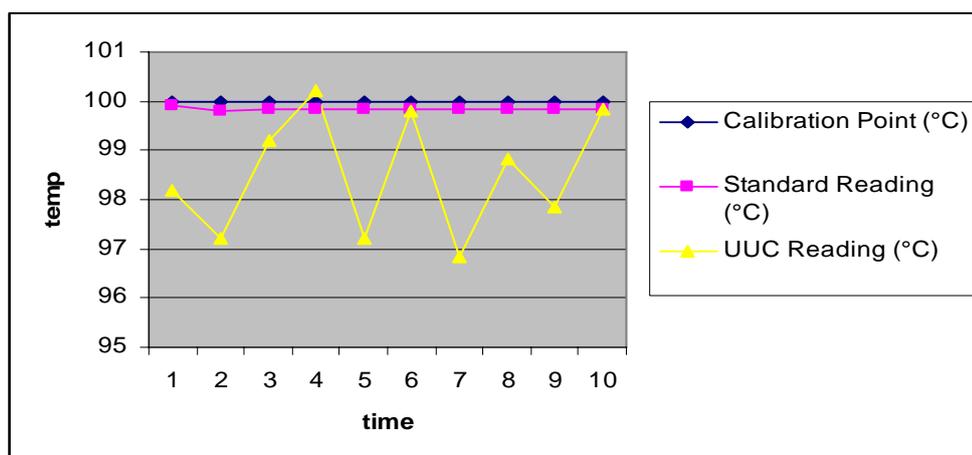
ภาพที่ 13 กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 60 °C

2. ผลการวัดจากการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 60 °C นำมาสร้างกราฟภาพที่ 13 ผลจากการสอบเทียบวัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่า ข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ PRT100 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.906°C และข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ IRT/cx1 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.893°C ค่าแก้ของระบบมีค่าเท่ากับ 0.013°C. (จากตารางผนวกที่ 4 ในภาคผนวก)



ภาพที่ 14 กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 90 °C

3. ผลการคำนวณค่าจากการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 90 °C นำมาสร้างกราฟภาพที่ 14 จากการทดลองสอบเทียบวัสดุค่าที่อุณหภูมิ 90 °C พบว่าข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสที่ใช้หัววัดแบบ PRT100 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัสดุค่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 89.828°C และข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ IRT/cx1 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัสดุค่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.434°C ค่าแก้ไขของระบบมีค่าเท่ากับ 1.394°C. (จากตารางผนวกที่ 5 ในภาคผนวก)



ภาพที่ 15 กราฟผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 100 °C

4. ผลจากการทดลองสอบเทียบวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 100 °C นำมาสร้างกราฟภาพที่ 15 พบว่าข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ PRT100 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.838 °C และข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ IRT/cx1 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.512 °C ค่าแก้ของระบบมีค่าเท่ากับ 1.326 °C (จากตารางผนวกที่ 6 ในภาคผนวก)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดของบริษัท Exergen รุ่น IRT/CX1 เพื่อใช้ออกแบบเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส

1. จากการศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดที่มีคุณสมบัติคล้ายกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K หากแต่มีความแตกต่างในส่วนของโครงสร้างหลายประการ พบว่า สัญญาณเอาท์พุทจากเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดมีขนาดต่ำ ต้องได้รับการขยายด้วยไอซีเบอร์ AD595 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทางโรงงานผู้ผลิตออกแบบให้มีความสามารถในการขยายค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและสามารถอ่านอุณหภูมิรอบตัวแปลงเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อนำค่าที่ได้ไปชดเชยและเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าอ้างอิงเพื่อปรับอัตราขยายสัญญาณให้มีความคงที่
2. ออกแบบวงจรไฟฟ้าอุปกรณ์สำหรับปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อให้ได้ระดับของสัญญาณตามที่ต้องการและส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16 เพื่อแปลงสัญญาณและประมวลผล
3. ออกแบบโปรแกรมการรับค่าข้อมูลจากตัวตรวจรู้และการเก็บข้อมูลในรูปแบบแพคเกจผ่านทาง USB พอร์ท โดยใช้ความเร็วระดับต่ำ version 1.1 และข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้วจะถูกออกแบบให้บันทึกลงบนฐานข้อมูลโปรแกรม Access หลังจากนั้นโปรแกรม Visual Basic จะทำการ Interface ข้อมูลไปยังโปรแกรม Excel เพื่อคำนวณทางสถิติทางมาตริวิทยาและแสดงเป็นอุณหภูมิ องศาเซลเซียสทางจอคอมพิวเตอร์โดยซอฟต์แวร์โปรแกรม Visual Basic
4. การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ IRT/cx1 ของบริษัท Exergen สอบเทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส ที่ใช้หัววัดแบบ PRT100 อ่านค่าจากตัวสอบเทียบแบบวัดจุดค่า ของบริษัท Hart Scientific รุ่น 9133 ที่อุณหภูมิ 50 °C 60°C 90°C และ 100°C ณ ห้องปฏิบัติการอุณหภูมิเชิงแสงสถาบันมาตริวิทยาแห่งชาติ ประเทศไทย พบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีการตอบสนอง (responsibility) อุณหภูมิในช่วง 40°C ถึง 140 °C ได้ดี มีความถูกต้อง (Accuracy)

เท่ากับ $\pm 3.719^{\circ}\text{C}$ เซลเซียส มีความเป็นเชิงเส้น (linearity) และสามารถสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ผลของการวัด

ข้อเสนอแนะ

ศึกษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาออกแบบ ตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล อินฟราเรด รวมถึงไอซีเบอร์อื่นๆที่สามารถนำมาใช้แทนไอซีเบอร์AD595

ศึกษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาใช้แทน ไอซีเบอร์AD595 ในวงจรปรับแต่ง สัญญาณเนื่องจากยังมีราคาแพงต้องซื้อจากต่างประเทศและยังมีข้อจำกัดในการทำงาน โดยจัดหา หรือออกแบบวงจรปรับแต่งสัญญาณที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศและออกแบบให้มีความละเอียดมากขึ้น สามารถขยายย่านวัดในช่วงอุณหภูมิต่ำๆ ได้

ควรพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ขึ้นใช้เอง

ควรพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ขึ้นใช้เองและสามารถประยุกต์กับการวัดปริมาณอื่นๆ เช่นภาษา Visual Basic รุ่น Visual C++.NET.

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- นัททวุฒิ พิษผล, พิชิต สันติภูตานนท์ และ พร้อมเลิศ หล่อวิจิตร. 2547. คู่มือเรียน Visual Basic 6. บริษัทโปรวิชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ณัฐชัย คำเพิ่มพูน, น.ต. 2543. เครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุรินทร์ ไตรชินชนโชติ. 2543. เทคนิคและวิธีการในงานสอบเทียบเครื่องมือวัด. ส่วนวารสารวิชาการสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- พจนานฎ สุวรรณมณี. 2545. เซ็นเซอร์ทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น. สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท., กรุงเทพฯ.
- लग्न सुगण, อรรถพล บุญยะโกศา, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. 2546. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ต USB. บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สมศักดิ์ กิรติวุฒิเศรษฐ์. 2544. หลักและการทำงานของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท., กรุงเทพฯ.
- อภิชาติ กุฬลัภ. 2546. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic. Infopress Developer Book., กรุงเทพฯ.
- Doebelin, E.O. 1990. **Measurement Systems Application and Design.** McGraw Hill International Editions, New York.
- Francesco Pompai. 1995. **Instrumentation & System, Special Report on Temperature.** Available Source: www.exergen.com., August 10, 2007.
- Measurement Computing. 2003. **Specifications.** Document Revision 1.2. Measurement Computing Corporation, U.S.A.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าประมาณสภาพการแผ่รังสีของวัสดุ

Material	Emissivity			
	1.0 μm	5.0 μm	7.9 μm	8-14 μm
Asbestos	0.9	0.9	0.95	0.95
Assphalt	n.r.	0.9	0.95	0.95
Basalt	n.r.	0.7	0.7	0.7
Carbon				
Unoxidized	0.8-0.95	0.8-0.9	0.8-0.9	0.8-0.9
Graphite	0.8-0.9	0.7-0.9	0.7-0.8	0.7-0.8
Carborundum	n.r.	0.9	0.9	0.9
Ceramic	0.4	0.85-0.95	0.95	0.95
Clay	n.r.	0.85-0.95	0.95	0.95
Concrete	0.65	0.9	0.95	0.95
Cloth	n.r.	0.95	0.95	0.95
Glass				
Plate	n.r.	0.98	0.85	0.85
Gob	n.r.	0.9	n.r.	n.r.
Gravel	n.r.	0.95	0.95	0.95
Gypsum	n.r.	0.4-0.97	0.8-0.95	0.8-0.95
Ice	n.r.		0.98	0.98
Limestone	n.r.	0.4-0.98	0.98	0.98
Paint (non-Al.)		0.9-0.95	0.9-0.95	
Paper (any color)	n.r.	0.95	0.95	0.95
Plastic				
Qpaque	n.r.	0.95	0.95	0.95
Over 20 mils	n.r.			
Rubber	n.r.	0.9	0.95	0.95
Sand	n.r.	0.9	0.9	0.9
Snow	n.r.		0.9	0.9

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Material	Emissivity			
	1.0 μm	5.0 μm	7.9 μm	8-14 μm
Soil	n.r.	$\langle \rangle$	0.9-0.98	0.9-0.98
Water	n.r.		0.93	0.93
Wood, (natural)	n.r.	0.9-0.95	0.9-0.95	0.9-0.95

n.r. = not recommended to optimize surface temperature measurement accuracy:

1. Determine the object emissivity for the spectral range of the instrument to be used for the measurement.
2. Avoid reflections by shielding object from surrounding high temperature sources.
3. For higher temperature objects use shorter wavelength instruments, whenever possible.
4. For semi-transparent materials such as plastic film and glass, assure that the background is uniform and lower in temperature than the object.
5. Hold instrument perpendicular to surface whenever emissivity is less than 0.9. In all cases, do not exceed angles more than 30 degrees from incidence.
6. For 1M and 2M models, avoid measurements in high ambient light conditions.

ตารางผนวกที่ 2 สภาพการแผ่รังสีของโลหะ

Material	Emissivity		
	1.0 μ m	1.6 μ m	8-14 μ m
Aluminum			
Unoxidized	0.1-0.2	0.02-0.2	n.r.
Oxidized	0.4	0.4	0.2-0.4
Alloy A3003			
Oxidized	n.r.	0.4	0.3
Roughened	0.2-0.8	0.2-0.6	0.1-0.3
Polished	0.1-0.2	0.02-0.1	n.r.
Brass			
Polished	0.8-0.95	0.01-0.05	n.r.
Burnished	n.r.	n.r.	0.3
Oxidized	0.6	0.6	0.5
Chromium	0.4	0.4	n.r.
Copper			
Polished	n.r.	0.03	n.r.
Roughened	n.r.	0.05-0.2	n.r.
Oxidized	0.2-0.8	0.2-0.9	0.4-0.8
Electrical Terminal Blocks	n.r.	n.r.	0.6
Gold	0.3	0.01-0.1	n.r.
Haynes			
Alloy	0.5-0.9	0.6-0.9	0.3-0.8
Inconel			
Oxidized	0.4-0.9	0.6-0.9	0.7-.95
Sandblasted	0.3-0.4	0.3-0.6	0.3-0.6
Electropolished	0.2-0.5	0.25	0.15
Iron			
Oxidized	0.4-0.8	0.5-0.9	0.5-0.9
Unoxidized	0.35	0.1-0.3	n.r.
Rusted	n.r.	0.6-0.9	0.5-0.7

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Material	Emissivity		
	1.0 μ m	1.6 μ m	8-14 μ m
Molten Iron, Cast	0.35	0.4-0.6	n.r.
Oxidized	0.7-0.9	0.7-0.9	0.6-0.95
Unoxidized	0.35	0.3	0.2
Molten Iron, Wrought	.035	0.3-0.4	0.2-0.3
Dull	0.9	0.9	0.9
Lead			
Polished	0.35	0.05-0.2	n.r.
Rough	0.65	0.6	0.4
Oxidized	n.r.	0.3-0.7	0.2-0.6
Magnesium	0.3-0.8	0.05-0.3	n.r.
Mercury	n.r.	0.05-0.15	n.r.
Molybdenum			
Oxidized	0.5-0.9	0.4-0.9	0.2-0.6
Unoxidized	0.25-0.35	0.1-0.35	

n.r.=not recommended to optimize surface temperature measurement accuracy:

1. Determine the object emissivity for the spectral range of the instrument to be used for the measurement.
2. Avoid reflections by shielding object from surrounding high temperature sources.
3. For higher temperature objects use shorter wavelength instruments, whenever possible.
4. For semi-transparent materials such as plastic film and glass, assure that the background is uniform and lower in temperature than the object.
5. Hold instrument perpendicular to surface whenever emissivity is less than 0.9.
In all cases, do not exceed angles more than 30 degrees from incidence.
6. For 1M and 2M models, avoid measurements in high ambient light conditions.

ตารางผนวกที่ 3 ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับ
ตัวสอบเทียบแบบวัดค่าที่อุณหภูมิ 50°C

Calibration Point (°C)	Standard Reading (°C)	UUC Reading (°C)	UUC Reading (°C)	Standard Reading (°C)
50.00	49.923	48.039	48.039	49.925
	49.931	48.039	48.039	40.928
	49.924	48.039	48.039	49.927
	49.926	48.039	48.039	49.925
Date : 2/3/50	49.924	48.039	48.039	49.923
Average of STD (°C) = 49.025°C				
Average of UUC (°C) = 48.039°C				
Correction (°C) = 0.986°C				

ตารางผนวกที่ 4 ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับ
ตัวสอบเทียบแบบวัดค่าที่อุณหภูมิ 60°C

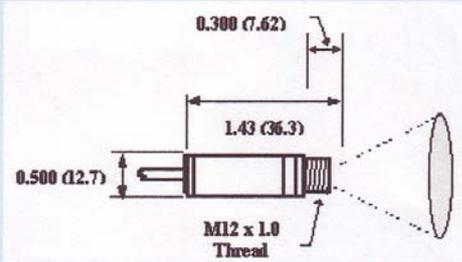
Calibration Point (°C)	Standard Reading (°C)	UUC Reading (°C)	UUC Reading (°C)	Standard Reading (°C)
60.00	59.904	58.804	58.804	59.912
	59.902	59.800	58.801	59.906
	59.907	58.804	58.709	59.905
	59.912	59.802	58.804	59.902
Date : 2/3/50	59.908	57.803	58.802	59.905
Average of STD (°C) = 59.906°C				
Average of UUC (°C) = 58.893°C				
Correction (°C) = 0.013°C				

ตารางผนวกที่ 5 ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับ
ตัวสอบเทียบแบบวัดจุดค่าที่อุณหภูมิ 90°C

Calibration Point (°C)	Standard Reading (°C)	UUC Reading (°C)	UUC Reading (°C)	Standard Reading (°C)
90.00	89.809	88.810	88.404	89.838
	89.808	89.235	86.406	89.836
	89.816	86.429	87.420	89.843
	89.826	86.420	89.406	89.847
Date : 2/3/50	89.816	90.406	91.404	89.849
Average of STD (°C) =89.828°C				
Average of UUC (°C) =88.434°C				
Correction (°C) =1.394°C				

ตารางผนวกที่ 6 ผลการสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดกับ
ตัวสอบเทียบแบบวัดจุดค่าที่อุณหภูมิ 100°C

Calibration Point (°C)	Standard Reading (°C)	UUC Reading (°C)	UUC Reading (°C)	Standard Reading (°C)
100.00	99.905	98.195	99.800	99.832
	99.806	97.195	96.830	99.832
	99.827	99.195	98.830	99.835
	99.832	100.195	97.840	99.843
Date : 2/3/50	99.829	97.195	99.846	99.846
Average of STD (°C) =99.838°C				
Average of UUC (°C) =98.512°C				
Correction (°C) =1.326°C				

IRt/c.1X	
	
Sensing Range	-50 to 1200 °F (-45 to 650 °C)
Ambient Temperature Range	0 to 212 °F (-18 to 100 °C)
Optimum Range Selections	Eight models per t/c type (see Temperature Selection Guide)
Field-of-View	1:1 (60°) approximately
Minimum Spot Size	0.3" (8 mm)
Spectral Response	6.5 to 14 μ
Output Impedance	3 Kohms approximately
Cable	Twisted shielded pair of base thermocouple material (J, K, etc.), 3 ft. (.9 m) standard length, Teflon sheathed, rated to 392 °F (200 °C) continuous service.
Dimensions	1.43" x .50" Diameter (36 x 12.7 mm)
Weight	1.4 oz (40 g) with cable
Housing	Stainless steel, hermetically sealed, exceeds NEMA 4, 4x; IP65, 67, intrinsically safe, cable shield grounded to housing and electrically isolated from signal.
Back to IRt/c Specifications	

ภาพผนวกที่ 1 รายการจำเพาะของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรด

mV Table For All K-140

millivolts EMF produced at specified target temperatures

$$\text{Actual Signal} = [(\text{Base Signal}^*) \times (\text{Actual Emissivity}/9)]$$

*With electronic 0 C cold junction compensation, zero leakage current offset, 25 C ambient.

IRt/c-K-140, IRt/c.SV-K-140

IRt/c.01-K-140

IRt/c.2-K-140, IRt/c.2SV-K-140

IRt/c.5-K-140

IRt/c.10-K-140

Base Signal		Base Signal		Base Signal		Base Signal		Base Signal		Base Signal		Base Signal		Base Signal			
F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C		
-50	-46	-0.4707	200	93	4.2265	450	232	15.077	700	371	29.315	950	510	44.793	1200	649	60.266
-45	-43	-0.4493	205	96	4.3920	455	235	15.338	705	374	29.618	955	513	45.105	1205	652	60.570
-40	-40	-0.4250	210	99	4.5600	460	238	15.599	710	377	29.922	960	516	45.418	1210	654	60.874
-35	-37	-0.3977	215	102	4.7305	465	241	15.862	715	379	30.225	965	518	45.730	1215	657	61.178
-30	-34	-0.3676	220	104	4.9034	470	243	16.127	720	382	30.530	970	521	46.042	1220	660	61.481
-25	-32	-0.3344	225	107	5.0787	475	246	16.392	725	385	30.834	975	524	46.355	1225	663	61.785
-20	-29	-0.2983	230	110	5.2565	480	249	16.659	730	388	31.139	980	527	46.667	1230	666	62.087
-15	-26	-0.2592	235	113	5.4366	485	252	16.927	735	391	31.445	985	529	46.979	1235	668	62.390
-10	-23	-0.2171	240	116	5.6190	490	254	17.196	740	393	31.750	990	532	47.291	1240	671	62.693
-5	-21	-0.1720	245	118	5.8038	495	257	17.466	745	396	32.056	995	535	47.603	1245	674	62.995
0	-18	-0.1238	250	121	5.9909	500	260	17.737	750	399	32.363	1000	538	47.915	1250	677	63.296
5	-15	-0.0727	255	124	6.1803	505	263	18.010	755	402	32.670	1005	541	48.227	1255	679	63.598
10	-12	-0.0185	260	127	6.3719	510	266	18.283	760	404	32.977	1010	543	48.538	1260	682	63.899
15	-9	0.0387	265	129	6.5657	515	268	18.558	765	407	33.284	1015	546	48.850	1265	685	64.200
20	-7	0.0990	270	132	6.7617	520	271	18.834	770	410	33.592	1020	549	49.162	1270	688	64.501
25	-4	0.1623	275	135	6.9599	525	274	19.110	775	413	33.900	1025	552	49.473	1275	691	64.801
30	-1	0.2286	280	138	7.1603	530	277	19.388	780	416	34.209	1030	554	49.784	1280	693	65.101
35	2	0.2980	285	141	7.3628	535	279	19.667	785	418	34.517	1035	557	50.096	1285	696	65.400
40	4	0.3704	290	143	7.5674	540	282	19.947	790	421	34.826	1040	560	50.407	1290	699	65.700
45	7	0.4458	295	146	7.7740	545	285	20.227	795	424	35.135	1045	563	50.718	1295	702	65.999
50	10	0.5243	300	149	7.9827	550	288	20.509	800	427	35.445	1050	566	51.028	1300	704	66.298
55	13	0.6058	305	152	8.1935	555	291	20.792	805	429	35.754	1055	568	51.339	1305	707	66.596
60	16	0.6903	310	154	8.4062	560	293	21.075	810	432	36.064	1060	571	51.650	1310	710	66.894
65	18	0.7778	315	157	8.6209	565	296	21.360	815	435	36.374	1065	574	51.960	1315	713	67.192
70	21	0.8683	320	160	8.8376	570	299	21.645	820	438	36.685	1070	577	52.270	1320	716	67.489
75	24	0.9618	325	163	9.0562	575	302	21.931	825	441	36.995	1075	579	52.580	1325	718	67.786
80	27	1.0582	330	166	9.2767	580	304	22.218	830	443	37.306	1080	582	52.890	1330	721	68.083
85	29	1.1577	335	168	9.4991	585	307	22.506	835	446	37.616	1085	585	53.200	1335	724	68.379
90	32	1.2600	340	171	9.7233	590	310	22.794	840	449	37.927	1090	588	53.509	1340	727	68.676
95	35	1.3654	345	174	9.9494	595	313	23.084	845	452	38.239	1095	591	53.819	1345	729	68.971
100	38	1.4736	350	177	10.1773	600	316	23.374	850	454	38.550	1100	593	54.128	1350	732	69.267
105	41	1.5848	355	179	10.4069	605	318	23.665	855	457	38.861	1105	596	54.437	1355	735	69.562
110	43	1.6988	360	182	10.6383	610	321	23.956	860	460	39.173	1110	599	54.746	1360	738	69.856
115	46	1.8157	365	185	10.8715	615	324	24.249	865	463	39.484	1115	602	55.054	1365	741	70.151
120	49	1.9355	370	188	11.1063	620	327	24.542	870	466	39.796	1120	604	55.362	1370	743	70.445
125	52	2.0582	375	191	11.3429	625	329	24.836	875	468	40.108	1125	607	55.671	1375	746	70.738
130	54	2.1837	380	193	11.5811	630	332	25.130	880	471	40.420	1130	610	55.979	1380	749	71.032
135	57	2.3119	385	196	11.8209	635	335	25.425	885	474	40.732	1135	613	56.286	1385	752	71.325
140	60	2.4430	390	199	12.0624	640	338	25.721	890	477	41.044	1140	616	56.594	1390	754	71.617
145	63	2.5769	395	202	12.3054	645	341	26.017	895	479	41.356	1145	618	56.901	1395	757	71.910
150	66	2.7135	400	204	12.5500	650	343	26.314	900	482	41.669	1150	621	57.208	1400	760	72.202
155	68	2.8528	405	207	12.7962	655	346	26.612	905	485	41.981	1155	624	57.515	1405	763	72.493
160	71	2.9949	410	210	13.0439	660	349	26.910	910	488	42.293	1160	627	57.822	1410	766	72.784
165	74	3.1396	415	213	13.2930	665	352	27.209	915	491	42.606	1165	629	58.128	1415	768	73.075
170	77	3.2871	420	216	13.5437	670	354	27.508	920	493	42.918	1170	632	58.434	1420	771	73.365
175	79	3.4371	425	218	13.7958	675	357	27.808	925	496	43.231	1175	635	58.740	1425	774	73.656
180	82	3.5898	430	221	14.0494	680	360	28.109	930	499	43.543	1180	638	59.046	1430	777	73.945
185	85	3.7451	435	224	14.3043	685	363	28.410	935	502	43.856	1185	641	59.351	1435	779	74.235
190	88	3.9030	440	227	14.5607	690	366	28.711	940	504	44.168	1190	643	59.656	1440	782	74.524
195	91	4.0635	445	229	14.8184	695	368	29.013	945	507	44.480	1195	646	59.961	1445	785	74.812

ภาพผนวกที่ 2 แสดงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Tables) ของ Exergen

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายศิริพงษ์ เทศนา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	6 มิถุนายน 2506
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศน์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ฝ่ายวิศวกรรม สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร