

การออกแบบชุดหัววัดสำหรับการวัดปริมาณรังสีอินฟราเรด

สุรตน์ ภัทรจินดานวงศ์^{1,*}, บวรโชค ผู้พัฒนา² และ วชิระ มีทอง²

¹สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ถ.พระราม 6 ราชเทวี กทม. E-mail:p_surat@yahoo.com Tel.01-8019500

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันรังสีอินฟราเรดมีบทบาทมากมายหลายด้าน เช่นอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องมือแพทย์ ปริมาณของรังสีที่ใช้งานมีความสำคัญต่อผลที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการออกแบบชุดหัววัดเพื่อใช้ในการวัดปริมาณรังสีอินฟราเรด โดยใช้หลอดควอทซ์ฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด ใช้ตัวตรวจวัดเป็นแบบเทอร์โมไฟล์ นำผลและสิ่งที่สังเกตได้ในการทำการทดลองมาใช้ในการออกแบบ เช่นการนำความร้อนภายในตัวตรวจวัด และการเคลื่อนที่ของลม เมื่อทำการศึกษาผลการออกแบบ พบว่าชุดหัววัดนี้สามารถนำไปใช้งานในกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงได้ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆได้ เช่นช่วยในการควบคุมคุณภาพงานเชื่อม การวัดปริมาณความร้อนแบบไม่สัมผัสของตู้อบหรือเตาหลอมในภาคอุตสาหกรรม และการตรวจสอบคุณภาพแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดของเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

Design and Development of transducer for IR radiation measurement

Surat Pattarachindanuwong^{1,*}, Bovornchoke Poopat² and Wachira Meethong²

¹National Institute of Metrology 75/7 Rama6 Rd., Rajathevee, Bangkok.

²Department of Production Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Abstract

Recently, IR radiation has many important roles such as for plastics industry, food industry and medical instrumentation. The consequence of exposed irradiation objects from IR can be greatly affected by the quantity of IR radiation. Therefore the objectively this research is to design and develop a transducer for IR radiation measurement. By using a quartz halogen lamp as a IR heat source of IR radiation and a thermopile sensor as a transducer. The thermal conductivity of transducer and air flow, were also considered for design and development of transducer. The study shows that the designed transducer can be used and applied in high temperature process, for example, the quality control of welding, the non-contact temperature measurement of drying oven and the testing of IR source in medical therapy device.

Keyword:

คำนำ

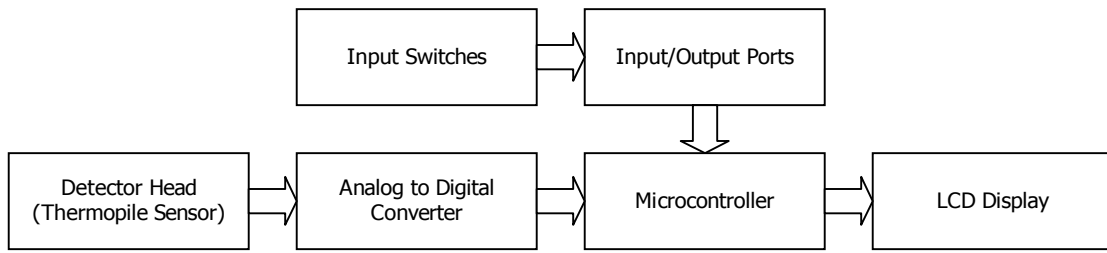
พลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดมีบทบาทอย่างมากในงานอุตสาหกรรมเช่นอุตสาหกรรมรถยนต์ อาหาร เครื่องมือแพทย์ อีกทั้งยังรวมไปถึงอุตสาหกรรมงานเชื่อมพลาสติก รังสีอินฟราเรดถูกนำมาใช้ทดแทนพลังงานความร้อนจากแหล่งอื่น เนื่องจากสามารถควบคุมทิศทางและพลังงานได้ ไม่มีผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ การบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่าย โดยเฉพาะงานทางด้านเครื่องมือแพทย์เนื่องจากความสะดวกถือเป็นปัจจัยหลักในการคำนึงถึงการใช้งาน⁽¹⁻²⁾

ในการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมงานเชื่อมมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเชื่อมได้แก่ปริมาณความร้อนที่จ่ายให้กับชิ้นงาน ระยะเวลาในการเชื่อม ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับตัวชิ้นงาน และคุณสมบัติของชิ้นงานพลาสติก การประมาณหรือการคำนวณปริมาณรังสีที่ตกกระทบชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมโดยไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียความร้อนจะทำให้ปริมาณรังสีที่ต้องการคลาดเคลื่อนจากปริมาณรังสีที่ตกกระทบจริง สาเหตุที่ทำให้การคำนวณมีความผิดพลาด เช่น การเสื่อมสภาพของหลอดอินฟราเรดตามอายุการใช้งาน ดังนั้นหากสามารถทราบปริมาณความร้อนที่ตกกระทบบนชิ้นงานที่แท้จริงหรือใกล้เคียงกับการวัด ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดกับชิ้นงาน และระยะเวลาที่รังสีตกกระทบชิ้นงาน ซึ่งเป็นการควบคุมคุณภาพของการเชื่อมพลาสติกได้ทางหนึ่ง⁽³⁻⁶⁾

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ และสร้างเครื่องตรวจวัดปริมาณรังสีอินฟราเรด ที่มีขนาดกระทัดรัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้งานเป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีอินฟราเรดในกระบวนการเชื่อมพลาสติก หรือประยุกต์ใช้ได้กับงานที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ใช้พลังงานรังสีอินฟราเรด

การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดปริมาณรังสีอินฟราเรดประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของหัววัด และส่วนประมวลผล ซึ่งมีแนวทางตามรูปที่ 1 ภายในหัววัด(Detector Head) ประกอบด้วยตัวตรวจวัดเทอร์โมไพล์ทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์ และตัวระบายความร้อน สัญญาณขาออกของเทอร์โมไพล์เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณรังสีที่ตกกระทบหัววัด สัญญาณจากหัววัดจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล(Analog to Digital Converter circuit) เพื่อให้สามารถรับรู้และสามารถประมวลผลได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ซึ่งเป็นตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมด ได้แก่ ควบคุมการแปลงสัญญาณ รับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความไวของทรานสดิวเซอร์จากสวิตช์ การคำนวณค่าที่วัดได้ให้เป็นปริมาณความหนาแน่นของรังสีอินฟราเรดในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร(W/m^2) และส่งค่าที่คำนวณได้แสดงผลออกทาง LCD รวมไปถึงการตั้งค่าเพื่อการเปรียบเทียบ



รูปที่ 1 แสดง Block diagram ของเครื่องวัดปริมาณรังสีอินฟราเรด

หัววัด (Detector Head)

เทอร์โมไพล์เป็นทรานสดิวเซอร์ที่มีโครงสร้างภายในประกอบไปด้วย เทอร์โมคัปเปิ้ลจำนวนมากต่ออนุกรมกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดรอยต่อขึ้น 2 รอยต่อคือ รอยต่ออ้างอิง (Reference junction) และรอยต่อด้านที่ใช้รับรังสี (Active junction) ในหัววัดรอยต่ออ้างอิงถูกติดตั้งบนตัวระบายความร้อนเพื่อให้ได้ผลของการระบายความร้อนและควบคุมอุณหภูมิที่รอยต่ออ้างอิงให้คงที่ที่อุณหภูมิแวดล้อม โดยทาครีมนำความร้อนที่บริเวณหน้าสัมผัสระหว่างตัวตรวจวัดกับตัวระบายความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติของครีมนำความร้อนจะช่วยให้หน้าสัมผัสระบายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ และระบายความร้อนได้ดีขึ้น ด้านหลังตัวระบายความร้อนถูกต่อเข้ากับพัดลมขนาดเล็กเพื่อช่วยในการระบายความร้อนได้ดีขึ้น รอยต่อด้านที่ใช้รับรังสีถูกทำด้วยสีดำ เนื่องจากสีดำมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและเปล่งรังสีได้ดีที่สุด ส่วนบนของรอยต่อด้านที่ใช้รับรังสีถูกยึดกับแผ่นอลูมิเนียมที่มี ช่องตรงกลางสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดเล็กกว่า 2x2 เซนติเมตรเล็กน้อยเพื่อใช้ในการจับยึดเทอร์โมไพล์เข้ากับตัวระบายความร้อน ถัดจากแผ่นอลูมิเนียมมีฉนวนกันความร้อนหนา 0.5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันความร้อนที่ถูกนำมาจากแผ่นอลูมิเนียมด้านหน้า ถัดมาเป็นแผ่นอลูมิเนียมหนา 1.95 เซนติเมตร ตรงกลางมีช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 2.4x2.4 เซนติเมตร ถัดมาเป็นแผ่นอลูมิเนียมเพื่อใช้ในการใส่กระจกกรองแสง โดยแผ่นกระจกสามารถถอดเข้าออก กระจกทำหน้าที่เป็นตัวกรองรังสี ให้รังสีที่มีความยาวคลื่นในช่วงความยาวคลื่น 0.7 ไมโครเมตร ถึง 3 ไมโครเมตรผ่าน และช่วยป้องกันการพาความร้อนที่เกิดจากลมที่ไหลเวียนในบริเวณที่ทำการวัด

จากการออกแบบขนาดและระยะต่างๆ สามารถนำไปคำนวณหาลักษณะของชุดหัววัด ได้แก่ขนาดของ angle of view ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$\theta_v = 2 \tan^{-1} \left(\frac{D_w + D}{2X} \right)$$

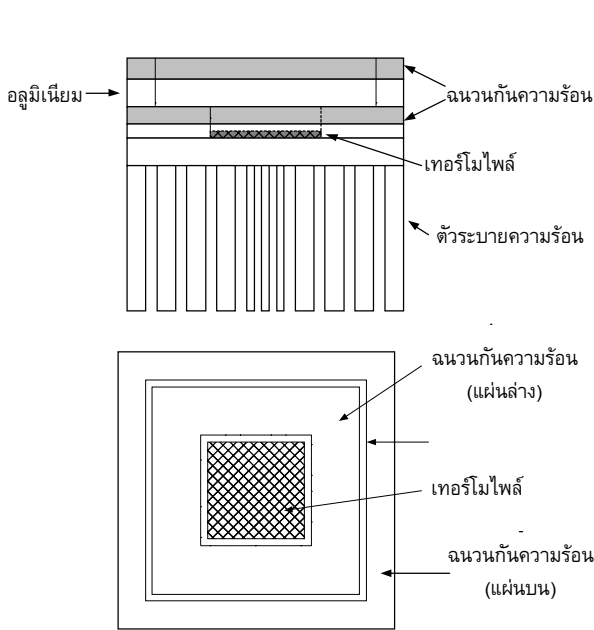
$$\theta_v = 2 \tan^{-1} \left(\frac{2.4 + 2}{2 \times 2} \right)$$

$$\theta_v = 95.45$$

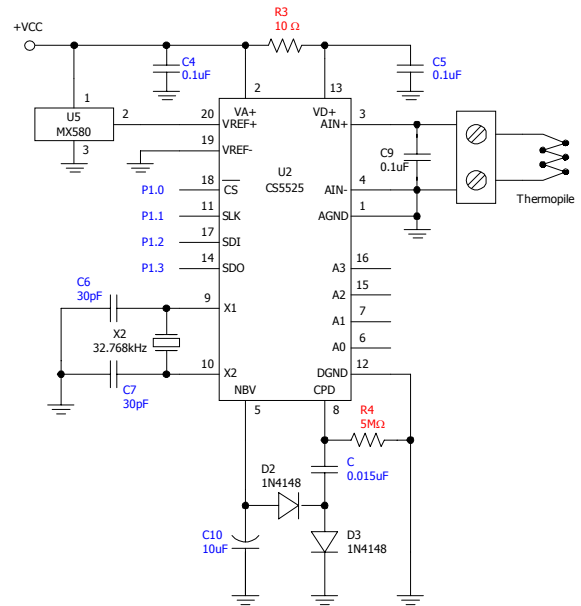
โดยที่ D_w คือความกว้างของกระจกที่เป็นหน้าต่าง D คือความกว้างของเทอร์โมไฟล์ และ X คือระยะห่างระหว่างเทอร์โมไฟล์กับกระจก เพราะฉะนั้นซูดหัววัดซูดนี้มีค่า angle of view เท่ากับ 95.45 องศา

ในการทำการออกแบบนั้นพิจารณาจากผลที่ได้จากการทำการศึกษาคือการตอบสนองของตัวตรวจวัดที่ยังไม่ได้ติดตั้งเข้ากับหัววัด (1-2, 7-8)

โครงสร้างภายในของหัววัดแสดงในรูปที่ 2 ความไว(Sensitivity) ของเทอร์โมไฟล์ที่ใช้ในการออกแบบในครั้งนี้ คุณลักษณะระบุไว้เท่ากับ $1.53 \mu V/W/m^2$ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบส่วนประมวลผลเพื่อแสดงค่าที่ได้จากหัววัด



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างภายในของหัววัด



รูปที่ 3 วงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล

วงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter Circuit)

สัญญาณจากหัววัดจะถูกป้อนให้กับตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล(CS5525) ดังแสดงในรูปที่ 3 CS5525 เป็นตัวแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 16 บิต เนื่องจาก CS5525 มีวงจรขยายที่สามารถโปรแกรมได้ภายใน สัญญาณจากหัววัดจึงสามารถต่อเข้ากับตัว CS5525 ได้โดยตรง นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติอื่นๆ เช่นการตั้งย่านการใช้งาน การปรับเทียบ(Calibration) ซึ่งทั้งหมดสามารถโปรแกรมได้และถูกควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการใช้สายสัญญาณจากพอร์ท 1 เพียง 4 สาย

อินพุทและเอาต์พุทพอร์ท(Input/Output port) และอินพุทสวิตช์(Input switches)

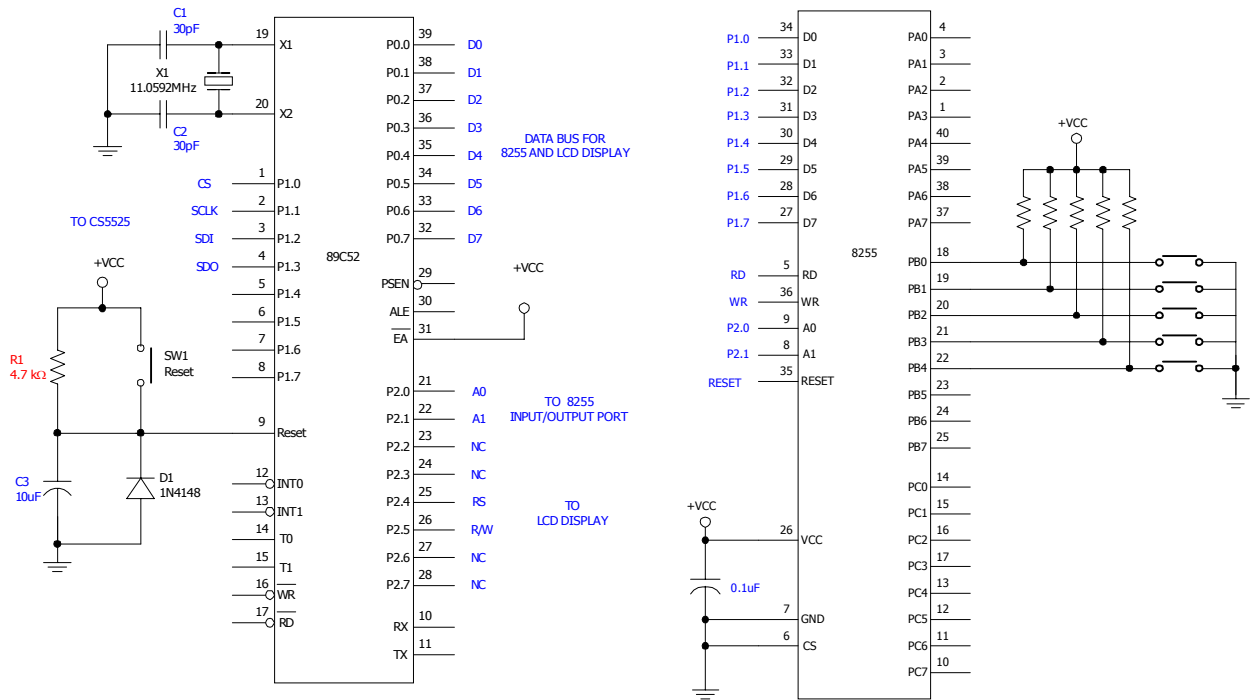
IC8255 ทำหน้าที่เป็นอินพุทและเอาต์พุทพอร์ท สวิตช์ถูกนำมาต่อกับพอร์ท B ของ IC8255 เพื่อรับการเปลี่ยนแปลงค่าจากผู้ใช้ เพื่อให้เครื่องที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ได้กับเทอร์โมไฟล์ตัวอื่นๆ ที่มีค่าความไวแตกต่างกันออกไป และ เพื่อการปรับตั้งค่าการปรับเทียบให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงาน และรับข้อมูลที่ได้จากการกดสวิตช์ที่ถูกต้องอยู่กับพอร์ทของ IC8255 โดยใช้สายสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 4 (A)

ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller)และภาคแสดงผล(LCD Display)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C52 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน เช่น การอ่านค่าจากสวิตช์ การอ่านค่าที่วัดได้จากหัววัด ซึ่งค่าที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลและคำนวณเป็นปริมาณรังสีอินฟราเรด โดยการนำไปหารด้วยความไวของทรานสดิวเซอร์ และแสดงผลออกทางภาคแสดงผล

Liquid Crystal Display ขนาด 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด ถูกเลือกใช้เป็นส่วนแสดงผล เช่น ปริมาณรังสีอินฟราเรดที่วัดได้ ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) ความไวของเทอร์โมไฟล์ โดยถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ทต่างๆ ดังรูปที่ 4 (B)



รูปที่ 4 (A) อินพุทและเอาต์พุทพอร์ท(Input/Output port) และอินพุทสวิตช์(Input switches)

(B) แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C52

การทดลอง

การทดสอบหัววัด

การทดลองถูกทำขึ้นทั้งก่อนการติดตั้งเทอร์โมไฟล์ลงบนหัววัดและหลังจากที่ติดตั้งเทอร์โมไฟล์เข้ากับหัววัดเรียบร้อยแล้ว โดยการวัดสัญญาณที่ได้จากหัววัดด้วยไมโครโวลท์มิเตอร์ เมื่อนำไปวัดรังสีอินฟราเรดจากหลอดควอทซ์ฮาโลเจนที่ถูกใช้เป็นตัวกำเนิดของรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นแบบเดียวกันกับที่ใช้ในงานเชื่อมพลาสติก โดยมีระยะห่างระหว่างหลอดกับตัวตรวจวัด 30 ซม. และเพื่อเป็นการปรับปริมาณของรังสีอินฟราเรดที่จะเปล่งออกมาจากหลอด แรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ ถึง 220 โวลต์ ที่ป้อนให้กับหลอดถูกควบคุมโดยการใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าได้

วิธีการติดตั้งอุปกรณ์

1. ต่อสายสัญญาณของหัววัดเข้ากับไมโครโวลท์มิเตอร์
2. วางเทอร์โมไฟล์ในแนวเดียวกับหลอด
3. ต่อสายไฟจากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าเข้ากับหลอด

การทดสอบความถูกต้องและความเป็นเชิงเส้นของภาควัดและประมวลผล

ในส่วนของภาควัดและประมวลผลที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนสำคัญ การทดสอบทำได้โดยการใช้เครื่องกำเนิดระดับแรงดันมาตรฐานจำลองระดับแรงดันที่จะได้จากหัววัดที่ปริมาณรังสีอินฟราเรดระดับต่างๆ ป้อนให้กับอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณและรายงานเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด และค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเชิงเส้น

ผลการทดลอง

จากการทดสอบผลการออกแบบชุดหัววัด ค่าที่ได้ถูกแสดงเป็นค่าความแปรปรวนดังตารางที่ 1 ช่องแรก แสดงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอด ช่องที่ 2 แสดงค่าความแปรปรวนของเทอร์โมไฟล์ก่อนทำการติดตั้งเข้ากับหัววัด ช่องที่ 3 แสดงค่าความแปรปรวนของเทอร์โมไฟล์ที่ถูกติดตั้งเข้ากับหัววัดเรียบร้อยแล้วและช่องที่ 4 เป็นสัดส่วนความแปรปรวนซึ่งทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความแปรปรวนของเทอร์โมไฟล์ก่อนและหลังติดตั้งเข้ากับหัววัด คำนวณสัดส่วนความแปรปรวนได้จากสมการดังนี้

$$\Delta = \frac{(X_{\text{ก่อน}} - X_{\text{หลัง}})}{X_{\text{หลัง}}}$$

จากตารางจะพบว่าค่าที่วัดได้จากเทอร์โมไฟล์ที่ถูกติดตั้งเข้ากับหัววัดมีสัดส่วนของความแปรปรวนลดลงเฉลี่ยประมาณ 3.18

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของเทอร์โมไฟล์ก่อนและหลังติดตั้งเข้ากับหัววัด

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ หลอด	ก่อน ($X_{\text{ก่อน}}$)	หลัง ($X_{\text{หลัง}}$)	Δ
100	27.95	5.54	4.04
120	26.64	6.14	3.34
140	35.89	9.28	2.87
160	38.97	10.20	2.82
180	52.42	14.56	2.60
200	48.66	12.11	3.02
220	53.75	11.68	3.60

และจากการทำการทดสอบประสิทธิภาพของภาควัดและประมวลผล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 นำค่าที่ได้ในตารางมาคำนวณหาค่าความผิดพลาดของค่าที่อ่านได้ (error) พบว่าค่าที่วัดได้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.52 เปอร์เซ็นต์ และในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) นั้นเลือกคำนวณจากค่าที่แย่ที่สุดซึ่งพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าทั้ง 2 สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้⁽⁹⁾

$$\% \text{Error} = \frac{(X_{\text{reading}} - X_{\text{expected}})}{X_{\text{expected}}} \times 100$$

$$\% \text{Linearity} = \frac{(X_{\text{reading}} - X_{\text{full scale}})}{X_{\text{full scale}}} \times 100$$

ตารางที่ 2 สัญญาณขาออกของส่วนประมวลผลที่ได้จากการจำลองสัญญาณขาเข้าที่แรงดันต่างๆ

แรงดันไฟฟ้าที่จำลองสัญญาณขาเข้า (ไมโครโวลต์)	แรงดันขาออกของส่วนประมวลผล (ไมโครโวลต์)
653.6	657.0
1307.2	1314.0
1960.8	1971.0
2614.4	2628.0
3268.0	3285.0
3921.6	3942.0
4575.2	4599.0
5228.8	5256.0
5882.4	5913.0
6535.9	6570.0
7189.5	7227.0
7843.1	7884.0

ตารางที่ 2 สัญญาณขาออกของส่วนประมวลผลที่ได้จากการจำลองสัญญาณขาเข้าที่แรงดันต่างๆ (ต่อ)

แรงดันไฟฟ้าที่จำลองสัญญาณขาเข้า (ไมโครโวลต์)	แรงดันขาออกของส่วนประมวลผล (ไมโครโวลต์)
8496.7	8540.0
9150.3	9198.0
9803.9	9855.0
10457.5	10512.0
11111.1	11169.0
11764.7	11827.0
12418.3	12483.0
13071.9	13140.0
13725.5	13797.0
14379.1	14455.0
15032.7	15112.0
15686.3	15769.0
16339.9	16424.0

สรุปผลการทดลอง

จากการทำการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองพบว่าการใช้เทอร์โมไฟล์ไฟล์เพียงลำพังไม่สามารถใช้งานได้ดีในกระบวนการเชื่อมเนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง แต่เมื่อทำการติดตั้งลงบนหัววัดทำให้ตัวเทอร์โมไฟล์สามารถใช้งานในกระบวนการที่มีความร้อนสูงขึ้นได้โดยพิจารณาได้จากค่าที่วัดได้มีสัดส่วนของความแปรปรวนลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 3.18

ด้วยข้อจำกัดของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ในการคำนวณจึงส่งผลให้ค่าที่วัดได้เกิดความผิดพลาด แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดและค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเชิงเส้น ก็พบว่าเครื่องวัดปริมาณรังสีอินฟราเรดที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถให้ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ โดยมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.52 % และค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.51 %

เครื่องวัดปริมาณรังสีอินฟราเรดนี้ได้ถูกออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีขนาดเล็ก ทำให้เครื่องมีขนาดกระทัดรัด สามารถพกพาได้ อีกทั้งยังสามารถปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นสำหรับการสอบเทียบ เพื่อให้การวัดได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้นและเพื่อรองรับการนำไปใช้งานในกระบวนการเชื่อม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การตรวจสอบคุณภาพของแหล่งกำเนิดรังสีก่อนใช้งาน การวิเคราะห์คุณสมบัติของพลาสติก การตรวจวัดความร้อนแบบไม่สัมผัส การอบแห้งอาหาร การอบแห้ง สีรถยนต์ และการประยุกต์ใช้งานในด้านรังสีวิทยาทางการแพทย์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Everette Infrared and Electro-optic Technology, 1999, Physics of Detector [online], Available : <http://www.everetteinfrared.com/detectors.htm> [2000,June 14]
2. Frank P. Incropera and David P.De Witt. Radiation : Process and Properties, Introduction to Heat transfer, 2nd ed., John Wiley & Sons, pp. 653-714, 1990
3. C. Bonten and C. tuchert, Welding of Plastics : Introduction into Heating by Radiation, ANTEC, pp1138-1142, 2000.
4. David A. Grewell, TTIR Welding of Aliphatic Polyketone, ANTEC, pp.1148-1152, 2000.
5. Poopat, B., Benatar, A., and Park, J.B.,Comparative study of contact and non-contact hot plate welding of HDPE. ANTEC 2000, pp.1117-1119, 2000.
6. Poopat, B., "Contact hot plate welding of polycarbonate" การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, pp.512-514, 2543.
7. Michale, F.Modest, 1993, Radiative Heat Transfer, 2nd ed.,McGraw-Hill, United State of America, pp.1-53
8. National Plastic Heater Sensor & Control Co.,Ceramic Infrared Emitters Technical Manual [online], Availabel : <http://www.nphheaters.com> [2000, June 15]
9. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ,2540, สถิติสำหรับงานวิศวกรรม, เล่ม 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),หน้า 76-83