

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบ
จำหน่ายไฟฟ้า

EMISSIVITY MEASUREMENT ON MATERIAL AND EQUIPMENT
IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM



T119195



นายภูวนาท พรนิภาอำไพ

นายรุ่งโรจน์ จันท์ผล

นายอิศรา อาดำ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119195
วัน,เดือน,ปี - 6 S.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2553
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EMISSIVITY MEASUREMENT ON MATERIAL AND EQUIPMENT
IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2010** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

.....

หัวข้อปริญญาโท การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบ
จำหน่ายไฟฟ้า
EMISSION MEASUREMENT ON MATERIAL AND EQUIPMENT
IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายภูวนาท พรนิภาอำไพ **รหัสนักศึกษา** 50011200
นายรุ่งโรจน์ จันทร์ผล **รหัสนักศึกษา** 50011312
นายอิสรา อาดำ **รหัสนักศึกษา** 50011958
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทวีพล ช่อสัจย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

EMISSIVITY MEASUREMENT ON MATERIAL AND EQUIPMENT IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายภูวนาท พรนิภาอำไพ รหัสนักศึกษา 50011200
นายรุ่งโรจน์ จันทร์ผล รหัสนักศึกษา 50011312
นายอิสรา อาดำ รหัสนักศึกษา 50011958

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุ (Emissivity) โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนที่มีความยาวคลื่น 8 – 14 ไมโครเมตร กล้องถ่ายภาพความร้อนถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันในหลากหลายอุตสาหกรรม กล้องนี้สามารถถ่ายภาพความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ และอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและใช้วัดอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี สิ่งที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำในการใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนคือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรด (Emissivity) ของวัสดุที่ต้องป้อนให้กับกล้อง ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของวัสดุอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่รู้ค่าเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน ในการวัดค่าดังกล่าวจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิของวัสดุให้อยู่ในช่วงการใช้งานอุณหภูมิ 50°C – 200°C โดยในโครงการนี้ได้ออกแบบสร้างห้องควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อใช้สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเพื่อทดสอบความถูกต้องวิธีการวัดค่า วัสดุที่ทั่วไปที่นำมาทดสอบเทียบกับตารางมาตรฐาน ได้แก่ วัสดุทางวิศวกรรม 5 ชนิด เหล็ก ทองแดง สแตนเลส อลูมิเนียม ทองเหลือง และวัสดุอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ถูกเลือกนำมาทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของวัสดุดังกล่าว ได้แก่ หางพลาสติก (ใหม่) หางพลาสติก (เก่า) หางปลาอลูมิเนียม (ใหม่) พีจีคอนเนคเตอร์ (ใหม่) พีจีคอนเนคเตอร์ (เก่า) ที่เป็นส่วนประกอบของคัสคอนเน็คติ่งสวิทช์ และชิ้นส่วนของฟิวส์โฮลเตอร์ตามลำดับ จากโครงการนี้ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้กับกล้องถ่ายภาพความร้อนให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Emissivity Measurements on Material and Equipment in Electrical Distribution System	
Authors	Mr. Phuwanat	Pornnipaumpai
	Mr. Rungroth	Janphon
	Mr. Isara	Adam
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol	Suesut
Year	2010	

ABSTRACT

This project studies on the emissivity of electrical distribution equipments using infrared thermography with 8-14 um of wavelength. The infrared thermography camera is widely used for preventive maintenances propose in many industries. It can be captured a thermal image for identifying fault on electrical equipment and measuring the temperature as well. The most important factor to use the thermal image accurately is the emissivity of materials. Therefore, this project aims to define the unknown emissivity of electrical devices in order to apply with the infrared thermography camera. The heat chamber to control the operating temperature 50°C – 200°C has been created to maintain the temperature of material for measuring the emissivity. To ensure the emissivity measurement technique, the general used material such as iron, stainless steel, brass, copper and aluminum were done the experiment and compared with the standard emissivity table. The selected electrical equipments (new and old) are cable lug, P.G. connector, some part of fuse holder and disconnecting switch. Finally, the emissivity data of selected devices can be used to input to thermal image camera for a better accuracy of temperature measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความรู้ความปรารถนาดีและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ที่คอยดูแลให้ความเอาใจใส่ และตลอดเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อสงสัยในหลายๆจุดแก่คณะผู้จัดทำ นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. นวภัทรา หนูนาท ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องการแผ่รังสีอินฟราเรด (Emissivity) และการออกแบบห้องควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ

ขอขอบคุณคุณธีระวัฒน์ หนูนาท ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการแผ่รังสีอินฟราเรด (Emissivity) ของวัตถุ การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อน และการทดสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อค่า Emissivity รวมทั้งการออกแบบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดค่า Emissivity และอุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง

ขอขอบคุณ น.ส.จุฑารัตน์ เพ็ชรรัตน์ น.ส.ดาวสวัสดิ์ เคลือวัลย์ น.ส.หทัยภัทร วงษ์ไทยวรรณ เพื่อนนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สำหรับข้อมูลดีๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดจนกระทั่งโครงการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาผู้มีพระคุณที่คอยเป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดันให้ทุกสิ่งก้าวไปสู่ความสำเร็จและขอบคุณเพื่อนๆ 4J ทุกคนที่คอยอยู่เคียงข้างร่วมสุขและร่วมทุกข์ตลอด 4 ปี

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้จะก่อประโยชน์ให้แก่ผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย หากมีข้อบกพร่องผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยไว้แต่เพียงผู้เดียว แต่คุณค่าและคุณประโยชน์ทั้งหมดที่มีอยู่ขอมอบไว้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity).....	3
2.2.1 ความเข้มในการแผ่รังสีอินฟราเรด (radiation Intensity).....	7
2.3 การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation).....	8
2.3.1 การกระจายของแพลงค์ (The Planck Distribution).....	9
2.3.2 กฎการกระจัดของเวิน (Wien's Displacement Law).....	10
2.3.3 กฎของสเตฟาน โบลต์ทแมนน์ (The Stefan-Boltzmann Law).....	11
2.3.4 กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law).....	11
2.4 การแผ่รังสีจากพื้นผิวจริง (Real surface Emission).....	12
2.4.1 รังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุ (Radiosity: J).....	16
2.4.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นผิว (Radiation Exchange between Surfaces).....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 วัตถุเทา (Gray body).....	20
2.5 เปรียบเทียบการแผ่รังสีจากวัตถุจริงและวัตถุดำ	21
2.6 กล้องถ่ายภาพความร้อน	22
2.6.1 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน	22
2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน.....	22
2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Smart View 3.1	24
บทที่ 3 การออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.1 กล่าวนำ	32
3.2 การออกแบบตู้ไม้ดีกำควบคุมอุณหภูมิ.....	32
3.3 การออกแบบตู้อบควบคุมอุณหภูมิ	33
3.4 การออกแบบห้องควบคุมสภาวะแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อ ต่อการแผ่รังสีอินฟราเรด	35
3.5 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม.....	38
3.6 รายละเอียดคุณลักษณะ.....	39
3.7 วงจรการทำงานห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม	40
3.7.1 วงจรห้องควบคุมอุณหภูมิ.....	40
3.7.2 การทำงานของตู้อบ.....	40
3.8 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาค่า Emissivity	41
3.8.1 จำพวกที่หนึ่งคือวัสดุที่เป็นโลหะแผ่นเรียบทั่วไป ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สแตนเลส อลูมิเนียม และทองเหลือง	41
3.8.2 จำพวกที่ 2 เป็นวัสดุอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ ดีสคอนเน็คติ่งสวิทช์ แอลทีสวิทช์แรงต่ำ ฟิวส์สวิทช์แรงต่ำ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	44
4.1 การทดลองหาค่า Emissivity ของ วัสดุที่เป็นส่วนประกอบ ของอุปกรณ์ในระบบ	44
4.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่า Emissivity ของวัสดุ	44
4.1.1.1 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image Camera: TI).....	44
4.1.1.2 เทอร์โมคัปเปิ้ลเปิดทนความร้อน ชนิด K และเทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52 II.....	44
4.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาค่า Emissivity ของวัสดุ	45
4.2 การทดลองหาค่า Emissivity ของ อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	47
4.3 ผลการทดลอง.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและการประยุกต์ใช้งาน.....	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 การประยุกต์ใช้งาน.....	53
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่า Emissivity ของพื้นผิววัสดุบางชนิด.....	16
3.1 ส่วนประกอบของห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม.....	37
4.1 แสดงค่า Emissivity ของวัสดุ.....	50
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าEmissivityที่ได้จากการทดลองกับค่าEmissivityอ้างอิง.....	51
4.3 แสดงค่า Emissivity ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ย่านของการแผ่รังสีความร้อน	5
2.2 การเปล่งรังสีจากพื้นผิว (a) การแปรผันตามความยาวคลื่น (spectral distribution) (b)การแปรผันตามทิศทาง (directional distribution).....	6
2.3 แสดงการถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ.....	6
2.4 ทิศทางการแผ่รังสีอินฟราเรด (a) การแผ่รังสีจากพื้นที่เล็ก ๆ dA_1 ไปยังพื้นที่ dA_n โดยผ่านมุมกรวย (solid angle) ที่ dA_n กระทำต่อจุดหนึ่งบน dA_1 (b) ภาพฉายของ dA_1 ในทิศทางตั้งฉากกับการแผ่รังสี (c) ระบบพิกัดทรงกลม	7
2.5 การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนภายใน enclosure ที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal)	9
2.6 กำลังการแผ่รังสีของวัตถุดำที่แปรผันกับความยาวคลื่น.....	10
2.7 การแปรผันกับทิศทางของค่า Total directional emissivity	13
2.8 การแปรผันกับความยาวคลื่นของค่า Spectral normal emissivity ของวัสดุบางชนิด	14
2.9 การแปรผันกับอุณหภูมิของค่า Spectral normal emissivity ของวัสดุบางชนิด	15
2.10 ค่าในย่านกว้าง ๆ ของค่า Total, normal emissivity.....	15
2.11 กระบวนการดูดซึม สะท้อนและส่งต่อรังสีความร้อนในวัตถุทึบ โปร่งแสง	17
2.12 กระบวนการดูดซึม สะท้อน และส่งต่อรังสีความร้อนในวัตถุ.....	17
2.13 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง.....	19
2.14 การแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างวัตถุ 2 วัตถุ	20
2.15 การเปรียบเทียบการแผ่รังสีของวัตถุดำและวัตถุจริง a) การแปรผันกับความยาวคลื่น b) การแปรผันกับทิศทาง.....	21
2.16 ระบบการวัดรังสีอินฟราเรด.....	22
2.17 FOV IFOV และบริเวณการมองเห็นจากกล้อง TI.....	24
2.18 แสดงการเลือกภาพที่ต้องการวิเคราะห์	24
2.19 แสดงภาพที่เราต้องการวิเคราะห์	25
2.20 แสดงภาพที่ปรากฏบนหน้าจอของโปรแกรม	25
2.21 แสดงภาพเมื่อทำการวิเคราะห์.....	26
2.22 แสดงภาพการเลือกเมล็ดสีของภาพที่ทำการวิเคราะห์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.23 แสดงภาพจริงที่ตามองเห็นเมื่อไม่ได้วัดค่ารังสีอินฟราเรด.....	27
2.24 แสดงภาพเมื่อทำการเลือกจุดที่จะทำการวิเคราะห์	27
2.25 แสดงภาพเมื่อทำการเปลี่ยนค่าEmissivity	28
2.26 แสดงภาพเมื่อทำการเปลี่ยนค่าBackground	28
2.27 แสดงภาพเมื่อเปลี่ยนค่าtransmission	29
2.28 แสดงภาพเมื่อทำการเปลี่ยนSpan	29
2.29 แสดงภาพเมื่อทำการลากจุดหาเพื่ออุณหภูมิที่ Min Max Avg.	30
2.30 แสดงภาพของกราฟเมื่อลากจากจุดแรกไปจุดสุดท้าย	30
2.31 แสดงภาพการเลือกฟังก์ชันเพื่อเปลี่ยนหน่วยของอุณหภูมิ.....	31
2.32 แสดงภาพการเปลี่ยนหน่วยของอุณหภูมิ.....	31
3.1 แบบตู้ไม้สี่คำควบคุมอุณหภูมิ.....	32
3.2 แบบตู้ไม้สี่คำควบคุมอุณหภูมิ.....	33
3.3 แบบตู้อบควบคุมอุณหภูมิ.....	34
3.4 เตาอบขนาดเล็กนำมาดัดแปลงเพื่อใช้ให้ความร้อนกับชิ้นงาน.....	34
3.5 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่สร้างเสร็จแล้ว.....	35
3.6 แบบห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม.....	36
3.7 การออกแบบห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม	36
3.8 ตู้ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เสร็จแล้ว.....	37
3.9 วงจรตู้ควบคุมสภาวะแวดล้อม.....	40
3.10 เหล็ก	41
3.11 ทองแดง	41
3.12 สแตนเลส.....	42
3.13 อลูมิเนียม	42
3.14 ทองเหลือง.....	42
3.15 ดีสตคอนเน็คติงสวิทช์.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.16 ฟิวส์ไฮดรอลิก.....	43
4.1 กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น TI 32.....	44
4.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบสัมผัส Type K และเทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52 II 2 Channel.....	45
4.3 ภาพรวมระบบตรวจวัดค่า Emissivity ของวัตถุ.....	45
4.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาค่าของวัตถุ.....	46
4.5 ดิสคอนเนคติ้งสวิทช์.....	47
4.6 ส่วนประกอบของฟิวส์ไฮดรอลิก.....	47
4.7 ฟิวส์คอนเนคเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของดิสคอนเนคติ้งสวิทช์ (ใหม่).....	48
4.8 ฟิวส์คอนเนคเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของดิสคอนเนคติ้งสวิทช์ (เก่า).....	48
4.9 ชิ้นส่วนของฟิวส์ไฮดรอลิก.....	48
4.10 หางปลาอลูมิเนียมทำจากสแตนเลสสภาพใหม่.....	49
4.11 หางปลาอลูมิเนียมทำจากสแตนเลสสภาพเก่า.....	49
4.12 หางปลาทำจากอลูมิเนียมสภาพใหม่.....	49
4.13 กราฟแสดงค่า Emissivity ของวัสดุ.....	52
5.1 HRC Fuse จุดต่อฟิวส์ และ base fuse หลวม.....	54
5.2 Terminal ต่อสาย จุดต่อหางปลาไม่แน่น.....	54
5.3 Molded case circuit breaker จุดต่อสายและเบรกเกอร์ไม่แน่น.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในงานด้านวิจัยพัฒนา การตรวจสอบ และซ่อมบำรุงรักษางานในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กล้องถ่ายภาพความร้อนจะสามารถแสดงค่าอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง ก็ต่อเมื่อได้มีการป้อนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรด (Emissivity) ที่แท้จริงของวัสดุให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งค่า Emissivity ของวัสดุที่ต่างชนิดกันจะมี ค่า Emissivity ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับช่วงความยาวคลื่นที่แผ่ออกมาจากวัสดุ ลักษณะและอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุ เป็นต้น ดังนั้นก่อนใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนจึงต้องทราบ ค่า Emissivity ที่แท้จริงของวัสดุแต่ละชนิดก่อนเพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ จากปัญหาที่พบนั้นการปรับ ค่า Emissivity ที่ผิดพลาดนั้นส่งผลให้การวัดค่าอุณหภูมิเกิดการผิดพลาด จึงไม่สามารถวิเคราะห์วางแผนการบำรุงรักษาวัสดุ และอุปกรณ์ที่พบปัญหาตามลำดับความสำคัญที่เหมาะสม เกิดความเสียหายต่อวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นการหาค่า Emissivity ที่ถูกต้องของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะช่วยลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากความเสียหาย หรือการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่ไม่เหมาะสมได้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2. ศึกษาแนวทางในการสร้างห้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดในย่านอินฟราเรด (Emissivity) ของวัสดุต่างๆ
3. หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (Emissivity) ของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาปัจจัยและวิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของวัสดุทางวิศวกรรม ได้แก่ เหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง และอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2. สร้างชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของชิ้นงานที่ต้องการวัดค่า Emissivity
3. สร้างตารางบันทึกค่า Emissivity ของวัสดุทางวิศวกรรม ได้แก่ เหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง และอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
2. ศึกษาหลักการและปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่รังสีอินฟราเรด (Emissivity) ของวัสดุแต่ละชนิด
3. ศึกษาหลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke Ti32)
4. ศึกษาการใช้โปรแกรม Smart View 3.1
5. ศึกษาและออกแบบตู้ควบคุมสถานะแวดล้อมของวัสดุที่ต้องการวัด
6. ศึกษาวิธีการวัดและวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนที่ได้จากการทดลอง
7. ศึกษาการใช้โปรแกรมทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่นำเสนอในปฏิญานพนธ์เล่มนี้ โดยได้อธิบายถึงหลักการของค่าความสามารถในการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุชนิดต่างๆ รวมถึงหลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke Ti32) และโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน (Smart View 3.1) ซึ่งทำให้เรามีความรู้และความเข้าใจในทฤษฎีหลักในการออกแบบห้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิพื้นผิววัสดุ ที่นำมาทำการทดลองวัดค่าความสามารถในการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุ

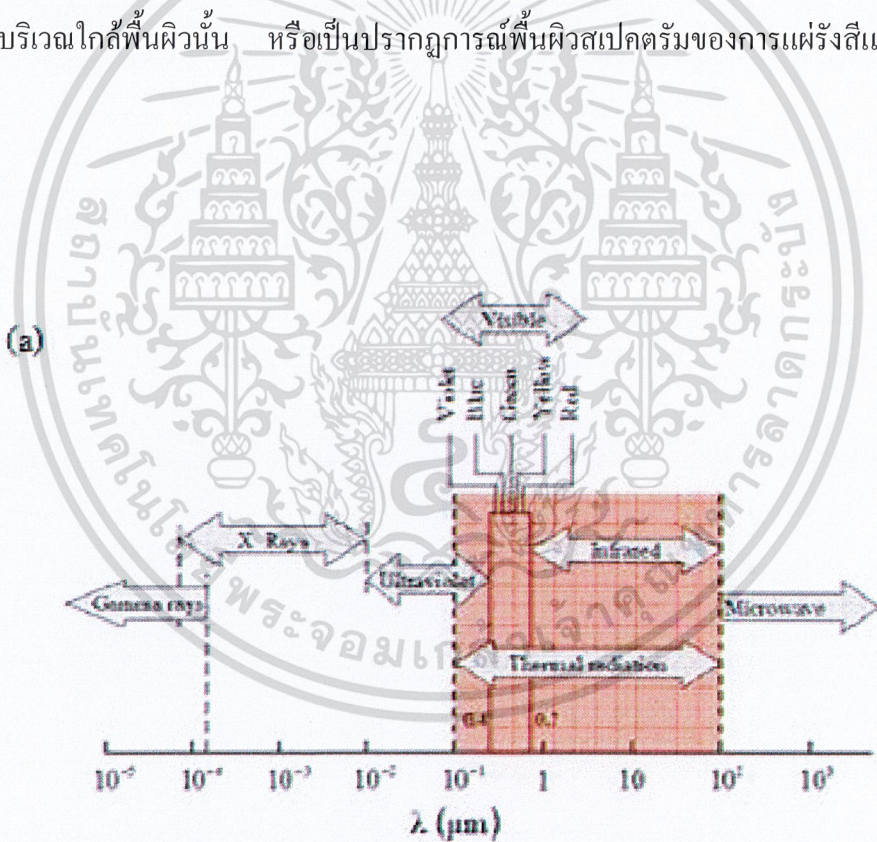
2.2 ค่าความสามารถในการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ (Emissivity)

ในปี ค.ศ. 1800 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ Sir William Herschel เป็นผู้ ค้นพบคลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared: IR) หรือคลื่นรังสีความร้อน ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งแผ่มาจากดวงอาทิตย์ค้นพบโดยการทดลองวัดอุณหภูมิของแถบสีรุ้งจากปริซึม โดยเลื่อนเทอร์โมมิเตอร์จากแถบสีม่วงไปยังแถบสีแดงพบว่าอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่แถบสีแดงซึ่งขอบเขตดังกล่าวเรียกว่า “อินฟราเรด” (ขอบเขตต่ำกว่าแถบสีแดง) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.75 ถึง 100 ไมโครเมตร มีความถี่อยู่ในช่วง 1011 – 1014 เฮิร์ตซ์ และมีคุณสมบัติไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเมื่อความถี่สูงขึ้นพลังงานจะสูงขึ้นตามไปด้วยและเนื่องจากย่านรังสีอินฟราเรดอยู่ในช่วงคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของช่วงแสงสีแดง มนุษย์จึงไม่สามารถมองเห็นรังสีอินฟราเรดแต่สามารถรู้สึกถึงความร้อนได้ โดยวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute Zero หรือ - 273.15 องศาเซลเซียส หรือ 0 เคลวิน) จะมีการแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ซึ่งวัตถุที่ร้อนจะแผ่รังสีออกมามากกว่าวัตถุที่เย็น [1]

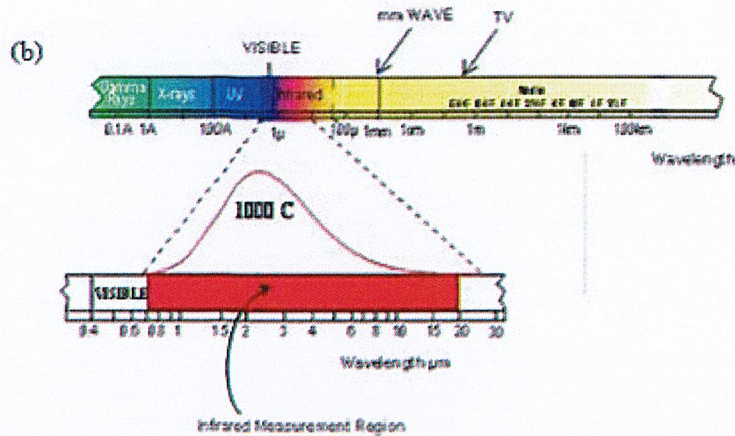
ย่านรังสีอินฟราเรดแบ่งจะออกได้เป็น 4 ช่วง ตามช่วงของความยาวคลื่นได้แก่ ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near-IR: 0.75-0.25 μm) ช่วงคลื่นสั้น (1.4-3 μm) ช่วงกลาง (3-8 μm) ช่วงคลื่นยาว (8-15 μm) และช่วงไกล (Extreme: 15-100 μm) ซึ่งรังสีอินฟราเรดในย่าน Near-IR โดยทั่วไปจะนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการวัดค่า การกระจายความร้อน การสะท้อนหรือ การหักเหของรังสี ส่วนรังสีในช่วงคลื่นสั้นถึงช่วงคลื่นยาว จะนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการแผ่รังสีของวัตถุ โดยที่ช่วงคลื่นยาวจะมีความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมิห้อง แต่ในช่วงกลางจะมีความไวในการตอบสนองที่อุณหภูมิสูงมาก เช่น 400 °C [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบี่ยงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่รังสีอินฟราเรดสัมพันธ์กับพลังงานที่สสารแผ่ออกมา ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ โดยกลไกของการแผ่รังสีอินฟราเรดเกี่ยวข้องกับพลังงาน อันเนื่องเกิดจากการสั่น (Oscillations) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสารวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มากส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุนั้นๆมีค่าสูงกว่าได้ว่า การแผ่รังสีอินฟราเรดเกี่ยวข้องกับสภาพทางความร้อนภายในของสสารนั้น โดยก๊าซและของแข็งชนิดกึ่งโปร่งแสง(semi-transparent) เช่น กระจก การแผ่รังสีจะเป็นปรากฏการณ์เชิงปริมาตร (volumetric phenomenon) คือการแผ่รังสีความร้อนจากสสารเป็นผลรวมของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่จุดใดๆ ของสสารนั้นตลอดทั่วทั้งปริมาตรซึ่งในที่นี้จะเน้นไปที่การแผ่รังสีอินฟราเรดในลักษณะที่เรียกว่า เป็นปรากฏการณ์พื้นผิว (surface phenomenon) กล่าวคือในของแข็งและของเหลวส่วนใหญ่ที่รังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาโดยโมเลกุลภายในจะถูก โมเลกุลที่ติดกันดูดซึมเอาไว้เกือบทั้งหมด จึงเป็นผลทำให้รังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากของแข็ง หรือของเหลวสามารถคิดว่ารังสีอินฟราเรดแผ่ออกมาจากโมเลกุลบริเวณใกล้พื้นผิวนั้น หรือเป็นปรากฏการณ์พื้นผิวสเปกตรัมของการแผ่รังสีแสดงดังภาพที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ย่านของการแผ่รังสีความร้อน

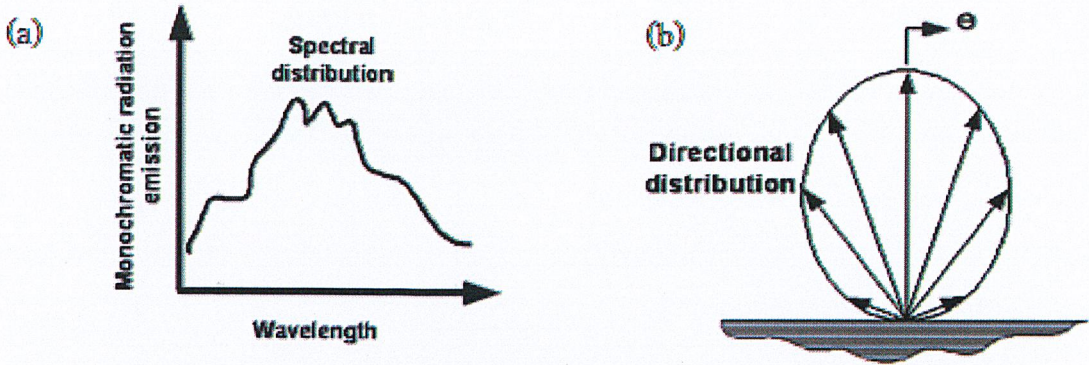
ทฤษฎีหนึ่งมองการแผ่รังสีอินฟราเรด ว่าเป็นการแพร่ (Propagation) ของกลุ่มอนุภาคซึ่งเราจะเรียกว่า “photons” หรือ “quanta” แต่อีกทฤษฎีหนึ่งที่เราจะมองได้ว่าเป็นการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) แต่ไม่ว่าจะอธิบายธรรมชาติของการแผ่รังสีอินฟราเรดโดยทฤษฎีใดอย่างไรก็ตามจะพบว่า การแผ่รังสีอินฟราเรดสัมพันธ์กับคุณสมบัติคลื่นอื่น ได้แก่ ความถี่ (frequency: ν) และความยาวคลื่น (wavelength: λ) ซึ่งสัมพันธ์กันโดยสมการ (1)

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

โดย c คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ สำหรับในสุญญากาศ $c = c_0 = 2.998 \times 10^8$ m/s

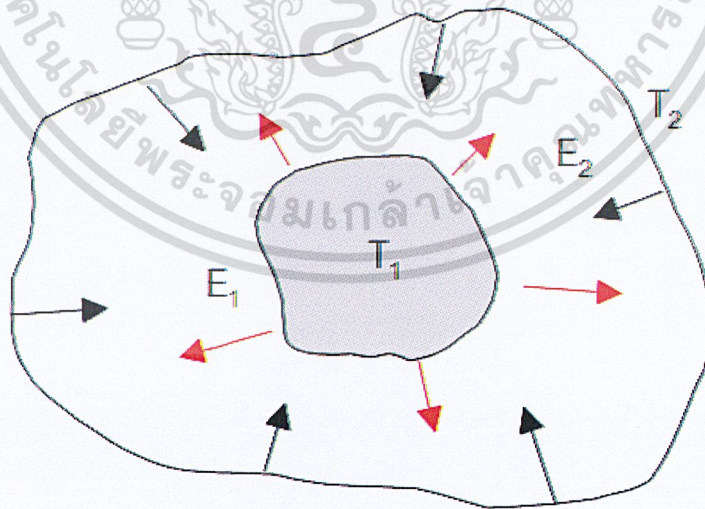
จากภาพที่ 2.1 รังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากวัตถุนั้นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง ซึ่งขนาดของการแผ่รังสีอินฟราเรดจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวคลื่น โดยในภาพ 2.2(a) จะใช้คำว่า “spectral” การแผ่รังสีอินฟราเรดที่แต่ละความยาวคลื่นซึ่งเราเรียกว่า “monochromatic components” โดยปริยาย การแผ่รังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นใดๆ และการกระจายของรังสีอินฟราเรดตามความยาวคลื่นนั้น (spectral distribution) จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและอุณหภูมิของพื้นผิวที่แผ่รังสีอินฟราเรดนอกจาก ความยาวคลื่นแล้วการแผ่รังสีอินฟราเรดยังขึ้นอยู่กับทิศทางอีกด้วย กล่าวคือพื้นผิวอาจแผ่รังสีออกมาในแต่ละทิศทางด้วยมีจำนวนที่ไม่เท่ากัน ดังที่แสดงในภาพที่ 2.2(b) ดังนั้นในการพิจารณาการแผ่รังสีอินฟราเรดจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงทั้งความยาวคลื่นและทิศทางด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 การเปล่งรังสีจากพื้นผิว (a) การแปรผันตามความยาวคลื่น (spectral distribution)
(b) การแปรผันตามทิศทาง (directional distribution)

รังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนนั้นจะถูกแผ่ออกมาจากพื้นผิววัตถุ ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังที่แสดงในภาพที่ 2.3 โดยรังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนที่ตกกระทบลงบนพื้นผิววัตถุอีกบางส่วนจะถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนจะสะท้อน (Reflected) และอีกบางส่วนจะส่งผ่านหรือทะลุผ่านออกไป (Transmitted) ซึ่งสัดส่วนเหล่านี้แสดงในสมการที่ (17) โดยกำหนดค่าความสามารถในการดูดซับ (Absorptivity) ค่าการสะท้อน (Reflectivity) และค่าการส่งผ่าน (Transmissivity) คือ α , ρ และ τ ตามลำดับ รายละเอียดจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 2.4.1 และ 2.4.2



ภาพที่ 2.3 แสดงการถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

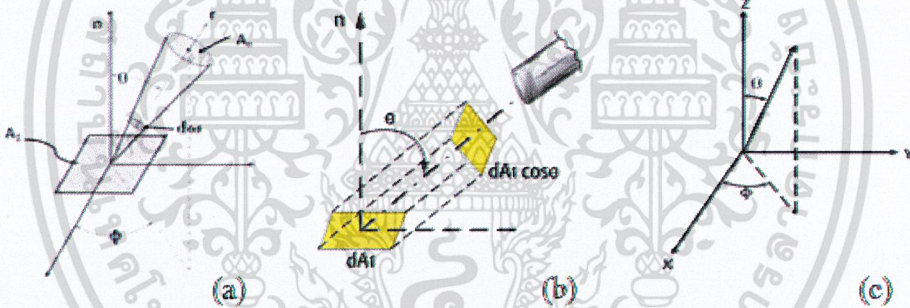
2.2.1 ความเข้มในการแผ่รังสีอินฟราเรด (radiation Intensity)

พิจารณาการแผ่รังสีความร้อนในทิศทางหนึ่งจากพื้นผิวเล็กๆ dA_1 ดังภาพที่ 2.4a ทิศทางนี้กำหนดให้อยู่ในรูปของมุม θ และ ϕ ในระบบพิกัดทรงกลม ดังภาพที่ 2.4c รังสีความร้อนจาก dA_1 จะไปกระทบกับพื้นที่ผิวเล็กๆ ซึ่งที่เรียกว่า dA_n จะอยู่ห่างออกไปโดยพื้นผิว dA_1 นี้จะทำมุมซึ่งเรียกว่า solid angle ($d\omega$) กับจุดหนึ่งบนพื้นผิว dA_n สามารถนิยาม solid angle ได้ว่าเป็นย่าน (รูปกรวย) ล้อมรอบด้วยเส้นเชื่อมระหว่างจุดกับพื้นที่ที่ทำมุมซึ่ง ได้แก่สัดส่วนระหว่างพื้นที่ที่ dA_n ต่อรัศมีของทรงกลมยกกำลังสองหรือ

$$d\omega = \frac{dA_n}{r^2} \quad (2)$$

solid angle แผ่นกลมครึ่งทรงกลม, $\omega = \frac{2\pi r^2}{r^2} = 2\pi$

solid angle แผ่นกลมเต็มทรงกลม, $\omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$



ภาพที่ 2.4 ทิศทางการแผ่รังสีอินฟราเรด (a) การแผ่รังสีจากพื้นที่เล็ก ๆ dA_1 ไปยังพื้นที่ dA_n โดยผ่านมุมกรวย (solid angle) ที่ dA_n กระทำต่อจุดหนึ่งบน dA_1 (b) ภาพฉายของ dA_1 ทิศทางจากการแผ่รังสี (c) ระบบพิกัดทรงกลม [3]

หากพิจารณารังสีที่แผ่ออกจาก dA_1 ตกกระทบลงบน dA_n ปริมาณดังกล่าวเขียนให้อยู่ในรูปของความเข้มการแผ่รังสีเชิงสเปกตรัม (Spectral Intensity: I_{λ}) ซึ่งมีนิยามคือเป็นพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาที่ความยาวคลื่น λ ในทิศทาง (θ, ϕ) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวที่แผ่รังสี (ในทิศทางที่ตั้งฉากกับ θ และ ϕ) ต่อหน่วย solid angle (หน่วยเป็น sr) ในทิศทางนี้ และต่อหน่วยความยาวคลื่นในช่วง $d\lambda$ จากนิยามสามารถกำหนดเป็นสมการได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ $dA_1 \cos\theta \cdot d\omega \cdot d\lambda$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{\lambda\phi}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{dq}{dA_1 \cos\theta \cdot d\omega \cdot d\lambda} \quad (3)$$

การพิจารณาเกี่ยวกับความเข้มในการแผ่รังสีอินฟราเรดมักใช้แนวความคิดเกี่ยวกับ การแผ่รังสี “Emissive Power” โดยที่ Emissive Power คือกำลังการแผ่รังสีของพื้นผิวหรือปริมาณการแผ่รังสีต่อหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ Spectral emissive power (E_λ : $W/m^2 \cdot \mu m$) คืออัตราการแผ่รังสีจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวในช่วงความยาวคลื่นหนึ่งตลอดทุกทิศทาง

$$E_\lambda(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi) \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi \quad (4)$$

Total emissive power (E : $W/m^2 \cdot \mu m$) คือ อัตราการแผ่รังสีจากพื้นที่หนึ่งหน่วยในทุกความยาวคลื่นและทุกทิศทางโดย

$$E = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

หากวัตถุมิพื้นผิวเป็นแบบ Diffuse emitter หรือการแผ่รังสีอินฟราเรดขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น และอุณหภูมิแต่ไม่ขึ้นอยู่กับทิศทาง ซึ่งจะกล่าวต่อไปยังในหัวข้อที่ 2.3 จะได้ว่า

$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) = I_{\lambda,e}(\lambda)$ และจากสมการ (4) สามารถอินทิเกรตได้เป็น

$$E_\lambda(\lambda) = I_{\lambda,\phi}(\lambda) \quad (6)$$

2.3 การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation)

วัตถุดำคือวัตถุทางอุดมคติที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. วัตถุดำจะดูดซึม (absorb) รังสีที่มาตกกระทบบนทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นที่ความยาวคลื่นและทิศทางใด
2. ที่ความยาวคลื่นและอุณหภูมิหนึ่งๆ ไม่มีวัตถุใดสามารถแผ่รังสีได้เท่ากับวัตถุดำ
3. แม้ว่ารังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุดำเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น และ อุณหภูมิแต่ไม่ขึ้นอยู่กับทิศทาง นั่นคือวัตถุดำเป็น “diffuse emitter”

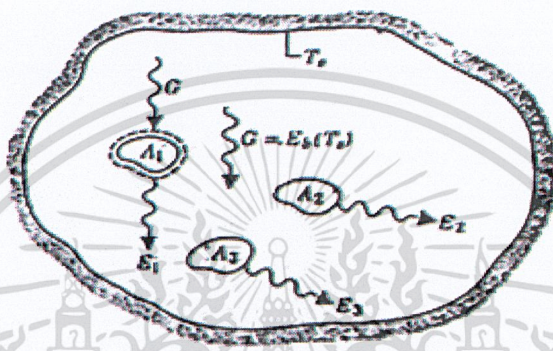
4. เนื่องจากวัตถุดำสามารถดูดซึมและแผ่รังสีอินฟราเรดได้โดยสมบูรณ์จึงใช้วัตถุดำ เป็นวัตถุมารฐานสำหรับเปรียบเทียบปริมาณการแผ่รังสีที่ออกจากพื้นผิวจริงใดๆ กับปริมาณการแผ่รังสีที่ออกจากวัตถุดำ แม้ว่าจะมีพื้นผิวบางชนิดที่สามารถประมาณได้ว่ามีลักษณะเป็นวัตถุดำแต่ในความเป็นจริงแล้วไม่มีพื้นผิวใดที่มีลักษณะเป็นวัตถุดำโดยแท้จริง การประมาณที่ใกล้เคียงที่สุด

ได้มาโดยเมื่อพิจารณาโพรง (cavity) ที่ด้านในมีอุณหภูมิคงที่ดังภาพที่ 2.5 ถ้ารังสีอินฟราเรดเข้าสู่โพรงนี้โดย ผ่านทางรูเล็กๆ รังสีนี้จะถูกสะท้อนหลายครั้งก่อนที่จะกลับออกมาจากรูนี้ ดังนั้นรังสีจะถูกโพรงดูดซึมเอาไว้เกือบทั้งหมด ซึ่งโพรงดังกล่าวจึงมีลักษณะเป็นวัตถุดำโดยประมาณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเอกสารนี้หากท่านนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมายโดยนิตินัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของเทอร์โมไดนามิกส์กล่าวได้ว่ารังสีที่ออกจากรูเล็กๆของโพรงนี้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของพื้นผิวของโพรงเท่านั้น โดยรังสีที่แผ่ออกมาจากโพรงก็คือการแผ่รังสีของวัตถุดำและเนื่องจากรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุดำเป็นแบบ diffuse และสนามการแผ่รังสีภายในโพรงมีลักษณะเป็นสนามการแผ่รังสีของวัตถุดำ ดังนั้นหากเรานำพื้นผิวเล็กๆไปวางภายในโพรงจะพบว่ารังสีที่มากระทบวัตถุ (irradiation) มีค่าเท่ากับรังสีที่วัตถุดำแผ่ออกมา จึงกล่าวได้ว่าการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุดำมีขึ้นภายในโพรงไม่ว่าพื้นผิวของวัตถุจะสะท้อนหรือดูดซึมได้ดีเพียงใด



ภาพที่ 2.5 การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนภายใน enclosure ที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal) [3]

2.3.1 การกระจายของแพลงก์ (The Planck Distribution)

Planck ได้ให้สมการสำหรับการคำนวณความเข้มในการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุดำ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความยาวคลื่นดังนี้

$$I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1\right]} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \mu) \quad (7)$$

โดยที่ $h = 6.6256 \times 10^{-34}$ J.s (ค่าคงที่ของแพลงก์) $C = 3 \times 10^8$ m/s (ความเร็วแสงในสุญญากาศ)

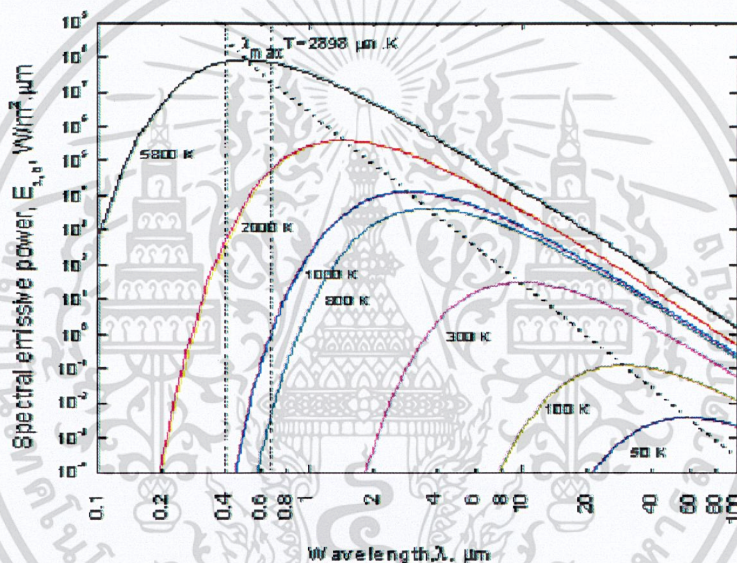
$k = 1.3805 \times 10^{-23}$ J/K (ค่าคงที่ของโบลท์สมาน) และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) ของวัตถุดำ เนื่องจากวัตถุดำเป็น diffuse emitter จากสมการ (6)

$$E_{\lambda,b}(\lambda,T) = \pi I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1\right]} \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดำเนินงานที่เลขาธิการศึกษาแห่งชาติไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (8) มีชื่อเรียกว่า “Planck distribution” สามารถพล็อตได้ดังภาพที่ 2.6 (สำหรับที่อุณหภูมิบางค่า) จากรูปสามารถสังเกตลักษณะสำคัญได้หลายประการคือ

1. การแผ่รังสีความร้อนแปรผันกับความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่อง (continuously)
2. ที่ความยาวคลื่นใดๆ ขนาดของการแผ่รังสีความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
3. ย่านความยาวคลื่นที่มีการแผ่รังสีหนาแน่นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และโดยการเปรียบเทียบจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการแผ่รังสีจะหนาแน่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้น
4. รังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถประมาณได้ว่า เป็นวัตถุดำที่ 5,800 K นั้นหนาแน่นอยู่ในย่านการมองเห็น ในขณะที่เดียวกันสำหรับที่อุณหภูมิ $T < 800$ K การแผ่รังสีจะอยู่ในย่าน Infrared และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 2.6 กำลังการแผ่รังสีของวัตถุดำที่แปรผันกับความยาวคลื่น[3]

2.3.2 กฎการกระจัดของวอน (Wien's Displacement Law)

จากภาพที่ 2.6 สามารถสังเกตเห็นได้ว่ากราฟของการแผ่รังสีมีจุดสูงสุดที่ความยาวคลื่นหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สามารถที่จะหาความสัมพันธ์ของสมการนี้ได้โดยการดิฟเฟอเรนทิเอต (differentiate) สมการ (8) เทียบกับ λ และให้เท่ากับศูนย์ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\lambda_{\max} T = C_3 \quad (9)$$

เอกสารโดย $C_3 = 2897.6 \mu\text{m}\cdot\text{K}$ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ สมการ (9) เรียกว่า “Wien's Displacement Law” และจุด โลกัส (locus) ซึ่งได้จากสมการนี้

เขียนแทนด้วยเส้นประ ที่แสดงดังในภาพที่ 2.6 จะสังเกตได้ว่ากำลังการแผ่รังสีสูงสุดอยู่ประมาณกึ่งกลางย่านของการมองเห็น ($\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$) สำหรับวัตถุดำที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 1,000 K จุดสูงสุดของการแผ่รังสีอยู่ที่ ความยาวคลื่น $2.9 \mu\text{m}$ โดยที่รังสีบางส่วนปรากฏเป็นสีแดงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการแผ่รังสีในย่านความยาวคลื่นสั้นจะเด่นกว่าและในที่สุดการแผ่รังสี จะครอบคลุมย่านในการมองเห็นทั้งหมด

2.3.3 กฎของสเตฟานโบลต์ซแมนน์ (The Stefan-Boltzmann Law)

แทนค่า “Planck distribution” จากสมการ (8) ลงในสมการที่ (5) จะได้ Total emissive power ของวัตถุดำ (E_b) เป็น

$$E_b = \int_0^\infty \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(\frac{C_2}{\lambda T}) - 1]} d\lambda \quad (10)$$

ซึ่งสามารถแสดงได้ว่า

$$E_b = \sigma T^4 \quad (11)$$

โดยที่ σ คือค่าคงที่ของสเตฟาน โบลต์ซแมนน์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของ C_1 และ C_2 โดยมีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ สมการ (11) มีชื่อเรียกว่า Stefan-Boltzmann Law สามารถใช้ในการคำนวณหา ค่าปริมาณ การแผ่รังสีของวัตถุดำในที่ออกมาทุกทิศทุกทาง และทุกความยาวคลื่น โดยที่เรารู้เฉพาะอุณหภูมิของวัตถุ เนื่องจากการแผ่รังสีของวัตถุดำเป็นแบบ “diffuse”

2.3.4 กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) [3]

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่สมดุลการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุจะมีค่าเท่ากับ ปริมาณของรังสีที่วัตถุดูดกลืนไว้ส่งผลให้วัตถุที่สามารถดูดกลืนรังสีได้ดี สามารถแผ่รังสีออกมาได้ดีด้วยจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแผ่รังสีทางอุดมคติ (Ideal Radiator) คือวัตถุที่มี α เป็น 1 และเมื่อพูดถึงการแผ่รังสีออกจากวัตถุ โดยต่างจากการดูดกลืนจะใช้คำว่า Emissivity (E) แทนที่จะใช้ Absorptivity (α) อย่างไรก็ตามค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน โดยตรงตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์

$$E = \alpha$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การแผ่รังสีจากพื้นผิวจริง (Real surface Emission)

จากคำกล่าวที่ว่าไม่มีพื้นผิวใดสามารถแผ่รังสีอินฟราเรดได้มากกว่าวัตถุดำ ดังนั้นจึงใช้วัตถุดำเป็นสิ่งที่เปรียบเทียบกับ ความสามารถในการแผ่รังสีของพื้นผิวจริงซึ่งความสามารถในการแผ่รังสีของพื้นผิว หรือค่า Emissivity (ϵ) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุเกี่ยวกับการแผ่รังสีความร้อน โดยเป็นส่วนสำคัญของรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวจริง ต่อรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุดำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งค่า Emissivity ของวัตถุจะสัมพันธ์กับทิศทางนั้นและความคลื่นของรังสีอินฟราเรดที่ถูกแผ่ออกมาโดย Spectral directional emissivity ($\epsilon_{\lambda,\theta}$) เป็นสัดส่วนของความเข้มในการแผ่รังสีจากพื้นที่ของผิวจริงที่มีอุณหภูมิ T ในช่วง ความยาวคลื่นหนึ่งในทิศทาง θ และ ϕ ต่อความเข้มในการแผ่รังสีจากวัตถุดำที่อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกัน

Total directional emissivity (ϵ_{θ}) เป็นสัดส่วนของความเข้มในการแผ่รังสีจากพื้นผิวจริงที่มีอุณหภูมิ T ตลอดทุกความยาวคลื่นและในทิศทาง θ และ ϕ ต่อความเข้มในการแผ่รังสีจากวัตถุดำที่อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของ $\epsilon_{\lambda,\theta}$ ตลอดความยาวคลื่นสำหรับการคำนวณทางวิศวกรรมส่วนใหญ่แล้ว มักที่จะใช้ค่าเฉลี่ยตามทิศทางดังนั้น Spectral hemispherical¹ emissivity จึงเป็นค่า Emissivity ของวัตถุที่มีอุณหภูมิ T ที่ความยาวคลื่นหนึ่งตลอดทุกทิศทางจากคำจำกัดความดังกล่าวสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ (12)

$$\epsilon_{\lambda}(\lambda, T) \equiv \frac{E_{\lambda,e}(\lambda, T)}{E_{\lambda,b}(\lambda, T)} \quad (12)$$

Total hemispherical emissivity เป็นค่าเฉลี่ยของ Emissivity ตลอดทุกทิศทางและความยาวคลื่นมีคำจำกัดความเป็น (สามารถใช้คำว่า Total emissivity แทน Total hemispherical emissivity)

$$\epsilon(T) \equiv \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad (13)$$

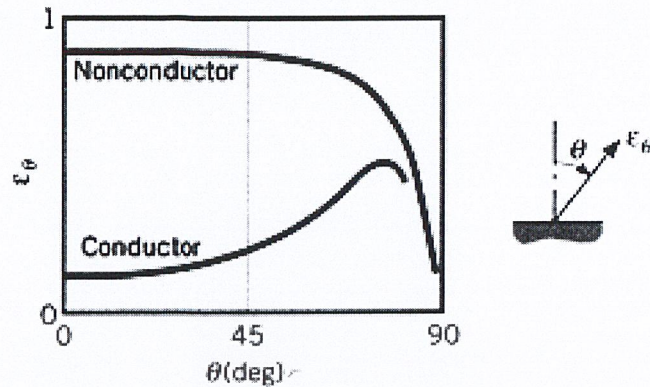
ดังนั้น

$$\epsilon(T) = \frac{\int_0^{\infty} \epsilon_{\lambda}(\lambda, T) E_{\lambda,b}(\lambda, T) d\lambda}{E_b(T)} \quad (14)$$

จากสมการต่างๆ ข้างต้นเห็นได้ว่าหากรู้ค่า Emissivity ของพื้นผิวก็สามารถคำนวณหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่าง ๆ ของพื้นผิวได้

จากที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นว่า ค่า Emissivity ของ diffuse emitter นั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางอย่างไรก็ตามถือเป็นเพียงการประมาณเท่านั้น เพราะว่าพื้นผิวที่แท้จริงจะไม่เป็น "diffuse" 100% ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

emitter” โดยการเปลี่ยนแปลงของ ϵ_0 ตาม θ แสดงดังในภาพที่ 2.7 สำหรับทั้งวัสดุที่เป็นตัวนำและ
ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า



ภาพที่ 2.7 การแปรผันกับทิศทางของค่า Total directional emissivity [3]

สำหรับตัวนำไฟฟ้า ϵ_0 ประมาณได้ว่าเป็นค่าคงที่สำหรับย่าน $\theta \leq 40^\circ$ หลังจากนั้นจะมี
ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ θ ที่มากขึ้นและในที่สุดจะลดลงเป็นศูนย์ส่วนวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้านั้น ϵ_0 จะ
ประมาณได้ค่าคงที่ในช่วง $\theta \leq 70^\circ$ และจะลดลงอย่างฉับพลันหลังจากนั้น จากภาพที่ 2.7 จะพบว่า
แม้การแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับการทิศทาง แต่ค่า “hemispherical emissivity” นั้นจะไม่แตกต่างจาก ค่า ϵ_n
(Total normal emissivity) ซึ่งเป็นค่า ϵ ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิววัตถุหรือที่ $\theta=0$ ไปไม่มากนักที่
จริงแล้วสัดส่วนของ ϵ / ϵ_n นั้นสำหรับตัวนำไฟฟ้าที่มักจะไม่นอกเหนือจากค่าที่อยู่ในช่วงของ
 $1.0 \leq \epsilon / \epsilon_n \leq 1.3$ และ ช่วง $0.95 \leq \epsilon / \epsilon_n \leq 1.0$ สำหรับวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงเป็น
การสมเหตุสมผลที่จะประมาณว่า

$$\epsilon \approx \epsilon_n \quad (15)$$

แม้ว่าข้อความข้างต้นนั้นจะได้กล่าวถึงเฉพาะ Total emissivity แต่ก็สามารถนำไปใช้ได้กับ
spectral emissivity ได้เช่นกัน เนื่องจากการแผ่รังสีจากพื้นผิวที่แท้จริงนั้นจะแตกต่างออกไปจาก
Planck distribution ภาพที่ 2.2(a) จึงไม่คาดหมายว่า ϵ_λ จะเป็นอิสระจากความยาวคลื่น ภาพที่ 2.8
แสดงการเปลี่ยนแปลงของ ϵ_λ ตามความยาวคลื่น λ ซึ่งขึ้นอยู่กับการชนิดของพื้นผิว ส่วนค่า Total
normal emissivity (ϵ_n) สำหรับวัสดุบางชนิดนั้นแสดงไว้ในกราฟ ภาพที่ 2.9 และ 2.10 ซึ่งจากกราฟ
สามารถสรุปได้ดังนี้

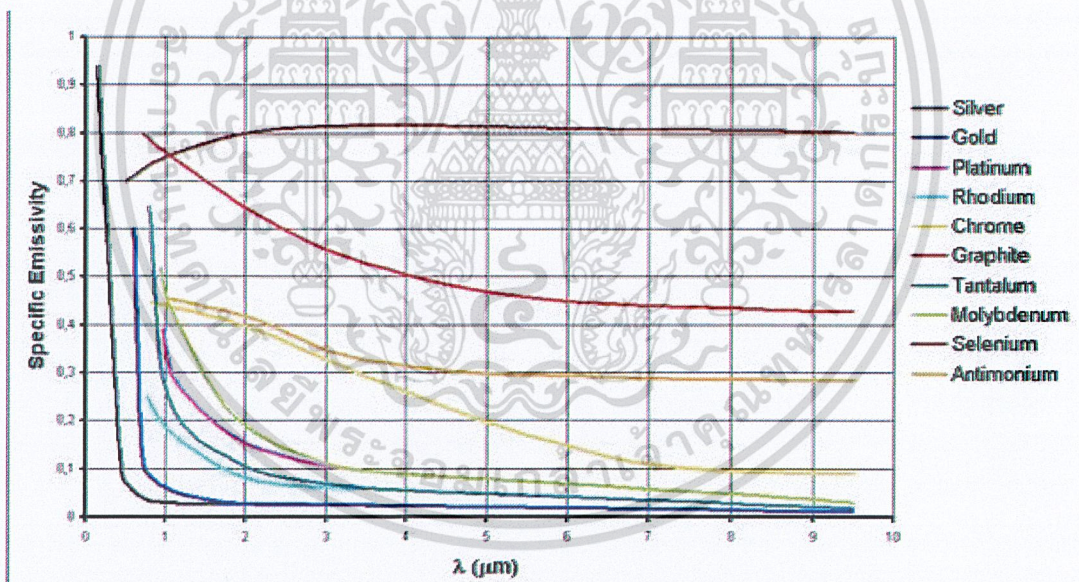
1. ค่า “emissivity” ของพื้นผิวที่เป็นโลหะมักจะมีค่าต่ำ ซึ่งอาจต่ำถึง 0.02 สำหรับทอง
และเงินที่ขัดมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลือบผิวโลหะด้วย “oxide” อาจเพิ่มค่า “emissivity” ของพื้นผิวอย่างมากดังเช่นค่า “emissivity” ของเหล็กไร้สนิมที่เคลือบด้วย “oxide” บางๆ เท่ากับ 0.10 แต่ที่เคลือบด้วย oxide หนา อาจมีค่าถึง 0.5

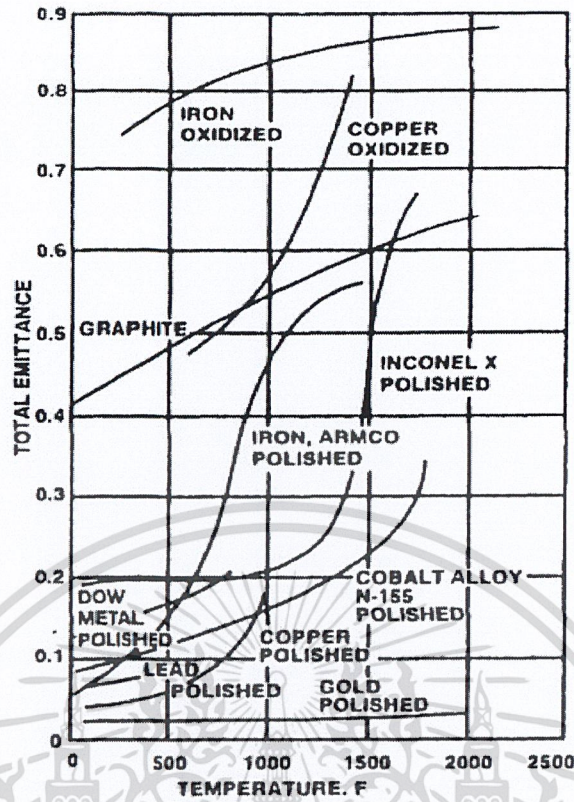
3. ค่า Emissivity ของวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้ามักมีค่าสูงโดยปกติสูงกว่า 0.6

4. ค่า Emissivity ของตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนของวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าอาจลดลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของ ϵ_n ตามอุณหภูมิ T ในภาพที่ 2.9 นั้นตรงกับการแปรผันของ $\epsilon_{\lambda,n}$ ในภาพที่ 2.8 แม้จะประมาณได้ว่า $\epsilon_{\lambda,n}$ ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแต่การแผ่รังสีจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าวัสดุหนึ่งๆ มีค่า $\epsilon_{\lambda,n}$ เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสั้นลง วัสดุนั้นจะมีค่า ϵ_n เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นด้วย (วัสดุขึ้นเดียวกัน $\epsilon_{\lambda,n}$ จะสัมพันธ์กับ ϵ_n โดย $\epsilon_{\lambda,n}$ แปรผันตามความยาวคลื่น ส่วน ϵ_n แปรผันตามอุณหภูมิ) จากที่กล่าวจะเห็นว่า ค่า Emissivity นั้นจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพื้นผิวเป็นอย่างมากซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างของวัสดุ และการที่วัสดุทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อม

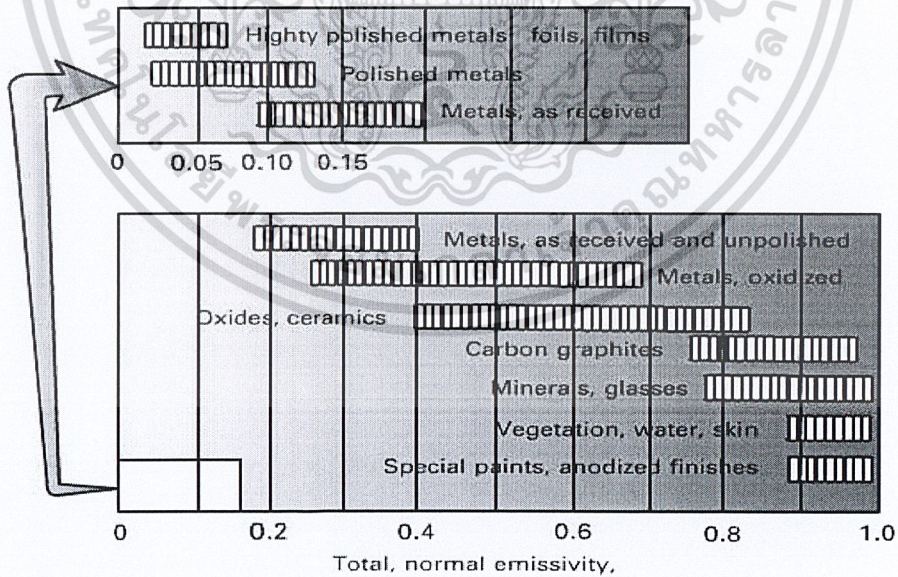


ภาพที่ 2.8 การแปรผันกับความยาวคลื่นของค่า Spectral normal emissivity ของวัสดุบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 การแปรผันกับอุณหภูมิของค่า Spectral normal emissivity ของวัสดุบางชนิด



ภาพที่ 2.10 ค่าในย่านกว้าง ๆ ของค่า Total, normal emissivity [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่า Emissivity ของพื้นผิววัสดุบางชนิด

Material's Surface	Wavelength (λ : μm)	Temperature (K)	Emissivity (ϵ)	Reference
Aluminum; Oxidized		273-373	0.11	Fraden, 2010.
Aluminum; Oxidized		550	0.63	Fogiel, 1992.
Aluminum; Oxidized		80-500	0.75	Rogalski, 2009
Aluminum; Polished		273-373	0.05	Fraden, 2010.
Aluminum; Rough		273-373	0.06- 0.07	Fraden, 2010.
Aluminum; Anodized	1.8-9.3		0.34-0.94	Rao,2010.
Brass; Oxidized	9.3		0.61	Rao,2010.
Brass; Oxidized		300	0.60	Brewster, 1992.
Brass; Polished	5.4 – 9.3		0.10	Rao,2010.
Brass; Polished		300-500	0.10	Brewster, 1992.
Brass; Polished		400-600	0.03	Rogalski, 2009
Brass; Dull tarnished		273-373	0.61	Fraden, 2010.
Copper; Oxidized		298	0.78	Fogiel, 1992.
Copper; Oxidized		300-800	0.77-0.87	Brewster, 1992.
Copper; Oxidized		273-373	0.60-0.70	Fraden, 2010.
Copper; Polished		390	0.023	Fogiel, 1992.
Copper; Polished		300-1600	0.04-0.17	Brewster, 1992.
Copper; Polished		273-373	0.02	Fraden, 2010.
Iron; Cast, Oxidized	3.6 – 9.3		0.63-0.76	Rao,2010.
Iron; Oxidized	9.3		0.96	Rao,2010.
Iron; Oxidized		300-800	0.60-0.80	Brewster, 1992.
Iron; Polished	3.6 – 9.3		0.06 -0.13	Rao,2010.
Iron; Polished		300-1600	0.06-0.20	Brewster, 1992.
Stainless Steel; Types 304		489	0.44	Fogiel, 1992.
Stainless Steel; Types 316; Polished			0.28	Amidon, 1999.
Stainless Steel	1-1,000		0.60	Saravacos and Kostaropoulos, 2002
Bread	10		> 0.80	Kress-Rogers and Brimelow, 2005.
Chocolate	10		0.85	Kress-Rogers and Brimelow, 2005.
Coke	8 - 13		0.95-1.00	Bentley, 1998.
Dough	1-1000		0.85	Saravacos and Kostaropoulos, 2002
Fat beef	1-1000		0.78	Saravacos and Kostaropoulos, 2002
Ice; Rough		300	0.99	Brewster, 1992.
Ice; Smooth		300	0.97	Brewster, 1992.
Lean beef	1-1000		0.74	Saravacos and Kostaropoulos, 2002
Paper		300	0.90-0.98	Brewster, 1992.
Vegetation		300	0.92-0.96	Brewster, 1992.
Water	9.3		0.96	Rao (2010)

2.4.1 รังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุ (Radiosity: J) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในวงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้
 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง (Radiosity: J) ประกอบด้วยรังสีที่เกิด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

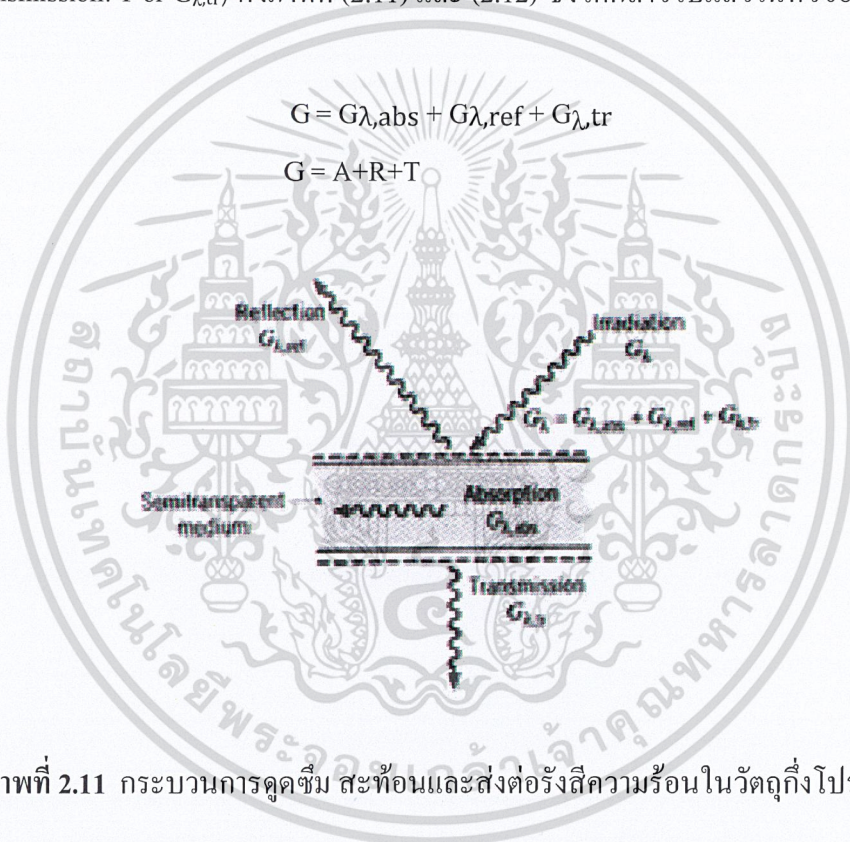
จากวัตถุเอง (Emission: E) และรังสีที่มาจากสิ่งแวดล้อม (Irradiation, G) ที่มาจากสิ่งแวดล้อม โดยรอบหรือจากวัตถุอื่นมาตกกระทบ Irradiation (G) เป็นรังสีที่มาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากการแผ่รังสีของวัตถุอื่นมากระทบกับวัตถุ โดยรังสีดังกล่าวอาจมีต้นกำเนิดมาจากหลายแหล่ง และอาจมาจากทุกทิศทาง ซึ่ง Irradiation จะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดที่ถูกแผ่ออกมา โดย Spectral irradiation (G_λ) เป็นอัตราการตกกระทบกับพื้นผิววัตถุหนึ่งหน่วยจากรังสีความร้อนที่มีความยาวคลื่น λ Total irradiation (G) เป็นอัตราการตกกระทบกับพื้นผิวหนึ่งหน่วยตลอดทุกความยาวคลื่น Irradiation ที่มาตกกระทบวัตถุบางส่วนจะถูกวัตถุดูดซับไว้ (Absorption: A or $G_{\lambda,abs}$) บางส่วนจะสะท้อนออกจากวัตถุ (Reflection: R or $G_{\lambda,ref}$) และบางส่วนจะทะลุผ่านวัตถุไป (Transmission: T or $G_{\lambda,tr}$) ดังภาพที่ (2.11) และ (2.12) ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.2

หรือ

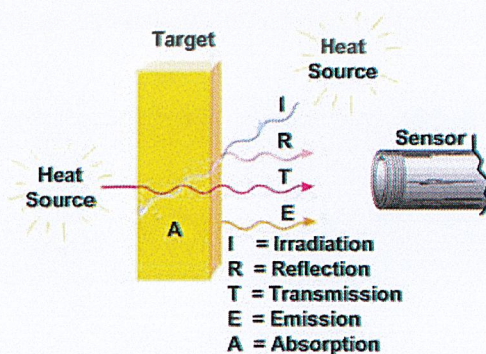
$$G = G_{\lambda,abs} + G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,tr}$$

$$G = A + R + T$$

(16)



ภาพที่ 2.11 กระบวนการดูดซึม สะท้อนและส่งต่อรังสีความร้อนในวัตถุกึ่งโปร่งแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 2.12 กระบวนการดูดซึม สะท้อน และส่งต่อรังสีความร้อนในวัตถุ [5]
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุใดบ้างเนื้อหา และต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการนำไปใช้

จากรูปจะได้ว่า Irradiation (G) = $A+R+T$ (สมการ 16) หากนำ G หารตลอด จะได้

$$1 = \frac{A}{G} + \frac{R}{G} + \frac{T}{G}$$

ซึ่ง A/G คือความสามารถในการดูดซับ (Absorptivity: α) ส่วน R/G คือความสามารถในการสะท้อน (Reflectivity: ρ) และ T/G คือ ความสามารถในการส่งผ่าน (Transmissivity: τ) หากเขียนสมการใหม่จะได้

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (17)$$

โดยที่ค่าทั้งสามของวัตถุใด ๆ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติต่างๆของวัตถุ

จากที่เคอร์ชอฟฟ์ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อวัตถุอยู่ในสถานะสมดุลความสามารถในการดูดซับของวัตถุ (α) จะเท่ากับความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุเอง (Emissivity: ε) หรือ $\alpha = \varepsilon$ และหากวัตถุเป็นวัตถุทึบแสง (Opaque) วัตถุจะไม่มีคุณสมบัติการส่งผ่าน ($\tau=0$) ดังนั้นจากสมการ (17) จะได้ว่า

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (18)$$

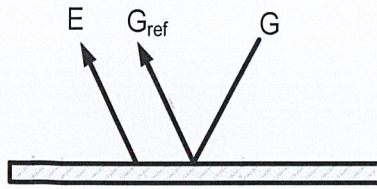
ส่วนวัตถุที่มีคุณสมบัติเป็น Black body สามารถที่จะดูดซับรังสีที่มากระทบวัตถุไว้ทั้งหมดจึงไม่มีคุณสมบัติในการสะท้อน ($\rho=0$) จะได้

$$\varepsilon = 1 \quad (19)$$

ดังนั้นพลังงานรังสีที่แผ่จาก Black body จึงมีเฉพาะพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุเอง (Perfect Reflector) รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง (Radiosity: J) ประกอบด้วย รังสีที่เกิดจากวัตถุเอง (Emission: E) และ Irradiation ที่มาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากวัตถุอื่นมากระทบ และสะท้อนออกจากวัตถุ ($G_{\lambda,ref}$) ดังที่แสดงในภาพที่ 2.13 ดังนั้น Radiosity ที่ออกมาจากวัตถุจึงเป็น

$$J = E + G_{\lambda,ref} \quad (20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง

การดูดซึมและการสะท้อนของพื้นผิวเป็นตัวการสำคัญในการมองเห็นสี ส่วนการแผ่รังสี (Emission) มักจะไม่มีผลทั้งนี้เพราะวัตถุทั่วไปมีอุณหภูมิต่ำกว่า 1000 K และการแผ่รังสีจึงหนาแน่นอยู่ในช่วงของย่าน Infrared ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ดังนั้นสีที่ปรากฏต่อสายตาคงขึ้นอยู่กับว่าวัตถุจะดูดซึมและสะท้อน (irradiation) ในช่วงความคลื่นใดๆ เช่น เห็นว่าเสื้อมีสีแดงเพราะเสื้อได้ดูดซึมรังสีในช่วงความยาวคลื่นของสีอื่นๆ ไว้และสะท้อนรังสีในช่วงความยาวคลื่นของสีแดง และเห็นว่าพื้นผิวมีสีดำเพราะพื้นผิวได้ดูดซึมรังสีที่ตกกระทบในย่านการมองเห็นทั้งหมด ส่วนพื้นที่ผิวที่เห็นเป็นสีขาวก็เพราะพื้นผิวสะท้อนรังสีในย่านการมองเห็นทั้งหมดอย่างไร ตามควรที่จะมีการพิจารณาให้ถี่ถ้วนก่อนเกี่ยวกับการมองเห็นสีนี้สำหรับ ค่า Irradiation หนึ่งๆ สีของพื้นผิวอาจไม่แสดงถึงการตอบรับรังสีทั้งหมดของพื้นผิวก็ได้ ทั้งนี้เพราะ Irradiation ส่วนใหญ่อาจอยู่ในย่านที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ตัวอย่างเช่น หิมะที่มองเห็นเป็นสีขาวนั้น เพราะสะท้อนรังสีในย่านการมองเห็นทั้งหมดแต่ดูดซึมรังสีส่วนใหญ่ในย่าน Infrared และสามารถประมาณได้เสมือนเป็นวัตถุดำในย่าน Infrared (คลื่นยาว) นี้

2.4.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นผิว (Radiation Exchange between Surfaces)

จากภาพที่ 2.13 จะได้ว่ารังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวของวัตถุ 1 (q_1 : w) มีค่าเป็น

$$q_1 = J_1 A_1 \quad (21)$$

ส่วนรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวของวัตถุ 2 (q_2 : w) มีค่าเป็น

$$q_2 = J_2 A_2 \quad (22)$$

โดย J_1 และ J_2 คือ รังสีที่แผ่ออกจากวัตถุ 1 (Radiosity1: w/m²) และรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุ 2 (Radiosity2: w/m²) ตามลำดับ A_1 และ A_2 คือ พื้นที่ผิวของวัตถุ 1 และวัตถุ 2 ที่มีการแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา (m²) เมื่อพิจารณาการแผ่รังสีของวัตถุทั้ง 2 วัตถุ ดังภาพที่ 2.14 พบว่ามีการ

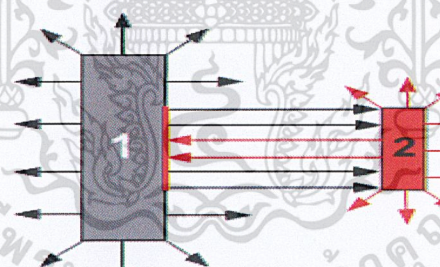
แลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกันระหว่างวัตถุทั้งสอง โดยรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุ 1 บางส่วนจะไปตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุ 2 ($q_1 \rightarrow_2: w/m^2$) ในขณะเดียวกันรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุ 2 บางส่วนจะไปตกกระทบบนวัตถุ 1 ($q_2 \rightarrow_1: w/m^2$) สัดส่วนของรังสีความร้อนออกจาก 1 ไปตกลง 2 เรียกว่า View Factor $_{12} (F_{12})$ หรือ

$$F_{12} = \frac{q_{1 \rightarrow 2}}{J_1 A_1} \quad (23)$$

ในทำนองเดียวกันสัดส่วนของรังสีความร้อนออกจาก 2 ไปตก 1 เรียกว่า View Factor $_{21} (F_{21})$ หรือ

$$F_{21} = \frac{q_{2 \rightarrow 1}}{J_2 A_2} \quad (24)$$

เมื่อพิจารณารังสีที่แผ่จากวัตถุ 1 ไปตกกระทบบนวัตถุ 2 พบว่า รังสีที่วัตถุ 2 ได้รับเป็นรังสีจากวัตถุ 1 ที่อยู่ในพื้นที่การมองเห็นของวัตถุ 2 (Field of view) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณารังสีที่แผ่จากวัตถุ 2 ตกกระทบบนวัตถุ 1 พบว่า รังสีที่วัตถุ 1 ได้รับเป็นรังสีจากวัตถุ 2 ที่อยู่ในพื้นที่การมองเห็นของวัตถุ 1 [3]



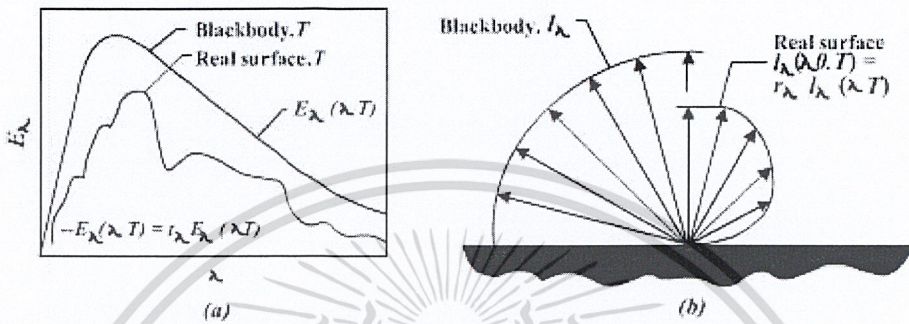
ภาพที่ 2.14 การแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างวัตถุ 2 วัตถุ

2.4.3 วัตถุเทา (Gray body) [3]

วัตถุเทาเป็นวัตถุสมมุติหรือ วัตถุอุดมคติในด้านการแผ่รังสีโดยจะมีสมบัติในการแผ่รังสีเป็นไปตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ที่ได้กล่าวไว้ คือค่าความสามารถในการแผ่รังสีจะมีค่าเท่ากับค่าความสามารถในการดูดซับ ($\epsilon = \alpha$) ซึ่งค่า Emissivity ของวัตถุเทามีค่าน้อยกว่า 1 และคงที่ที่อุณหภูมิใดๆ ตลอดทุกความยาวคลื่นซึ่งในทางอุดมคติจะพิจารณาว่าวัตถุจริงมีคุณสมบัติเป็นเหมือนวัตถุเทา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เปรียบเทียบการแผ่รังสีจากวัตถุจริงและวัตถุดำ

โดยทั่วไปการกระจายของรังสีตามความยาวคลื่น (Spectral distribution) ของรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวจริงนั้นแตกต่างจาก Planck distribution ภาพที่ 2.15(a) เนื่องจากการแผ่รังสีจากพื้นผิวจริงขึ้นอยู่กับทิศทาง ภาพที่ 2.15(b) ดังนั้น Emissivity ที่ความยาวคลื่นและทิศทางต่างๆ จึงอาจมีค่าต่างกันออกไป [3]



ภาพที่ 2.15 การเปรียบเทียบการแผ่รังสีของวัตถุดำและวัตถุจริง

a) การแปรผันกับความยาวคลื่น b) การแปรผันกับทิศทาง [3]

จากกฎของ Stefan-Boltzmann $E_b(T) = \sigma T^4$ (W/m^2) ซึ่งเป็นการหาค่าวัตถุในอุดมคติหรือวัตถุดำเท่านั้น ดังนั้นหากวัตถุเป็นวัตถุจริง ต้องใส่ค่า Emissivity (ϵ) ในสมการด้วย ซึ่งจะได้

$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (25)$$

ซึ่งค่า Emissivity (ϵ) นั้นเป็นคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุโดยจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุกับรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุดำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่ง วัตถุดำจะมีค่า Emissivity เท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำเป็นความร้อนที่เกิดจากพื้นผิวดำมันเองทั้งหมดและมีความเข้มเท่ากันในทุกทิศทางทุกทาง แต่วัตถุจริงจะมีค่า Emissivity ไม่คงที่และต่ำกว่า 1 ซึ่งค่า Emissivity ของวัตถุจริงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุนั้นและลักษณะผิวของวัตถุ ความยาวคลื่น (Wave Length) และมุมของการแผ่รังสี (Emission angle) ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยวัตถุจริงจะมีความเข้มของการแผ่รังสีสูงสุดที่มุม θ เท่ากับ 0 องศา [4]

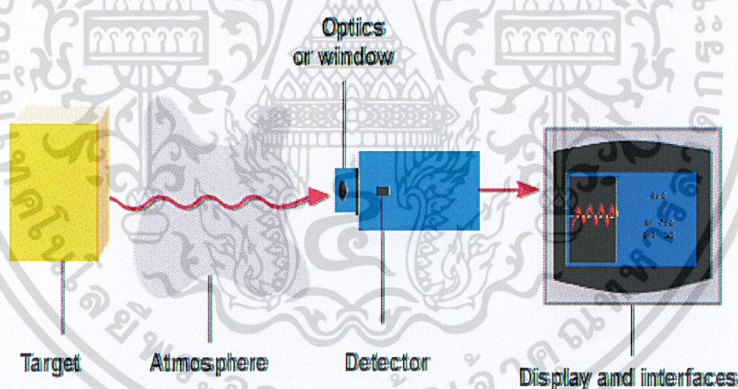
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กล้องถ่ายภาพความร้อน

2.6.1 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือ Thermal image camera (T-camera) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ซึ่งใช้เทคนิคการตรวจสอบวิเคราะห์ที่ไม่มีการสัมผัสและทำลายวัตถุ โดยกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมองไม่เห็นเป็นภาพจริง หรือไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิโดยตรง แต่ทำการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ และทำการแปลงรังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิ

ส่วนประกอบหลักๆ ของกล้อง TI คือ เลนส์ (Lenses) ตัวตรวจจับ (Detector) และในส่วนแสดงผล (Display) ซึ่งทำงานโดยพลังงานของรังสีอินฟราเรดจะแผ่จากวัตถุซึ่งส่งผ่านมายังเลนส์ของกล้องถ่ายภาพความร้อน (TI) และ จะถูกโฟกัสโดยเลนส์ไปยังตัวตรวจจับ โดยเซนเซอร์จะทำการแปลงรังสีอินฟราเรดให้อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้า หลังจากนั้นอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ จะทำการแปลงข้อมูลที่ได้รับมาจากตัวตรวจจับ และส่วนแสดงผลบนจอภาพโดยอาจจะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข สี หรือกราฟ ซึ่งวัตถุที่ร้อนกว่าจะแสดงสีสว่างและวัตถุที่เย็นกว่าจะแสดงสีมืดกว่าซึ่งกล้องแปลงรังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิโดยอาศัยทฤษฎีของ Stefan-Boltzmann ดังแสดงในสมการที่ (25)



ภาพที่ 2.16 ระบบการวัดรังสีอินฟราเรด [5]

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน

ค่า Emissivity (ϵ)

จากสมการที่ (25) จะเห็นได้ว่าในการแปลผลอัตราการแผ่รังสีอินฟราเรด (ϵ) จะเป็นอุณหภูมิที่ถูกต้องจำเป็นต้องทำการกำหนดค่า Emissivity ของผิววัตถุที่เหมาะสมสำหรับวัตถุนั้นๆ ดังนั้นใน การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนจึงต้องมีการป้อนค่า Emissivity ของวัตถุให้กับกล้อง

ด้วยซึ่งหากป้อนค่า Emissivity ที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของวัตถุ จะทำให้กล้องถ่ายภาพความร้อน
 เอกสาร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอ่านค่าอุณหภูมิของวัตถุได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นก่อนการใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนต้องทราบค่า Emissivity ของวัตถุก่อน

ค่าการสะท้อนรังสีของผิววัตถุ (Reflection: R)

จากสมการที่ (20) แสดงให้เห็นว่ารังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากผิววัตถุ (Radiosity) ไม่ได้มีเพียงรังสีที่เกิดจากตัววัตถุเท่านั้น แต่ยังมีรังสีที่เกิดจากการสะท้อนรังสีที่แผ่มาจากแหล่งอื่นด้วย ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.3.1 ซึ่งกล้องถ่ายภาพความร้อนจะรับค่า Radiosity ดังกล่าวทั้งหมดไป ดังนั้นเพื่อให้รังสีที่กล้องถ่ายภาพความร้อน TI ได้รับเป็นรังสีที่เกิดจากวัตถุจริงๆ จึงต้องมีการป้อนค่าอุณหภูมิของ Background (อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นที่แผ่รังสีมากระทบกับวัตถุ) ให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน TI ด้วยซึ่งกล้องถ่ายภาพความร้อนจะนำอุณหภูมิดังกล่าวไปใช้ในการชดเชยค่าการสะท้อน ทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้จากกล้องเป็นอุณหภูมิที่แท้จริงของวัตถุ

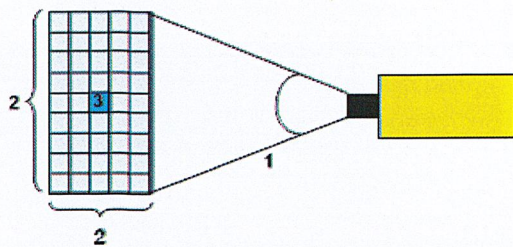
ระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องถ่ายภาพความร้อน

เมื่อวัตถุและกล้องถ่ายภาพความร้อนอยู่ห่างกันมากเกินไป จะทำให้รังสีความร้อนของวัตถุที่เซนเซอร์ภายในกล้องตรวจจับได้มีปริมาณน้อยลง เนื่องจากพลังงานบางส่วนนั้นจะสูญเสียไปในสิ่งแวดล้อม อีกนัยหนึ่งหากจุดที่ร้อน (Hot Spot) ของวัตถุ มีขนาดเล็กมาก หรือเล็กกว่าพื้นที่ของการวัด (พื้นที่ของการวัดจะปรากฏที่หน้าจอกำลังถ่ายภาพความร้อน ในขณะที่ทำการวัดอุณหภูมิที่ระยะห่างจากวัตถุมากๆ ซึ่งทำให้จุดที่ไม่ร้อนหรือจุดที่ไม่เกี่ยวข้องกับจุดที่ต้องการวัดค่าเข้าไปในพื้นที่ของการวัดซึ่ง จะมีผลต่อการวัดอุณหภูมิแต่อย่างไรก็ตามระยะห่างที่เหมาะสมของการวัดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว (Specifications) ของกล้องแต่ละรุ่น

ขอบเขตการมองเห็นหรือ FOV (Field Of View) ของกล้องถ่ายภาพความร้อน

FOV มีผลต่อความละเอียดของกล้อง TI โดย FOV มีผลต่อพื้นที่การมองเห็นวัตถุของกล้อง จึงมีผลโดยตรงกับการรับค่าอุณหภูมิของวัตถุ ภายใน FOV มีค่า IFOV (Instantaneous Field Of View) เป็นหน่วยย่อย ซึ่ง IFOV มีผลต่อความละเอียดของกล้อง TI เช่นเดียวกับ FOV FOV เป็นมุมของกล้องที่มองเห็นไปยังวัตถุ มีหน่วยเป็นองศา ซึ่งหากระยะทางการวัดแตกต่างกัน จะส่งผลต่อการรับพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นจากวัตถุแตกต่างกันด้วย คือ ถ้าระยะระหว่างกล้องกับวัตถุห่างกันน้อย จะสามารถรับรายละเอียดของพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นของวัตถุได้แคบกว่าระยะระหว่างกล้องกับ วัตถุที่ห่างกันมาก ทำให้มีผลต่อความละเอียดของภาพ ส่วน IFOV คือ เป็นพื้นที่ที่เล็กที่สุดของ FOV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



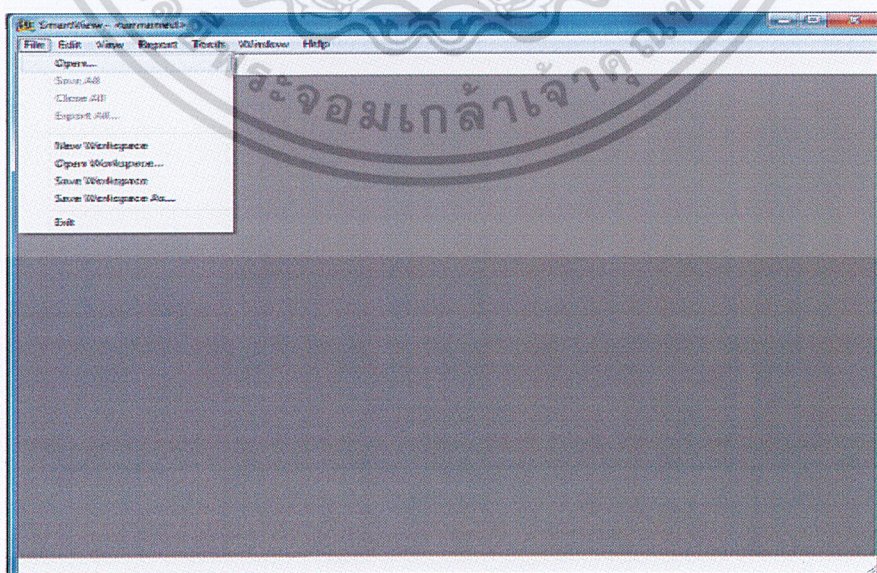
ภาพที่ 2.17 FOV IFOV และบริเวณการมองเห็นจากกล้อง TI

หมายเลข 1 คือ FOV หมายเลข 2 คือพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นจากกล้อง TI หมายเลข 3 คือ IFOV

2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Smart View 3.1

เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทางของบริษัท Fluke Corporation จัดทำขึ้นเพื่อเป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับกล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke รุ่น Ti32 สำหรับวิเคราะห์ภาพเพื่อดูรายละเอียดของภาพที่ถ่ายได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke รุ่น Ti32 ซึ่งในตัวกล้องนั้นเมื่อถ่ายภาพไปแล้วจะไม่สามารถปรับค่าใดๆเพิ่มเติมได้อีก แต่ในโปรแกรมนั้นสามารถปรับแต่งภาพที่ได้จากกล้องโดยมีฟังก์ชันต่างๆที่ใช้สำหรับปรับแต่งภาพเหมือนกับในตัวกล้องและมีฟังก์ชันเสริม ที่สามารถปรับค่าได้จากโปรแกรมเช่น การตั้งค่า Emissivity ค่า Background Temp ค่า Transmission ปรับ span เป็นต้น เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ โดยการใช้โปรแกรมปฏิบัติได้ดังนี้

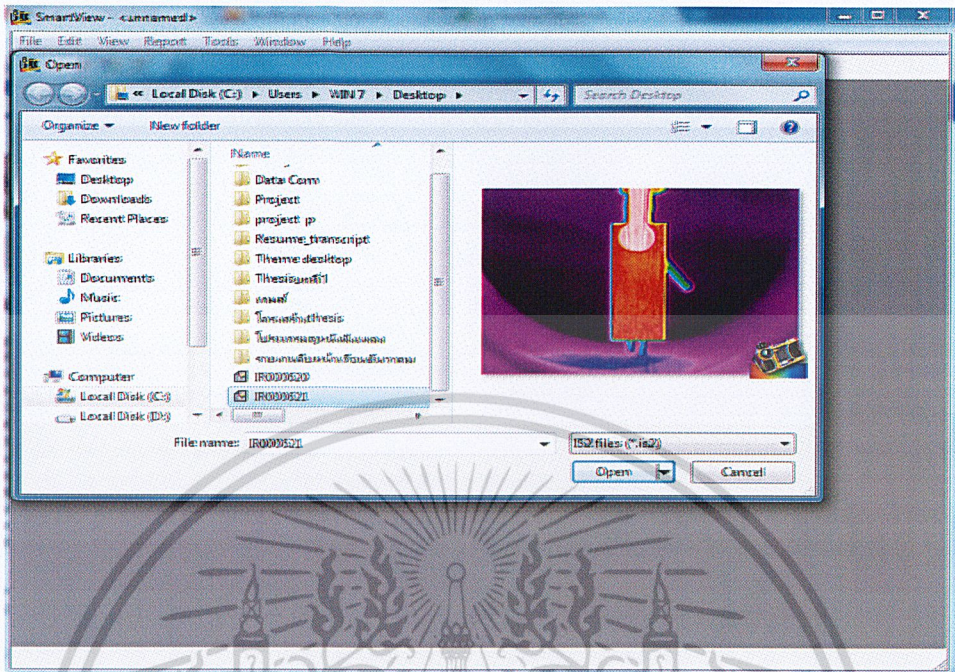
1. ดับเบิลคลิกเข้าโปรแกรม Smart View 3.1
2. กดเลือกภาพจาก File → Open



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลหรือข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำเอกสารนี้ไปใช้

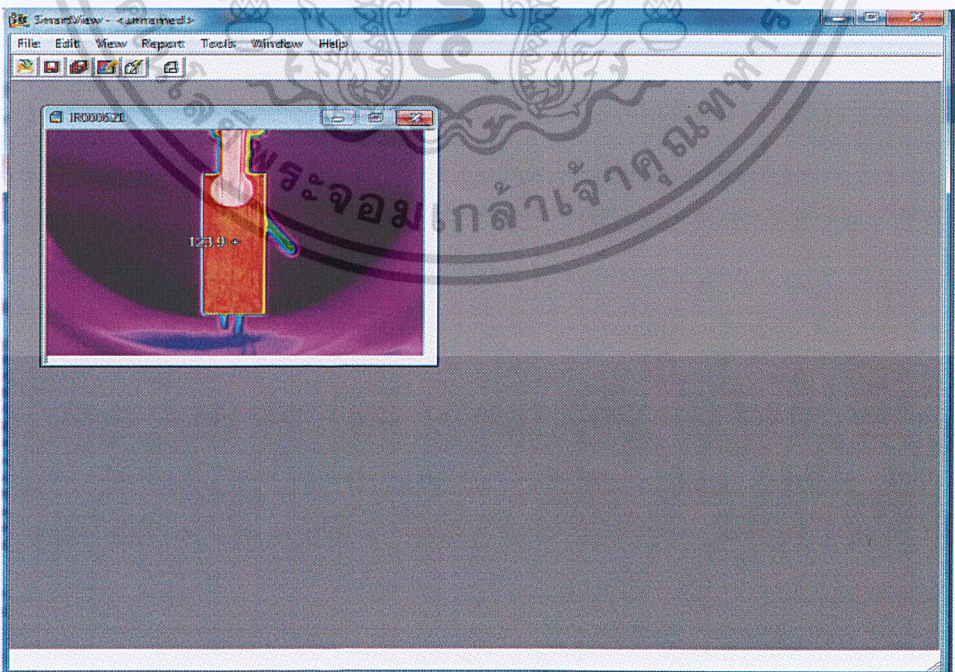
ภาพที่ 2.18 แสดงการเลือกภาพที่ต้องการวิเคราะห์

3. เลือกภาพที่ต้องการจะวิเคราะห์เลือก Open



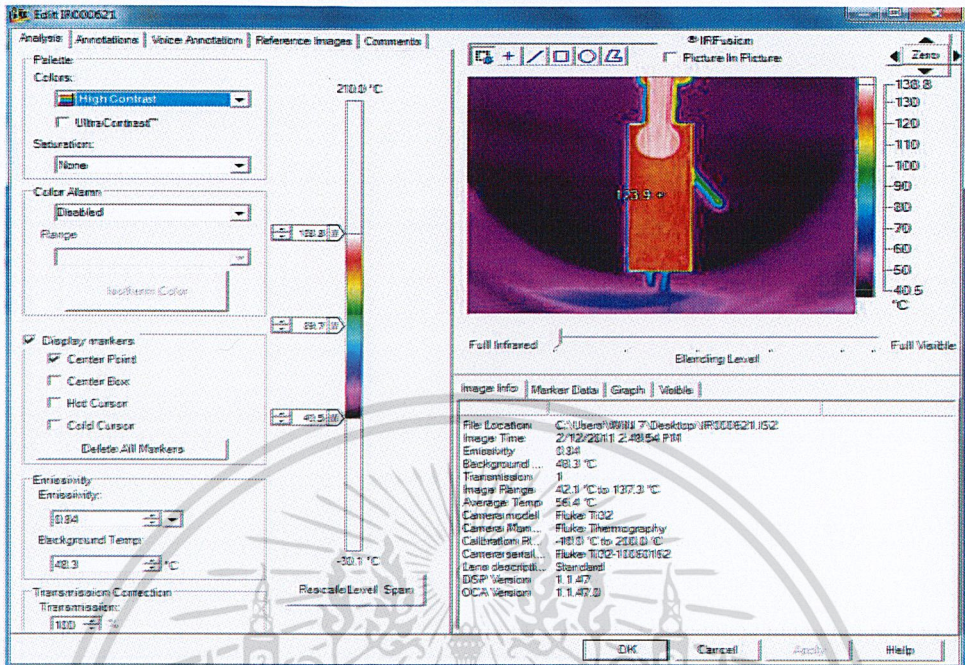
ภาพที่ 2.19 แสดงภาพที่เราต้องการวิเคราะห์

4. ภาพที่ทำการเลือกก็จะปรากฏบนหน้าจอของโปรแกรม



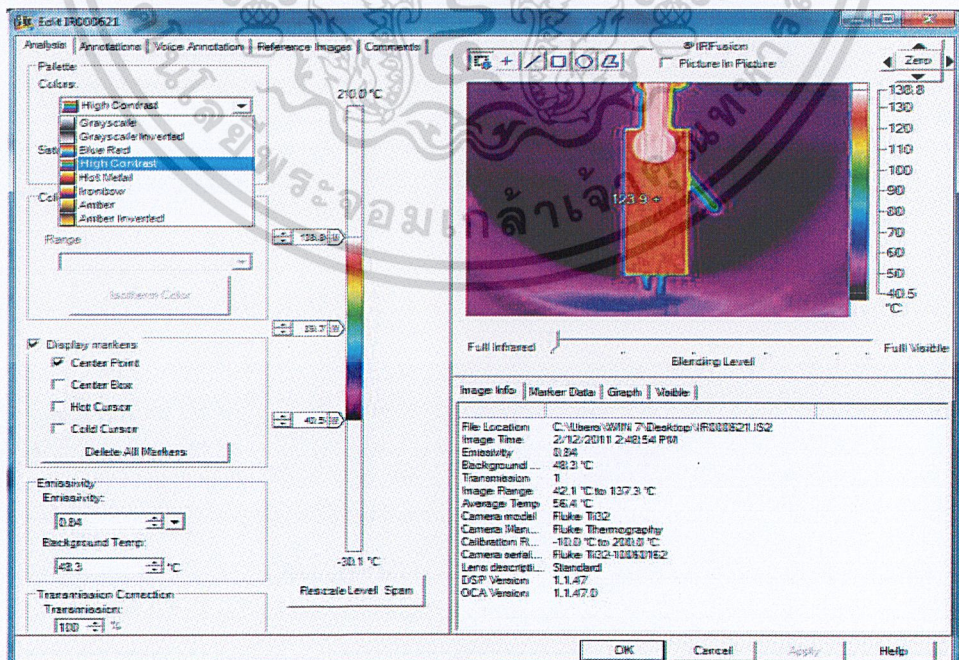
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกที่ **ภาพที่ 2.20** แสดงภาพที่ปรากฏบนหน้าจอของโปรแกรม

5. ดับเบิ้ลคลิกที่ภาพเพื่อทำการวิเคราะห์จะได้ภาพดังภาพที่ 2.21



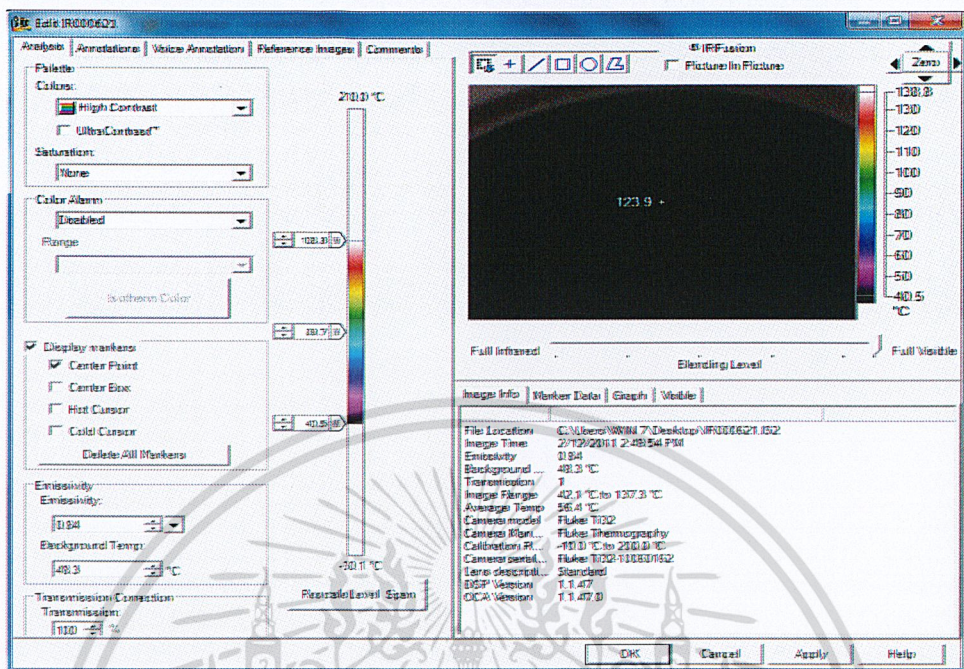
ภาพที่ 2.21 แสดงภาพเมื่อทำการวิเคราะห์ที่

6. สามารถเลือกเฉดสีของภาพได้จาก Analysis → Color



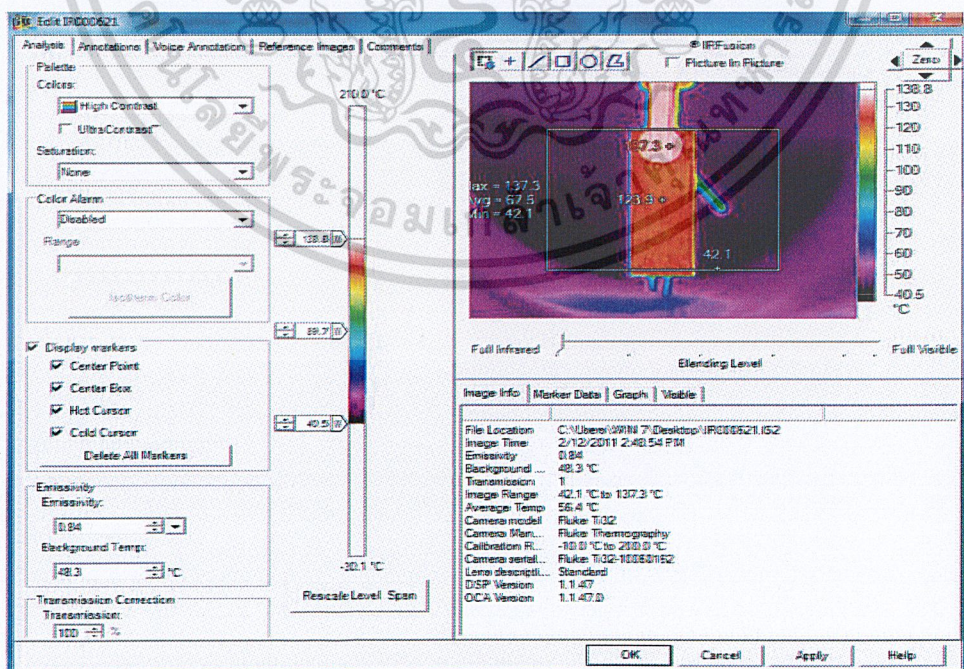
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **ภาพที่ 2.22** แสดงภาพการเลือกเฉดสีของภาพที่ทำการวิเคราะห์ ครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สามารถดูภาพจริงได้จาก Analysis → Blending Level → Full Visible



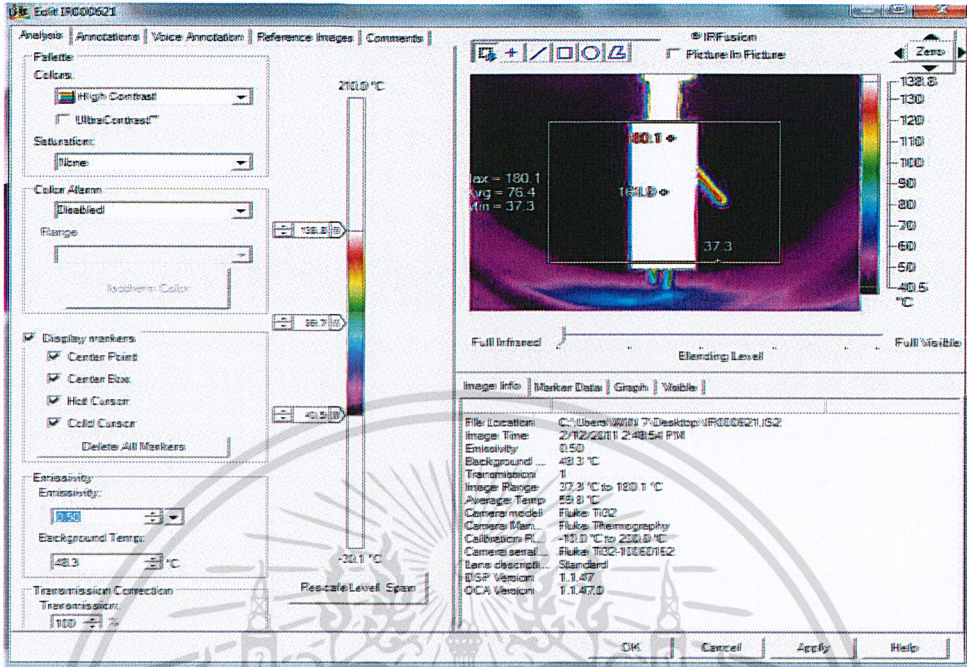
ภาพที่ 2.23 แสดงภาพจริงที่ตามองเห็นเมื่อไม่ได้วัดค่ารังสีอินฟราเรด

8. สามารถเลือกจุดที่ต้องการจะวัดได้จาก Analysis → Display markers



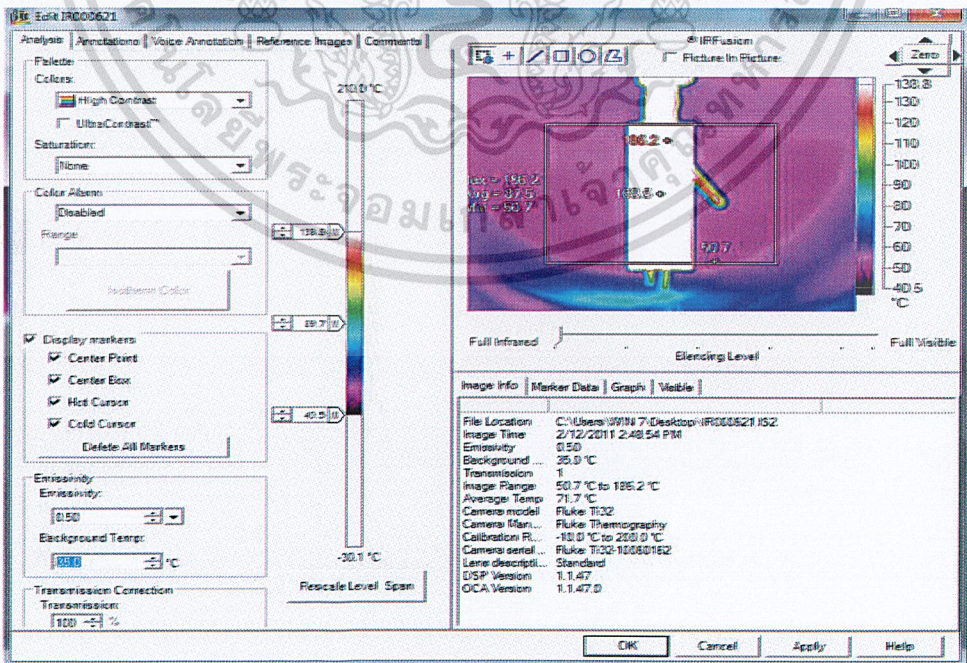
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกภาพที่ 2.24 แสดงภาพเมื่อทำการเลือกจุดที่จะทำการวิเคราะห์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สามารถปรับค่า Emissivity ได้จาก Analysis → Emissivity



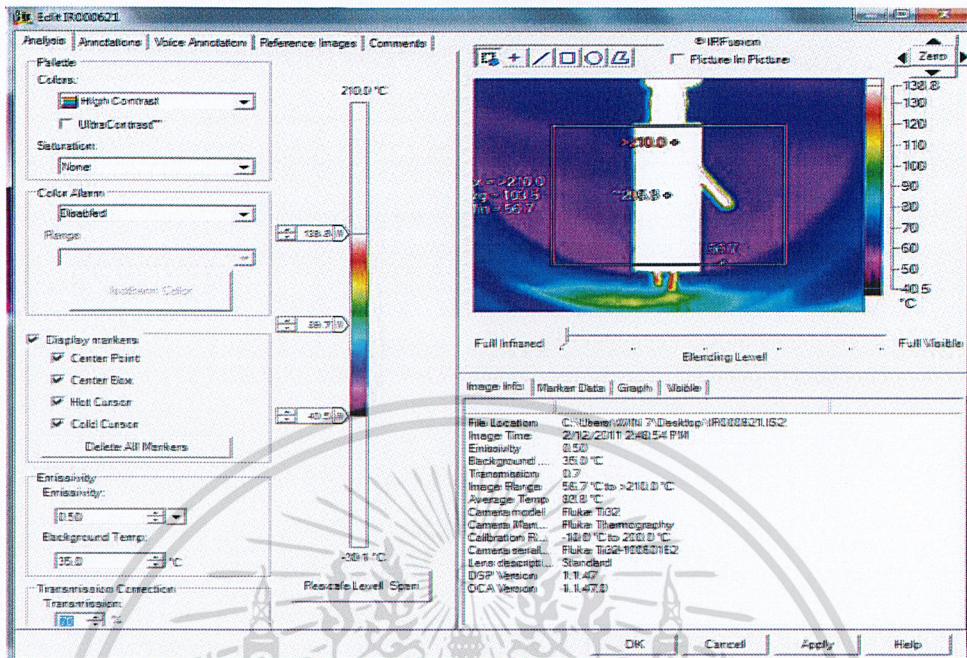
ภาพที่ 2.25 แสดงภาพเมื่อทำการเปลี่ยนค่า Emissivity

10. สามารถปรับค่า Background Temp. ได้จาก Analysis → Background Temp



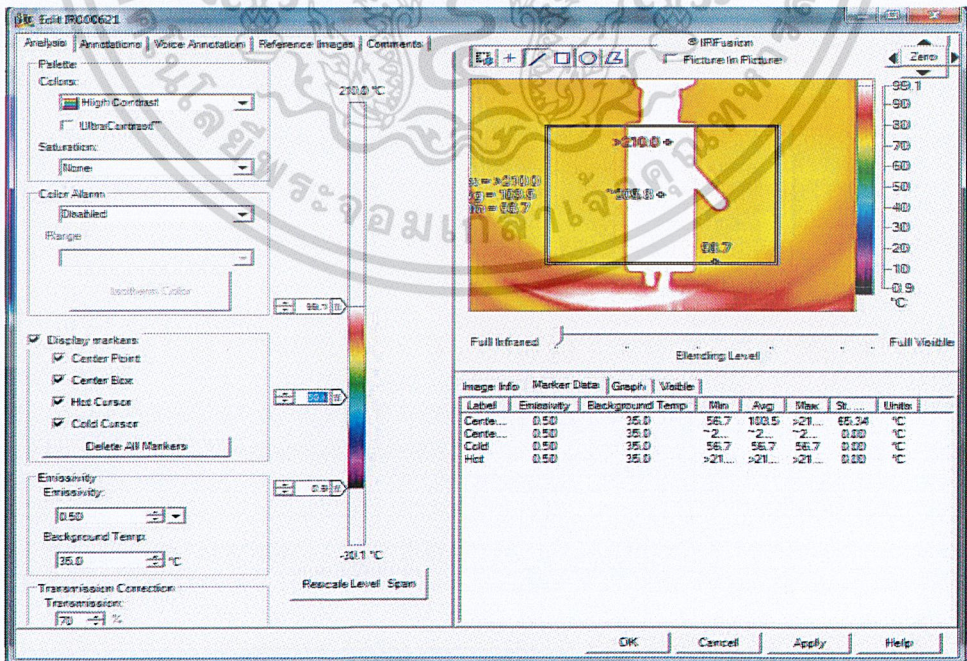
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **ภาพที่ 2.26** แสดงภาพเมื่อทำการเปลี่ยนค่า Background ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สามารถปรับค่า Transmission ได้จาก Analysis → Transmission



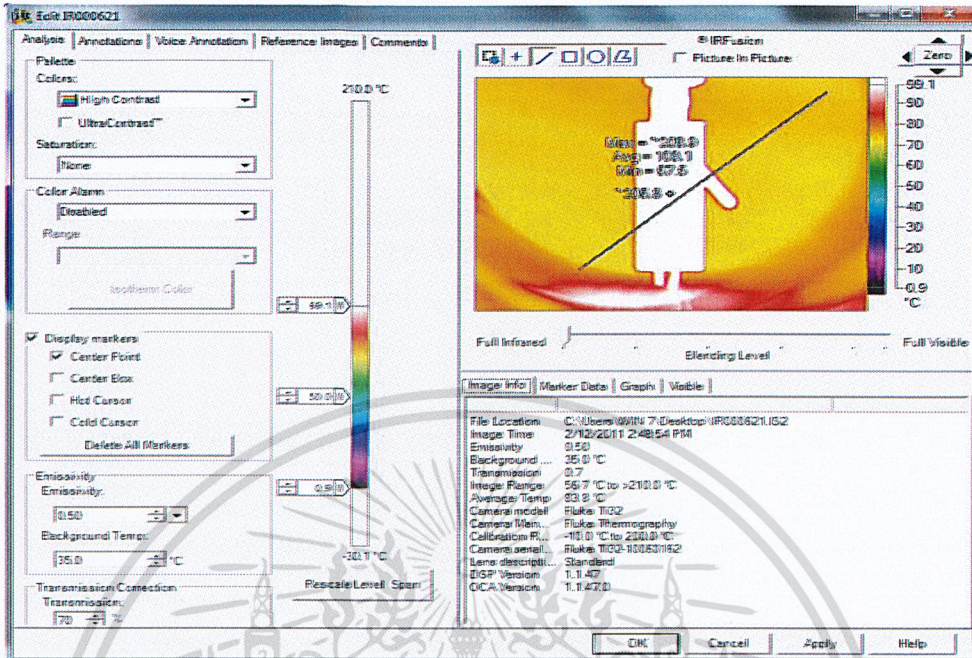
ภาพที่ 2.27 แสดงภาพเมื่อเปลี่ยนค่า transmission

12. สามารถปรับ Span ของภาพได้จาก Analysis → Rescale Level Span



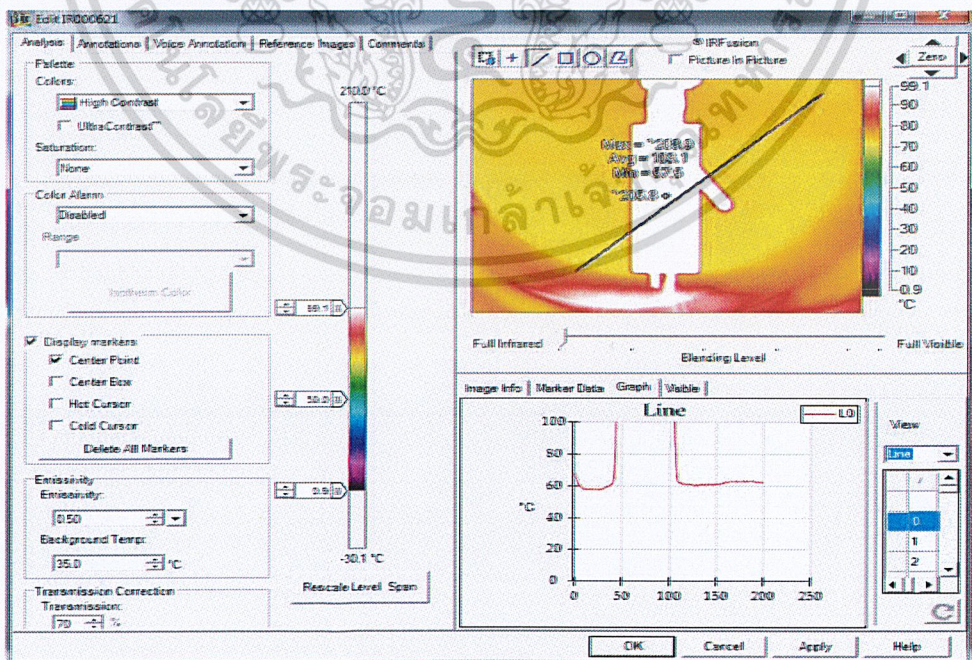
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามภาพที่ 2.28 แสดงภาพเมื่อทำการเปลี่ยน Span เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. สามารถลากจุดเพื่อคำนวณค่า Min Max Avg. ได้จาก



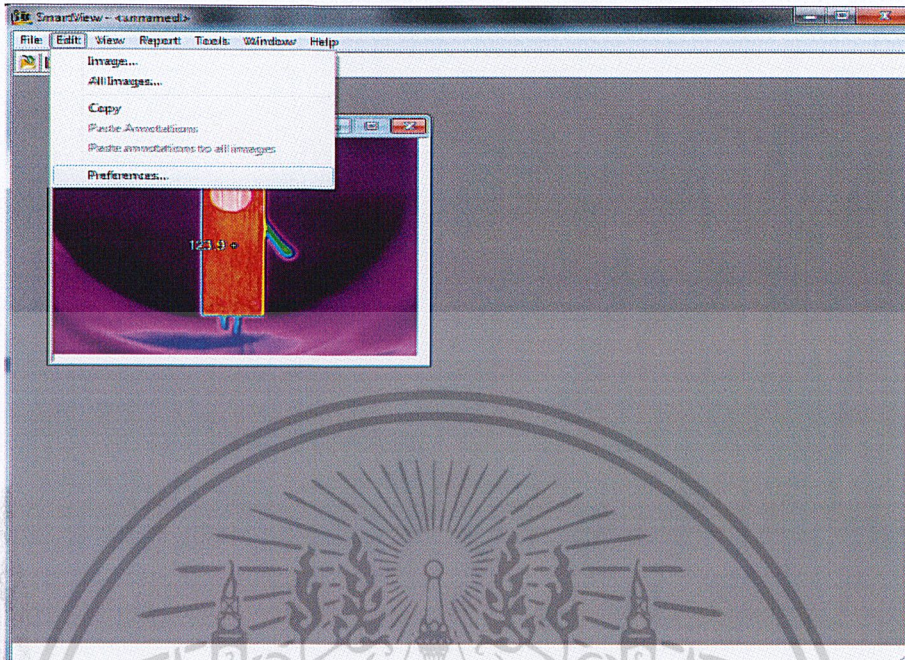
ภาพที่ 2.29 แสดงภาพเมื่อทำการลากจุดหาเพื่ออุณหภูมิที่ Min Max Avg.

14. เมื่อลากจุดหรือตีกรอบอุณหภูมิที่จุดต่างๆแล้วสามารถดูกราฟได้จาก Graph



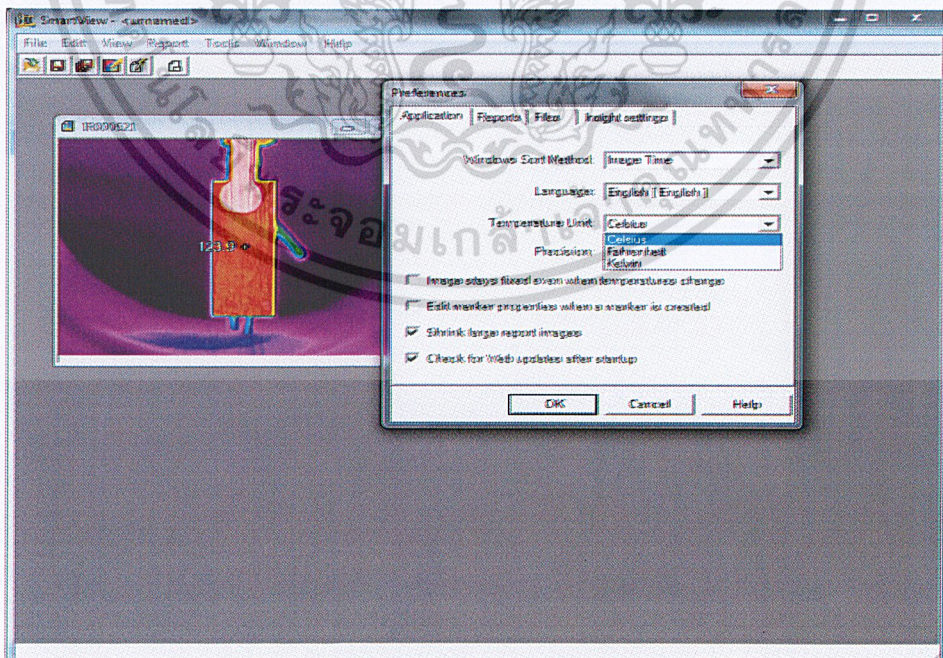
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ภาพที่ 2.30 แสดงภาพของกราฟเมื่อลากจากจุดแรกไปจุดสุดท้ายครั้งที่มีการนำไปใช้

15. สามารถเลือกหน่วยของอุณหภูมิได้จาก Edit → Preferences



ภาพที่ 2.31 แสดงภาพการเลือกฟังก์ชันเพื่อเปลี่ยนหน่วยของอุณหภูมิ

16. เลือก Temperature Unit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 2.32 แสดงภาพการเปลี่ยนหน่วยของอุณหภูมิ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

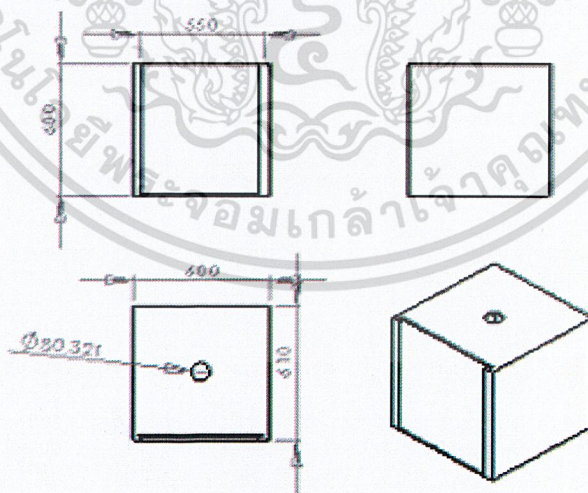
การออกแบบและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาและทดลองเบื้องต้นพบว่านอกจากความยาวคลื่น ชนิดพื้นผิว และอุณหภูมิของวัตถุ มีผลต่อการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ (Emissivity) ของกล้องถ่ายภาพความร้อนแล้ว ยังพบว่าสิ่งแวดล้อมโดยรอบเช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลมของอากาศ การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุอื่นโดยรอบซึ่งงานมีผลต่อ การวัดค่าEmissivityของกล้องถ่ายภาพความร้อนด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์ควบคุมสภาวะแวดล้อมโดยมีลักษณะเป็นระบบปิด

3.2 การออกแบบตู้ไม้สีดำควบคุมอุณหภูมิ

ในเบื้องต้นได้ทำการออกแบบเป็นตู้ไม้ โดยใช้สีดำด้านพ่นรอบผนังตู้ให้สีดำสนิทเพื่อเป็นการป้องกัน การสะท้อนของรังสีอินฟราเรดจากผนังตู้สะท้อนเข้ามาภายในซึ่งงานที่จะทำการทดลองหาค่า Emissivity



ภาพที่ 3.1 แบบตู้ไม้สีดำควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



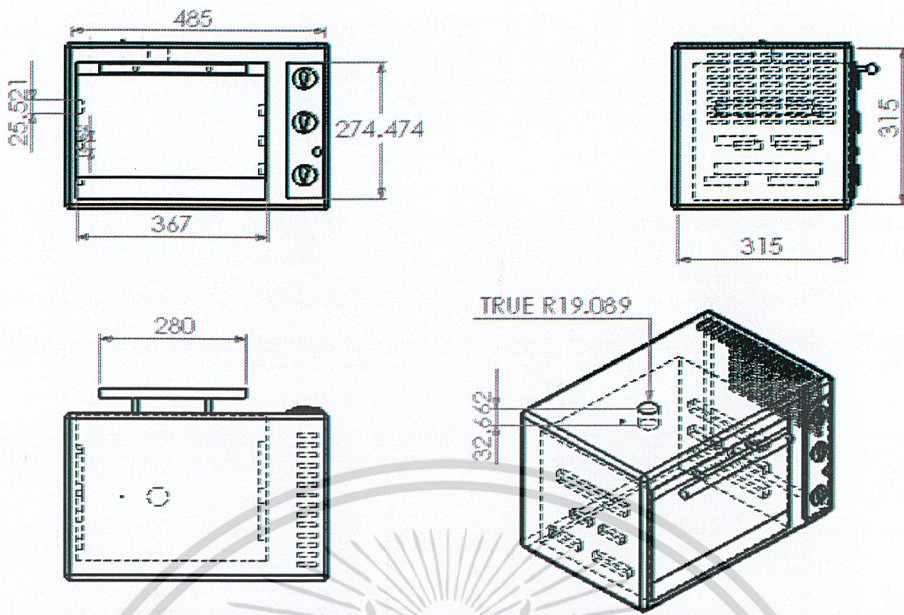
ภาพที่ 3.2 แบบตู้ไม้สีดำควบคุมอุณหภูมิ

จากการทดลองวัดค่า Emissivity โดยใช้ตู้ไม้สีดำควบคุมอุณหภูมิล้อมรอบ พบว่าสามารถวัดค่า Emissivity และหาจุดบกพร่องของข้อต่อต่างๆ ได้ เนื่องจากตู้ไม้เป็นสีดำไม่มีการสะท้อนรังสีจากผนังตู้เข้ามาสู่ชิ้นงาน แต่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายนอกที่เข้าไปภายในตู้ได้ เพราะตู้ไม้ไม่มีลักษณะเป็นระบบปิด และไม่มีแหล่งจ่ายความร้อนภายในตู้จึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุในตู้ทดลองได้รวมทั้งในการวัดมีการเปิดตู้ เพื่อที่จะทำการวัดค่า Emissivity ของชิ้นงานทำให้อุณหภูมิล้อมชิ้นงานไม่คงที่เป็นผลให้อุณหภูมิจากภายนอกเข้ามาบรรจบอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานค่า Emissivity ที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อนไป และได้มีการนำแนวคิดเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิที่ได้จากตู้ไม้สีดำไปพัฒนาต่อเป็นตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ลักษณะเป็นระบบปิด

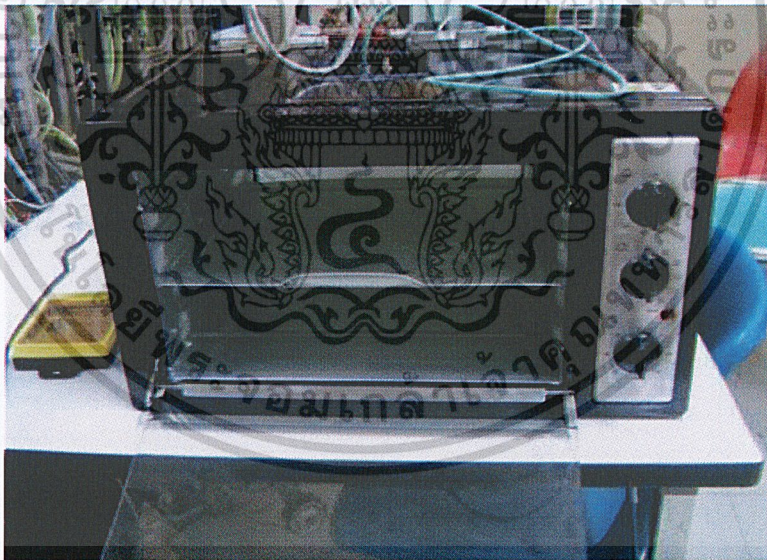
3.3 การออกแบบตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

จากที่ผ่านมาได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่า Emissivity และการควบคุมอุณหภูมิจากภายนอกที่เข้ามาบรรจบในตัวชิ้นงาน จึงสร้างเป็นตู้อบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ อินฟราเรดเซนเซอร์เป็นตัวรับค่ารังสีอินฟราเรดจากวัตถุที่ทำการวัดค่า Emissivity และส่งค่าไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

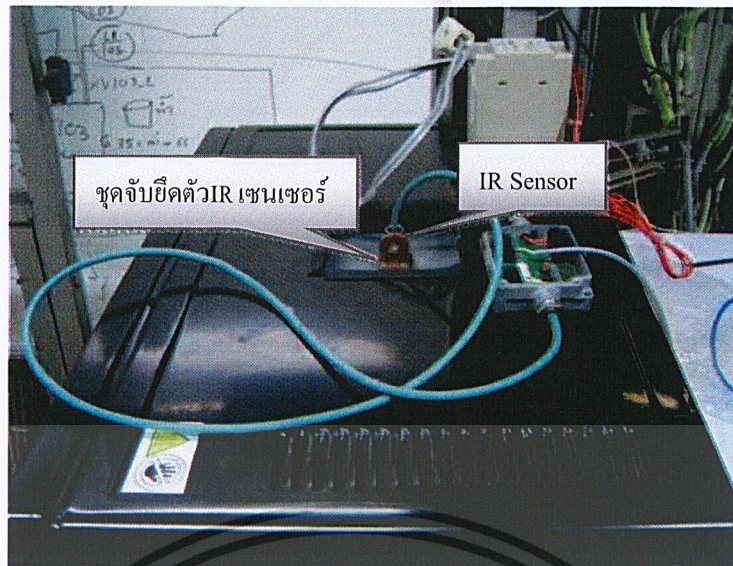


ภาพที่ 3.3 แบบตู้ควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.4 เตาอบขนาดเล็กนำมาดัดแปลงเพื่อใช้ให้ความร้อนกับชิ้นงาน และทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากอินฟราเรดเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



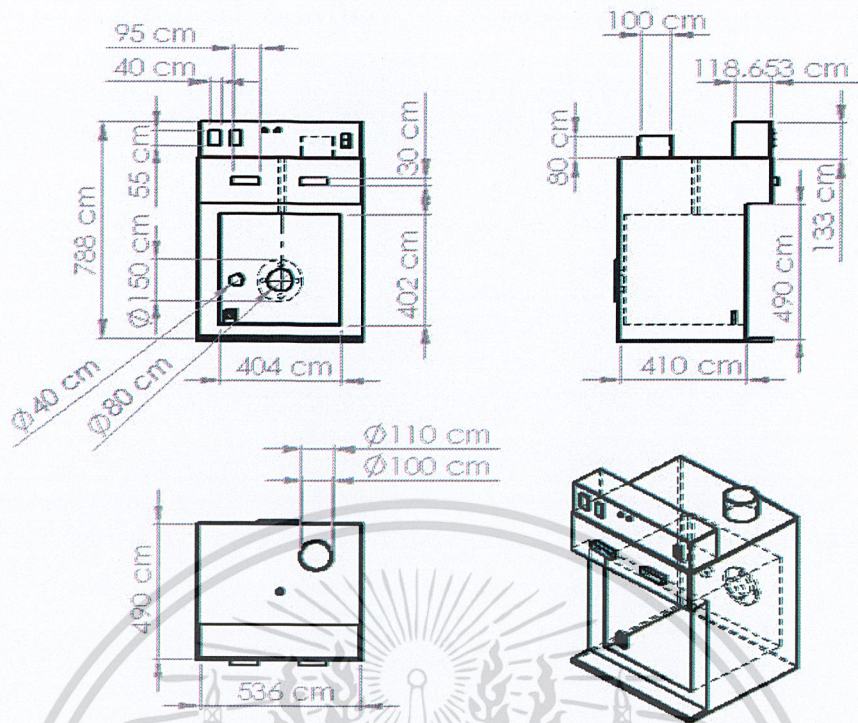
ภาพที่ 3.5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่สร้างเสร็จแล้ว

เมื่อทำการติดตั้งตัวเซนเซอร์แล้วจะนำสัญญาณที่ออกมาจากตัวเซนเซอร์ มาทำการเชื่อมต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ที่สามารถปรับค่า Emissivity ได้จากคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง โดยค่าอุณหภูมิที่ได้จากตัวเซนเซอร์จะถูกสอบเทียบกับค่าตัวเทอร์โมคัปเปิ้ล เพื่อให้ทราบค่าที่แท้จริงที่ตัวเซนเซอร์อ่านมาได้ เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการทดลองตามย่านอุณหภูมิต่างๆ และช่วงเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่า Emissivity จากการทดลองพบว่าเตาอบขนาดเล็กสามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้คงที่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรด แต่อย่างไรก็ตามขนาดของเตาอบเล็กและไม่สามารถทำอุณหภูมิได้สูงเพียงพอที่จะใช้กับวัสดุอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ช่องในการส่งกล้องถ่ายภาพความร้อนก็ไม่สามารถทำได้ การติดตั้งตัวเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ใช้วัดอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานทำได้ค่อนข้างยาก จากผลการทดลองนี้จึงนำไปเป็นแนวทางการพัฒนาสร้างห้องควบคุมสภาวะแวดล้อมขนาดใหญ่ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของการรักษาอุณหภูมิและการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่า Emissivity

3.4 การออกแบบห้องควบคุมสภาวะแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการแผ่รังสีอินฟราเรด

จากปัญหาต่างๆ ที่พบได้ข้างต้น ได้มีการสร้างห้องควบคุมสภาวะแวดล้อมขนาดใหญ่เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของการรักษาอุณหภูมิ และทำอุณหภูมิให้สูงเพียงพอที่จะใช้กับวัสดุอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีช่องในการส่งกล้องถ่ายภาพความร้อนใช้สำหรับวัดค่า Emissivity อีกทั้งยังสามารถติดตั้งตัวเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานทำได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

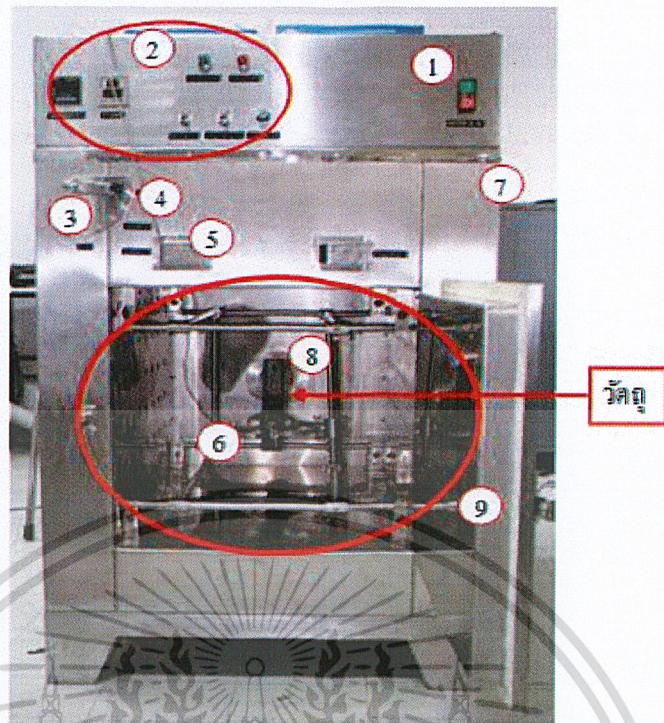


ภาพที่ 3.6 แบบห้องควบคุมสถานะแวดล้อม



ภาพที่ 3.7 การแบบห้องควบคุมสถานะแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 ตู้ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เสร็จแล้ว

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม

หมายเลข	ส่วนประกอบภายในห้องควบคุมสภาวะ
1	สวิตช์เปิด-ปิด
2	Temperature control
3	คัน โยก โยกเปิด-ปิดช่อง Refresh Air
4	สาย Thermocouple
5	ช่องนำสาย Thermocouple ไปวัดอุณหภูมิที่ผิวสัมผัส
6	ชุดจับยึดวัดอุณหภูมิ
7	ผนังตู้ทำจาก Stainless
8	IR-Window
9	ประตูปิด-เปิด บุกด้วยฉนวนใยหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างห้องควบคุมสภาวะแวดล้อม

1. HEATER COIL (12,000 W 220 VAC)
 - 3000 W, 220V, (TOP SIDE)
 - 3000 W, 220V, (LEFT SIDE)
 - 3000 W, 220V, (RIGHT SIDE)
 - 3000 W, 220V, (BOTTOM SIDE)
2. STAINLESS PLATE INSIDE
 - 700x500x1.2 mm. (TOP SIDE)
 - 700x500x1.2 mm. (BOTTOM SIDE)
 - 700x500x1.2 mm. (LEFT SIDE)
 - 700- 500x500x1.2 mm. (FRONT SIDE)
 - 500x500x1.2 mm. (RIGHT SIDE)
 - 500x500x1.2 mm. (BACK SIDE)
3. STAINLESS PLATE OUT SIDE
 - 760x810x1.2 mm. (TOP SIDE)
 - 760x810x1.2 mm. (BOTTOM SIDE)
 - 810x800x1.2 mm. (LEFT SIDE)
 - 810x800x1.2 mm. (RIGHT SIDE)
 - 760x800x1.2 mm. (BACK SIDE)
 - 760x800x1.2 mm. (FRONT SIDE)
4. FIBER GLASS
5. TEMPERATURE TIMER & TEMPERATURE INDICATOR
6. FAN
7. DOOR
8. WINDOW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 รายละเอียดคุณลักษณะ

1. วัสดุภายนอกทำด้วยเสตนเลสอย่างดี หนา 1.2 มม.
2. ขนาดภายนอกประมาณ กว้าง x ลึก x สูง 76 * 81 * 80 ซม. (ถ้ารวมตู้ไฟสูง 100 ซม.)
ขนาดภายใน กว้าง x ลึก x สูง 50 * 70 * 50 ซม.
3. รอบตัวตู้และประตูด้วยโยหินกันความร้อน
4. ใช้ไฟฟ้าให้ความร้อนด้วยแผงฮีตเตอร์ 12,000 วัตต์
5. มีพัดลมหมุนเวียนอากาศใช้มอเตอร์
6. มีชุดควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวเลขดิจิตอล ตั้งอุณหภูมิได้ 35-300 องศาเซลเซียส
7. Time ตั้งเวลาในการอบได้ 24 ชั่วโมง
8. มีตัวบังคับช่องอากาศที่ด้านหน้าตู้ สามารถปรับบังคับการหมุนเวียนของลมร้อนภายในตู้ให้ระบายความชื้นออกมากหรือน้อย (จะปิดหรือเปิดก็ได้)
9. มีช่อง Refresh Air ด้านหน้า 1 ช่อง (ปิด-เปิดได้)
10. ด้านหลังเจาะรูมีแผ่นปิดด้านใน ที่จับเปิด - ปิดอยู่ภายนอกหลังตู้
11. ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิมีเสตนเลสแบนหนา 6 มม. (ตามแบบ)
12. ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงกำหนดที่ได้ตั้งค่าไว้หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนสถานะทำให้ แมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ Furnas ทำงาน และหลอด Autolamp จะแสดงการทำงานของแมคเนติกส์คอนแทคเตอร์ Furnas

3.8 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาค่า Emissivity

ในการทดลองหาค่า Emissivity ได้ทำการแบ่งวัสดุและอุปกรณ์ออกเป็น 2 จำพวก

3.8.1 จำพวกที่หนึ่งคือวัสดุทางวิศวกรรมได้แก่ เหล็ก ทองแดง สแตนเลส อลูมิเนียม และ ทองเหลือง

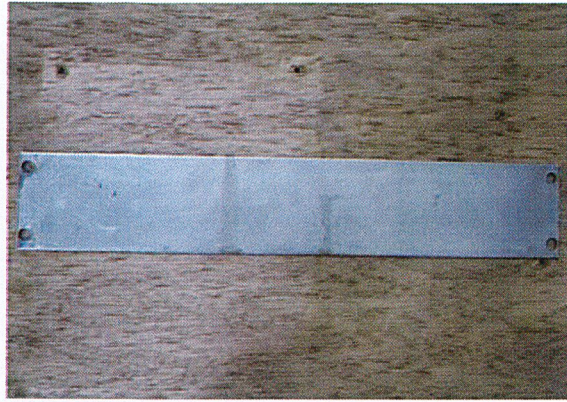


ภาพที่ 3.10 เหล็ก



ภาพที่ 3.11 ทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 สแตนเลส



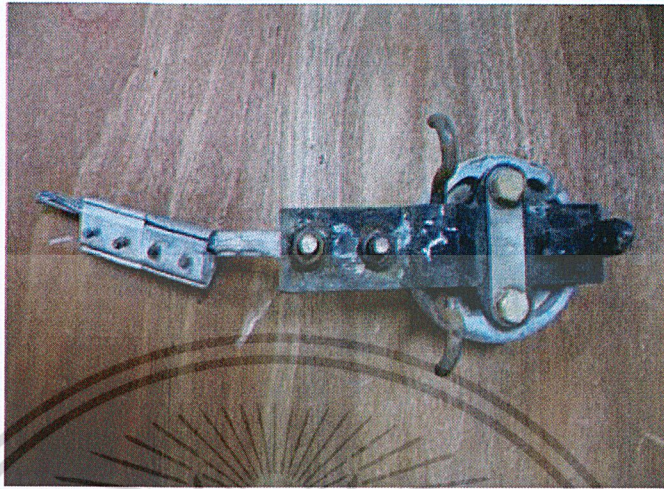
ภาพที่ 3.13 อลูมิเนียม



ภาพที่ 3.14 ทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 จำพวกที่ 2 เป็นวัสดุอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ คีสคอนเน็คติ่งสวิทช์ และฟิวส์โฮลเตอร์



ภาพที่ 3.15 คีสคอนเน็คติ่งสวิทช์



ภาพที่ 3.16 ฟิวส์ โฮลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองหาค่า Emissivity ของ วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ในระบบ จำหน่ายไฟฟ้า

4.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่า Emissivity ของวัสดุ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่า Emissivity ของวัสดุประกอบด้วย

4.1.1.1 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image Camera: TI)

กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke รุ่น TI 32 ตรวจวัดรังสีอินฟราเรด ที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 8-14 μm ช่วงวัดอุณหภูมิ -20°C ถึง $+600^{\circ}\text{C}$ ความละเอียดภาพความร้อน 320 x 240 VOX

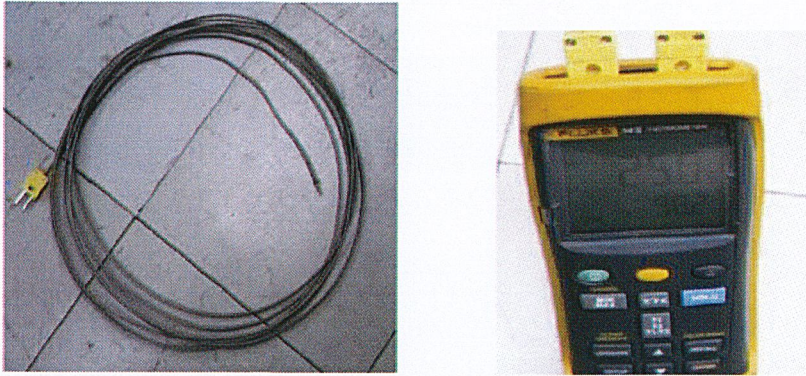


ภาพที่ 4.1 กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น TI 32

4.1.1.2 เทอร์โมคัปเปิลทนความร้อน ชนิด K และเทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52 II

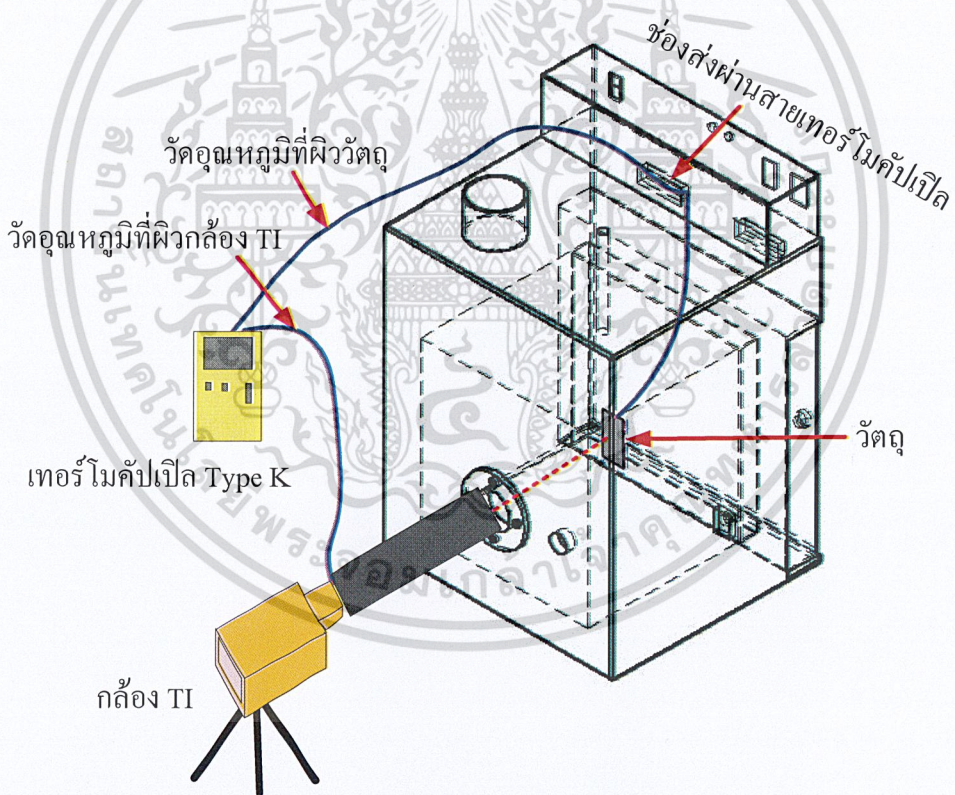
เทอร์โมคัปเปิล Type K แบบสัมผัสหุ้มด้วยลวดถักกันความร้อนที่ผ่านการสอบเทียบแล้วเพื่อที่จะเป็นตัววัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุเพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ที่กล้องถ่ายภาพความร้อน TI อ่านค่าได้โดยเทอร์โมคัปเปิลจะเชื่อมต่ออยู่กับเทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52 II ซึ่งสามารถรองรับสัญญาณไฟฟ้าจากเทอร์โมมิเตอร์ได้ 2 Channel ช่วงวัดอุณหภูมิ 250°C - $1,767^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบสัมผัส Type K และเทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52 II 2 Channel

4.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาค่า Emissivity ของวัสดุ



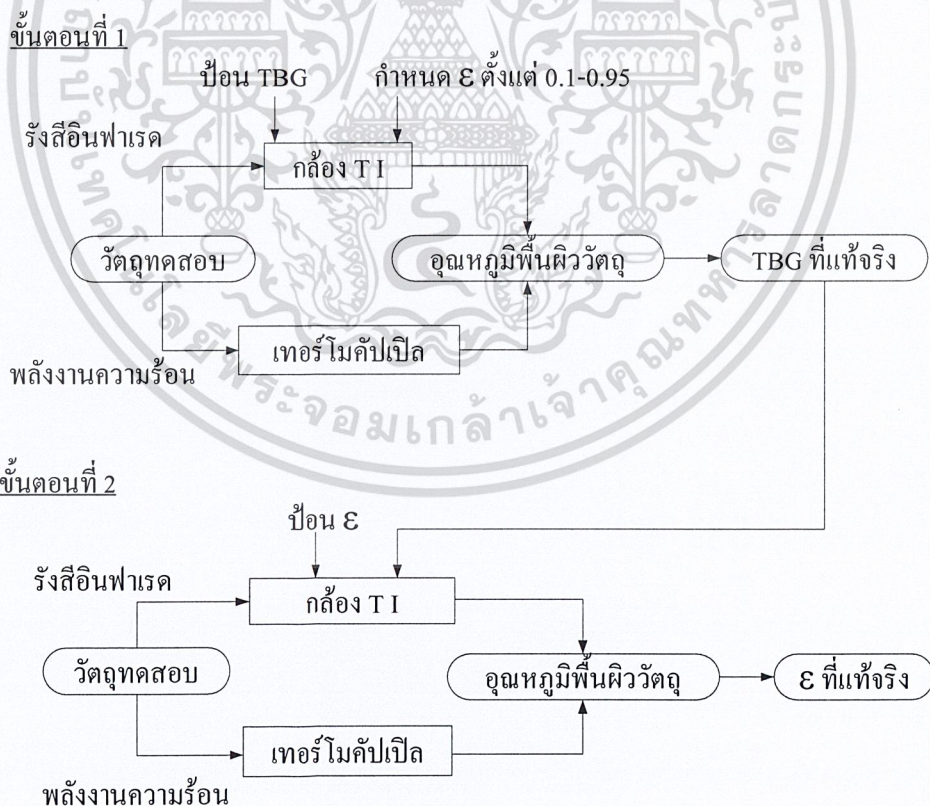
ภาพที่ 4.3 ภาพรวมระบบตรวจวัดค่า Emissivity ของวัสดุ

ยึดจับวัสดุที่ต้องการทราบค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีการแผ่สีอินฟราเรด ϵ โดยใช้ชุดจับยึดเอกสารใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบสัมผัส ซึ่งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิผิวของวัสดุ จากนั้นรอกำไม่ว่าเปิดให้ความร้อนกับชุดอุปกรณ์จนกระทั่งอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุมีค่าตามต้องการ จึงใช้กล้อง TI วัด

ค่าอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุผ่านช่องส่องผ่าน เนื่องจากรังสีอินฟราเรดที่กล้องถ่ายภาพความร้อน TI รับไปไม่ได้มีเฉพาะรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากตัววัตถุเท่านั้น แต่ยังรวมทั้งมีรังสีอินฟราเรดที่สิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นโดยรอบแผ่มาตกกระทบ และสะท้อนออกจากผิววัตถุการหาค่า ϵ ของวัตถุจึงแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อค่าอุณหภูมิที่ผิววัตถุที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ลได้ค่าตามที่ กำหนดไว้แล้ว ให้ใช้กล้อง TI วัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุผ่านช่องส่องผ่าน โดยการกำหนดค่า Emissivity (ϵ) ให้กับกล้อง จากนั้นปรับค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Background Temperature: T_{BG}) ที่ตัวกล้องถ่ายภาพความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิที่อ่านได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน TI มีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่อ่านได้จากจอแสดงผลที่ต่ออยู่กับเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่ง T_{BG} ที่ได้คืออุณหภูมิของรังสีอินฟราเรดที่แผ่มาจากสิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นโดยรอบวัตถุ ทำการหาค่า T_{BG} ที่ค่า ϵ ตั้งแต่ 0.1-0.95 จากนั้นวิเคราะห์หาค่า T_{BG} โดยเฉลี่ยในแต่ละช่วงอุณหภูมิ (เนื่องจากรังสีที่มาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบวัตถุไม่ได้มาจากแหล่งเดียวหรือวัตถุชนิดเดียว)

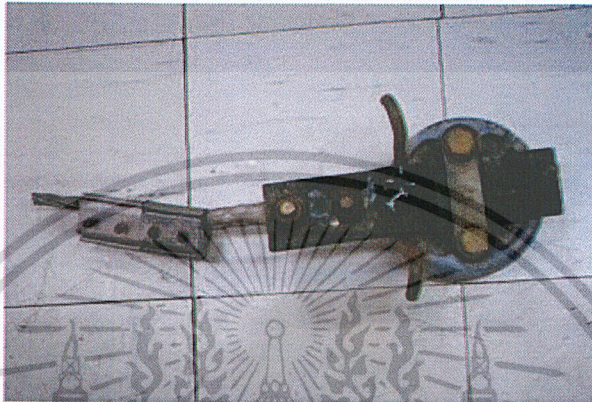
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่า T_{BG} ที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 ให้กับกล้อง TI ปรับค่า ϵ ที่ตัวกล้องจนกระทั่งอุณหภูมิที่อ่านค่าได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน TI ซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ลค่า ϵ ที่ได้คือค่า ϵ ที่แท้จริงของวัตถุ ขั้นตอนการหา ϵ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



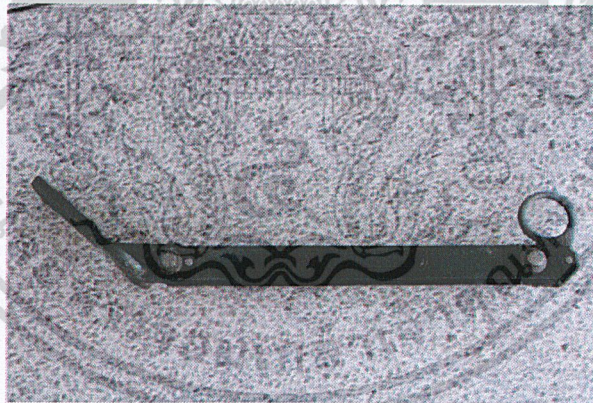
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองหาค่า Emissivity ของ อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่นำมาทำการทดลองหาค่า Emissivity ได้แก่ ดิสคอนเนคติงสวิทช์ ส่วนประกอบของฟิวส์โฮลเคอร์ ฟิวส์คอนเนคเตอร์ หางปลาเจาะรูทำจากสแตนเลส และอลูมิเนียม ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้มีสภาพทั้งใหม่และเก่า โดยขั้นตอนการทดลองทำเช่นเดียวกับการทดลองหาค่า Emissivity ของวัสดุ

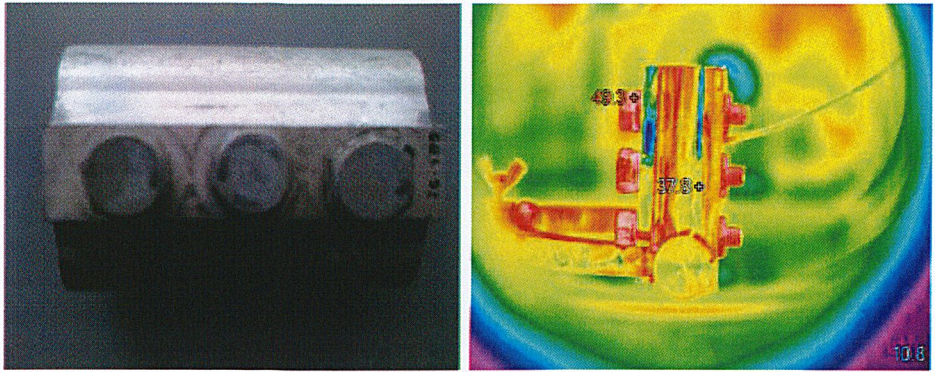


ภาพที่ 4.5 ดิสคอนเนคติงสวิทช์

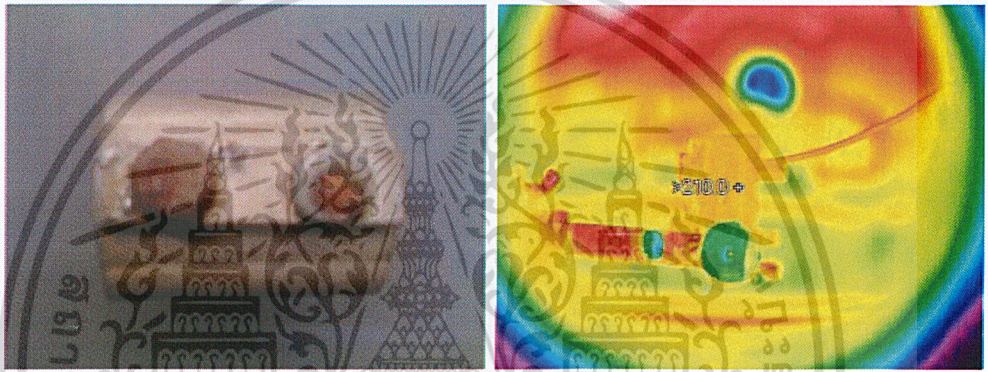


ภาพที่ 4.6 ส่วนประกอบของฟิวส์โฮลเคอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 พิจิกอนเนคเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของคีสคอนเน็คติ่งสวิทช์ (ใหม่)



ภาพที่ 4.8 พิจิกอนเนคเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของคีสคอนเน็คติ่งสวิทช์ (เก่า)



ภาพที่ 4.9 ชิ้นส่วนของฟิวส์โฮลเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 หางปลาอลูมิเนียมทำจากสแตนเลสสภาพใหม่



ภาพที่ 4.11 หางปลาอลูมิเนียมทำจากสแตนเลสสภาพเก่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาพที่ 4.12 หางปลาทำจากอลูมิเนียมสภาพใหม่ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

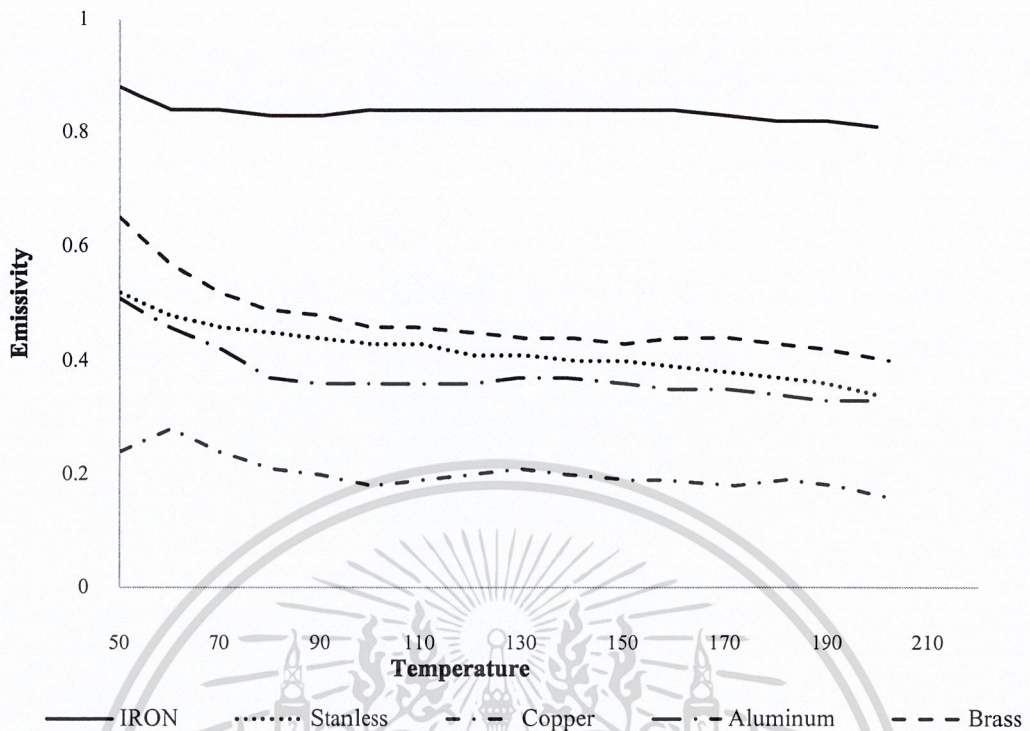
4.3 ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองวัสดุ เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง อะลูมิเนียม และ สแตนเลส รวมทั้งอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้ได้ค่า Emissivity ตามอุณหภูมิช่วงๆต่าง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Emissivity ของวัสดุ

Temperature (°C)	Emissivity (E)				
	Iron	Copper	Stainless	Aluminum	Brass
50	0.88	0.24	0.52	0.51	0.65
60	0.84	0.28	0.48	0.46	0.57
70	0.84	0.24	0.46	0.42	0.52
80	0.83	0.21	0.45	0.37	0.49
90	0.83	0.2	0.44	0.36	0.48
100	0.84	0.18	0.43	0.36	0.46
110	0.84	0.19	0.43	0.36	0.46
120	0.84	0.2	0.41	0.36	0.45
130	0.84	0.21	0.41	0.37	0.44
140	0.84	0.2	0.4	0.37	0.44
150	0.84	0.19	0.4	0.36	0.43
160	0.84	0.19	0.39	0.35	0.44
170	0.83	0.18	0.38	0.35	0.44
180	0.82	0.19	0.37	0.34	0.43
190	0.82	0.18	0.36	0.33	0.42
200	0.81	0.16	0.34	0.33	0.40

หมายเหตุ : ช่วงอุณหภูมิอยู่ในช่วง(±30 °C)
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่า Emissivity ของวัสดุ

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Emissivity ที่ได้จากการทดลองกับค่า Emissivity อ้างอิง

Material	การทดลอง		Reference Table		
	Temperature (C°)	ϵ	ϵ	Temperature (C°)	Reference
Iron	50-200	0.81-0.88	0.63-0.96	25-499	D.G.Rao (2010)
Aluminum	50-200	0.33-0.51	0.25-0.4	100-315	Cole-Parmer
Brass	50-200	0.40-0.65	0.4-0.61	20-200	D.G.Rao (2010)
Copper	50-200	0.16-0.24	0.2-0.78	38-108	Cole-Parmer
Stainless	50-200	0.34-0.52	0.28-0.44	25-200	Cole-Parmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Emissivity ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง

Material	การทดลอง	
	Temperature (°C)	ϵ
หางพลาสติกเดนเลส(ใหม่)	50-200	0.21-0.39
หางพลาสติกเดนเลส(เก่า)	50-200	0.6-0.63
หางปลาทูมิเนียม(ใหม่)	50-200	0.35-0.42
พีจีคอนเนคเตอร์(ใหม่)	50-200	0.30-0.33
พีจีคอนเนคเตอร์(เก่า)	50-200	0.60-0.67
ชิ้นส่วนของฟิวส์โฮลเตอร์	50-200	0.65-0.77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและการประยุกต์ใช้งาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการวัดค่า Emissivity ของวัสดุแต่ละชนิดได้ค่า Emissivity ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ จากกราฟแสดงผลการทดลองพบว่าเมื่อพื้นผิวของวัสดุมีอุณหภูมิค่า Emissivity ของวัสดุนั้นจะมีค่าค่อนข้างสูง แต่เมื่ออุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุสูงขึ้น Emissivity จะมีค่าต่ำลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุมีผลต่อค่า Emissivity ของวัสดุ โดยแนวโน้มการลดลงของค่า Emissivity ของวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

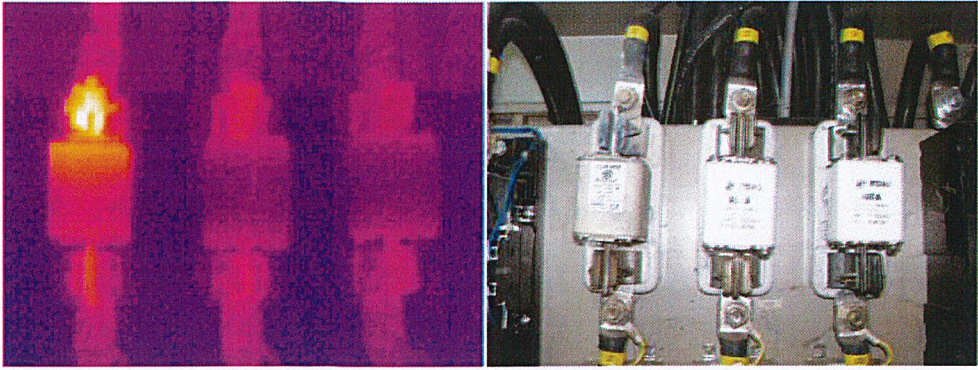
จากผลการทดลองเห็นได้ว่าค่า Emissivity ของวัสดุจะแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุมีค่าไม่เท่ากัน โดยเหล็กมีค่า Emissivity มากที่สุด ทองแดงมีค่า Emissivity ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่ออุณหภูมิที่พื้นผิวมีค่าเท่ากันเหล็กจะมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนได้มากกว่าทองแดง โดยทองเหลือง สแตนเลส และ อะลูมิเนียมมีค่า Emissivity ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เนื่องจากพื้นผิวของวัสดุทั้งสามชนิดสามารถแผ่รังสีได้ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองหาค่า Emissivity ของวัสดุจะเห็นว่าวัสดุแต่ละ ชนิดจะมีค่า Emissivity ไม่เท่ากัน ค่า Emissivity จึงมีความสำคัญมากในการวัดค่าโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน โดยเมื่อเราป้อนค่า Emissivity ผิดจะทำให้ค่าที่วัดได้นั้นออกมาผิด

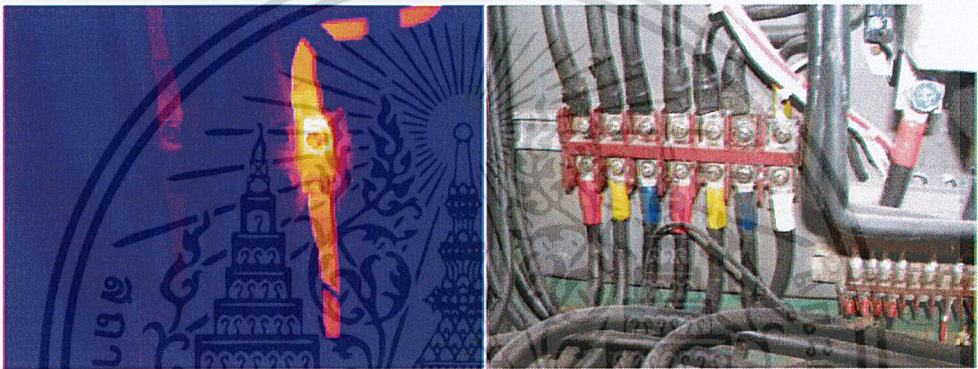
5.2 การประยุกต์ใช้งาน

สามารถนำกล้องถ่ายภาพความร้อนไปใช้งานในด้านการซ่อมบำรุง โดยในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นที่ชิ้นงานหรือรอยต่อมากเกินไป แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้น จะช่วยป้องกันการเสียหายที่เกิดจากชิ้นงานได้

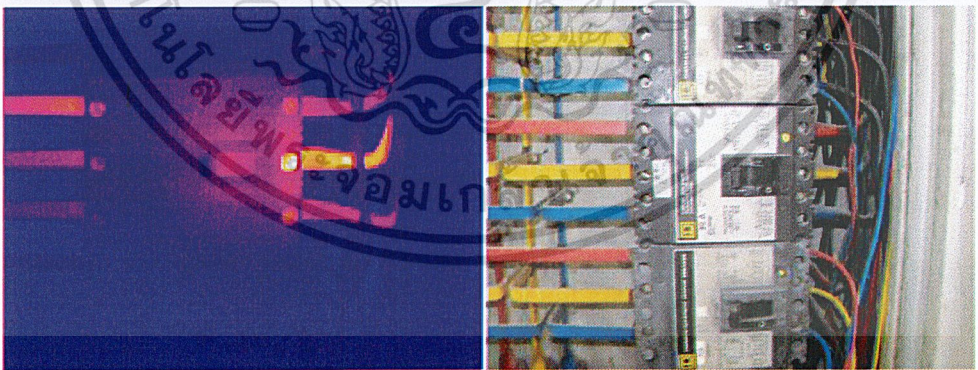
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.1 HRC Fuse จุดต่อฟิวส์ และ base fuse หลวม



ภาพที่ 5.2 Terminal ต่อสาย จุดต่อหางปลาไม่แน่น



ภาพที่ 5.3 Molded case circuit breaker จุดต่อสายและเบรกเกอร์ไม่แน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ประวิทย์ วัฒนากร. 2553. **กล้องถ่ายภาพความร้อนบอกที่ซ่อนอุณหภูมิ.**
[Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/39579>
- [2] A.A Gowen ,B.K. Tiwari , P.J. Cullen ,K. McDonnell and C.P. O'Donnel.
“Application of thermal imaging in food quality and safety assessment”.
trends in Food Science & Technology 21 (2010) : 190-200.
- [3] Incropera, DeWitt, Bergmann and Lavine. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer.**
6th ed. Willey Asia.2005.
- [4] มนตรี พิรุณเกษตร. **การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์.**
พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ : วิทย์พัฒนา. 2548.
- [5] Klaus – Dieter Gruner. 2553. **Principles of Non-Contact Temperature Measurement.**
[Online]. Available : http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อมค่า T_{BG} และค่า ε จากกล้อง TI ของเหล็ก

อุณหภูมิจากกล้อง TI (°C)	ค่า ε	อุณหภูมิ Background (T_{BG} : °C)	อุณหภูมิจาก เทอร์โมคัปเปิล (°C)
50	0.88	31.6	50.0
60	0.84	32.5	60.2
70	0.84	32.3	69.9
80	0.83	32.1	80.1
90	0.83	31.7	90.3
100	0.84	31.2	99.9
110	0.84	31.4	109.6
120	0.84	31.0	120.1
130	0.84	30.8	130.1
140	0.84	30.8	140.1
150	0.84	30.8	150.1
160	0.84	30.8	159.7
170	0.83	30.8	170.2
180	0.82	30.8	179.9
190	0.82	30.5	189.7
200	0.81	30.3	199.6

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อมค่า T_{BG} และค่า ε จากกล้อง TI ของทองแดง

อุณหภูมิจากกล้อง TI (°C)	ค่า ε	อุณหภูมิ Background (T_{BG} : °C)	อุณหภูมิจาก เทอร์โมคัปเปิล (°C)
50	0.24	32.5	50.2
60	0.28	27.9	60.3
70	0.24	31.0	69.9
80	0.21	27.2	80.5
90	0.20	27.8	89.8
100	0.18	31.4	100.3
110	0.19	30.2	110.3
120	0.20	28.5	120.0
130	0.21	26.0	129.8
140	0.20	26.4	139.1
150	0.19	27.0	151.5
160	0.19	27.0	158.0
170	0.19	26.5	172.0
180	0.19	26.0	181.8
190	0.18	26.3	191.3
200	0.16	27.4	201.8

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อมค่า T_{BG} และค่า ε จากกล้อง TI ของสแตนเลส

อุณหภูมิจากกล้อง TI (°C)	ค่า ε	อุณหภูมิ Background (T_{BG} : °C)	อุณหภูมิจาก เทอร์โมคัปเปิล (°C)
50	0.52	29.9	50.2
60	0.48	28.5	60.1
70	0.46	30.0	70.2
80	0.45	30.0	80.0
90	0.44	30.0	89.8
100	0.43	30.0	100.1
110	0.43	30.0	110.4
120	0.41	32.0	120.6
130	0.41	32.2	130.4
140	0.40	32.0	141.0
150	0.40	32.0	150.1
160	0.39	31.8	160.3
170	0.38	31.7	170.8
180	0.37	31.4	180.4
190	0.36	31.4	189.6
200	0.34	31.3	199.8

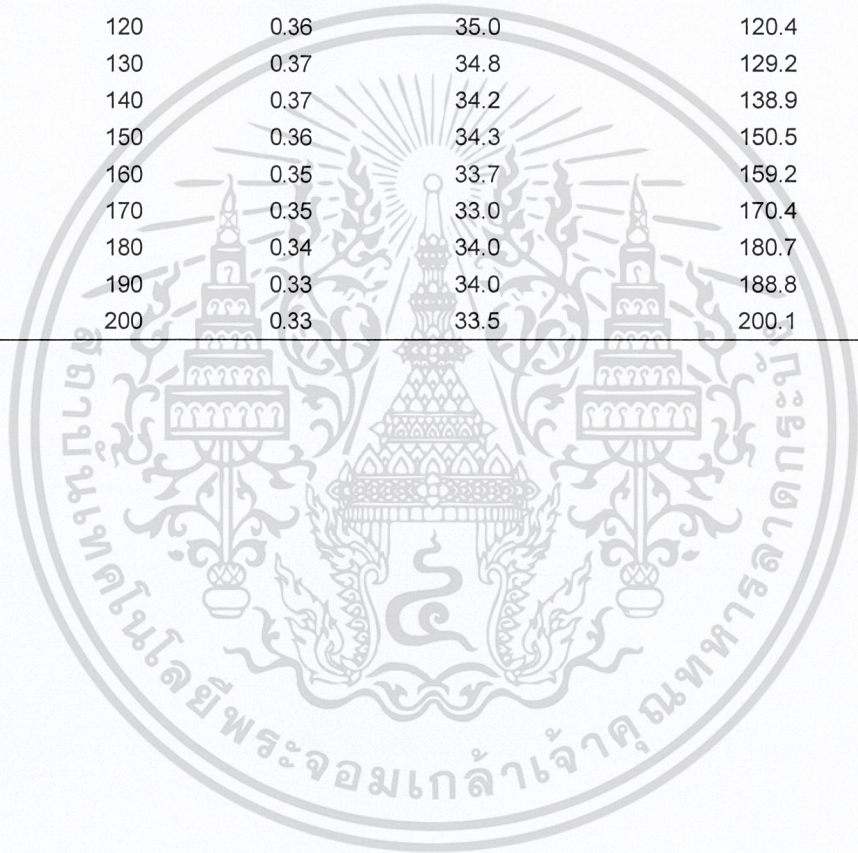
ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อมค่า T_{BG} และค่า ε จากกล้อง TI ของอะลูมิเนียม

อุณหภูมิจากกล้อง TI (°C)	ค่า ε	อุณหภูมิ Background (T_{BG} : °C)	อุณหภูมิจาก เทอร์โมคัปเปิล (°C)
50	0.65	27.0	50.0
60	0.57	27.0	60.1
70	0.52	27.0	70.2
80	0.49	27.5	79.6
90	0.48	27.7	90.1
100	0.46	27.0	99.7
110	0.46	27.0	109.2
120	0.45	27.5	120.1
130	0.44	27.5	130.7
140	0.44	27.5	140.1
150	0.43	27.9	150.3
160	0.44	27.8	159.8
170	0.44	27.5	170.7
180	0.43	27.5	179.5
190	0.42	28.7	189.5
200	0.40	27.2	202.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิพร้อมค่า T_{BG} และค่า ϵ จากกล้อง TI ของทองเหลือง

อุณหภูมิจากกล้อง	ค่า	อุณหภูมิ Background	อุณหภูมิจากเทอร์
TI (°C)	ϵ	(T_{BG} : °C)	โมคป์เปิด (°C)
50	0.51	30.7	50.0
60	0.46	30.7	60.0
70	0.42	30.0	70.7
80	0.37	34.0	79.9
90	0.36	33.7	89.7
100	0.36	35.0	100.6
110	0.36	35.2	108.7
120	0.36	35.0	120.4
130	0.37	34.8	129.2
140	0.37	34.2	138.9
150	0.36	34.3	150.5
160	0.35	33.7	159.2
170	0.35	33.0	170.4
180	0.34	34.0	180.7
190	0.33	34.0	188.8
200	0.33	33.5	200.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 Series II Thermometers

Laboratory accuracy. Wherever you go.



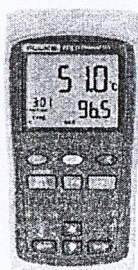
Fluke 54 II

The Fluke 50 Series II contact thermometers offer fast response and laboratory accuracy (0.05% + 0.3°C) in a rugged handheld test tool.

- Large backlit dual display shows any combination of T₁, T₂ (52 and 54 only), T₁-T₂ (52 and 54 only) plus MIN, MAX, or AVG
- Relative time clock on MIN, MAX, and AVG provides a time reference for major events
- Electronic Offset function allows compensation of thermocouple errors to maximize overall accuracy
- Readout in °C, °F, or Kelvin (K)
- Sleep mode increases battery life
- Battery door allows easy battery replacement without breaking the calibration seal

Additional features for the 53 and 54 Series II:

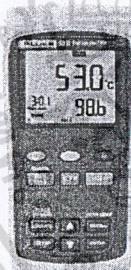
- Data Logging up to 500 points of data with user adjustable recording interval
- Real time clock captures the exact time of day when events occur
- Recall function allows logged data to be easily reviewed on the meter display
- IR communication port allows data to be exported to optional FlukeView® Temperature PC software



Fluke 51 II



Fluke 52 II



Fluke 53 II



Features

	51 II	52 II	53 II	54 II
Thermocouple types	J,K,T,E	J,K,T,E	J,K,T,E,N,R,S	J,K,T,E,N,R,S
Number of inputs	Single	Dual	Single	Dual
Time stamp	Relative Time	Relative Time	Time of Day	Time of Day
Splash/Dust resistant	•	•	•	•
Dual display with backlight	•	•	•	•
Min/Max/Avg recording	•	•	•	•
(T ₁ -T ₂) True differential		•		•
Data logging up to 500 points			•	•
IR data port for interface to PC			•	•
Compatible with optional FlukeView Software			•	•

Specifications

Temperature range:		
J-type Thermocouples	-210°C to 1200°C	(-346°F to 2192°F)
K-type Thermocouples	-200°C to 1372°C	(-328°F to 2501°F)
T-type Thermocouples	-250°C to 400°C	(-418°F to 752°F)
E-type Thermocouples	-150°C to 1000°C	(-238°F to 1832°F)
N-type** Thermocouples	-200°C to 1300°C	(-328°F to 2372°F)
R** and S-type** Thermocouples	0°C to 1767°C	(32°F to 3212°F)

Temperature accuracy	
Above -100°C (-148°F):	
J, K, T, E, and N-type**	± [0.05% + 0.3°C (0.5°F)]
R** and S-type**	± [0.05% + 0.4°C (0.7°F)]
Below -100°C (-148°F):	
J, K, E, and N-types	± [0.20% + 0.3°C (0.5°F)]
T-type	± [0.50% + 0.3°C (0.5°F)]

**Only the Fluke Models 53 and 54 Series II thermometers are capable of measuring N, R, and S-type thermocouples.

Battery life: 1000 hours typical, AA
Size (HxWxD): 173 x 86 x 38 mm

Weight: 0.4 kg
Three Year Warranty

Included Accessories

- Impact absorbing holster
- Two bead probe thermocouples 80PK-1 (54+52)
- One bead probe thermocouple 80PK-1 (51+53)

Ordering Information

- Fluke 51 II Thermometer
- Fluke 52 II Thermometer
- Fluke 53 II Thermometer
- Fluke 54 II Thermometer
- VFP-SC1 FlukeView Forms Software including interface cable

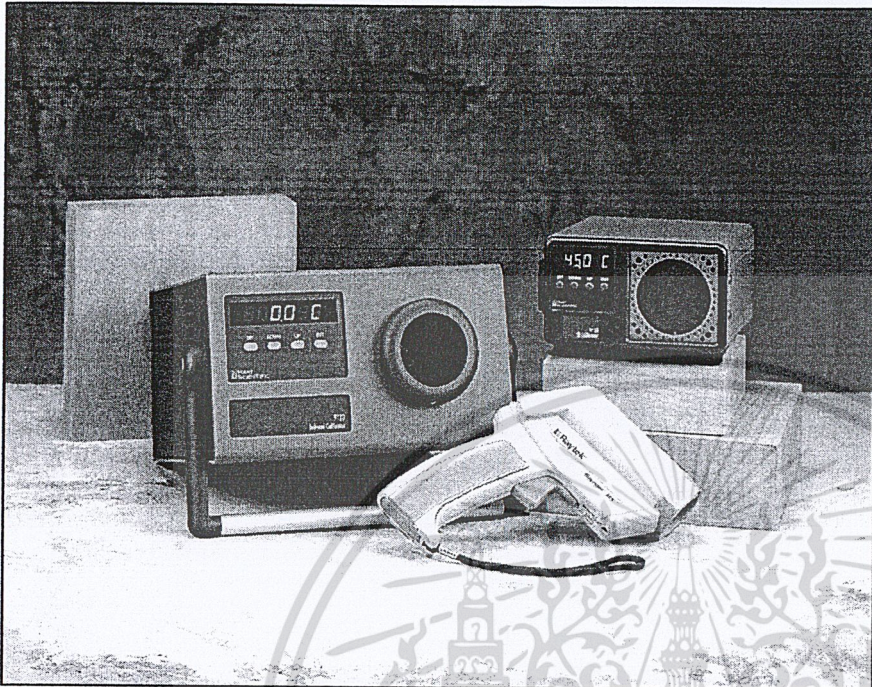
Recommended Accessories



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้เพื่อเขียนด้านกา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลไปถึงเจ้าของเอกสารทุกฉบับที่มีการนำไป

PORTABLE IR CALIBRATORS

Models 9132 and 9133



Features Summary

- Certify IR pyrometers from -30°C to 500°C (-22°F to 932°F)
- Large 2.25" (57 mm) blackbody target
- RTD reference well for high precision
- Small, compact design

Whether you're using in-line or handheld infrared pyrometers, you need good calibration standards to verify their accuracy. Our new portable IR calibrators provide stable blackbody targets for calibrating noncontact IR thermometers from -30°C to 500°C .

These new units feature a large, temperature controlled blackbody target with a diameter of 2.25" (57 mm), which offers a large field of view area for optical variations in infrared thermometers. The emissivity of the isothermal target is set at 0.95, and the target temperature can be controlled in set-point increments of 0.1° from -30°C to 500°C .

For even higher precision, a well is located directly behind the blackbody surface for contact calibration of the blackbody. Using an optional calibrated PRT and readout device, target accuracy of $\pm 0.075^{\circ}\text{C}$ can be achieved.

These units are as easy to use as "point and shoot." Simply set the desired blackbody temperature from the convenient front panel control buttons, wait a few minutes for equilibrium, and point the gun at the target. The radiated energy from the blackbody is measured by your IR thermometer. Simply compare its reading to the display on the blackbody and record the difference.

9132

For IR calibrations above normal ambient, the 9132 provides a stable blackbody target up to 500°C (932°F). With accuracy to $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ and stability to $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, this new portable IR unit can certify most handheld pyrometers.

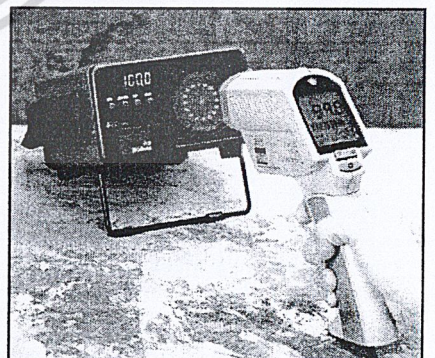
Short heating and cooling times mean you won't have to wait long to get your work done. From room temperature to 500°C the 9132 will be stable within 30 minutes. You won't find a more compact IR calibrator.

9133

If you're calibrating IR guns at cold temperatures, you'll love our new 9133. With solid state cooling technology, this new IR calibrator reaches -30°C (22°F) in normal ambient conditions. With a conveniently located dry gas fitting on the front bezel, the 9133 won't build up ice on the target. At the upper end of its range, the 9133 provides stable temperatures to 160°C (320°F).

With heating and cooling times of about 15 minutes from ambient to either extreme, the 9133 gets you to temperature quickly and performs when it gets there. Compare your IR devices to the temperature display—it's factory calibrated (NIST traceable) to be within $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.7^{\circ}\text{F}$).

No other IR calibrator gives you this level of precision in such a compact package. Whatever your temperature application, trust a Hart product to solve it.



Large target for calibrating all IR thermometer types.

HART SCIENTIFIC

799 E. Utah Valley Drive
American Fork, Utah 84003-9775
Ph: 801.763.1600 Fax: 801.763.1010
www.hartscientific.com

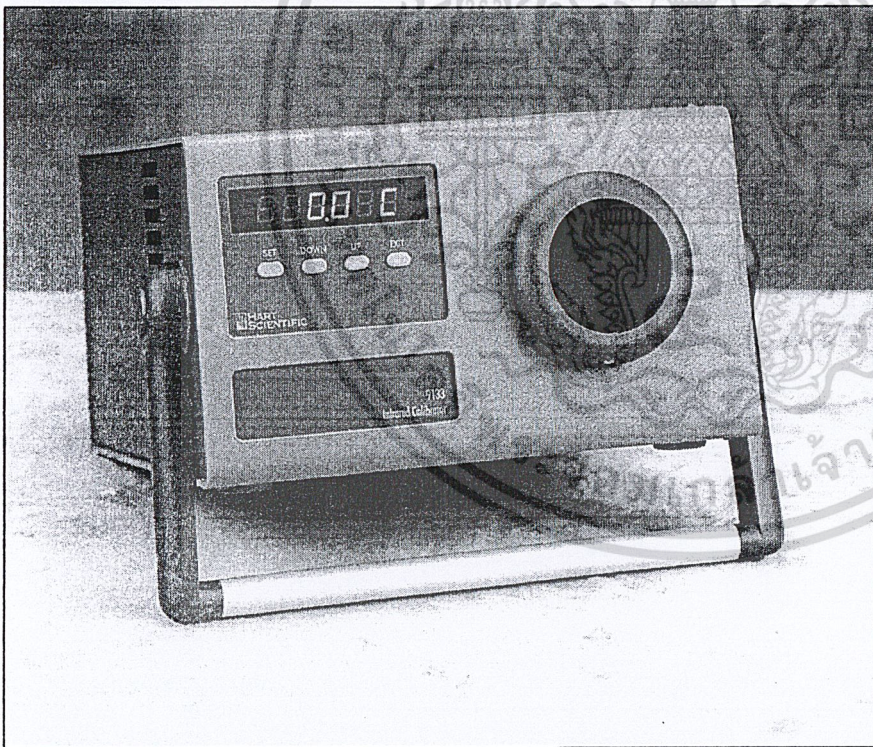
Specifications and prices subject to change.

เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กรรมสิทธิ์ในเอกสารนี้สงวนไว้สำหรับ Hart Scientific. การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย
ทั้งนี้ ห้ามนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Hart Scientific. การทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
จะถือว่าผิดกฎหมาย

PORTABLE IR CALIBRATORS

Models 9132 and 9133

Specifications	9132	9133
Temperature Range	50°C to 500°C (122°F to 932°F)	-30°C to 160°C at 23°C ambient (-22°F to 320°F at 73°F ambient)
Accuracy	±0.5°C at 100°C (±0.9°F at 212°F) ±0.8°C at 500°C (±1.4°F at 932°F)	±0.4°C (±0.72°F)
Stability	±0.1°C at 100°C (±0.18°F at 212°F) ±0.3°C at 500°C (±0.54°F at 932°F)	±0.1°C (±0.18°F)
Target Size	2.25" (57 mm)	
Target Emissivity	0.95	
Resolution	0.1°	
Heating Time	30 minutes (50°C to 500°C)	15 minutes (25°C to 150°C)
Cooling Time	30 minutes (500°C to 100°C)	15 minutes (25°C to -20°C)
Computer Interface	RS-232 included with 9930 Interface -it software	
Power	115 VAC (±10%), 3 A or 230 VAC (±10%), 1.5 A, switchable, 50/60 Hz	115 VAC (±10%), 1.5 A, 230 VAC (±10%), 1.0 A, switchable, 50/60 Hz
Size	4" H x 6" W x 7" D (102 x 152 x 178 mm)	6" H x 11.25" W x 10.5" D (152 x 286 x 267 mm)
Weight	4 lb. (1.8 kg)	10 lb. (4.6 kg)



The 9133 includes a quick-attach fitting on the front bezel for dry air purging, which eliminates ice buildup on the target.

Ordering Information

- 9132 Portable IR Calibrator, 500°C
- 9308 Rugged Carrying Case, 9132
- 9133 Portable IR Calibrator, -30°C
- 9302 Rugged Carrying Case, 9133
- 1521 Handheld Reference Thermometer
- 5618-9 Secondary Reference PRT, 1/8" diameter, -200°C to 500°C

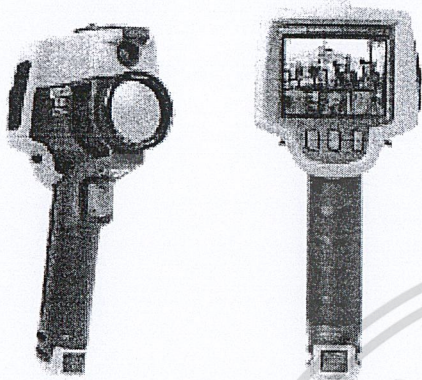
HART SCIENTIFIC

799 E. Utah Valley Drive
American Fork, Utah 84003-9775
Ph: 801.763.1600 Fax: 801.763.1010
www.hartscientific.com

Specifications and prices subject to change.

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใจกรุณาดู ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

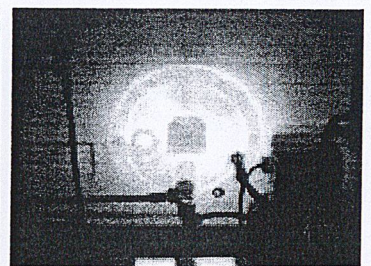
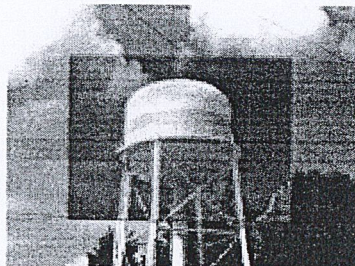
FLUKE TI-32 / TIR-32 SPECIFICATIONS



The new Fluke Ti32 and TiR32 thermal imagers combine a powerful 320x240 FPA sensor with field upgradeable lenses, removable batteries, and many new features. Built on the award winning design of the Ti25 family, these new imagers deliver amazingly clear image quality in a package that will withstand the toughest environments. Intended for industrial and building diagnostic applications, the Ti32 and TiR32 will allow our customers to find, fix and prove problems and repairs fast. In these tough economic times, we all have to do more with less. These new imagers help our customers do exactly that.

FEATURES

- 320X240 FPA (60HZ and 9HZ versions)
- Industry-leading $\leq 50\text{mK}$ thermal sensitivity
- Two (2) replaceable, rechargeable LiON batteries for extended use situations
- External charging bay or in-imager charging
- Field-installable optional telephoto and wide-angle lenses
- High temperature or dew point alarms
- Transmission correction
- Better level/span adjustment
- Thumbnail view memory
- New display options
- Ultra-Contrast™ palette options
- .IS2, .BMP, and .JPG File formats on imager
- Patented Fluke IR-Fusion® Technology both in camera and software combines visible (visual) image with IR image in full screen or picture-in-picture views for easy identification and reporting of problems
- Rugged and reliable: Engineered to withstand a 2 meter (6.56 feet) drop
- 640 x 480 large 3.6" diagonal color LCD display (landscape format)
- SmartView® analysis and reporting software (with free upgrades through life of product)
- Removable 2 GB SD memory card for easy storage and transfer of thermal and visible images
- Multi-function memory card reader
- Complete solution includes hardware and software to get you going
- Two-year warranty



**Export Restrictions and License apply for all models

www.infrared.com

5301 Longley Ln Suite D-154 Reno, NV 89511 - 775-827-2440 - FAX: 775-827-2441

FLUKE TI-32 / TIR-32 SPECIFICATIONS

	Fluke Ti32	Fluke TIR32
Temperature measurement range (not calibrated below -10 °C)	-20 °C to +600 °C (-4 °F to +1112 °F)	-20 °C to +150 °C (-4 °F to +302 °F)
Temperature measurement accuracy	± 2 °C or 2 % (at 25 °C nominal, whichever is greater)	± 2 °C or 2 % (at 25 °C nominal, whichever is greater)
On-screen emissivity correction	Yes	Yes
On-screen reflected background temperature compensation	Yes	Yes
On-screen transmission correction	Yes	Yes
Image capture frequency	60HZ	60HZ
Detector type	320 X 240 Focal Plane Array, uncooled microbolometer	320 X 240 Focal Plane Array, uncooled microbolometer
Infrared spectral band	7.5 µm to 14 µm (long wave)	7.5 µm to 14 µm (long wave)
Thermal sensitivity (NETD)	≤ 0.05 °C at 30 °C target temp. (50 mK)	≤ 0.05 °C at 30 °C target temp. (50 mK)
File formats (on imager)	Non-radiometric (.bmp) or (.jpeg) or fully-radiometric (.is2)	Non-radiometric (.bmp) or (.jpeg) or fully-radiometric (.is2)
Memory review	Thumbnail view navigation and review selection	Thumbnail view navigation and review selection
Standard palettes	8	8
Ultra Contrast™ palettes	8	8
Fast auto toggle between manual and auto modes	Yes	Yes
Fast auto-rescale in manual mode	Yes	Yes
Minimum span (in manual mode)	2.5 °C (4.5 °F)	2.0 °C (3.6 °F)
Minimum span (in auto mode)	5 °C (9 °F)	3 °C (5.4 °F)
Color alarms (temperature alarms)	High-temperature alarm (user-selectable)	Dewpoint temperature alarm (user-selectable)
Batteries	Two lithium ion rechargeable smart battery packs	Two lithium ion rechargeable smart battery packs
Battery life	Four+ hours continuous use per battery pack (assumes 50 % brightness of LCD)	Four+ hours continuous use per battery pack (assumes 50 % brightness of LCD)
Drop Test	2 meter (6.5 feet) with standard lens	2 meter (6.5 feet) with standard lens
Size (H x W x L)	27.7 cm x 12.2 cm x 17.0 cm (10.9 in x 4.8 in x 6.7 in)	27.7 cm x 12.2 cm x 17.0 cm (10.9 in x 4.8 in x 6.7 in)
Weight (battery included)	1.05 kg (2.3 lb)	1.05 kg (2.3 lb)
Supported Languages	16	16

For specifications and additional information, please contact us.

Export Restrictions and License apply for all models

www.infrared.com

5301 Longley Ln Suite D-154 Reno, NV 89511 - 775-827-2440 - FAX: 775-827-2441