

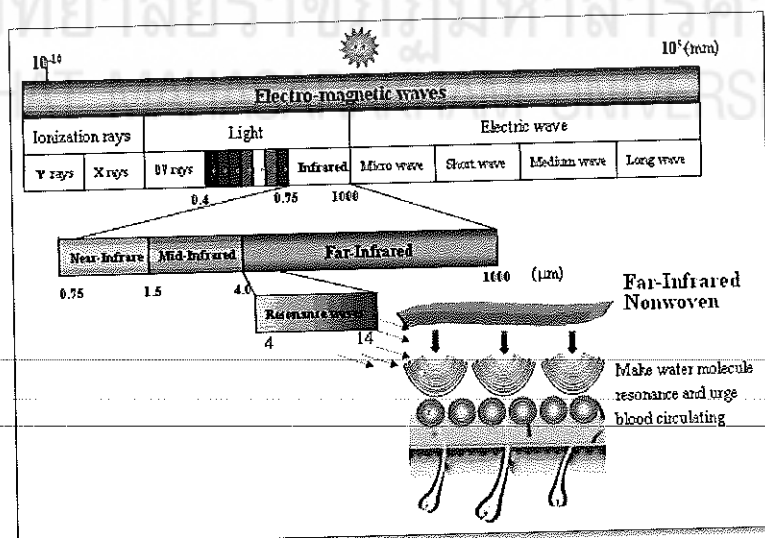
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรดเป็นรังสีชนิดหนึ่งในสเปกตรัมแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 700 นาโนเมตร 1 มิลลิเมตร (Sandu , C. 1986) รังสีอินฟราเรดสามารถปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้ รังสีอินฟราเรดจะแผ่รังสีความร้อนไปยังวัตถุโดยตรง ซึ่งไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ด้วยเหตุนี้จึงมีการระบุชื่ออินฟราเรดให้เจาะจงได้ เช่น อินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) หมายถึงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นอยู่ใกล้แสงที่ตามองเห็น ส่วนอินฟราเรดไกล (Far Infrared) จะหมายถึงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นใกล้กับไมโครเวฟ

2.1.1 ประเภทของรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared) ความยาวคลื่นในช่วงนี้โดยทั่วไปแบ่งได้ 3 ระดับตามความยาวคลื่น (Sakai N., Hanzawa. T., 1994) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงช่วงห่างของสเปกตรัมอินฟราเรด
ที่มา (Caefit Therapy, 2012)

โดยรังสีอินฟราเรดใกล้จะมีความยาวคลื่นสั้น อินฟราเรดกลางมีความยาวคลื่นปานกลางและอินฟราเรดไกลมีความยาวช่วงคลื่นมากที่สุด ความยาวช่วงคลื่นแต่ละระดับมีการกำหนดแตกต่างกันไป (Sandu, 1986 : 109-119) ได้กำหนดช่วงคลื่นของรังสีอินฟราเรดใกล้อยู่ในช่วง 0.75 - 3 ไมโครเมตร (μm) รังสีอินฟราเรดกลางอยู่ในช่วง 3 - 25 ไมโครเมตร (μm) และรังสีอินฟราเรดไกลอยู่ในช่วง 25 - 100 ไมโครเมตร (μm) ส่วน (Science and Technology for Kids, 2004 : Web Site) และ(นภคกุล ทองอยู่สุข, 2548) ได้กำหนดช่วงคลื่นของรังสีอินฟราเรดเป็น 5 ช่วงคืออินฟราเรดระยะใกล้ Near Infrared (NIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 ถึง 1.5 ไมโครเมตร (μm) อินฟราเรดระยะสั้น Short Wavelength Infrared (SWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 ถึง 3 ไมโครเมตร (μm) อินฟราเรดระยะกลาง Mid Wavelength Infrared (MWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 3 ถึง 8 ไมโครเมตร (μm) อินฟราเรดระยะกลาง Long Wavelength Infrared (LWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 8 ถึง 15 ไมโครเมตร (μm) อินฟราเรดระยะไกล Far Infrared (FIR) ความยาวคลื่นจะมากกว่า 15 ไมโครเมตร (μm)

อินฟราเรดไกลเป็นคลื่นความร้อน เมื่อร่างกายของเราได้รับแสงแดด หรืออยู่ใกล้กองไฟ แล้วรู้สึกร้อน ซึ่งเป็นผลของรังสีอินฟราเรดชนิดนี้ทั้งสิ้น ระบบประสาทสัมผัสที่มีปลายเส้นประสาทอยู่ตามผิวหนังสามารถตรวจจับคลื่นความร้อนนี้ได้ดีเพื่อให้รับรู้ถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของร่างกายกับสิ่งที่สัมผัสนอกผิวหนังและเนื่องจากตาของมนุษย์มีความไวต่อแสงเฉพาะในช่วงแสงมองเห็นซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร (μm) ดังนั้น ตาของมนุษย์จึงไม่สามารถมองเห็นแสงอินฟราเรด แต่เนื่องจากวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมาเสมอ ดังนั้นถ้าเราสามารถตรวจวัดรังสีอินฟราเรดด้วยสิ่งประดิษฐ์บางอย่าง เราก็จะสามารถตรวจวัดวัตถุได้ด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งรังสีอินฟราเรดมีประโยชน์ต่อมนุษย์มากมาย การศึกษาและใช้งานรังสีอินฟราเรดควรทำความเข้าใจทั้งจากวิธีการกำเนิดรังสีอินฟราเรดและวิธีการวัด

2.1.2 กลไกการแผ่รังสีอินฟราเรด

เมื่อรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบและแพร่กระจาย (Propagate) ผ่านวัสดุทำให้เกิดการสูญหายของรังสี (Extinction of Radiation) เนื่องจากรังสีบางส่วนจะถูกวัสดุดูดกลืน (Absorption) และเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัสดุ บางส่วนเกิดการกระเจิง (Scattering) ทำให้รังสีมีทิศทางแตกต่างจากทิศทางของรังสีจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดนั้นจะใช้หลักการแผ่รังสี โดยเครื่องมือจะทำหน้าที่รับรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุ การแผ่รังสีเป็นการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมาจากการที่วัตถุที่มีอุณหภูมิในตัวมัน

จะสามารถเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมา ถ้าวัตถุนั้นเปล่งรังสีอินฟราเรดที่มีความเข้มมาก แสดงว่าวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูง และถ้าวัตถุนั้นเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมามีความเข้มน้อยก็แสดงว่าวัตถุนั้นมีอุณหภูมิต่ำนั่นเอง ดังนั้นวัตถุทุกชนิดในโลกนี้จะเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมาแตกต่างกัน

2.1.3 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสารมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนรังสีชนิดอื่นๆ นั่นคือ โมเลกุลหนึ่งๆ จะดูดกลืนรังสีที่มีพลังงานพอดีที่ทำให้เกิดการกระตุ้นหนึ่งๆ เท่านั้น โดยวัสดุแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีที่มีความถี่เฉพาะแตกต่างกันไป การดูดกลืนขนาดพลังงานที่เฉพาะนี้ เราเรียกว่าเป็น Quantized Energy ผลของการดูดกลืนพลังงานที่เฉพาะนี้ ทำให้เราทราบได้ว่าเป็นการดูดกลืนรังสีที่เกิดจากวัสดุชนิดใด อย่างไรก็ตามหากการเคลื่อนไหวของพันธะเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ (Dipole Moment) แล้วเราจะตรวจไม่พบการดูดกลืนแสงของพันธะนั้นๆ ยิ่งการเคลื่อนไหวของพันธะที่ก่อให้เกิดไดโพลโมเมนต์มากเท่าใด สัญญาณที่ตรวจได้จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

2.1.4 ข้อดีข้อเสียการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด

สำหรับการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรพบว่า มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี

1. อุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดมีประสิทธิภาพสูง ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน
2. การถ่ายโอนพลังงานความร้อนไปสู่ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพสูง ส่งผลให้ลดเวลาการอบแห้งและค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน
3. รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง โดยไม่อาศัยการทำสิ่งแวดล้อมรอบๆ ผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้นก่อน
4. การให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์จะมีความสม่ำเสมอมากกว่าการอบแห้งแบบการพาอากาศร้อน เนื่องจากพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์จะมีอิทธิพลน้อยมากต่อการถ่ายเทความร้อน

5. โครงร่างความชื้น (Moisture Profile) ในผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะอยู่ในระดับเดียวกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายต่ำ
6. ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน
7. แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแบบไดอิเล็กตริก (Dielectric) และไมโครเวฟ ทั้งยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า
8. การติดตั้งหลอดรังสีอินฟราเรดใช้พื้นที่น้อย สามารถติดตั้งร่วมกับการใช้เครื่องอบแห้งแบบอื่นๆ ได้ง่าย และยังคงควบคุมการทำงานได้ง่าย
9. อากาศภายในเครื่องอบจะไม่ร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศรอบนอกอยู่ในระดับปกติ
10. รังสีอินฟราเรดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์

ข้อเสีย

1. ประสิทธิภาพของการอบแห้งจะต่ำลงเมื่อผลิตภัณฑ์ที่มีความหนามากกว่า ความลึกประสิทธิภาพและจะส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งเป็นระยะเวลานานๆ เช่น การเกิดรอยไหม้ที่ผิวผลิตภัณฑ์
2. หากต้องการกำหนดความยาวคลื่นแบบคลื่นเดี่ยว (Monochromatic) ของรังสีอินฟราเรดให้ตรงกับสเปกตรัมของการดูดกลืนของผลิตภัณฑ์ จะทำได้ยากเนื่องจากแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดที่ผลิตในทางอุตสาหกรรมจะผลิตออกมาเป็นแบบหลายความยาวคลื่น (Polychromatic)
3. แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ทำจากเซรามิกอาจมีประสิทธิภาพต่ำลงหากใช้ร่วมกับการอบแห้งที่ใช้ความเร็วของกระแสอากาศสูงๆ เนื่องจากเกิดการระบายความร้อนออกจากผิวของแหล่งกำเนิด

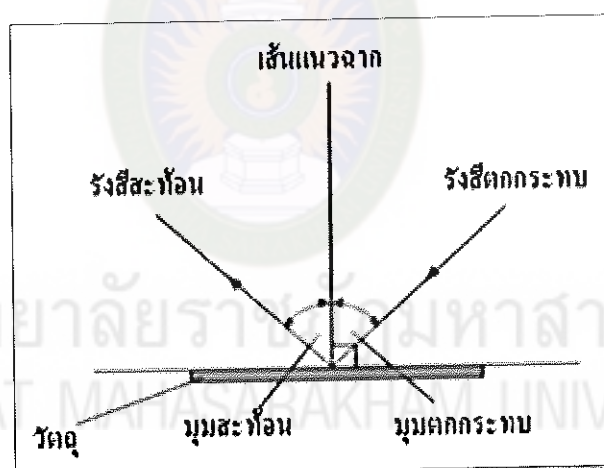
2.1.5 การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด

ปัจจุบันในต่างประเทศมีนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้หลักการแผ่รังสีอินฟราเรดขึ้นหลายบริษัท จากการศึกษาการประยุกต์ใช้งานของรังสีอินฟราเรด ก็มีผู้ทำการศึกษาวิจัยและประยุกต์ใช้งานจากอินฟราเรดอย่างกว้างขวาง เช่น กล้องถ่ายภาพใช้กลางคืน และกล้องส่องทางไกลที่ใช้ในเวลากลางคืน แสดงภาพความร้อน เพิ่มความปลอดภัยเวลาขับรถในเวลากลางคืน รีโมทคอนโทรลในเครื่องใช้ไฟฟ้าก็เป็นอินฟราเรด

อีกชนิดหนึ่ง การไล่ล่าทางทหาร มิติไซ ที่ใช้ไล่ล่าเครื่องบินก็เป็นอินฟราเรดอีกชนิดหนึ่ง เครื่องกำเนิดความร้อนทั่วไป เช่นเตาแก๊สอินฟราเรดในครัวเรือน เครื่องกำเนิดความร้อนในห้องชาวดัน่า ปัจจุบันเป็นวิธีการกายภาพบำบัดที่ปลอดภัยชนิดหนึ่งเช่น ความร้อนอุณหภูมิต่ำมาจากอินฟราเรด สามารถซึมเข้าลึกถึงผิวหนัง 1-1.5 นิ้ว ลดอาการปวดหัวเข่า หรือทำให้แผลเรื้อรังโลหิตหมุนเวียนดีขึ้นจึงทำให้แผลหายเร็ว

2.2 กฎการสะท้อนของรังสี

เมื่อรังสีของแสงตกกระทบผิววัตถุที่จุดใดก็ตาม ถ้าเราลากเส้นตั้งฉากกับผิววัตถุนั้น เส้นตั้งฉากที่ลากนี้เรียกว่า เส้นแนวฉาก และเรียกมุมที่รังสีตกกระทบทำกับเส้นแนวฉากว่า มุมตกกระทบ มุมที่รังสีสะท้อนทำกับแนวฉาก เรียกว่า มุมสะท้อน ดังรูปที่ 2.2

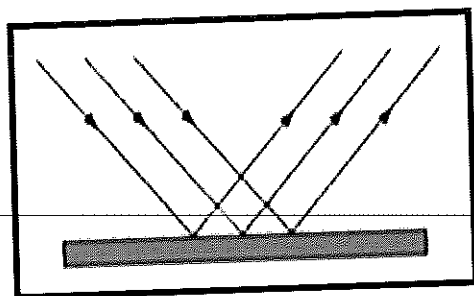


รูปที่ 2.2 รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก

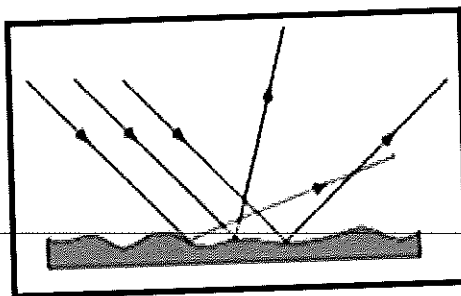
กฎการสะท้อนของแสงมีดังนี้

1. รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉากอยู่บนระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

วัตถุที่สะท้อนแสงได้ดีจะต้องมีผิวเรียบและเป็นมัน เช่น กระจกเงาจะทำให้เกิดการสะท้อนอย่างมีระเบียบ แต่ถ้าวัตถุที่มีผิวไม่เรียบ จะเกิดการสะท้อนไม่มีระเบียบ ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 การสะท้อนของแสงที่วัตถุ
วัตถุผิวเรียบและเป็นมัน



รูปที่ 2.4 การสะท้อนของแสงที่
ผิวขรุขระ

2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอินฟราเรด

การตรวจวัดปริมาณรังสีอินฟราเรด มีด้วยกัน 2 วิธี คือการตรวจวัดความร้อน
อุปกรณ์ที่ใช้คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแสง เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดควอนตัม (Quantum Detector)
และตรวจวัดความร้อน (Thermal Detector)

2.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดชนิดควอนตัม (Quantum Detector)

ลักษณะอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดควอนตัมมีความสามารถตรวจวัดสูง และ
ความเร็วในการตอบสนองดี แต่มีข้อเสียคือความสามารถในการตรวจวัดเปลี่ยนแปลงตามความ
ยาวคลื่นแสง ความสามารถในการทนอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นในการใช้งานโดยทั่วไปจะต้องมีระบบทำ
ความเย็นให้กับอุปกรณ์ตรวจวัด มีการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นและความสามารถ
ในการทนกำลังแสงต่ำ (Damage Threshold) ตัวอย่างอุปกรณ์ชนิดควอนตัม

1. โฟโอดีโอด (Photodiode) ในการเลือกใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ควรคำนึงถึงวัสดุที่
เป็นส่วนประกอบสำคัญ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำจะมีคุณสมบัติในการตอบสนองความยาวคลื่นที่
แตกต่างกัน เช่น ซิลิกอน จะตอบสนองได้ดีในช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1100 นาโนเมตร
 เป็นต้น

2. โฟโอดีคอนดักทีฟ (Photoconductive) และโฟโอดีโวลตาอิก (Photovoltaic)
เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดควอนตัมอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สูงกว่า
แบบโฟโอดีโอด ข้อเสียคือ ความสามารถในการทนต่อกำลังแสงต่ำ (Damage Threshold) จึง
ไม่เหมาะนำมาใช้งานในกรณีที่ต้องทนกำลังแสงสูงๆ เป็นต้น

2.4 เครื่องวัดรังสีอินฟราเรด (IR Detectors)

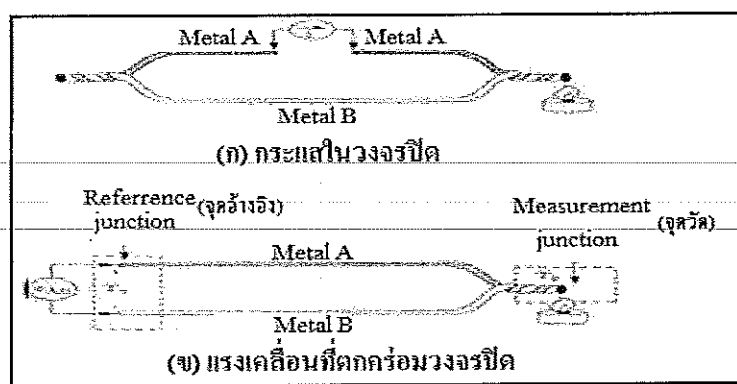
เครื่องวัดรังสีอินฟราเรดที่ใช้กันอยู่แบ่งได้เป็น 2 พวก คือ

1. อาศัยหลักการทาง Photoconductive Effect และใช้สารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) และตรวจวัดปริมาณโฟตอน (Photon Detector)
2. อาศัยหลักการ Heating Effect รังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนจะเกิดความร้อนขึ้นแล้วทำให้ความต้านทานของเส้นลวดในเครื่องวัดเปลี่ยนแปลง เรียกว่า เครื่องตรวจจับความร้อน (Thermal Detector)

2.4.1 ชนิดของเครื่องตรวจจับอินฟราเรด (IR Detector)

2.4.1.1 ตรวจวัดชนิดความร้อน (Thermal Detector) อาศัยสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสารเมื่อได้รับแสงอินฟราเรด ได้ถูกนำมาใช้สำหรับทำเครื่องตรวจจับเพื่อวัดรังสีอินฟราเรด ซึ่งจำแนกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ดีเทกเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กันมากสำหรับวัดรังสีอินฟราเรดประกอบด้วยแผ่นทองสีดำเชื่อมเข้ากับลวดโลหะเล็กๆ 2 ชนิดที่ต่างกันหรือเป็นลวดแพลทินัม (Pt) เชื่อมกับลวดเงิน เมื่อทำให้ปลายที่เชื่อมทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นซึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิ โดยที่ปลายด้านหนึ่ง (Reference Junction) จะป้องกันไม่ให้ถูกแสงเลยและให้อุณหภูมิคงที่ อีกปลายหนึ่งให้รับรังสีอินฟราเรดเทอร์โมคัปเปิลหลายอันต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากขึ้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงผลของซีแม็ค

ทีมา (Thermocouple And RTD, 2012)

2. บาโลมิเตอร์ (Bolometer Thermister) การทำงานอาศัยการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของลวดโลหะ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจากแผ่นโลหะ เช่น แพลทินัม (Pt) หรือนิกเกิล (Ni) หรือสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) มีขนาดเล็กและมักทำสีดำเพื่อเก็บความร้อนมีราคาถูก

3. ไพโรอิเล็กทริกดีเทกเตอร์ (Pyroelectric Detector) ทำจากผลึกของสารบางชนิด เช่น Triglycine Sulphate, TGS หรือลิเทียมแทนทาลेट หรือคิวเทอเรตไตรโกลซิน ซัลเฟต (DTGS) เป็นต้น ผลึกเหล่านี้มีสมบัติเกี่ยวกับโมเมนต์ขั้วคู่ของมัน วัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ถ้านำผลึกเหล่านี้ไปไว้ในระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่เป็นแผ่นโลหะ แล้วต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าภายนอก เป็นเหตุให้มีกระแสไหลในวงจรเพื่อทำให้การกระจายของประจุกลับเข้าสู่สมดุลใหม่ ค่ากระแสที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

4. นิวเมติกดีเทกเตอร์ (Golay, Pneumatic Detector) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมีผลทำให้ ความดันของแก๊สเปลี่ยนแปลงด้วยแก๊สที่อยู่ถูกบรรจุไว้ในภาชนะรูปทรงกระบอกเล็กๆ ด้านที่รับ IR เป็น โลหะสีดำอยู่กับที่ ด้านตรงข้ามเป็น ไดอะเฟรมที่เคลื่อนที่ได้ เมื่อโลหะดำได้รับรังสี IR ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปที่แก๊สที่อยู่ ทำให้เกิดความดันขึ้น ไปด้วยไปดันแผ่นไดอะเฟรม ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวและทำให้แสงสะท้อนไปที่หลอดวัดแสงเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นตามปริมาณของแสง IR ที่ตกกระทบ

2.4.1.2 เครื่องตรวจจับโฟตอน (Photon Detector)

ประกอบด้วยแผ่นแก้วที่เป็นฉนวนที่ฉาบบางๆ ด้วยสารกึ่งตัวนำ เช่น Lead Sulfide ตะกั่วเทลลูไรด์ (Ge) ที่เจือปนด้วยทองแดงหรือปรอท เป็นต้น ส่วนประกอบทั้งหมดจะบรรจุอยู่ในกล่องสุญญากาศ เมื่อมีแสงตกกระทบและแสงมีพลังงานสูงพอจะทำให้ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำลดลง ความไวในการตอบสนองของตัวตรวจจับเร็ว (ลูตินันท์ กัลหาวงศ์, 2549)

2.5 ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Termoelectric Effect)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกัน

นี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

2.5.1 ผลของซีเบ็ค (Seebeck Effect) โดยใช้ทฤษฎีโซลิตสแตค เราสามารถวิเคราะห์ค่าได้จากสมการอินทิเกรตค่าจากย่านของอุณหภูมิดังกล่าว นั่นคือ

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT \quad \dots (1)$$

จากสมการที่ (1) พบว่า ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) ที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันสร้างเทอร์โมคัปเปิลค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์และถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะเป็นศูนย์ สมการนี้จะอธิบายผลของซีเบ็ค ซึ่งพบว่า

1. ค่า emf ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
 2. ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่า emf ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์
 3. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า emf ก็จะเป็นศูนย์
- โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\mathcal{E} = \alpha(T_2 - T_1) \quad \dots (2)$$

เมื่อ \mathcal{E} คือ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf)

α คือ ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (Volt/K)

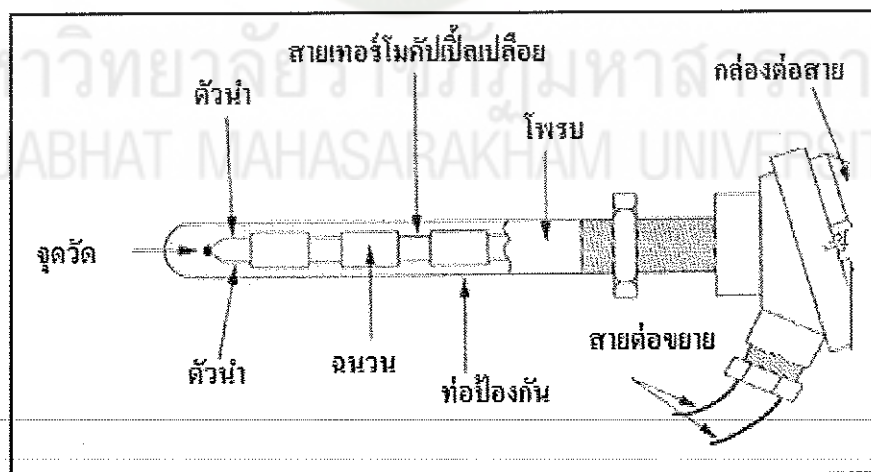
T_1, T_2 คือ อุณหภูมิที่จุดต่อ (K)

2.5.2 ผลของเพลเทียร์ (Peltier Effects) หากคิดย้อนกลับจากผลของซีเบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่ต่างชนิดกันสองชนิดมาเชื่อมต่อกันทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าขั้วหนึ่งจะเกิดความร้อน (T_2) และอีกขั้วหนึ่งจะเกิดความเย็น (T_1) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ผลของเพลเทียร์” (Peltier Effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก

2.5.3 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

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

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูป โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเซอร์มีนเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (Peltier Element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก 10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่จนถึงขนาด 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 มิลลิเมตร (mm) ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล
ที่มา (Thermocouple And RTD, 2012)

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวจะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนดในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) โดยปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้โอปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.5.4 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Types)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ American National Standards Institute (ANSI) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่ เทอร์โมคัปเปิลแบบ S R B J K T E ในการทำงานวิจัยนี้เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่มีคุณลักษณะแบบเดียวกับเทอร์โมคัปเปิลแบบ K เป็นชนิดที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้ หากแต่อาจมีความแตกต่างกันระหว่างสองแบบโดยในแบบเดิมใช้ธาตุหนึ่งเป็นฐานสำหรับการสร้างคือนิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้ผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสม แต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้

ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (Curie Point) คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ โลหะผสม

จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้น จึงต้องทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของ ฮิสเตอร์รีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ 1000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัว จะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ขบวนการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนด โดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงการวัดอุณหภูมิ ต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 58 (ตารางอ้างอิงสำหรับ เทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

1. Class -40°C ถึง $+1,000^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.50^{\circ}\text{C}$
2. Class -40°C ถึง $+1,200^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
3. Class -200°C ถึง $+40^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ เมื่อ t คือ

อุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสี่สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30 ,1993 (รหัสสี่ตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายชนิดแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวก จะเป็นสี่เขียว ขั้วลบจะเป็นสี่ขาว

ข้อดีของแบบ K

1. เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
2. สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
3. สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย (Inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น
4. สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี

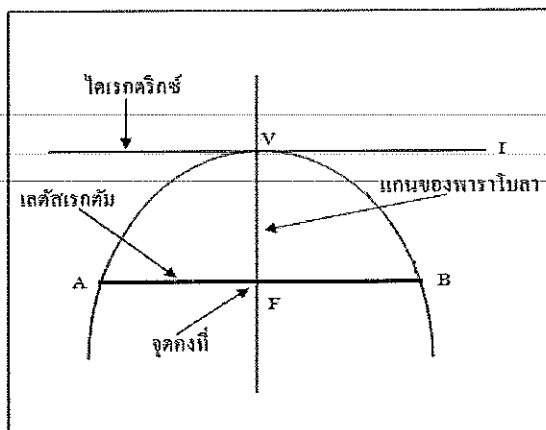
5. ให้อัตราการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

1. ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
2. ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
3. ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสูญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ)
4. หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

2.6 การหาระยะห่างระหว่างจุดสองจุดบนโคมสะท้อนรูปพาราโบลา

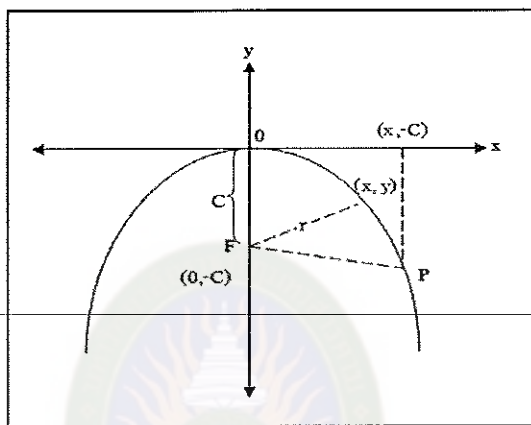
พาราโบลา (Parabola) คือ เซตของจุดทุกจุดบนระนาบ ซึ่งอยู่ห่างจากเส้นตรงที่เส้นหนึ่งบนระนาบและจุดคงที่จุดหนึ่งบนระนาบนอกเส้นตรงคงที่นั้น เป็นระยะทางเท่ากันเสมอ พาราโบลาสามารถกำหนดเป็นด้วยจุดต่าง ๆ ที่มีระยะห่างจากจุดที่กำหนด คือจุดโฟกัส (Focus) เส้นที่กำหนด คือเส้นไดเรกทริกซ์ (Directrix) แกนของพาราโบลา คือ เส้นตรงที่ลากผ่านโฟกัสและตั้งฉากกับไดเรกทริกซ์ จุดยอด (V) คือจุดยอดที่พาราโบลาตัดกับแกนของพาราโบลา เลตส์เรกคัม (AB) คือส่วนของเส้นตรงที่ผ่านโฟกัสและมีจุดปลายทั้งสองอยู่บนพาราโบลา และตั้งฉากกับแกนของพาราโบลา เส้นตรงที่ผ่านจุดโฟกัสและตั้งฉากกับไดเรกทริกซ์ เรียกว่า แกนของพาราโบลา ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของพาราโบลา

พิจารณาสมการของพาราโบลาที่มีจุดยอด อยู่ที่ $(0,0)$ แกนของพาราโบลา คือแกน x หรือ แกน y ไคเรกตริกซ์ คือ เส้นตรง $y = -c$ กราฟของพาราโบลาจะคว่ำ ดังรูปที่ 2.8

มีสมการ $x^2 = 4cy$



รูปที่ 2.8 รูปแบบและลักษณะของพาราโบลาที่มีจุดยอดอยู่ $(0,0)$

สมมติให้ $P(x,y)$ เป็นจุดๆบนพาราโบลา
จากนิยาม

$$\sqrt{(x-0)^2 + (y-c)^2} = |y-(-c)|$$

$$x^2 + y^2 - 2cy + c^2 = y^2 + 2cy + c^2$$

$$x^2 = 4cy \quad ; \text{เมื่อ } c > 0 \quad \dots (3)$$

จากรูปที่ 2.7 เราสามารถหาค่า r ซึ่งมีระยะห่างจากจุดโฟกัสไปยังจุด $P(x,y)$ เป็นจุดๆบนพาราโบลา ได้ดังนี้

จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส จะได้ว่า

$$r = \sqrt{x^2 + (-c - y)^2}$$

นั่นคือ ถ้า $F(0, -c)$ และ (x, y) เป็นจุดในระบบพิกัดฉากแล้ว ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดจะเป็นไปตามสมการ

$$r^2 = x^2 + (-c-y)^2 \quad \dots\dots (4)$$

2.7 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

ความร้อนเคลื่อนที่จากจุด ๆ หนึ่งไปยังจุดอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกันคือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้งสามวิธีนี้ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น แต่กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน (นักสถิติ คุว์พัฒนาชัย, 2533:2) ดังนี้

2.7.1 การนำ (Conduction)

การนำความร้อน หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยส่งถ่ายความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่อง การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนคำนวณจาก กฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law)

กฎของฟูเรียร์ กล่าวว่า สำหรับการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน \dot{Q}_x ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว (dT/dx)

สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady-State) อุณหภูมิในตัวกลาง $T=T(x)$

จากกฎของฟูเรียร์

$$\dot{Q}_x = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad \text{หน่วยเป็น W} \quad \dots\dots (5)$$

โดยที่ k คือค่าคงที่สัดส่วน ซึ่งเรียกว่า สภาพคงที่นำความร้อน (Thermal Conductivity) ของตัวกลางมีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot K$

2.7.2 การพา (Convection)

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ผลการเคลื่อนไหวทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของของแข็งนั้น ($h, W/m^2 \cdot K$) พลังงานความร้อนถูกถ่ายเทเป็นผลมาจากการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุลและผลจากการเคลื่อนไหวทั้งปริมาตรของของไหล

การพาความร้อน จำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) กล่าวถึงผลของการเคลื่อนไหวของของไหลเป็นผลของการลอยตัว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นมีผลต่างของของไหล 2 บริเวณ

2. การพาความร้อนโดยบังคับ (Forced Convection) การเคลื่อนไหวของของไหลเป็นผลมาจากการกระทำภายนอก เช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม (Blower) ฯลฯ

พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A อุณหภูมิที่ผิว T_h ขณะของไหลไหลผ่านด้วยความเร็ว และอุณหภูมิ T_c คงที่ โดยสมการสำหรับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law Cooling)

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_h - T_c) \quad \text{หน่วยเป็น } W \quad \dots (6)$$

โดย h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ $W/m^2 \cdot K$

2.7.3 การแผ่รังสี (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวดังกล่าวหนึ่งไปสู่อีกผิวดังกล่าวหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้ โดยสมการการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากวัตถุพื้นที่ A และอุณหภูมิ T จากกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann) ดังนี้

$$\dot{Q} = \sigma AT^4 \quad \text{หน่วยเป็น W} \quad \dots\dots (7)$$

โดยที่ T คือ อุณหภูมิแผ่รังสีในหน่วยของสเคลวิน (K)
 σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ และมีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-8}
 $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

สมการที่ (7) ใช้กับกรณีการแผ่รังสีในอุดมคติ (Ideal Radiator) หรือวัตถุดำ (Black Body) สำหรับกรณีของพื้นผิวจริง (Real Surface) วัตถุที่มีอยู่ทั่วไปจะแผ่รังสีจะน้อยกว่ากรณีของวัตถุดำทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพเปล่งรังสี (Emissivity, ϵ) ของผิวนั้นด้วย (นักสิทธิ์ กุวัฒนาชัย, 2533) จะคำนวณจาก

$$\dot{Q} = \epsilon \sigma AT^4 \quad \text{หน่วยเป็น W} \quad \dots\dots (8)$$

พิจารณาการแลกเปลี่ยนรังสีกันระหว่างพื้นผิว A อุณหภูมิ T_h มีสภาพเปล่งรังสี ϵ กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ T_c อัตราการแผ่รังสีบนพื้นผิวสุทธิบนพื้นผิว A คือ

$$\dot{Q}_{\text{rad,net}} = \epsilon \sigma A (T_h^4 - T_c^4) \quad \text{หน่วยเป็น W} \quad \dots\dots (9)$$

นอกจากรูปแบบสมการที่ (9) แล้วรูปแบบสมการอย่างง่ายสำหรับคำนวณการแผ่รังสีเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{rad,net}} &= \epsilon \sigma A (T_h - T_c) (T_h + T_c) (T_h^2 + T_c^2) \\ &= h_r A (T_h - T_c) \quad \text{หน่วยเป็น W} \quad \dots\dots (10) \end{aligned}$$

โดยที่ h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนมีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาและการแผ่รังสีความร้อนพร้อมกับอัตรา
การถ่ายเทความร้อนรวมหาได้ ดังนี้

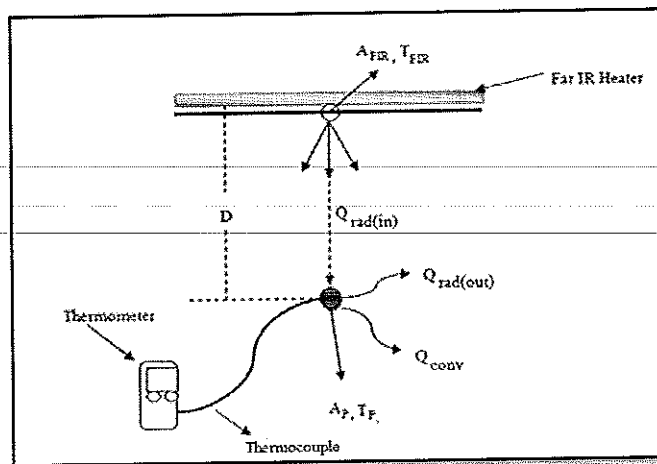
$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{tot}} &= \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad,net}} \quad \text{หน่วยเป็น W} \\ &= h(T_h - T_c) + h_r (T_h - T_c) \\ &= (h + h_r)(T_h - T_c) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (h + h_r)(T_h - T_c) \\
 &= h_{cr} (T_h - T_c) \qquad \dots\dots (11)
 \end{aligned}$$

โดยที่ h_{cr} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการพาและการแผ่รังสีความร้อน

สำหรับหลอดรังสีอินฟราเรดที่คณะผู้วิจัยใช้ในการทดลองจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาว โดยออกแบบตัวตรวจวัดรังสีมีลักษณะเป็นแผ่นกลม ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมบาง (ตัดจากกระป๋องน้ำอัดลม) ในการทดลองคณะผู้วิจัยจะใช้แผ่นฉนวนความร้อนกั้นหลอดรังสีอินฟราเรดไกลโดยเจาะรูกลมที่แผ่นฉนวนเพื่อให้รังสีอินฟราเรดทะลุผ่านออกไป ดังนั้นรูที่รังสีอินฟราเรดทำผ่านจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลม พื้นที่เท่ากับขนาดของรู เมื่อรังสีอินฟราเรดตกกระทบตัวตรวจวัดรังสีซึ่งทำจากแผ่นอะลูมิเนียมกลม 2 แผ่นประกบกัน โดยมีหัววัดเทอร์โมคัปเปิลเปิดอยู่ภายใน จะเกิดการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความร้อนระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดซึ่งมี พื้นที่เท่ากับขนาดของรูกับแผ่นอะลูมิเนียมกลม ดังรูปที่ 2.9 ดังนั้นถ้ากำหนดให้หลอดรังสีอินฟราเรด อุณหภูมิ T_{FIR} แผ่รังสีผ่านรูซึ่งมีพื้นที่ A_{FIR} เป็นระยะ D ไปยังพื้นที่ผิวของหัววัด A_p จนทำให้หัววัดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิคงที่ T_p จะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดกับหัววัดเป็นไปตามสมการที่ (12)

$$\dot{Q}_{rad(in),net} = \frac{\sigma(T_{FIR}^4 - T_p^4)}{(1 - \epsilon_{FIR}/A_{FIR}\epsilon_{FIR}) + (1/A_p F_{p \rightarrow FIR}) + (1 - \epsilon_p/A_p\epsilon_p)} \dots\dots (12)$$



รูปที่ 2.9 การแผ่รังสีแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นผิวหนึ่งกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

เมื่อแผ่นอลูมิเนียมกลมรับรังสีอินฟราเรดแล้วอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อมด้วยการแผ่รังสี เป็นไปตามสมการ

$$\dot{Q}_{\text{rad(out),net}} = (2A_p)\epsilon_p\sigma(T_p^4 - T_0^4) \text{ หน่วยเป็น W} \quad \dots (13)$$

นอกจากนี้แผ่นอลูมิเนียมกลมยังเกิดการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อมด้วยการพาความร้อน เป็นไปตามสมการ

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = (2A_p)h(T_p - T_0) \text{ หน่วยเป็น W} \quad \dots (14)$$

เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนออกจากหัววัดเกิดขึ้นทั้งผิวด้านบนและด้านล่าง ดังนั้นจึงใช้ $2A_p$ เป็นตัวคูณในสมการที่ (13) และ (14)

เมื่อแผ่นวัดรังสีมีอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ถือว่าเกิดการสมดุลทางความร้อน ดังนั้น

$$\dot{Q}_{\text{rad(in),net}} = \dot{Q}_{\text{rad(out),net}} + \dot{Q}_{\text{conv}} \text{ หน่วยเป็น W} \quad \dots (15)$$

เมื่อ	σ	คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลต์ซมันน์ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
	ϵ_{FIR}	คือ ค่า Emissivity of FIR (0.95)
	ϵ_p	คือ ค่า Emissivity of Aluminum (0.07)
	h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient)
	A_p	คือ พื้นที่ผิวของหัววัด (Surface Area of Object) (m^2)
	A_{FIR}	คือ พื้นที่ช่องผ่านรังสีอินฟราเรด (m^2)
	T_p	คือ อุณหภูมิของหัววัด (K)
	T_0	คือ อุณหภูมิห้อง (K)
	T_{FIR}	คือ อุณหภูมิหลอดรังสีอินฟราเรด (K)
	$F_{p \rightarrow \text{FIR}}$	คือ ค่า View Factor จากแผ่นวงกลม P ไปยังหลอดรังสีอินฟราเรดไกล

$\dot{Q}_{\text{rad(in),net}}$ คือ ค่าการถ่ายเทพลังงานสุทธิจากการแผ่รังสีระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดกับหัววัด (W)

$\dot{Q}_{\text{rad(out),net}}$ คือ ค่าการถ่ายเทพลังงานสุทธิจากการแผ่รังสีระหว่างหัววัดกับสิ่งแวดล้อม (W)

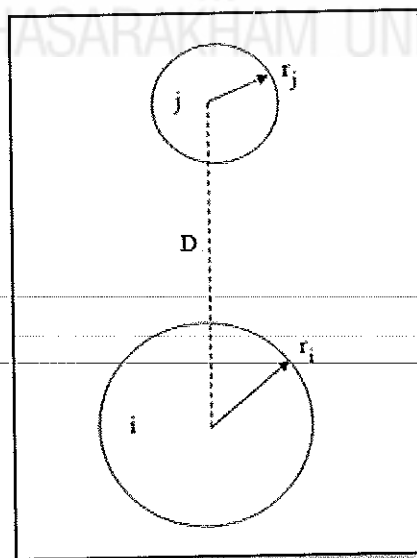
\dot{Q}_{conv} คือ ค่าการถ่ายเทพลังงานจากการพาความร้อนระหว่างหัววัดกับอากาศแวดล้อม (W)

โดยที่ $F_{P \rightarrow \text{FIR}}$ คือ View Factor จากแผ่นกลมรับรังสี P ไปยังหลอด FIR ซึ่งค่าของ View Factor ในกรณีนี้จะเป็นการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างแผ่นกลม 2 แผ่นร่วมแกนกัน (Two Coaxial Parallel Disks) (Yunus A. Cengel, 2004) ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการ

$$F_{i \rightarrow j} = \frac{1}{2} \left\{ s - \left[s^2 - 4 \left(\frac{r_j}{r_i} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \dots (16)$$

โดยที่ $R_i = \frac{r_i}{D}$ และ $R_j = \frac{r_j}{D}$

และ $S = 1 + \frac{1+R_j^2}{R_i^2}$



รูปที่ 2.10 การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างพื้นผิว (Radiation Exchange Between Surfaces)

เมื่อแทนสมการ (12), (13) และ (14) ใน (15) จะได้

$$\frac{\sigma(T_{\text{FIR}}^4 - T_p^4)}{\left(1 - \frac{\epsilon_{\text{FIR}}}{A_{\text{FIR}} \epsilon_{\text{FIR}}}\right) + \left(\frac{1}{A_p F_{p \rightarrow \text{FIR}}}\right) + \left(1 - \frac{\epsilon_p}{A_p \epsilon_p}\right)} = 2A_p \epsilon_p \sigma(T_p^4 - T_0^4) + (2A_p)h(T_p - T_0) \quad (17)$$

พิจารณาด้านซ้ายของสมการที่ (17)

$$\text{เมื่อ } \dot{Q}_{\text{rad(in)}} = \frac{\sigma(T_{\text{FIR}}^4)}{\left(1 - \epsilon_{\text{FIR}}/A_{\text{FIR}} \epsilon_{\text{FIR}}\right) + \left(1/A_p F_{p \rightarrow \text{FIR}}\right) + \left(1 - \epsilon_p/A_p \epsilon_p\right)}$$

หมายถึงกำลังจากรังสีที่ตกกระทบพื้นที่ผิวหัววัด จะสามารถหาได้ดังสมการ

$$\dot{Q}_{\text{rad(in)}} = \frac{2A_p \epsilon_p \sigma(T_p^4 - T_0^4) + 2A_p h(T_p - T_0) + \sigma(T_{\text{FIR}}^4)}{\left(1 - \epsilon_{\text{FIR}}/A_{\text{FIR}} \epsilon_{\text{FIR}}\right) + \left(1/A_p F_{p \rightarrow \text{FIR}}\right) + \left(1 - \epsilon_p/A_p \epsilon_p\right)} \quad \dots (18)$$

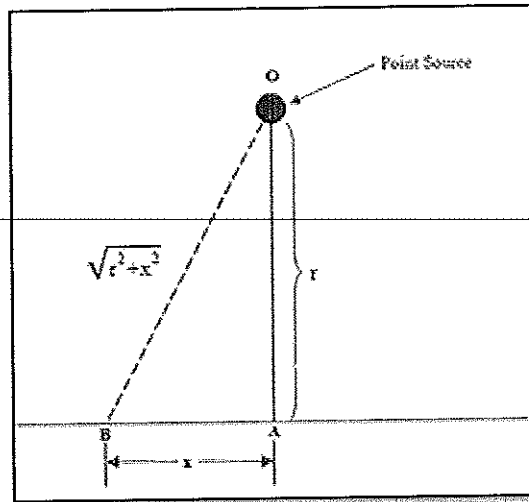
ดังนั้น ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบพื้นที่ผิวของหัววัดหาได้จาก

$$I = \frac{\dot{Q}_{\text{rad(in)}}}{A_p} \quad \text{หน่วยเป็น } W/m^2 \quad \dots (19)$$

2.8 การหาความเข้มของรังสีอินฟราเรด

2.8.1 การหาความเข้มของรังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดรังสีที่เป็นจุด

เมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดแผ่ออกจากจุดกำเนิดเป็นรูปร่างกลม ถ้าลากเส้นจากจุดกำเนิดรังสีอินฟราเรดออกไปในแนวตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดรังสี เส้นที่ลากออกไปนี้เราเรียกว่า รังสีของอินฟราเรด แสดงได้ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การแผ่รังสีของแสงจากแหล่งกำเนิดที่เป็นจุด

จากรูปที่ 2.11 ให้แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดที่ศูนย์กลางทรงกลมจินตภาพที่จุด O มีระยะห่างจากหลอดไฟถึงผิวที่พิจารณา r เมตร มีการกระจายความเข้มของการแผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทาง I วัดที่/ตารางเมตร เราสามารถหาความเข้ม I ที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดโดย กำลังของหลอดรังสีอินฟราเรด P หารด้วยพื้นที่ผิว A ที่รังสีอินฟราเรดตกกระทบบ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$I = \frac{P}{A} \quad \text{หรือ} \quad I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \dots\dots (20)$$

ดังนั้น จากรูปที่ 2.11 เราจะสามารถหาความเข้มที่จุด A และจุด B ได้ดังนี้

$$I_A = \frac{P}{4\pi r^2}$$

และ

$$I_B = \frac{P}{4\pi(\sqrt{r^2+x^2})^2}$$

$$= \frac{P}{4\pi(r^2+x^2)}$$

เมื่อ

P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

A คือ พื้นที่ผิวที่รังสีอินฟราเรดตกกระทบบ (m^2)

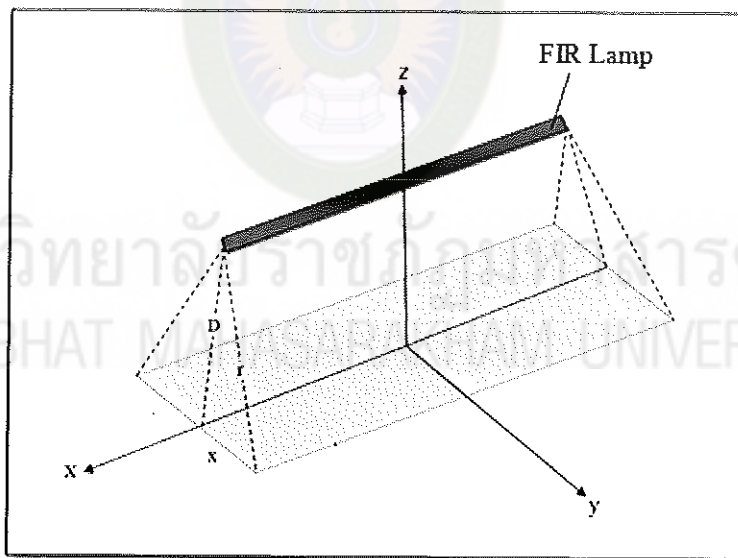
I คือ ความเข้มของการแผ่รังสี (W/m^2)

r คือ ระยะห่างจากหลอดไฟถึงผิวที่พิจารณา (m)

จากสมการการหาความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรด (I) จะเห็นได้ว่า ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวนั้นจะมีค่าแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดกับพื้นผิวนั้นยกกำลังสอง จึงเรียกว่า “กฎกำลังสองผกผัน” (Inverse Square’s Law) เขียนได้ว่า

$$I \propto \frac{1}{r^2} \quad \dots\dots (21)$$

2.8.2 การหาความเข้มของรังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดรังสีรูปทรงกระบอกเล็ก ณ จุดใดๆ



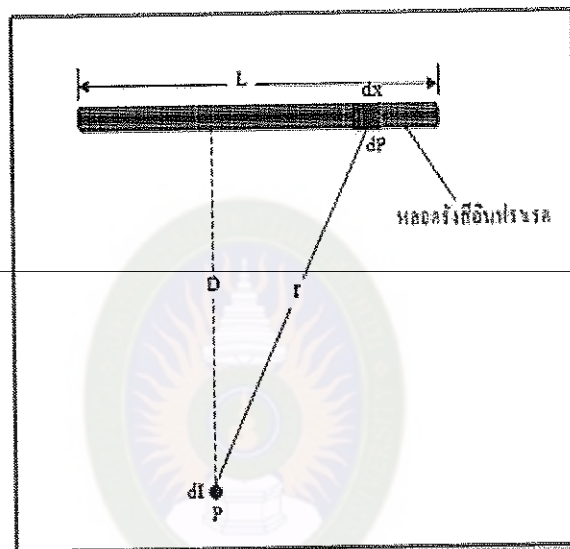
รูปที่ 2.12 ลักษณะการแผ่รังสีอินฟราเรดจากหลอดรูปทรงกระบอก

1. การหาความเข้มของรังสี ณ จุดใดๆบนเส้นตรงที่ขนานกับหลอดรังสีอินฟราเรด

พิจารณาหลอดรังสีอินฟราเรดที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเล็กยาว L ดังรูปที่ 2.12 ถ้ากำหนดให้หลอดรังสีอินฟราเรดแผ่รังสีออกมาจากผิวของหลอดรังสีเท่ากันทุกจุด

และมีคุณสมบัติการแผ่รังสีอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นส่วนเล็กๆ dx ดังรูปที่ 2.13 บนหลอดรังสีอินฟราเรดจะแผ่รังสีออกมาทำให้เกิดความเข้ม dI ที่จุด A เป็นไปตามสมการ

$$dI = \frac{dP}{4\pi r^2} \quad \dots (22)$$



รูปที่ 2.13 การแผ่รังสีในลักษณะ 2 มิติ

ถ้าให้กำลังของการแผ่รังสี (p) แปรผันโดยตรงกับกำลังไฟฟ้า (P) ที่จ่ายให้กับหลอดรังสีอินฟราเรด ดังนั้น

$$p \propto P$$

$$p = kP \quad ; \text{ โดยที่ } k \text{ คือ ประสิทธิภาพของหลอดรังสีอินฟราเรด}$$

เพราะฉะนั้น $dP = kdP$ (23)

แทนค่า dP จากสมการ (23) ลงในสมการ (22) จะได้

$$dI = \frac{kdP}{4\pi r^2} \quad \dots (24)$$

จาก $P = i^2 R$ (25)

และ $R = \rho \frac{L}{a}$ (26)

เมื่อ I คือ ความเข้มของการแผ่รังสี (W/m^2)

i คือ กระแสไฟฟ้า (A)

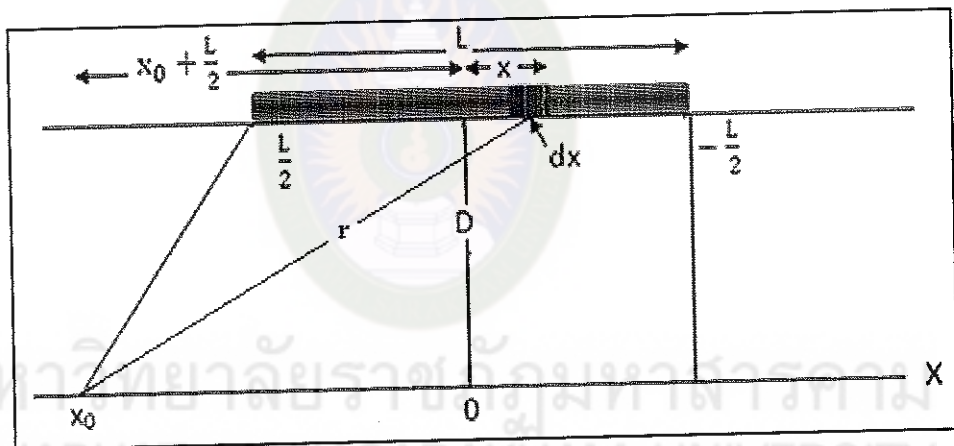
ρ คือ สภาพต้านทาน ($\Omega \cdot m$)

a คือ พื้นที่หน้าตัดของหลอดรังสีอินฟราเรด (m^2)

L คือ ความยาวของหลอดรังสีอินฟราเรด (m)

R คือ ความต้านทานของหลอดรังสีอินฟราเรด (Ω)

พิจารณาค่าความเข้มของรังสีอินฟราเรด ณ จุดในแนวแกน x ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การแผ่รังสี ณ จุดใดๆบนแนวแกน x

ดังนั้น แทนค่าสมการ (25) และสมการ (26) ลงในสมการ (24) จะได้

$$dI = \frac{kd \left(\frac{i^2 \rho L}{a} \right)}{4\pi r^2}$$

$$\therefore dI = \frac{ki^2 \rho dL}{4\pi r^2 a}$$

กำหนดให้ K เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$K = \frac{ki^2\rho}{4\pi a}$$

$$\therefore dI = \frac{KdL}{r^2} \quad \dots (27)$$

จากสมการที่ (27) สามารถนำไปพิจารณาหาความเข้มของรังสีอินฟราเรด ณ จุด $A(x_0, 0)$ ใดๆ บนแนวแกน ซึ่งมีระยะห่างจากหลอดรังสีอินฟราเรดเป็นระยะ D ดังรูปที่ 2.12 ได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาส่วเล็กๆ dx บนหลอดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาทำให้เกิดความเข้ม dI ที่จุด A ดังนั้นจากสมการที่ (27) เมื่อนำมาใช้ในกรณีนี้ จะได้ว่า

$$dL = dx \quad \text{และ} \quad r^2 = (x+x_0)^2 + D^2$$

$$\therefore dI = \frac{Kdx}{(x+x_0)^2 + D^2}$$

ดังนั้น

$$\int dI = K \int_{-L/2}^{L/2} \frac{d(x+x_0)}{(x+x_0)^2 + D^2}$$

จาก

$$\int \frac{dU}{U^2+a^2} = \frac{1}{a} \tan^{-1} \left(\frac{U}{a} \right)$$

จะได้

$$I = \frac{K}{D} \tan^{-1} \frac{x-x_0}{D} \Big|_{-L/2}^{L/2}$$

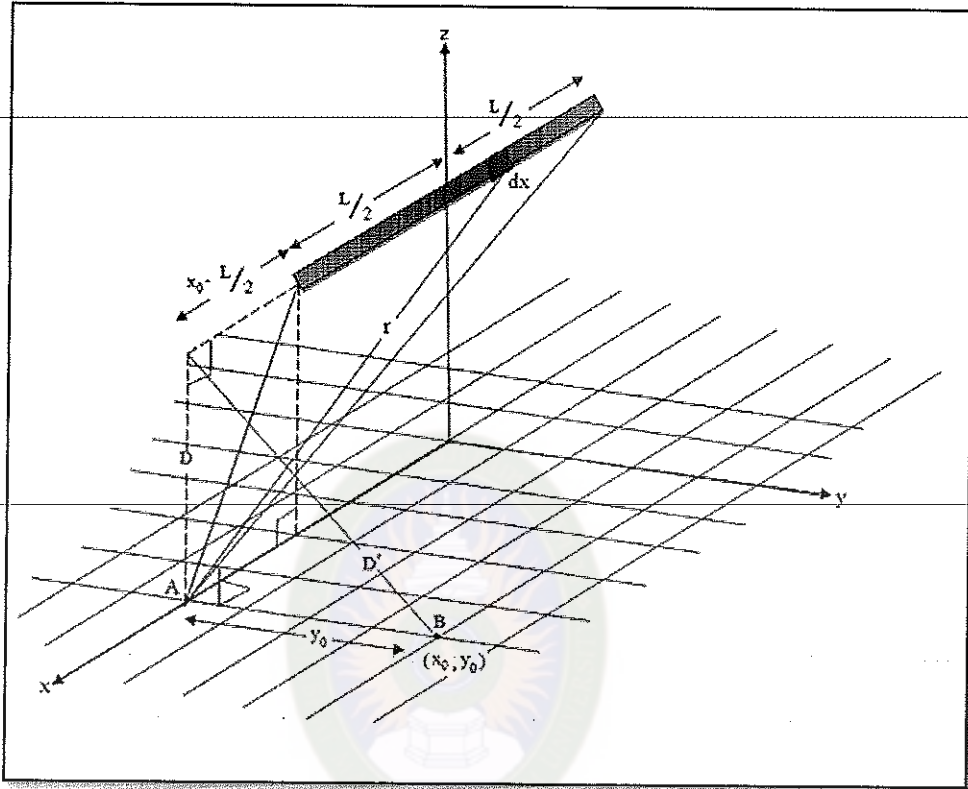
$$\therefore I = \frac{K}{D} \left(\tan^{-1} \frac{\frac{L}{2}+x_0}{D} - \tan^{-1} \frac{x_0-\frac{L}{2}}{D} \right) \quad \dots (28)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของการแผ่รังสี (W/m^2)

L คือ ความยาวของหลอดรังสีอินฟราเรด (m)

D คือ ระยะห่างจากหลอดรังสีอินฟราเรดถึงพื้นในแนวตั้งฉาก (m)

2. การหาความเข้มของรังสี ณ จุดใดๆ บนระนาบที่ขนานกับหลอดรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2.15 การแผ่รังสีอินฟราเรด ณ จุดใดๆ บนระนาบ

พิจารณาหาความเข้มรังสี ณ จุด $B(x_0, y_0)$ ซึ่งเป็นจุดใดๆ บนระนาบที่ขนานกับหลอดรังสีอินฟราเรด ดังรูปที่ 2.15

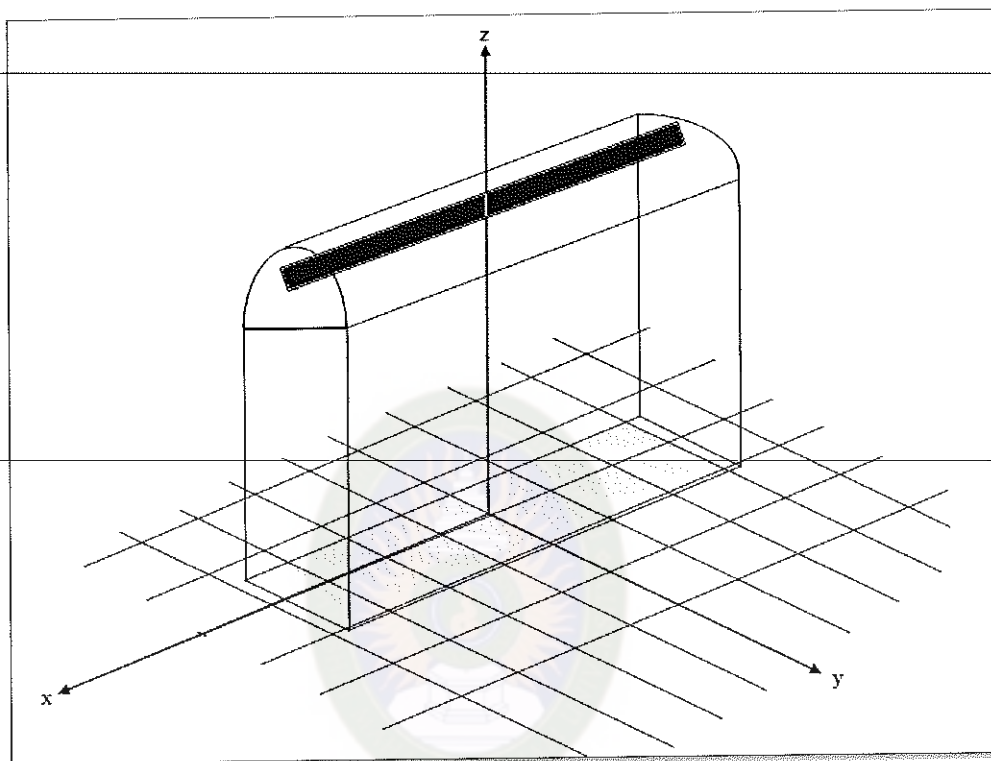
จะได้ว่า

$$I = \frac{K}{D'} \left(\tan^{-1} \frac{\frac{L}{2} + x_0}{D'} - \tan^{-1} \frac{x_0 - \frac{L}{2}}{D'} \right) \quad \dots (29)$$

กำหนดให้ $D' = \sqrt{D^2 + y_0^2}$

$$\therefore I = \frac{K}{\sqrt{D^2 + y_0^2}} \left(\tan^{-1} \frac{\frac{L}{2} + x_0}{\sqrt{D^2 + y_0^2}} - \tan^{-1} \frac{x_0 - \frac{L}{2}}{\sqrt{D^2 + y_0^2}} \right) \quad \dots (30)$$

3. การหาความเข้มของรังสี ณ จุดใดๆ บนระนาบที่ขนานกับหลอดรังสีอินฟราเรด
เมื่อมีโคมสะท้อนติดตั้งที่ด้านบนของหลอด



รูปที่ 2.16 การแผ่รังสีอินฟราเรด ณ จุดใดๆบนระนาบเมื่อมี โคมสะท้อนติดตั้งที่ด้านบนของหลอด

เมื่อมีการติดตั้งโคมสะท้อนรังสีรูปพาราโบลาที่ด้านบนหลอด จะทำให้รังสีจากหลอดที่แผ่ขึ้นด้านบนสะท้อนกลับลงมาด้านล่าง ถ้าตำแหน่งของหลอดรังสีอยู่ที่จุดโฟกัส ลักษณะของรังสีที่สะท้อนกลับลงมาจะเป็นลำขนานกัน จึงทำให้เกิดพื้นที่รับรังสีมีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของโคม การพิจารณาหาความเข้มของรังสีที่เกิดจากการสะท้อนจากโคม จะพิจารณาหาได้ดังนี้

จากรูปที่ 2.17 เราสามารถวิเคราะห์หาความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากการสะท้อนจากโคม ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีได้ ดังนี้

$$I_{\text{ref}} = \frac{kP\phi}{2\pi A} \quad \text{หน่วยเป็น W/m}^2 \quad \dots (34)$$

เมื่อ I_{ref} คือ ความเข้มของรังสีอินฟราเรดเมื่อมีโคมสะท้อน (W/m^2)

k คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของหลอดรังสีอินฟราเรด

L คือ ความยาวของหลอดรังสีอินฟราเรด (m)

r คือ รัศมีของหลอดรังสีอินฟราเรด (m)

$A\phi$ คือ พื้นที่หลอดแผ่ขึ้นไปด้านบนเป็นมุม ϕ (m^2)

$P\phi$ คือ พลังงานการแผ่รังสีเป็นมุม ϕ (W)

ดังนั้น สามารถหาความเข้มของรังสี ณ จุดใดๆ บนระนาบที่ขนานกับหลอดรังสีอินฟราเรด เมื่อมีโคมสะท้อนติดตั้งที่ด้านบนของหลอด ได้จากการรวมสมการ(30) กับ (34) ดังนั้นจะได้ว่า

$$\therefore I = \frac{k}{\sqrt{D^2+y_0^2}} \left(\tan^{-1} \frac{\frac{L}{2}+x_0}{\sqrt{D^2+y_0^2}} - \tan^{-1} \frac{x_0-\frac{L}{2}}{\sqrt{D^2+y_0^2}} \right) + \frac{kP\phi}{2\pi A} \quad \dots (35)$$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรัตน์ ภัทรจินดาณรงค์ (2545) ศึกษาการออกแบบชุดหัววัดเพื่อใช้ในการวัดปริมาณรังสีอินฟราเรด โดยใช้หลอดควอตซาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดใช้ตัวตรวจวัดเป็นแบบเทอร์โมไฟล์นำผล และสิ่งที่สังเกตได้ในการทำการทดลองมาใช้ในการออกแบบ เช่นการนำความร้อนภายในตัวตรวจวัด และการเคลื่อนที่ของลม เมื่อทำการศึกษาผลการออกแบบ พบว่าชุดหัววัดนี้สามารถนำไปใช้งานในกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงได้ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ได้ เช่นช่วยในการควบคุมคุณภาพงานเชื่อม การวัดปริมาณความร้อนแบบไม่สัมผัสของตู้อบหรือเตาหลอมในภาคอุตสาหกรรม และการตรวจสอบคุณภาพแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดของเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น ซึ่งเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดปริมาณรังสีอินฟราเรดที่มีขนาดกะทัดรัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้งานเป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีอินฟราเรดในกระบวนการเชื่อมพลาสติก หรือประยุกต์ใช้ได้กับงานที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ใช้พลังงานรังสีอินฟราเรด

ศิริพงษ์ เทศนา (2550) ศึกษาการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดของบริษัท Exergen รุ่น IRT/CX1 เพื่อใช้เป็นตัวตรวจอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส สัญญาณเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิลอินฟราเรดได้รับการขยายด้วยไอซีเบอร์ AX595 ส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16 เพื่อแปลงสัญญาณและประมวลผลซึ่งผลของการวัดจะแสดงเป็นอุณหภูมิองศาเซลเซียสทางจอคอมพิวเตอร์โดยซอฟต์แวร์โปรแกรม Visual Basic และ Microsoft Excel จากการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือที่สร้างขึ้นกับตัวสอบเทียบการวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดของบริษัท Hart Scientific รุ่น 9113 ณ ห้องปฏิบัติการอุณหภูมิเชิงแสง ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ประเทศไทย พบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีการตอบสนอง (Responsibility) อุณหภูมิในช่วง 40°C ถึง 140°C ได้ดี มีความแม่นยำ (Accuracy) เท่ากับ $\pm 3.719^{\circ}\text{C}$ มีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) และสามารถสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ผลของการวัด

สุรพันธ์ ยิ้มมัน และคณะ (2545) ศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่มัก
ประสบปัญหา คือไม่สามารถสร้างอุณหภูมิจริงให้กับตัวเทอร์โมคัปเปิลได้ จึงได้เสนอการสร้าง
เครื่องเลียนแบบการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานภายใต้
อัลกอริทึม การประมาณค่า Discrete Least Square และสามารถจำลองการทำงานของ
เทอร์โมคัปเปิล Type J, K มีช่วงอุณหภูมิ 0-600 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าชุดเลียนแบบ
การทำงานของเทอร์โมคัปเปิล จะให้ค่าแรงใกล้เคียงกับมาตรฐาน



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY