

การวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ

เรียบเรียงโดย สมจิตร พุฒดี

นักวิจัย บริษัท อีพีจี อินโนเวชัน เซ็นเตอร์ จำกัด

เป็นที่ทราบกันดีว่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ โดยทั่วไปมีสามลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ในบทความนี้จะขอเสนอเรื่อง การนำความร้อน (Heat conduction) ซึ่งการนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนมีการถ่ายเทภายในวัสดุใดๆ หรือระหว่างวัสดุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ [1] ในการวัดสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ จะมีค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการไหลของความร้อนที่จุดใดๆ ผ่านมวลวัสดุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างพื้นผิวของวัสดุ โดยจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุ ถ้าวัสดุสามารถนำความร้อนได้ดี ก็จะมีค่า k ที่สูง เราจะเรียกวัดประเภทนี้ว่า “ตัวนำความร้อน” ตัวอย่างเช่น โลหะ แต่ถ้าวัสดุใดสามารถนำความร้อนได้น้อย หรือมีค่า k ต่ำๆ วัสดุประเภทนี้จะเรียกว่า “ฉนวนความร้อน” มีสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้ในการหุ้มท่อในระบบต่างๆ เพื่อให้ประหยัดการใช้พลังงาน โดยการวัดค่าสภาพการนำความร้อน สามารถแบ่งตามเทคนิคของการวัดได้เป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ คือ

1. การวัดแบบสภาวะไม่คงที่ (Transient method)

เป็นการวัดในขณะที่มีการให้ความร้อนเข้าไป เป็นการวัดแบบเป็น function กับเวลา ซึ่งการวัดแบบนี้มีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำให้ใช้เวลาในการวัดที่รวดเร็ว

แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดอยู่บ้าง คือการคำนวณจะยุ่งยาก ใช้สมการที่ซับซ้อน [2] ตัวอย่างวิธีการวัดแบบสภาวะไม่คงที่ เช่น

- Hot wire probe (ขดลวดความร้อน) การวัดแบบนี้ จะใช้แหล่งความร้อนที่เป็นเส้นลวดที่ยาวมากๆ เป็นตัวให้ความร้อน โดยลวดนั้นต้องไม่มีการหดหรือขยายตัวที่อุณหภูมิใดๆ ขณะใช้งาน โดยทั่วไปจะนิยมใช้ลวดทองแดง การวัดการนำความร้อนวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการวัดน้อย ไม่จำกัดขนาดชิ้นงานในการวัด และสามารถวัดได้ตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ RT ถึง 1500 °C

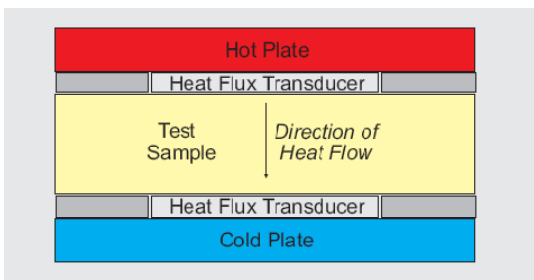
- Laser flash method วิธีนี้จะวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของชิ้นงานแผ่นบางเมื่อมีการให้พลังงาน laser เข้าไปแบบ pulse การวัดแบบนี้มีความรวดเร็ว เหมาะกับวัสดุหลายชนิด ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากช่วงอุณหภูมิของการวัดที่กว้าง ตั้งแต่ประมาณ -120 ถึง 2800 °C วิธี laser flash นี้ นอกจากจะวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุแล้วยังสามารถวัดค่า Thermal diffusivity ได้อีกด้วย

2. การวัดแบบสภาวะคงที่ (Steady-state method)

นิยมใช้เมื่ออุณหภูมิของวัสดุที่ทำการวัดไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการวัด เช่น วัสดุประเภทฉนวนความร้อน ซึ่งในการวัดค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนความร้อนมี 2 วิธีหลักๆ คือ

- Guard hot plate (GHP) เป็นวิธีการวัดแบบ absolute method คือการวัด heat flux โดยตรง จึงไม่ต้องมีการ calibration มีความแม่นยำสูง มีช่วงของอุณหภูมิการวัดที่กว้าง ตั้งแต่ -160 ถึง 650 °C แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือใช้เวลาในการวัดที่นาน โดยในการวัดต้องใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 2 ชิ้น เพื่อยืนยัน ว่ามีการถ่ายเทความร้อนอย่างสมมาตร [3] วิธีแบบ GHP นี้เป็นการวัดตามมาตรฐาน ISO 8302 และ ASTM C177

- Heat flow meter (HFM) เป็นวิธีการวัดแบบ comparative method โดยการวัด heat flow เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ชิ้นงานทดสอบแค่ชิ้นเดียว แต่เครื่อง HFM ต้องมีการออกแบบเครื่องมือที่ดี เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียว เครื่อง HFM ประกอบไปด้วย plate 2 อันที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน คือ hot plate และ cold plate ตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกใส่ระหว่าง plate [4] (ดังแสดงในรูปที่ 1) โดยความร้อนจะมีการถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ (hot plate ไปยัง cold plate) และในตัวเครื่องจะใช้ sensor ในการวัด heat flow ดังนั้นเมื่อเครื่องเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady-state) นั่นคือมี temperature gradient เป็นศูนย์ เครื่องจะคำนวณเป็นสภาพการนำความร้อน การวัดค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนโดยวิธี Heat flow meter นี้ จะเป็นการวัดตามมาตรฐาน ASTM C518, ISO 8301, JIS A 1412, DIN EN13163 เป็นต้น



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่อง Heat flow meter [4]

การคำนวณค่าสภาพการนำความร้อนของการวัดแบบ Heat flow meter จะใช้สมการการถ่ายเทความร้อนของ Fourier's law แบบ 1 มิติ [5] คือ

$$q = -k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ q = heat flux (W/m²)

k = ค่าสภาพการนำความร้อน(W/m-K)

$\frac{dT}{dx}$ = temperature gradient (K/m)

ส่วนค่าความต้านทานการนำความร้อนของวัสดุ (R) สามารถคำนวณได้จาก

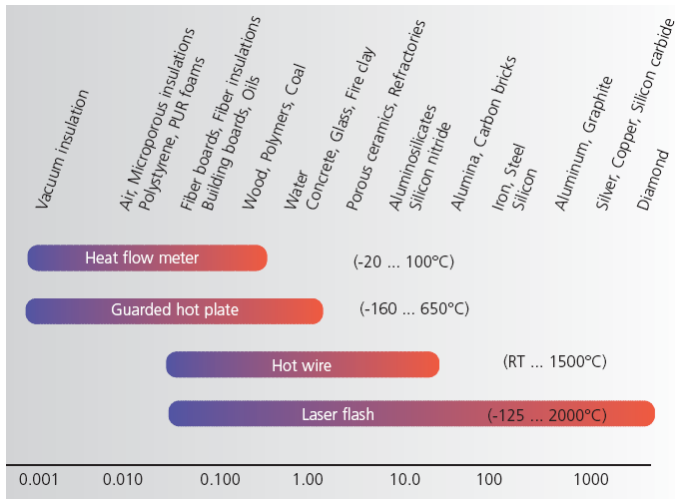
$$R = \frac{\Delta x}{k} \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ Δx = ความหนาของวัสดุ (m)

R = ความต้านทานความร้อน (m²K/W)

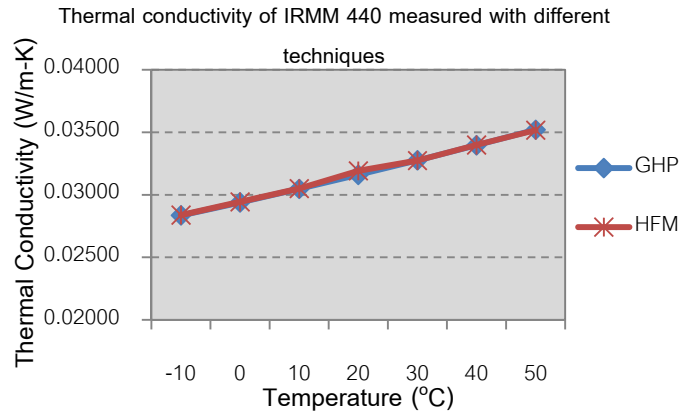
จากสมการ (2) ค่าความต้านทานความร้อนจะขึ้นอยู่กับความหนาและค่าสภาพการนำความร้อน โดยเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามด้วย

จะเห็นได้ว่า ในการวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุมีหลายวิธี การเลือกเครื่องมือจึงควรเลือกให้เหมาะสมกับช่วงค่าการนำความร้อนของวัสดุ ซึ่งถ้าเป็นวัสดุประเภทฉนวนจะนิยมใช้เครื่อง Guard hot plate และ Heat flow meter เนื่องจากเครื่องนี้เหมาะกับวัสดุที่มีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่ำ ซึ่งจากรูปที่ 2 จะแสดงถึงช่วงของเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับการวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุแต่ละประเภท



รูปที่ 2 ช่วงของเครื่องมือที่เหมาะสมในการวัดค่าสภาพการนำความร้อน [5]

นอกจากนี้การวัดการนำความร้อนด้วยวิธี Guard hot plate (GHP) และ Heat flow meter (HFM) ยังมีข้อแตกต่างกันอยู่บ้างกล่าวคือ การไหลของความร้อนโดยวิธี Heat flow meter มีการไหลแบบทิศทางเดียว ในขณะที่วิธี Guard hot plate ซึ่งใช้ตัวอย่างจำนวน 2 ชิ้น ความร้อนจะถ่ายเททั้งทิศทางขึ้นและลง แต่หลังจากทำการทดลองเปรียบเทียบค่าสภาพการนำความร้อนที่วัดได้จากทั้งสองวิธี โดยใช้ Resin-bonded glass fibre board ซึ่งเป็น Certified reference material (IRMM-440 S137) ในช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยตั้งแต่ -10 ถึง 50 °C ผลการทดลองพบว่าค่าสภาพการนำความร้อนจากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการวัด Heat flow meter มีการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียว ค่าสภาพการนำความร้อนที่ได้ก็มีความถูกต้องแม่นยำสูง ไม่แตกต่างจากวิธีการแบบ Guard hot plate



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่า thermal conductivity ที่วัดจากวิธี GHP และ HFM

เอกสารอ้างอิง

- [1] "Thermal Conductivity" Available at http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Physical_Chemical/ThermalConductivity.htm [Online] retrieved 29 January 2013
- [2] "Thermal conductivity measurement" Available at http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity_measurement [Online] retrieved 29 January 2013
- [3] ASTM C518: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus
- [4] "Thermal Diffusivity and Conductivity LFA / GHP / HFM / TCT" Available at <http://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/products/lfa-hfm-tct> [Online] retrieved 29 January 2013
- [5] R.B. Bird, W.E. Stewart, and E.N. Lightfoot. (2007). Transport Phenomena. 2nd edition. USA, John Wiley & Sons, Inc.