

การทดลองเรื่อง

THERMAL CONDUCTIVITY(heat Conduction Set)

วัตถุประสงค์ เพื่อหาค่า Thermal conductivity ของแท่งโลหะที่เตรียมไว้ให้ (วัสดุเป็น copper, Aluminum, stainless steel และ mild steel)

บทนำ คุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ จะใช้กันมากในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จึงจำเป็นต้องรู้จักการเตรียมอุปกรณ์ และคำนวณหาคุณสมบัติจาก Fourier's Law

$$Q = \frac{k}{L} A(T_h - T_c) \dots\dots\dots(1)$$

และ conservation of energy

$$Q = mc_p (T_o - T_i) / t \dots\dots\dots(2)$$

Q = heat flow per unit time, W/mk T_o = อุณหภูมิของน้ำไหลออก,
K

C_p = specific heat of cooling water = 4.186 J/(gm K) T_i = อุณหภูมิของน้ำไหลเข้า, K

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ, m^2 T_h = อุณหภูมิของชิ้นทดสอบด้านร้อน, K

K = thermal conductivity, W/mk T_c = อุณหภูมิของชิ้นทดสอบด้านเย็นกว่า
, K

m = มวลของน้ำหล่อเย็นวัดได้จากการตวงวัด, gm L = ระยะห่างระหว่างรูของชิ้นทดสอบ,
m

t = เวลาใช้ในการตวงน้ำ, S

จากสมการ (1) = (2) หาค่า k ได้

$$k = \frac{m C_p (T_o - T_i) / t}{A(T_h - T_c) / L}$$

การทำ uncertainty analysis เนื่องจากมีการคำนวณหาค่า k จึงต้องใช้ uncertainty propagation และ k เขียนฟังก์ชันได้ดังนี้

$$k = f(m, C_p, \Delta T_{water}, A, \Delta T_{piece}, L)$$

เลือกตัวแปรต้นมาสองตัว

$$k = f(\Delta T_{water}, \Delta T_{piece})$$

เพราะการเตรียมอุปกรณ์นี้จะขึ้นอยู่กับ uncertainty การวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำ ΔT_{water}

และของชิ้นทดสอบ ΔT_{piece} มีผลต่อ uncertainty ของค่า k ดังนี้

$$U_k = \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial \Delta T_{water}} U_{\Delta T_{water}} \right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial \Delta T_{piece}} U_{\Delta T_{piece}} \right)^2}$$

คำนวณใช้ Mathcad

Left screenshot: $k_x := \frac{m_{water} \cdot c_p \cdot T_{water}}{T_x \cdot \frac{Area}{L_{steel}}}$, $U_{T_w} := 0.5C$ (95%), $U_{T_x} := 0.5C$ (95%).
 $U_k := \sqrt{\left(\frac{d}{dT_{water}} \frac{m_{water} \cdot c_p \cdot T_{water}}{T_x \cdot \frac{Area}{L_{steel}}} \cdot U_{T_w} \right)^2 + \left(\frac{d}{dT_x} \frac{m_{water} \cdot c_p \cdot T_{water}}{T_x \cdot \frac{Area}{L_{steel}}} \cdot U_{T_x} \right)^2}$
 $U_k = 111.081 \frac{W}{m \cdot C}$ (95%)

Right screenshot: $U_{T_w} := 0.C$ (95%), $U_{T_x} := 0.1C$ (95%).
 $U_k := \sqrt{\left(\frac{d}{dT_{water}} \frac{m_{water} \cdot c_p \cdot T_{water}}{T_x \cdot \frac{Area}{L_{steel}}} \cdot U_{T_w} \right)^2 + \left(\frac{d}{dT_x} \frac{m_{water} \cdot c_p \cdot T_{water}}{T_x \cdot \frac{Area}{L_{steel}}} \cdot U_{T_x} \right)^2}$
 $U_k = 15.709 \frac{W}{m \cdot C}$ (95%)

***** จะเห็นได้ว่าต้องเตรียมเครื่องมือการวัดอุณหภูมิให้ได้ +/-0.1 C

จากตำราเรียน Heat Transfer หรือ google.com วัสดุต่าง ๆ มีค่า Thermal conductivity ดังต่อไปนี้

อลูมิเนียม 200 W/m.K

ทองแดง 386 W/m.K

เหล็กเหนียว

41.8 W/m.K

เหล็กกล้าไร้สนิม 29.8 W/m.K

อุปกรณ์การทดลอง

จากรูปที่ 2 เป็นชุดจับชิ้นงานทดสอบประกอบด้วยส่วนบนเป็นแท่งทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 25 mm. ทำด้วยทองแดงฝังด้วย heater เพื่อให้ความร้อน กับชิ้นงาน ส่วนล่างสุดเป็นตัวรับความร้อนที่ส่งผ่าน จากชิ้นทดสอบทำด้วยแท่งทองแดง ที่มีรูให้น้ำหล่อเย็นไหลผ่าน เพื่อวัดปริมาณความร้อนไหลผ่านชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบทั้งหมดมี 4 ชิ้น สองชิ้นยาวทำด้วยทองแดง (copper) และอลูมิเนียม (aluminum) ส่วนสองชิ้นสั้นทำด้วยเหล็กเหนียว (mild steel, M S) และเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel, S S) ผิวหน้าของ Thermal ปลายชิ้นทดสอบจะได้รับการห่อหุ้มไว้อย่างดี และต้องระมัดระวังมิให้เกิดความเสียหายในระหว่างการทดสอบและ

ทดลองเสร็จ ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมีรูเจาะไว้สำหรับเสียบเทอร์โมคัปเปิล เพื่อวัดอุณหภูมิในการทดลองแต่ละ 2 รู และแต่ละรูจะมีขนาดไม่เท่ากันบนชิ้นทดสอบแท่งเดียวกัน

ชุด heater จะมีความต้านทาน 442 โอห์ม และสามารถตั้งอุณหภูมิที่ thermostat เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป ปรับวัตต์ของ heater ด้วย variac ที่แสดงขีดตัวเลข หาค่าโวลต์ได้ด้วยการคูณด้วยสอง

การวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งบนชิ้นทดสอบใช้ เทอร์โมคัปเปิลเป็นชนิด K chromel (สีเหลือง) alumel (สีแดง) หรือ T (copper (สีน้ำเงิน) Constantan1 (สีแดง) ต่อเข้า selector switch เลือกได้ 4 จุด และออกมา 1 จุด เข้า digital temperature indicator ส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำเข้าและออกใช้เทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว

วิธีทดลอง

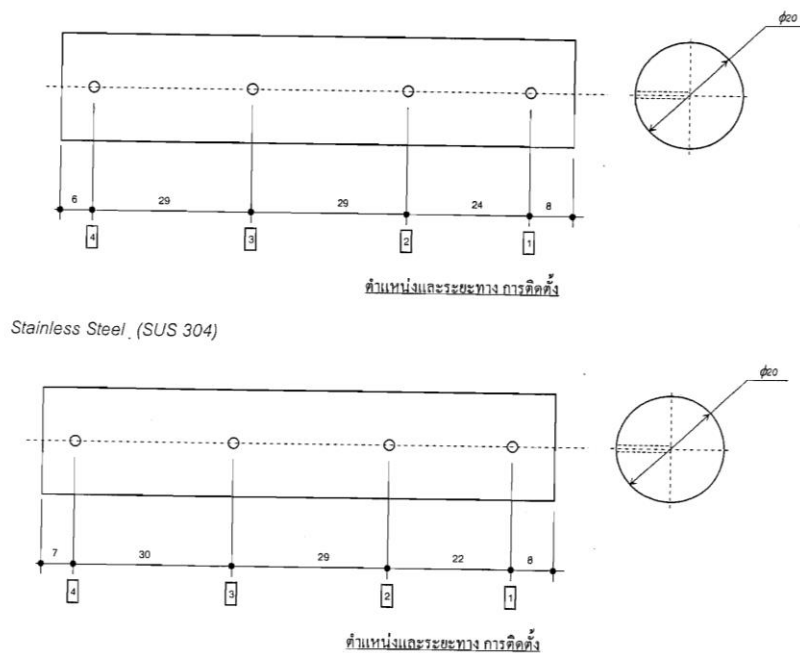
การทดลองสามารถทำได้ครั้งละสองชิ้น โดยจับยึดชิ้นทดสอบ แท่งสั้นและยาวมาต่อพร้อมกันสองชิ้น จัดชิ้นงานให้อยู่แนวเดียวกัน ตำแหน่งรูอยู่ด้านเดียวกัน และผิวสัมผัสระหว่างรอยต่อของชิ้นงานกับตัวให้ความร้อนกับตัวรับความร้อน ต้องแนบกันสนิท หรือใช้ครีมีที่มี

การนำความร้อนได้ดีที่ระหว่างรอยต่อเพื่อความร้อน จะถ่ายเทจาก heater ไปให้น้ำหล่อเย็นได้ดี หรือลด heat resistance

เสียบปลายเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปในรูเสียบให้ลึกที่สุด และครบทั้ง 4 ตำแหน่ง

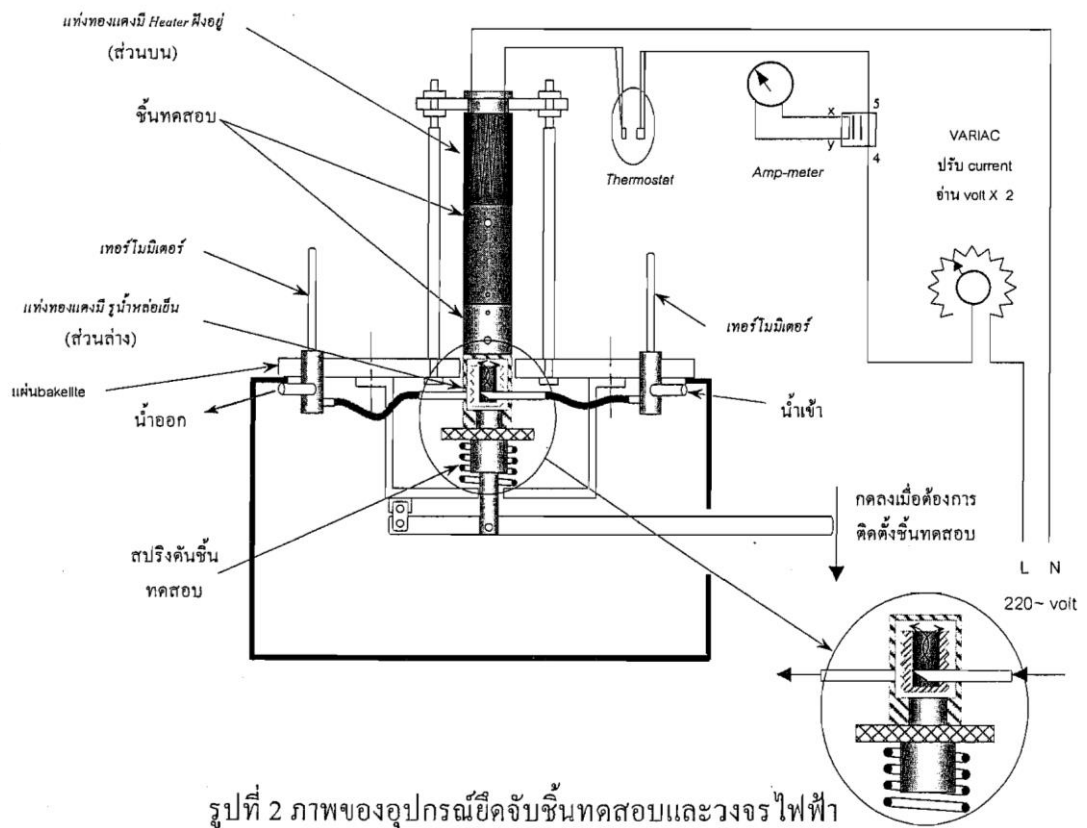
ครอบชุดทดสอบด้วยกระติกน้ำ ทำด้วยแก้วสองชั้นระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศ (Vacuum flask) เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียด้านข้าง

ตั้งค่ากระแสป้อนเข้า heater ไม่เกิน 0.3 แอมแปร์ โดยการปรับที่ปุ่มบิด variac ซึ่งจะมีขีดบอกเป็นตัวเลข ให้คูณด้วยสองจะเป็นค่าของโวลเตจที่ป้อนให้ heater ต่อ digital temperature indicator จาก terminal ที่แผงด้านหน้า แล้วอ่านค่าและบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากการบิด selector witch และเวลาเพื่อหาจุดที่ steady state หลังจากหาได้แล้วให้วัดน้ำที่ไหลผ่านด้วยกระบอกตวงและจับเวลา ให้เรียงอุณหภูมิจากต่ำไปสูงก็จะทราบอุณหภูมิสูงต่ำของชั้นทดสอบ แล้วนำไปคำนวณหาค่า k , thermal conductivity



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการเจาะรูบนชั้นทดสอบ

Grade	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Coefficient of Thermal Expansion ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)			Thermal Conductivity (W/m.K)		Specific Heat 0- 100°C (J/kg.K)	Electrical Resistivity ($n\Omega\cdot\text{m}$)
			0-100°C	0-315°C	0-538°C	at 100°C	at 500°C		
304/L/H	8000	193	17.2	17.8	18.4	16.2	21.5	500	720



ตารางเก็บข้อมูล

Group..... [] Monday [] Tuesday [] Friday

Date..... Voltage =+/-..... V. Current = +/-.....amp.

Temperature Indicator Uncertainty = +/-..... °C

	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ				Water temp.	
Time	X1	X2	X3	X4	T_{in}	T_{out}
:						
เก็บไปเรื่อง ๆ จนถึง steady state						

• ทา Steady state Flow rate:- cc. time = S

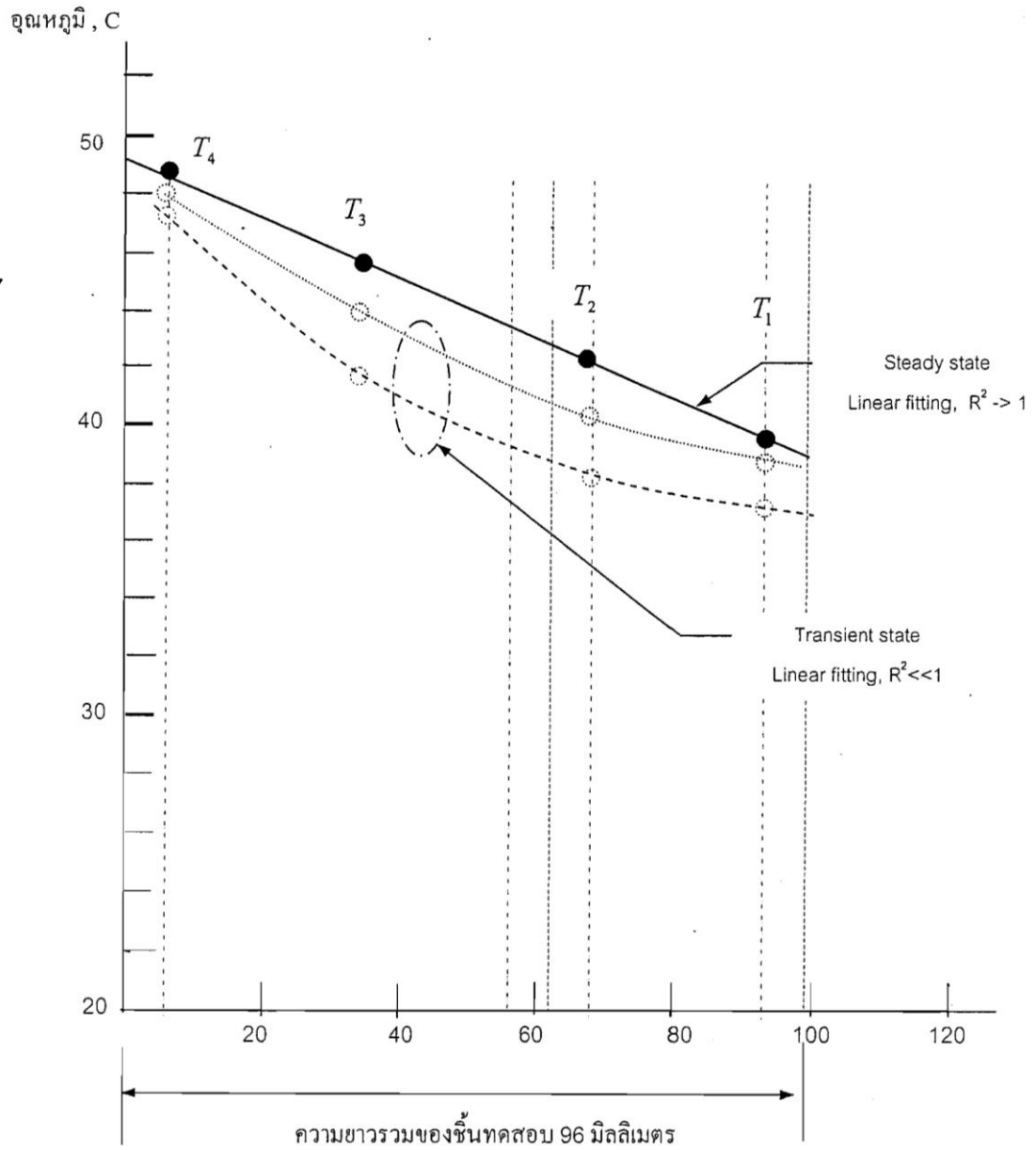
ตรวจสอบ heat balance, Heater power =W, Heat from cooling water =°C

เมื่อ $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$ (จากรูปที่ 3)

ผลกรคำนวณ

Material	L	T_h	T_c	K, thermal conductivity (W/mK)*
				+/-
				+/-

$$* k = \frac{m C_p (T_o - T_i) / t}{A(T_h - T_o) / L}$$



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าความลาดชันของอุณหภูมิในชิ้นทดสอบ

