บทที่ 2

การพัฒนาเครื่องมือและผลการทดลอง

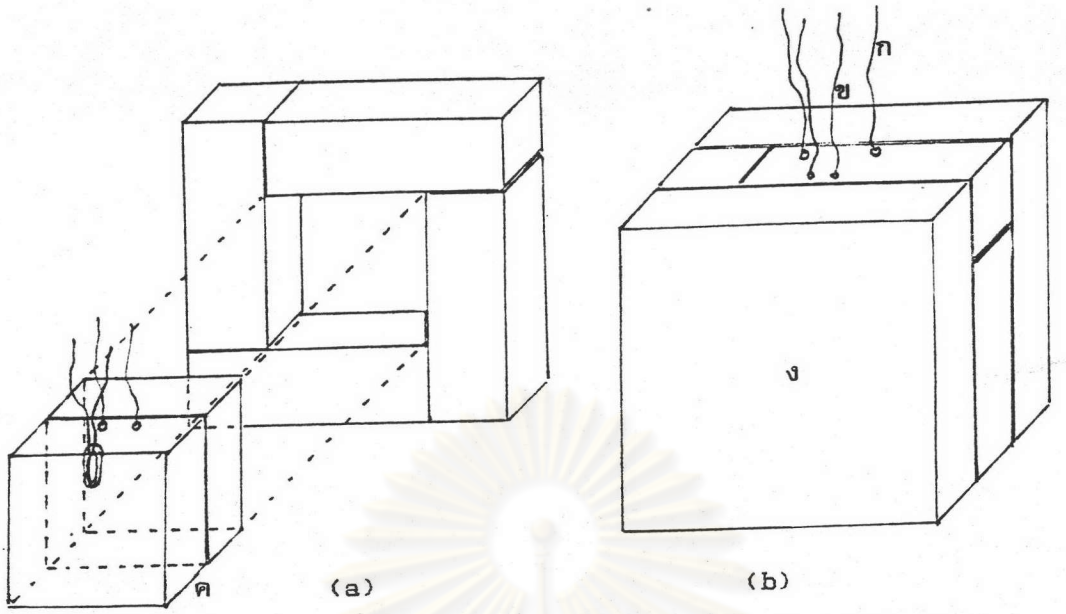
ในการวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องมือง่าย ๆ ขึ้นมาหลายแบบ เพื่อวัดสภาพนำความร้อนของสาร เครื่องมือแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน ทั้งลักษณะและทฤษฎีที่มาประยุกต์ใช้ แต่เหมือนกันตรงที่ไม่ใช้การปั๊มสุญญากาศ พบว่าผลการทดลองที่ได้มามีความเที่ยงตรงใกล้เคียงกันพอสมควรมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 % ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องมือแบบที่หนึ่ง

การทดลองแบบที่หนึ่งนี้เป็นการวัดพลาสติก PMMA หรือ (Poly (methyl-metha crylate)) โดยใช้หลักการของการส่งผ่านความร้อน (Heat transfer) เริ่มด้วยการนำแผ่น PMMA มาสร้างเป็นกล่องลูกบาศก์ ขนาดกว้าง 4 ซ.ม. ยาว 4 ซ.ม. ข้างในเป็นโพรงและบรรจุเครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) ไว้ในโพรงตรงกลางนั้น ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ความร้อนจากเครื่องกำเนิดความร้อนถูกส่งผ่าน PMMA ทั้งหมด เมื่อเราทราบปริมาณความร้อนที่ผ่าน PMMA เราก็สามารถหาค่า K ของ PMMA ได้

2.1.1 ตัวกล่องลูกบาศก์ PMMA

ตัดแผ่น PMMA ซึ่งหนา 1 ซ.ม. ให้มีขนาดกว้าง 4 ซ.ม. ยาว 4 ซ.ม.จำนวน 2 แผ่น และขนาดกว้าง 2 ซ.ม. ยาว 3 ซ.ม. จำนวน 4 แผ่น แต่งขอบให้เรียบและได้ฉากทุกมุม เสร็จแล้วนำแผ่นเล็ก 4 แผ่น มาประกอบกันดังรูป 2.1 a ช่องว่างตรงกลางจะมีขนาดพอดีกับเครื่องกำเนิดความร้อน (ค) ต่อจากนั้นใช้เมทธีลีนคลอไรด์ (Methylene Chloride, CH_2Cl_2) เชื่อมแผ่น PMMA ให้ติดกัน เสร็จแล้วเจาะรูขนาด 0.05 ซ.ม. สี่รูที่ด้านใดด้านหนึ่งบนแผ่น PMMA สองรู สำหรับสอดสายไฟที่ต่อจากเทอร์มิสเตอร์ อีกสองรู สำหรับสอดสายไฟที่ต่อกับลวดนิโครม



รูป 2.1 (a) แสดงการบรรจุเครื่องกำเนิดความร้อนเข้าในกล่อง

(b) กล่องลูกบาศก์ PMMA หลังจากประกอบเรียบร้อยแล้ว

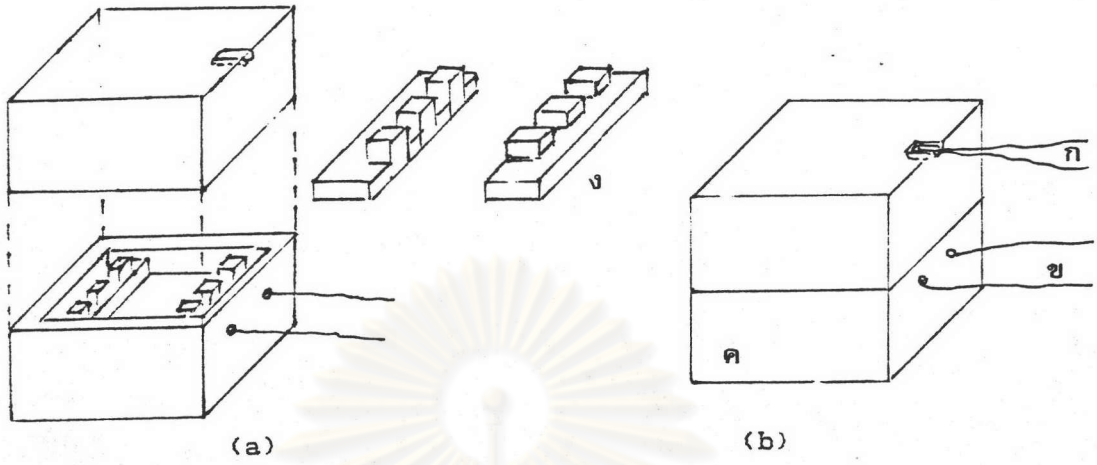
ก. สายไฟที่ต่อกับลวดนิโครมในเครื่องกำเนิดความร้อน ข. สายไฟที่ต่อกับเทอร์มิสเตอร์ ค. เครื่องกำเนิดความร้อนที่บรรจุอยู่ในกล่อง ง. วัสดุ PMMA ที่ต้องการทราบค่า K

เมื่อเสร็จแล้วนำเครื่องกำเนิดความร้อนมาใส่ โดยทาซิลิโคลนชนิดนำความร้อน (Silicone heat sink compound) แต่ไม่นำไฟฟ้าทาให้ทั่วผิวเครื่องกำเนิดความร้อน เพื่อป้องกันไม่ให้มีช่องอากาศระหว่างผิวเครื่องกำเนิดความร้อน และผิวภายในช่องกลางของกล่อง เมื่อใส่เครื่องกำเนิดความร้อนเข้าไปในช่องกลางของกล่องตามรูป 2.1 a เรียบร้อยแล้วจึงนำแผ่น PMMA ที่เหลือขนาดกว้าง 4 ซ.ม. ยาว 4 ซ.ม. มาประกบปิดด้านหน้า-หลัง ทั้งสองข้าง ให้เป็นลักษณะกล่องลูกบาศก์ จากนั้นใช้เมททีลีนคลอไรด์เชื่อมให้ติดสนิทดังรูป 2.1 b

2.1.2 <u>เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater)</u>

นำแผ่นอลูมิเนียมหนา 1 ซ.ม.มาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 2 ซ.ม. ยาว 2 ซ.ม. จำนวน 2 ชิ้น จากนั้นนำหนึ่งในสองชิ้นนั้นไปเจาะตรงกลางขนาดกว้าง 1.5 ซ.ม. ยาว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



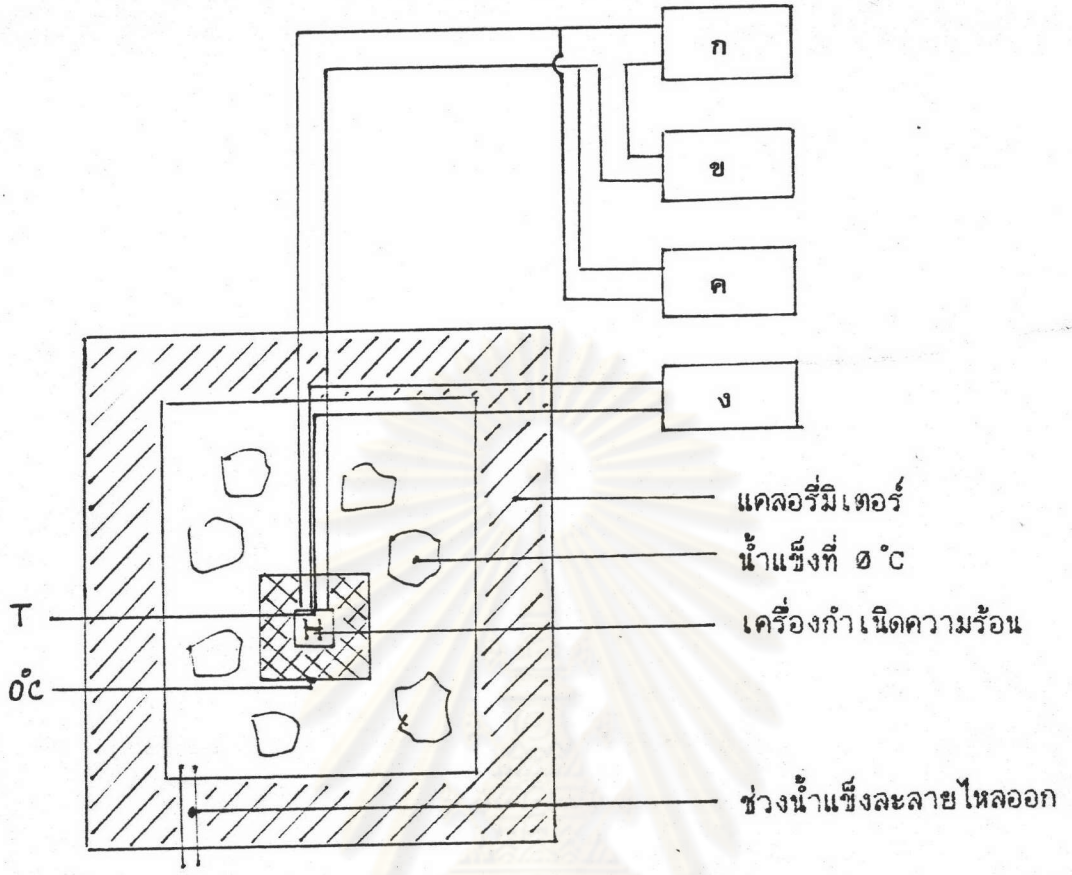
รูป 2.2 (a) แสดงการประกอบเครื่องกำเนิดความร้อนและส่วนของเบคเคลไลท์
(b) เครื่องกำเนิดความร้อนเมื่อประกอบเสร็จ

ก. เทอร์มิสเตอร์ ข. สายไฟที่ต่อกับลวดนิโครมภายในเครื่องกำเนิดความร้อน
ค. ตัวเครื่องกำเนิดความร้อนเป็นอลูมิเนียมทั้งหมด ง. เบคเคลไลท์

1.5 ซ.ม. ลึก 0.4 ซ.ม. แล้วตัดเบคเคลไลท์ ชิ้นเล็กเจาะร่องหลายร่องติดเข้าไปในช่องกลางของแผ่นอลูมิเนียมที่เจาะไว้แล้วดังรูป 2.2 (a) ต่อจากนั้นนำลวดนิโครมที่มีความต้านทานสูงพันคล้องกับร่องเบคเคลไลท์ที่เจาะไว้ แล้วต่อกับสายไฟออกมาด้านนอก ส่วนอลูมิเนียมอีกแผ่นใช้เครื่องกลึงเจาะเป็นร่องเล็ก ขนาดกว้าง 0.2 ซ.ม. ยาว 0.4 ซ.ม. ลึก 0.1 ซ.ม. เพื่อใส่เทอร์มิสเตอร์ เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยก็ประกบอลูมิเนียม 2 ชิ้นเข้าด้วยกันดังรูป 2.2 b

2.1.3 <u>การเตรียมการก่อนการทดลอง</u>

เมื่อประกอบกล่อง PMMA ดังรูป 2.1 b เสร็จแล้ว ให้ตรวจสอบจนแน่ใจว่าไม่มีรอยที่จะให้ความร้อนรั่วออกมาได้ จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงนำมาทดลองโดยจัดเครื่องมือดังรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงการเตรียมการทดลองแบบที่หนึ่ง

ก. เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (Regulator)

ข. เครื่องวัดจำนวนกระแสไฟฟ้า (Ammeter)

ค. เครื่องวัดความต่างศักย์ (Voltmeter)

ง. เครื่องวัดความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

2.1.4 การทดลองและผลการทดลอง

เมื่อจัดเครื่องมือดังรูป 2.3 แล้ว จึงเริ่มการทดลองโดยปล่อยกระแสไฟฟ้า (I) เข้าไปในขดลวดความร้อน H โดยปรับค่ากระแสและความต่างศักย์(V) จากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้คงที่เสมอ เครื่องกำเนิดความร้อนจะทำให้เกิดพลังงานความร้อน Q'' มีค่าเท่ากับ IV

หลังจากนั้นทิ้งไว้กระทั่งอุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงตัว จึงบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า,

ความต่างศักย์และอุณหภูมิลงในตาราง ต่อจากนั้นจึงเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจนกระแสเพิ่มขึ้น ครั้งละ 0.1 แอมแปร์ การทดลองแต่ละครั้งจะทำขั้นตอนเหมือนเดิม ซึ่งผลการทดลองแสดงในตาราง 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความร้อน $\dot{Q}''$ (วัตต์)	อุณหภูมิ T (°C)
0.40	0.846	0.337	3.65
0.50	1.052	0.526	5.80
0.60	1.309	0.785	8.21
0.70	1.469	1.028	11.24
0.80	1.680	1.344	14.66
0.90	1.888	1.699	18.57
1.00	2.080	2.080	22.63
1.10	2.280	2.508	28.14

ตารางที่ 2.2 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความร้อน $\dot{Q}''$ (วัตต์)	อุณหภูมิ T (°C)
0.30	0.623	0.187	1.98
0.40	0.852	0.341	4.02
0.50	1.064	0.532	5.85
0.60	1.319	0.791	8.45
0.70	1.475	1.033	11.12
0.80	1.688	1.350	14.68
0.90	1.897	1.707	18.60
1.00	2.060	2.060	22.24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความร้อน Q'' เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากเครื่องกำเนิดความร้อน แต่ความร้อนที่ไหลออกจากแหล่งกำเนิดความร้อน สามารถไหลออกมาได้สองทางคือ ส่วนหนึ่งผ่านวัสดุ PMMA อีกส่วนหนึ่งผ่านทางเส้นลวดทองแดง ส่วนที่ไหลผ่านเส้นลวด ถือเป็นความร้อนที่เสียไป ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

จาก $Q' = K A \Delta T / L$ (2.1)

เมื่อ Q' = ความร้อนที่สูญเสียทางเส้นลวดทองแดง

K = ค่าสภาพการนำความร้อนของทองแดง

A = พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายลวดทั้งสอง

L = ความยาวของเส้นลวด

ในการทดลองครั้งนี้ ใช้ลวดทองแดง 4 เส้น เพื่อใช้ต่อกับลวดนิโครม และเทอร์มิสเตอร์ สองเส้นแรกยาว 1.0 ซ.ม. พื้นที่หน้าตัด 1.78×10^{-4} ซ.ม.^{2} และอีกสองเส้นยาว 1.0 ซ.ม. พื้นที่หน้าตัด 7.06×10^{-4} ซ.ม.^{2} ถ้า K ของทองแดงมีค่าเป็น 0.92 วัตต์/ซ.ม. °C จะหาความร้อนที่สูญเสียไปกับลวดตัวนำได้ดังนี้

$$Q' = 2\,[KA_1(T-0)/L_1 + KA_2(T-0)/L_2]$$

$$= 2\,T\,[(0.92 \times 1.78 \times 10^{-4})/1.0 + (0.92 \times 7.06 \times 10^{-4})/1.0]$$

$$= 0.00163\,T$$

$\therefore\ Q' = 0.00163\,T$ วัตต์ (2.2)

ดังนั้นความร้อนที่สูญเสียไปจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ เมื่อนำไปหักออกจากความร้อน Q'' จะได้ความร้อนที่ผ่าน PMMA จริง Q ซึ่ง Q มีค่าเท่ากับ $Q'' - 0.00163\,T$ ดังแสดงในตาราง 2.3 และ 2.4

ตาราง 2.3 แสดงค่าความร้อนที่ไหลผ่าน PMMA ครั้งที่ 1

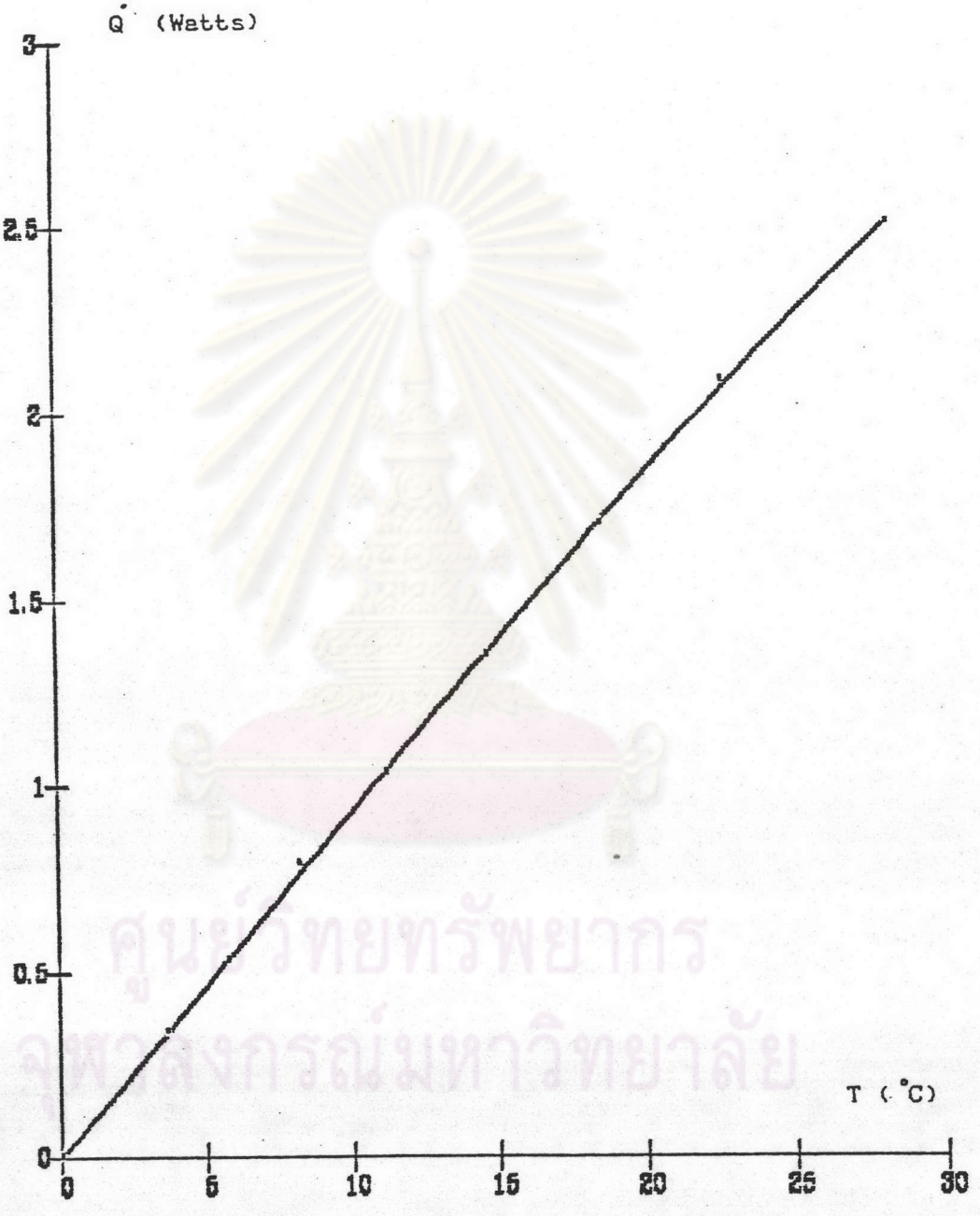
ความร้อน Q˚ (วัตต์)	อุณหภูมิ (T) (˚C)	Ø.ØØ163 T	ความร้อนจริง Q˚ (วัตต์)
Ø.337	3.65	Ø.ØØ59	Ø.331
Ø.526	5.8Ø	Ø.ØØ94	Ø.517
Ø.785	8.21	Ø.Ø134	Ø.772
1.Ø28	11.24	Ø.Ø183	1.Ø1Ø
1.344	14.66	Ø.Ø239	1.32Ø
1.699	18.57	Ø.Ø3Ø2	1.669
2.Ø8Ø	22.63	Ø.Ø368	2.Ø43
2.5Ø8	28.14	Ø.Ø458	2.462

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความร้อนที่ไหลผ่าน PMMA ครั้งที่ 2

ความร้อน Q˚ (วัตต์)	อุณหภูมิ (T) (˚C)	Ø.ØØ163 T	ความร้อนจริง Q˚ (วัตต์)
Ø.187	1.98	Ø.ØØ32	Ø.184
Ø.341	4.Ø2	Ø.ØØ65	Ø.335
Ø.532	5.85	Ø.ØØ95	Ø.523
Ø.791	8.45	Ø.Ø137	Ø.777
1.Ø33	11.12	Ø.Ø181	1.Ø15
1.35Ø	14.68	Ø.Ø239	1.326
1.7Ø7	18.6Ø	Ø.Ø3Ø3	1.677
2.Ø6	22.24	Ø.Ø362	2.Ø24

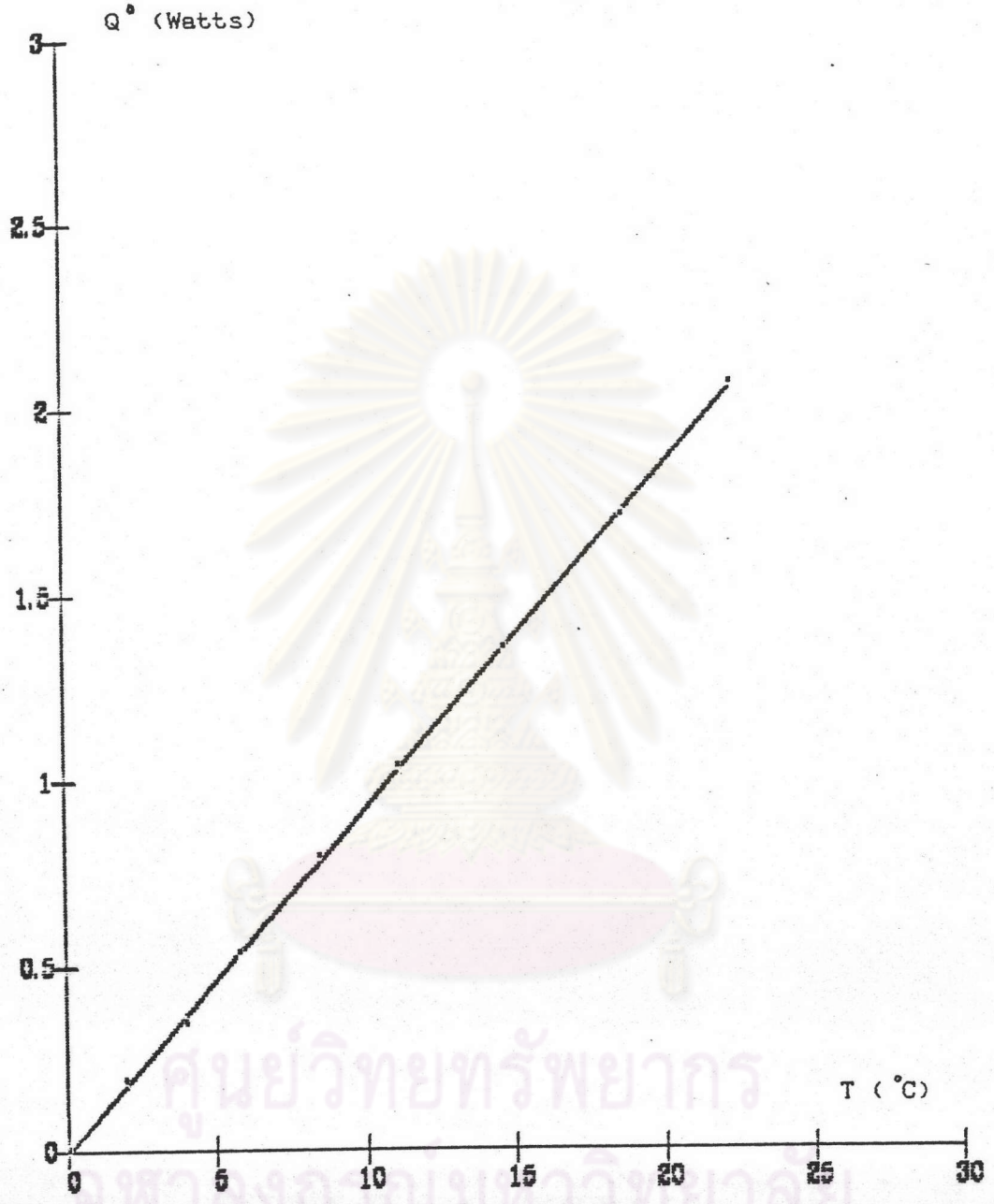
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อได้ค่าความร้อนจริง ($\dot{Q}$) แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่าง $\dot{Q}$ กับอุณหภูมิ T เพื่อหาความชัน (slope) ดังแสดงในรูป 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจริง (Q°) ที่ไหลผ่าน PMMA และอุณหภูมิในสภาวะคงตัว ครั้งที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจริง (Q°) ที่ไหลผ่าน PMMA และอุณหภูมิในสภาวะคงตัวครั้งที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำค่าความชันจากกราฟ 2.4 และ 2.5 มาคำนวณในสมการ

$$K(T) = L/6ab\ (\partial Q^{\circ} / \partial T) \qquad (2.3)$$

โดย $K(T)$ = เป็นสภาพความการนำความร้อนของ PMMA

L = เป็นความหนาของ PMMA =

a = เป็นพื้นที่ผิวเฉลี่ย 1 ใน 6 ด้านภายในโพรงกล่องลูกบาศก์ PMMA =

b = เป็นพื้นที่ผิวเฉลี่ย 1 ใน 6 ด้านภายนอกกล่องลูกบาศก์ PMMA =

$\partial Q^{\circ} / \partial T$ = เป็นค่าความชันของกราฟ 2.4 และ 2.5

ค่า $L/6ab$ = 2.07273 เมตร$^{-1}$

ตาราง 2.5 แสดงผลการคำนวณค่า K ของ PMMA จากสมการ (2.3)

ครั้งที่	ความชัน ($\partial Q^{\circ}/\partial T$)	ค่า K ของ PMMA (วัตต์/เมตร °C)	K (เฉลี่ย)
1	0.088	0.182	0.186 ± 0.003
2	0.089	0.189	

2.1.5 <u>สรุปผลการทดลองเครื่องมือแบบที่หนึ่ง</u>

จากการทดลองแบบที่หนึ่ง สามารถวัดค่า K ของ PMMA ได้ 0.186 Watt/m °C และค่า K ของ PMMA จากหนังสืออ้างอิง มีค่าเท่ากับ 0.193 Watt/m °C เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ปรากฏว่ามีความแตกต่างกันประมาณ 4 % จึงนับว่าเครื่องมือแบบที่หนึ่งนี้เป็นเครื่องมืออยู่ในเกณฑ์ที่เราต้องการ

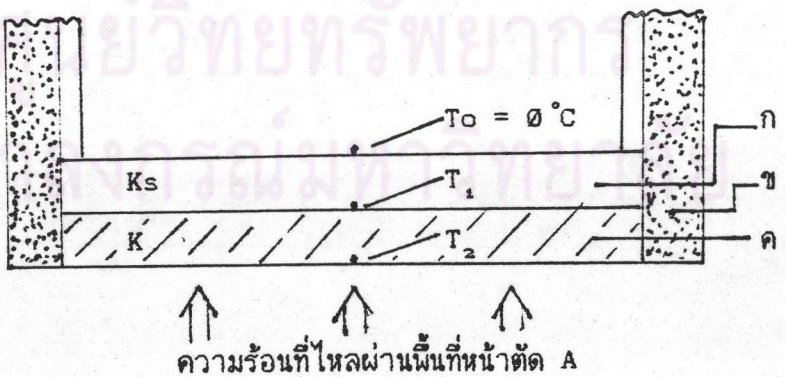
อนึ่งในการทดลองครั้งต่อไปในแบบที่สองและการปั๊มสุญญากาศจะใช้ค่า K ของ PMMA เท่ากับ 0.19 Watts/m °C ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.186 Watt/m °C กับ 0.193 Watt/m °C และเป็นค่าที่คิดว่าถูกต้องมากที่สุด

ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือแบบที่หนึ่ง

- การสร้างกล่องลูกบาศก์ PMMA ต้องไม่มีรอยรั่วไหลของความร้อน จึงควรมีการตรวจสอบอย่างดีก่อนการทดลอง
- กระทุ้งน้ำแข็งทุก ๆ 5-10 นาที เพื่อให้ผิวภายนอกกล่องมีอุณหภูมิ 0 °C ตลอดเวลา
- กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟต้องคงที่และสม่ำเสมอ
- ถ้าอุณหภูมิที่ผิวนอกไม่เป็น 0 °C กราฟของความชันจะไม่ตัดที่จุดกำเนิด (Origin)

2.2 เครื่องมือแบบที่สอง

การทดลองแบบที่สองนี้จะใช้ PMMA ที่ทราบค่า K จากเครื่องมือแบบที่ 1 มาสร้างเป็นส่วนฐานของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่ A ใส่น้ำแข็งลงไปในกล่อง PMMA ให้ผิวบนเป็น 0 °C ตลอดเวลา แล้วนำกล่อง PMMA นั้นไปวางทับแผ่นวัสดุที่ต้องการทราบค่า K ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A เท่ากัน ใช้ฉนวนความร้อนป้องกันไม่ให้ความร้อนไหลเข้าทางด้านข้าง คือให้ไหลเข้ากล่องได้เฉพาะด้านล่างที่ผ่านพื้นที่ A เท่านั้น วัดอุณหภูมิ T_1, T_2 (T_o = 0 °C) ที่บริเวณกึ่งกลางพื้นที่ A ดังแสดงดังรูป 2.6 เนื่องจากเราทราบค่า K_s เพราะเป็นฐานกล่อง PMMA เราจึงสามารถหาค่า K ได้ เมื่ออุณหภูมิ T_1, T_2 อยู่ในสภาวะคงตัว



รูป 2.6 แสดงหลักการของการทดลองแบบที่สอง

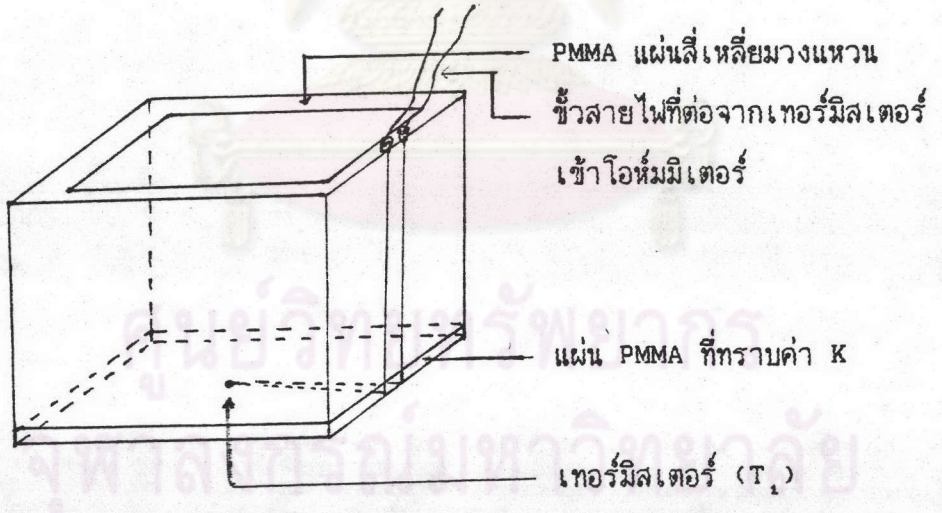
ก. ฐานกล่อง PMMA ที่ทราบค่า K

ข. ฉนวนความร้อนไมโครไฟเบอร์

ค. วัสดุตัวอย่างที่ต้องการวัดค่า K

2.2.1 กล่องพลาสติกใส PMMA

ตัวกล่องจะมีขนาดกว้าง 25 ซ.ม. ยาว 25 ซ.ม. สูง 16 ซ.ม. โดยเริ่มจากนำพลาสติกใส PMMA หนา 1.Ø35 ซ.ม. และทราบค่า K มาตัดให้ได้ขนาด 25.Ø x 25.Ø ซ.ม.พอดี ใช้เครื่องกลึงแต่งขอบให้เรียบและได้ฉากทุกมุม ต่อจากนั้นใช้แผ่นพลาสติกใสหนา Ø.5 ซ.ม.ตัดให้ได้ขนาด 16.Ø x 25.Ø ซ.ม. จำนวน 4 แผ่น จากนั้นตัดเป็นวงแหวนสี่เหลี่ยมขนาด 25.Ø x 25.Ø ซ.ม.จำนวน 1 แผ่น เพื่อไว้ยึดขอบด้านบนของตัวกล่อง เมื่อครบตามจำนวนแล้วก็ประกอบเข้ากันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมดังรูป 2.7 โดยใช้เมททีลีนคลอไรด์ เป็นตัวเชื่อม

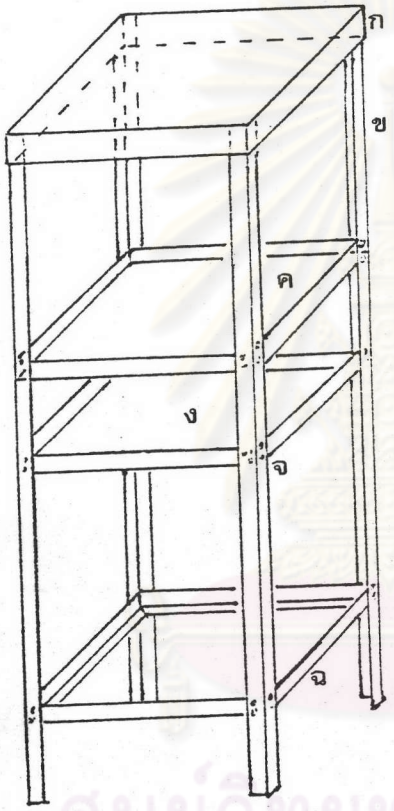


รูป 2.7 แสดงลักษณะกล่อง PMMA ขนาด 25 ซ.ม. x 25 ซ.ม. x 16 ซ.ม.

เมื่อประกอบกล่องเสร็จ ก็นำเทอร์มิสเตอร์มาฝังไว้ที่บริเวณกึ่งกลางด้านนอกของฐานกล่องแล้วต่อสายไฟเส้นเล็กขึ้นมาที่ขอบบนดังแสดงในรูป 2.7

2.2.2 โครงอลูมิเนียม

เริ่มโดยนำอลูมิเนียมฉากมาตัดเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 90 ซ.ม. 4 ท่อน ขนาดยาว 29 ซ.ม.จำนวน 16 ท่อน และนำแผ่นอลูมิเนียมชนิดบางผิวเรียบมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 29 ซ.ม. ยาว 29 ซ.ม. จำนวน 3 แผ่น เมื่อได้จำนวนอลูมิเนียมตามความต้องการแล้วจึงนำมาประกอบกันเป็นโครงอลูมิเนียมดังรูป 2.8



รูป 2.8 แสดงลักษณะของโครงอลูมิเนียม

ก. ฝาครอบทำจากกระดาษอัดใช้อลูมิเนียมฉากทำขอบเพื่อให้แข็งแรง

ข. เสาอลูมิเนียม

ค. แผ่นอลูมิเนียมบางสำหรับวางแผ่นวัสดุตัวอย่าง

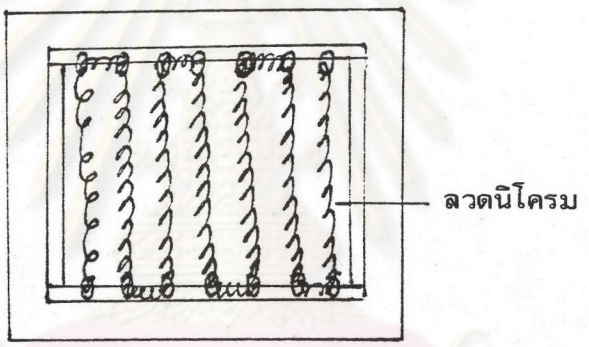
ง. ช่องสำหรับใส่ลวดนิโครมเพื่อให้กำเนิดความร้อน

จ. เจาะรูขันน็อตให้แน่นทุกตำแหน่งรอยต่อ

ฉ. คานอลูมิเนียมใส่เพื่อยึดโครงอลูมิเนียมให้มั่นคง

2.2.3 แหล่งกำเนิดความร้อน

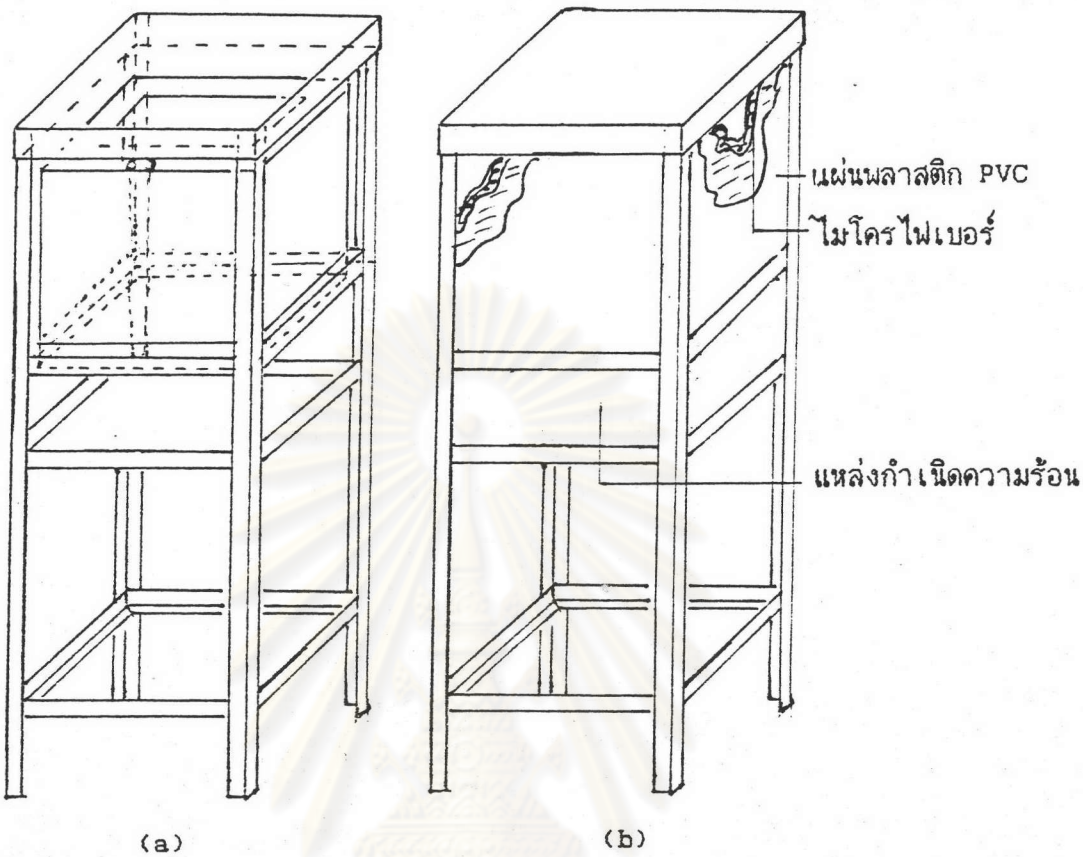
แหล่งกำเนิดความร้อน ทำจากขดลวดนิโครมธรรมดาติดไว้ที่ใต้แผ่นวัสดุตัวอย่าง ซึ่งเป็นช่องที่ออกแบบไว้แล้ว (ดูจากรูป 2.8) นำอลูมิเนียมชนิดแท่งขนาดกว้าง 1 ซ.ม. หนา 1 ซ.ม. มาตัดเป็นท่อนขนาดยาวท่อนละ 25 ซ.ม. 4 ท่อน แล้วใช้น็อตยึดติดกับแผ่นอลูมิเนียมบางที่ตัดไว้แล้วเป็นขอบรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นใช้แผ่นเบคเคลไรท์รองอีกชั้นหนึ่งเพื่อไม่ให้ลวดนิโครมสัมผัสกับขอบอลูมิเนียม คล้องลวดนิโครมไว้บนแผ่นแบคเคลไรท์สลับไปมาจนเต็มพื้นที่ดังรูป 2.9 สุดท้ายจึงต่อลวดนิโครมเข้ากับขั้วไฟฟ้าเพื่อต่อกับเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power state)



รูป 2.9 แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดความร้อน

2.2.4 ไมโครไฟเบอร์, พลาสติก, พีวีซีและโฟม

เครื่องมือนี้เราจะใช้ไมโครไฟเบอร์เป็นฉนวนกันความร้อนด้านข้าง โดยนำไมโครไฟเบอร์มาตัดเป็นแผ่นขนาดกว้าง 20 ซ.ม.ยาว 25 ซ.ม. 2 แผ่น ขนาดกว้าง 20 ซ.ม. ยาว 29 ซ.ม. 2 แผ่น ทั้ง 4 แผ่นนี้หุ้มพลาสติกโพลีเอทธิลีน (Polyethylene,PE) อีกที เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของไมโครไฟเบอร์ ต่อจากนั้นนำแผ่นพีวีซีอย่างบางมาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 21 ซ.ม. ยาว 29 ซ.ม.จำนวน 4 แผ่น เพื่อใช้ทำผนังกล่อง ทำให้ตัวกล่องแข็งแรงขึ้น ดังรูป 2.10(b)



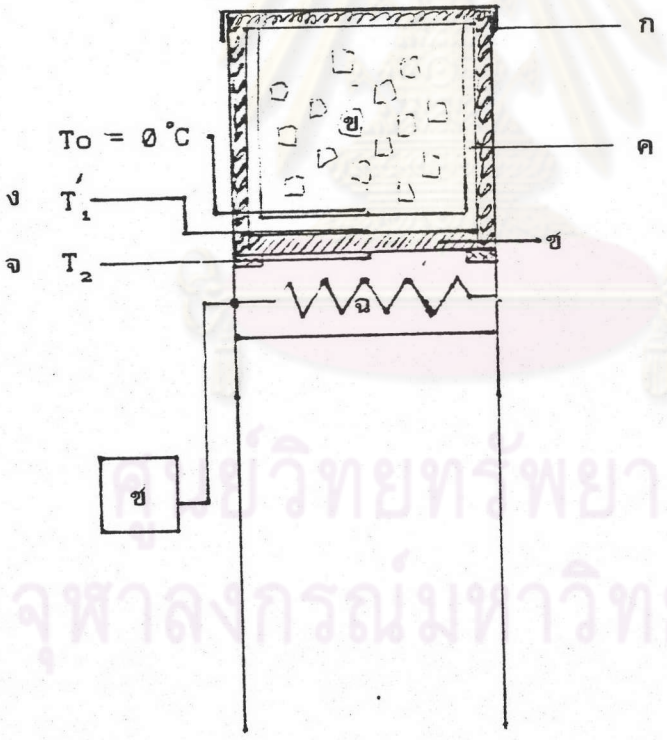
รูป 2.10 (a) การวางกล่อง PMMA ลงบนวัสดุที่ต้องการทราบค่า K
(b) แสดงการประกอบฉนวนกันความร้อน

การประกอบตัวกล่องทดลอง จะเริ่มจากการนำกล่องพลาสติกจากหัวข้อ 2.2.1 วางลงไปบนวัสดุตัวอย่างดังรูป 2.10 (a) ต่อจากนั้นก็ใช้แผ่นไมโครไฟเบอร์ปิดทั้งสี่ด้าน เสร็จแล้วจึงเสริมผนังด้านนอกด้วยแผ่นพลาสติกพีวีซีอีกครั้งดังแสดงในรูป 2.10 (b)

ส่วนช่องข้างล่างที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนนั้น ใช้ไมโครไฟเบอร์เป็นตัวป้องกันความร้อนเหมือนกัน โดยปิดด้านข้างทั้งสี่ด้านและด้านล่างเพื่อให้ความร้อนไหลขึ้นด้านบนผ่านวัสดุตัวอย่างเพียงด้านเดียว แผ่นไมโครไฟเบอร์ที่ใช้ปิดด้านข้างจะมีขนาดกว้าง 7 ซ.ม. ยาว 27 ซ.ม. 4 แผ่น และขนาดกว้าง 25 ซ.ม. ยาว 25 ซ.ม. 1 แผ่น

2.2.5 การเตรียมก่อนการทดลอง

เริ่มจากนำแผ่นวัสดุที่ต้องการทราบค่า K ซึ่งมีความหนาคงที่นำมาตัดให้มีขนาดกว้าง 25 ซ.ม.ยาว 25 ซ.ม.วางลงไปบนแผ่นอลูมิเนียมบาง ซึ่งข้างใต้อลูมิเนียมบางแผ่นนั้นจะมีเทอร์มิสเตอร์อีกตัวหนึ่ง (T_2) ทาซิลิโคลนชนิดนำความร้อนติดไว้ ต่อจากนั้นก็นำกล่อง PMMA ในหัวข้อ 2.2.1 มาวางทับวัสดุตัวอย่าง ปิดด้านข้างด้วยไมโครไฟเบอร์และพีวีซี จากนั้นตรวจสอบเทอร์มิสเตอร์ทั้งสองตัวว่าทำงานหรือเปล่า ต่อเครื่องกำเนิดความร้อนเข้ากับตัวปรับค่าความต่างศักย์ เพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าสังเกตุว่า เทอร์มิสเตอร์ T_2 เปลี่ยนตามอุณหภูมิหรือไม่ เมื่อทุกอย่างเรียบร้อยจึงใส่น้ำแข็งลงไปในกล่อง PMMA ประมาณ 3/4 ของกล่อง แล้วปิดฝาพร้อมบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของ T_1' และ T_2



รูป 2.11 แสดงการเตรียมเครื่องมือทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. ฉนวนความร้อนไมโครไฟเบอร์

ข. น้ำแข็ง

ค. กล่อง PMMA

ง. เทอร์มิสเตอร์ T_1'

จ. เทอร์มิสเตอร์ T_2

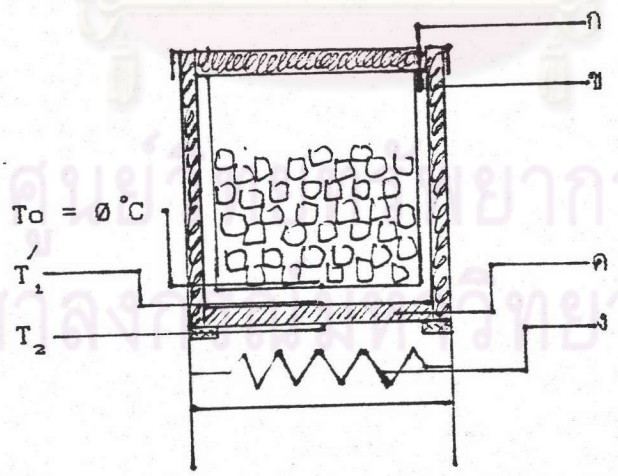
ฉ. ลวดนิโครม

ช. ตัวปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ซ วัสดุตัวอย่าง

2.2.6 <u>การทดสอบเครื่องมือและผลการทดลอง</u>

เนื่องจากเราไม่แน่ใจว่าเครื่องมือนี้จะมีความเที่ยงตรงอยู่ในขอบเขตที่ต้องการหรือไม่ จึงมีการทดสอบเครื่องโดยใช้ PMMA ที่ตัดมาจากแผ่นเดียวกันกับฐานกล่อง และมีความหนาเท่ากัน กว้าง 25 ซ.ม.ยาว 25 ซ.ม.เท่ากัน นำ PMMA แผ่นทดสอบมาเตรียมการทดลองดังหัวข้อ 2.2.5 หลังจากใส่น้ำแข็งและปิดฝาแล้วบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น ปรับค่าความต่างศักย์ให้เหมาะสม ทิ้งไว้จนกว่าอุณหภูมิจะถึงสภาวะคงตัว



รูป 2.12 แสดงการทดลองเพื่อทดสอบเครื่องมือ

ก. กล่อง PMMA ที่สร้างตามหัวข้อ 2.2.1

ข. ไมโครไฟเบอร์

ค. แผ่น PMMA ที่ใช้แทนวัสดุตัวอย่าง

ง. ลวดให้ความร้อน

To อุณหภูมิที่ผิวด้านในกล่อง (Ø °C)

T_1', T_2 อุณหภูมิระหว่างแผ่นทดสอบ

เมื่อถึงสภาวะคงตัวแล้ว บันทึกอุณหภูมิ T_1', T_2 หลังจากนั้นเปลี่ยนค่าความต่างศักย์อีกครั้ง จะทำให้ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุเปลี่ยนซึ่งจะได้ค่า T_1', T_2 ที่สภาวะคงตัวอีกค่าหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิ T_1', T_2 ได้แล้วนำมาคำนวณจากสมการ

$$K_m A_m (T_1' - To)/L_m = KA (T_2 - T_1')/L \qquad (2.2.1)$$

เนื่องจาก To = Ø, $A_m = A$ และ $L_m = L$ สมการข้างบนจะกลายเป็น

$$K = K_m \{T_1'/(T_2 - T_1')\} \qquad (2.2.2)$$

โดยที่ K_m เป็นค่าสภาพการนำความร้อนของฐานกล่อง PMMA

K เป็นค่าสภาพการนำความร้อนของ PMMA แผ่นเดียวกัน

เนื่องจาก $K = K_m$ จากสมการ (2.2.2) จะได้

$$T_1' = T_2 - T_1' \qquad (2.2.3)$$

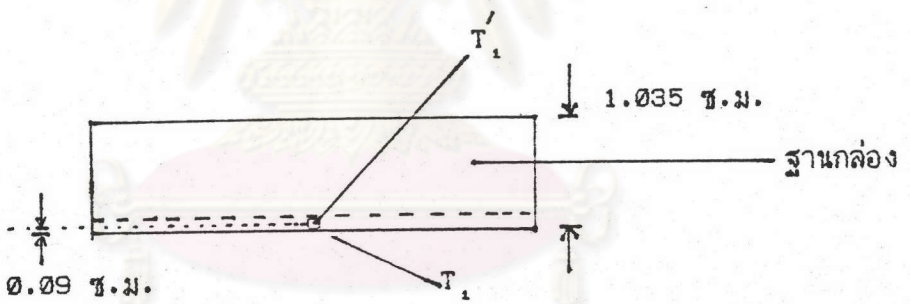
ผลการทดลองแสดงในตาราง 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.6 แสดงผลการทดลองของเครื่องมือแบบที่ 2

ความต่างศักย์ (โวลต์)	T_1' (°C)	T_2 (°C)	T_2-T_1' (°C)
9Ø	15.7	34.6	18.9
8Ø	12.52	27.66	18.8

จากตาราง 2.6 จะเห็นได้ว่า $T_1' \neq T_2-T_1'$ ซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนของการทดลอง จากการพิจารณาโครงสร้างของเครื่องมือพบว่าเทอร์มิสเตอร์ T_1' ฝังลึกเข้าไปในแผ่นพลาสติกมาตรฐาน อาจไม่ได้อ่านอุณหภูมิที่แท้จริงที่ผิวของแผ่นทั้งสองได้ ในการสร้างเครื่องมือเทอร์มิสเตอร์ T_1' มีจุดกึ่งกลางห่างจากผิวล่างของแผ่นพลาสติกมาตรฐาน Ø.9 ม.ม. ดังแสดงในรูป 2.13



รูป 2.13 แสดงการฝังเทอร์มิสเตอร์ไว้กับฐานกล่อง

เราถือว่าอุณหภูมิ T_1' เป็นอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางความหนา Ø.18 ซ.ม. ดังนั้นอุณหภูมิที่ผิวล่างอาจหาได้จาก

$$T_1 = \{T_1'/(1.Ø35-Ø.Ø9)\} \times 1.Ø35$$
$$= 1.Ø95\ T_1'$$

และสมการ (2.2.1) จะกลายเป็น

$$K_{\circ}A_{\circ}(T_1-To)/L_{\circ} = KA\,(T_2-T_1)/L \qquad (2.2.4)$$

หรือ
$$K = K_{\circ}\,T_1/(T_2-T_1) \quad (To = \emptyset) \qquad (2.2.5)$$

จากการแก้ไขจะได้ผลการทดลองที่ดีขึ้นกว่าเดิม

ตาราง 2.7 แสดงผลการทดลองของเครื่องมือแบบที่ 2 ภายหลังแก้ข้อผิดพลาดแล้ว

ความต่างศักย์(โวลต์)	T_1	T_2	T_2-T_1	$K/K_{\circ}$	$(K-K_{\circ})/K_{\circ}x100$
90	17.2	34.6	17.4	0.99	-1.1
80	13.71	27.66	13.95	0.98	-1.7

จากผลการทดสอบ จะเห็นว่าเครื่องมือแบบที่สองนี้มีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในขอบเขตที่เราต้องการ ต่อไปจะทดสอบเครื่องอีกครั้ง เริ่มด้วยการนำพลาสติก PMMA และกระจกหนาประมาณ 0.5 ซ.ม.อย่างละ 3 แผ่น มาทดสอบค่า K ครั้งละ 1, 2 และ 3 แผ่น ตามลำดับ โดยมีวิธีการทดลองเหมือนเดิมทุกอย่าง เมื่ออ่านค่า T_1', T_2 ได้แล้วนำไปแทนค่าในสมการ โดยใช้ค่า $K_{\circ}$ เท่ากับ 0.19 วัตต์/เมตร °C (จากบทที่ 2)

จาก
$$T_1 = 1.095\,T_1'$$

$$K_{\circ}A_{\circ}(T_1-To)/L_{\circ} = KA\,(T_2-T_1)/L$$

เนื่องจาก $A_{\circ}$ เท่ากับ A และ $To = \emptyset$
ดังนั้นจะได้ว่า

$$K = (K_{\circ}L/L_{\circ})x\,T_1/(T_2-T_1) \qquad (2.2.6)$$

เมื่อ K เป็นสภาพการนำความร้อนของวัสดุตัวอย่าง

L เป็นความหนาของวัสดุตัวอย่าง

L_{-} เป็นความหนาของฐานกล่อง = 1.035 ซ.ม.

K_{-} เป็นสภาพการนำความร้อนของแผ่น PMMA มาตรฐาน 0.19 วัตต์/เมตร °C

จะได้ $$K = 0.184L \times T_1/(T_2-T_1) \qquad (2.2.7)$$

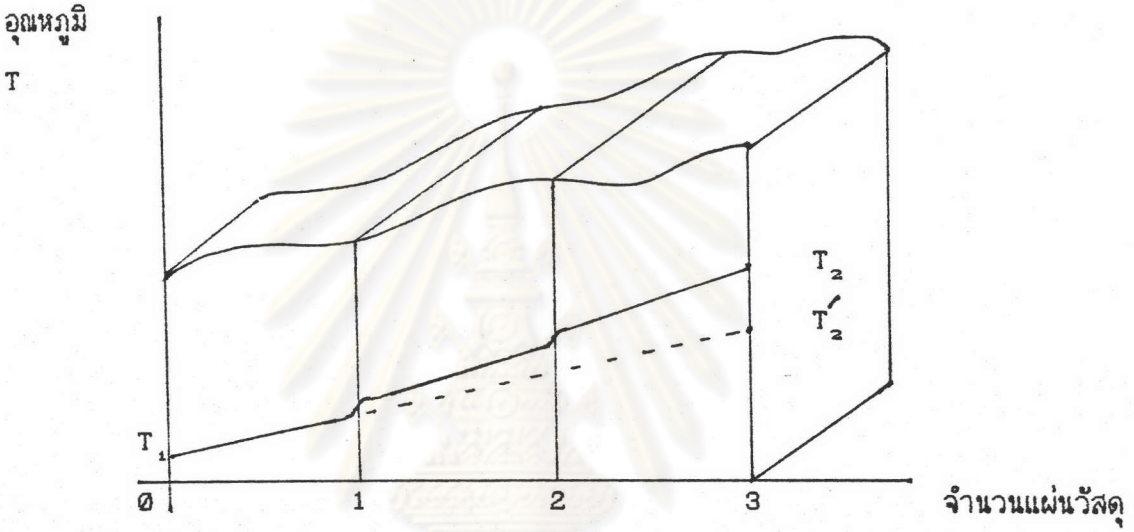
ผลการทดลองแสดงในตาราง 2.8

ตาราง 2.8 แสดงผลการทดลองวัดค่า K พลาสติก PMMA จำนวน 1, 2 และ 3 แผ่น

ชื่อสาร	จำนวน (แผ่น)	ความหนา(L) ซ.ม.	ศักย์ไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิ T_1 (°C)	อุณหภูมิ T_2 (°C)	K วัตต์/เมตร °C	K (เฉลี่ย)
PMMA	1	0.468	55	16.25	23.02	0.206	0.198 ±0.008
			60	18.32	26.49	0.193	
			65	18.91	27.15	0.196	
	2	0.915	50	13.40	24.63	0.201	0.196 ±0.005
			55	15.78	25.89	0.190	
			60	14.53	27.02	0.196	
	3	1.347	50	11.81	27.40	0.188	0.188
			55	12.71	29.51	0.188	
กระจก	1	0.575	63 V	25.27	28.16	0.925	0.924 ±0.001
			75	25.72	28.67	0.922	
	2	1.050	70	24.93	30.14	0.0925	0.907 ±0.018
			75	25.63	31.20	0.889	
	3	1.725	76	24.74	33.87	0.860	0.886 ±0.026
			78	25.69	34.64	0.911	

จากผลการทดลองในตาราง 2.8 จะสรุปผลได้ว่า

- ถึงแม้จะเปลี่ยนปริมาณความร้อนโดยเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าในขณะทดลองค่า K ของวัสดุที่ทดลองก็ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
- ค่า K แปรผกผันกับจำนวนแผ่น เนื่องมาจากการซ้อนกันระหว่างแผ่นวัสดุจะทำให้เกิดช่องว่างของอากาศ (gap) ระหว่างผิวของแผ่นวัสดุ มีผลให้อุณหภูมิที่ผิวของแผ่นสุดท้ายมากกว่าความเป็นจริง (ดูรายละเอียดในรูป 2.14)



รูป 2.14 แสดงลักษณะอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากช่องว่างของอากาศ
T_2 เป็นอุณหภูมิที่อ่านได้เนื่องจากมี gap ของอากาศ
T'_2 เป็นอุณหภูมิที่ควรจะอ่านได้ ถ้าวัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน หรือไม่มี gap ของอากาศ

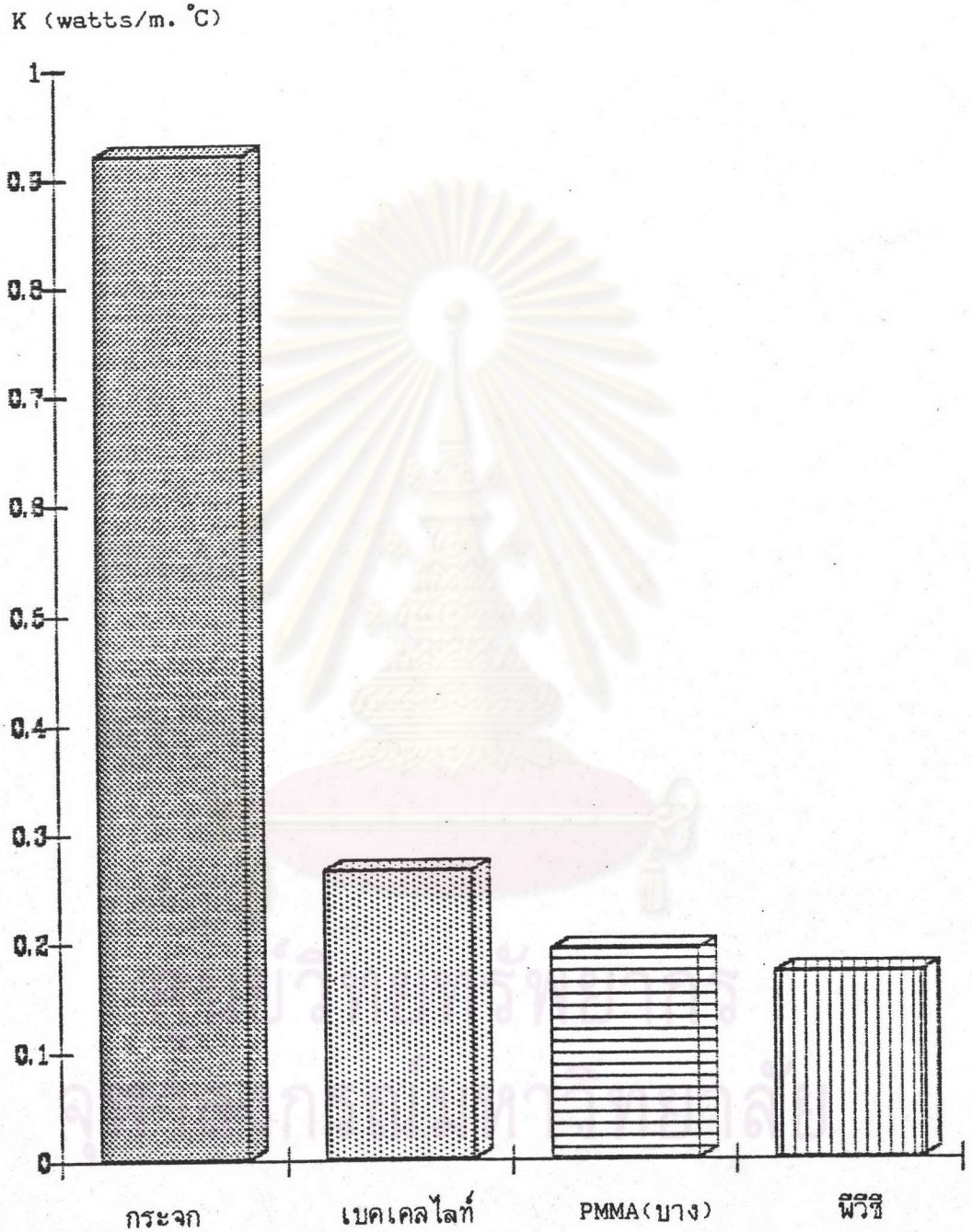
จากการทดสอบทั้งสองแบบ ทำให้เครื่องมือแบบที่สองนี้ เชื่อถือได้พอสมควร จากนั้นจึงนำเครื่องมือแบบที่สองนี้ไปใช้วัดกระจก, เบคเคลไลท์, PMMA (ความหนาอื่น ๆ) และแผ่นพีวีซี ด้วยวิธีการทดลองเหมือนกับเวลาทดสอบทุกอย่าง เมื่ออ่านค่า T_1 และ T_2 ได้แล้ว จึงนำไปแทนค่าในสมการ (2.2.7) และใช้ค่า K_- เท่ากับ Ø.19 วัตต์/เมตร °C ผลการทดลองแสดงในตาราง 2.9

ตาราง 2.9 แสดงผลการทดลองของเครื่องวัดแบบที่สอง

ชื่อสาร	อุณหภูมิ T_1 (°C)	อุณหภูมิ T_2 (°C)	ค่าสภาพการนำความร้อน, K (วัตต์/เมตร °C)	K (เฉลี่ย)
กระจก	25.27	28.16	0.923	0.92
	25.72	28.67	0.920	
เบคเคลไลท์	20.97	27.36	0.272	0.27
	20.16	26.53	0.262	
PMMA	18.32	26.49	0.193	0.195
	18.91	27.15	0.197	
พีวีซี	19.24	29.57	0.174	0.17
	16.74	25.87	0.171	

จะเห็นว่าเครื่องมือแบบที่สองนี้ สามารถนำไปใช้ได้ง่ายและสะดวกเหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาพฤติกรรมเชิงความร้อนของฉนวนความร้อน ทั้งในแง่การนำความร้อนและสังกัป (Concept) ของความต้านทานความร้อน (thermal Resistance)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.15 กราฟแสดงค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ จากตาราง 2.9