บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลอง

การทดลองในตอนที่ 1 เพื่อหาค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อน ทำการทดลองกับวัสดุ 5 ชิ้น ดังข้อมูลจากการทดลองและการคำนวณในภาคผนวก ได้ผลคือ

q_o = 3.089 บีทียูต่อชั่วโมง

c = 5.997 ตารางฟุต องศาฟาเรนไฮต์ ต่อนิ้ว

ซึ่งค่า q_o และ c นี้ได้จากการทำ Least Square ของข้อมูลตารางที่ ก-4 ตามภาคผนวก ข. และรูปที่ 4-1 เป็นรูปแสดงข้อมูลตารางที่ ก-4 และผลจากการใช้ Least Square

การทดลองในตอนที่ 2 ซึ่งเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ นั้น ได้ผลดังในตารางที่ 4-1 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือสภาพนำความร้อนแล้วแต่ความเหมาะสม และแสดงรายละเอียดของวัสดุในการทดลอง อาทิ เช่น ความหนาแน่น อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุ และแสดงเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของการทดลอง

ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดนี้ เป็นค่าที่ใช้บอกความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ควรจะทดลองได้เท่านั้น ไม่ควรใช้ในการแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้นี้เป็นค่าเฉพาะสำหรับวัสดุชิ้นที่นำมาทำการทดลองเท่านั้น

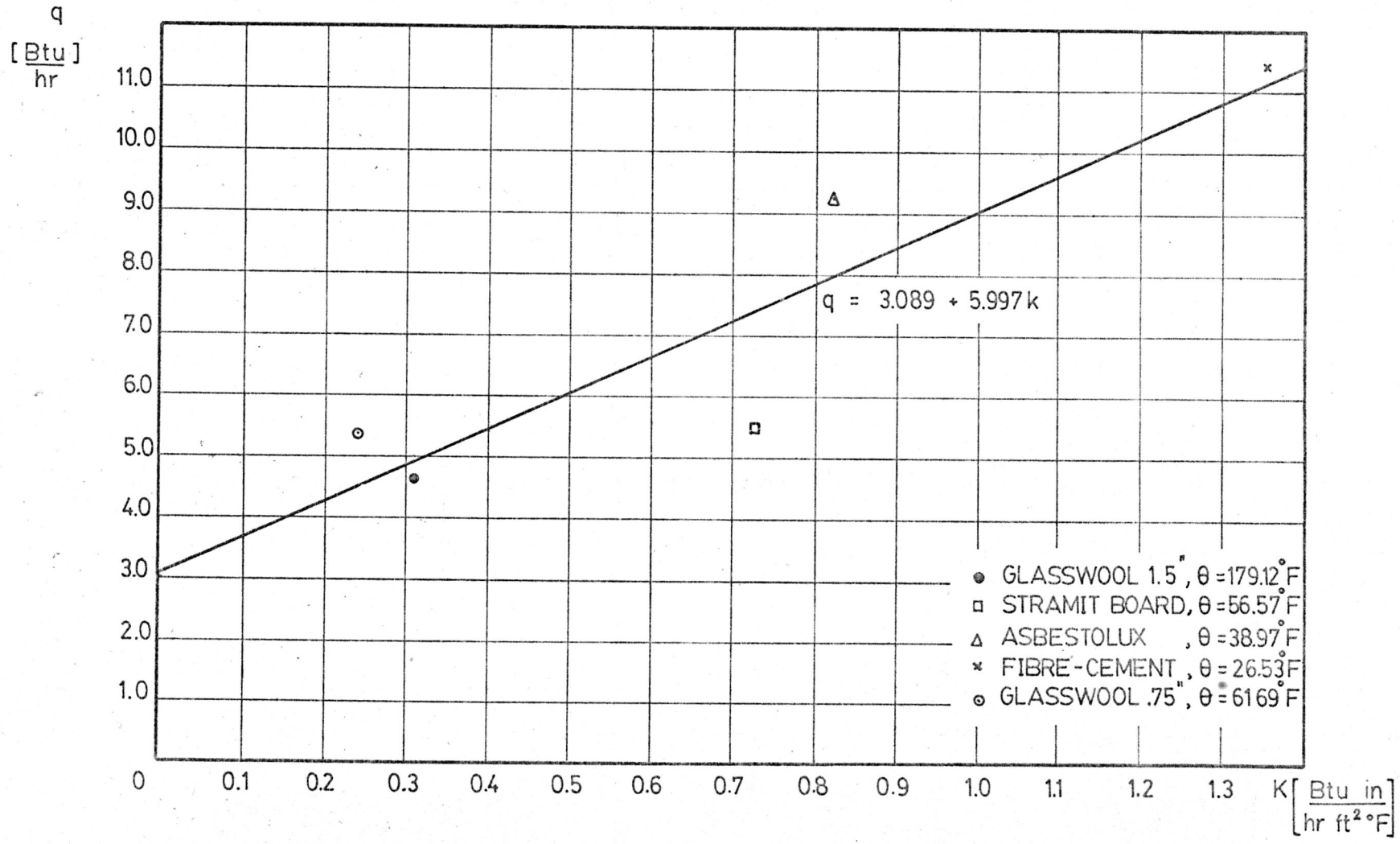

FIG. 4-1 DEPENDENCE OF TOTAL ERROR HEAT FLOW FOR A 1 °F UNBALANCE UPON CONDUCTIVITY

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ เรียงตามอันดับการทดลอง

อันดับที่	วัสดุ	ขนาดความหนา	ความหนาแน่นก่อนทดลอง $\frac{lb}{ft^3}$	ความหนาแน่นหลังทดลอง $\frac{lb}{ft^3}$	k (C)	$\frac{\Delta k}{k}$ (%)	θ	อุณภูมิเฉลี่ยของวัสดุ
1	กลาสวูล .27 lb/ft^2	1.5นิ้ว	2.16	2.16	.31	-	179.11	177.2
2	สตราบิตมบอร์ด	2 นิ้ว	26.5	-	.73	-	56.57	113.75
3	แอสเบสโทลักซ์	6ม.ม.	57.2	-	.821	-	38.97	109.5
4	กระเบื้องแผ่นเรียบตราช้าง	6ม.ม.	98.1	-	1.352	-	26.53	103.77
5	กลาสวูล .0825 lb/ft^2	.75นิ้ว	1.32	1.32	.241	-	61.69	120.24
6	Eapanded Styropor Rigid Foam	2 นิ้ว	.95	.95	.278	-	82.8	129.92
7	Eapanded Styropor Rigid Foam	2 นิ้ว	1.36	1.36	.236	-0.667	97.89	146.84
8	Eapanded Styropor Rigid Foam	2 นิ้ว	1.45	1.45	.197	.50	78.04	117.06
9	ชิปบอร์ดยาง YYINS	11ม.ม.	44.12	43.64	1.024	.258	68.21	125.5
10	ชิปบอร์ดยาง YYINS	14.5ม.ม.	41.19	40.78	1.092	0.114	80.36	132.14
11	ชิปบอร์ดยาง YYINS	17ม.ม.	46.0	45.95	1.126	- .256	82.21	133.98
12	ชิปบอร์ดยาง YYINS	20ม.ม.	41	40.74	1.051	- .426	86.36	135.4

I16082AG

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

อันดับที่	วัสดุ	ขนาดความหนา	ความหนาแน่นก่อนทดลอง $\frac{lb}{ft^3}$	ความหนาแน่นหลังทดลอง $\frac{lb}{ft^3}$	k (C)	$\frac{\varepsilon k}{k}$ (%)	θ	อุณภูมิเฉลี่ยของวัสดุ
13	ไบนาบอร์ด	15ม.ม.	13.69	13.58	(C).604	*	82.68	131.38
14	ชิปบอร์ดสัก TTINP	36ม.ม.	$3.4\frac{lb}{ft^2}$	$3.39\frac{lb}{ft^2}$	(C).779	*	93.69	138.68
15	ชิปบอร์ดยาง YYINP	36ม.ม.	$3.24\frac{lb}{ft^2}$	$3.24\frac{lb}{ft^2}$	(C).888	*	77.93	129.8
16	ฮาร์ดบอร์ดหรือวูดไฟเบอร์บอร์ด	6 ม.ม.	67.47	67.47	.803	.243	54.26	121
17	ไม้อัดสัก	15ม.ม.	43.22	42.94	(C)1.48	*	77.98	131.73
18	ไม้อัดยาง	15ม.ม.	38.01	37.95	(C)1.41	*	76.12	129.02
19	ไม้อัดบะบิน	3 ม.ม.	26.54	26.54	(C)4.28	*	35.98	109.51
20	ยิสซั่มบอร์ด	.375นิ้ว	41.32	-	1.109	.31	57.19	118.73
21	กระจกสีชา	6 ม.ม.	152.27	152.27	1.92	.4	20.84	103.46
22	กระจกใส	6 ม.ม.	155.35	155.35	2.065	.18	19.34	100.5

* ค่าความผิดพลาดของสภาพนำความร้อนไม่ได้พิสูจน์ไว้

4.2 ผลของค่าคงที่ต่อการทดลอง

ค่า q_o และ c ของแผ่นให้ความร้อนของเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้มีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับ Plate C จากการทดลองของ Woodside and Wilson[6] ซึ่งมีขนาดเท่ากัน ปรากฏว่ามีค่า q_o และ c เท่ากับ 1.84 บีทียูต่อชั่วโมง และ .68 ตร. ฟุต องศาฟาเรนไฮต์ต่อนิ้ว ตามลำดับ

การที่ค่า q_o และ c มีค่ามากนี้มีผลทำให้การควบคุมการทดลองทำได้ยากขึ้นเท่านั้น เพราะต้องควบคุมให้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างชุดให้ความร้อนชุดนอกและชุดในใกล้เคียงกันยิ่งขึ้น ไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้ โดยพิจารณาจากสมการที่ (2-12)

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{L}{A} \frac{\Delta \theta}{\theta} \left(\frac{q_o}{k} + c \right) \quad \text{.....(4-1)}$$

จะเห็นได้ว่า สำหรับวัสดุชิ้นหนึ่งนั้นความหนาและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนคงที่ แผ่นให้ความร้อนที่มีค่าคงที่มาก จะต้องควบคุมให้ $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ น้อยกว่าแผ่นให้ความร้อนที่มีค่าคงที่น้อย เมื่อต้องการให้ความผิดพลาดน้อยเท่า ๆ กัน ซึ่งการควบคุม $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ ในการวิจัยนี้ควบคุมด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าของขดลวดความร้อนด้วยมือและตรวจสอบอุณหภูมิอยู่เสมอ ดังนั้นเมื่อต้องการควบคุมให้ได้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างชุดให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด $\Delta \theta$ น้อยลง ก็ต้องอาศัยการควบคุมที่ใกล้ชิดยิ่งขึ้น ความพยายามมากขึ้น และเวลานานขึ้น หรือในการทดลองที่ใช้เครื่องมืออัตโนมัติควบคุมอุณหภูมิ เครื่องมือที่ใช้ก็ต้องมีความไวมากขึ้นนั่นเอง

ค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อนใช้คำนวณปริมาณความร้อนทั้งหมดของขดลวดความร้อนชุดในซึ่งถ่ายเทางแนวขนานกับแนวระนาบของแผ่นให้ความร้อน โดย q_o เป็นความร้อนถ่ายเทางด้านข้างจากชุดให้ความร้อนชุดในมาสู่ชุดให้ความร้อนชุดนอก เมื่ออุณหภูมิชุดในมากกว่าอุณหภูมิชุดนอก 1 องศาฟาเรนไฮต์ ดังนั้น c จึงควรจะเป็นส่วนที่ใช้คำนวณความร้อนของชุดให้ความร้อนชุดในซึ่งถ่ายเทางด้านข้างผ่านทางวัสดุที่ใช้ทดลอง

ค่า q_o นี้ขึ้นกับการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากชุดให้ความร้อนชุดในมาสู่ชุดให้ความร้อนชุดนอก ซึ่งการนำเป็นวิธีการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญที่สุด ส่วนที่เป็นตัวกลางนำความร้อนคือ อลูมิเนียมส่วนที่ยึดแผ่นอลูมิเนียมแผ่นนอกและแผ่นใน แบ็กกาไลท์ซึ่งทำหน้าที่กั้นระหว่างขดลวดให้ความร้อนชุดในและชุดนอกและแผ่นไมก้าอัดซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้น ดังนั้นการลดค่า q_o จึงทำได้โดยออกแบบให้ชุดให้ความร้อนทั้ง 2 แยกจากกันให้มากที่สุด ส่วนที่ยึดชุดให้ความร้อนทั้ง 2 ใช้วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำลง ไม่ใช้เนื้ออลูมิเนียมของแผ่นให้ความร้อนเองเป็นตัวยึดและลดความหนาของชุดให้ความร้อนลงซึ่งเป็นการลดพื้นที่ถ่ายเทความร้อนนั่นเอง

ส่วนค่า c นั้นจากการทดลองของ Woodside and Wilson[6] สรุปว่าสำหรับค่า c จะน้อยลงเมื่อช่องว่างระหว่างชุดให้ความร้อนทั้ง 2 ชุดกว้างขึ้น แต่ถ้ากว้างเกินไปจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ เพราะขนาดของพื้นที่ทดลองกำหนดยากขึ้น และได้อภิปรายไว้ว่า น่าจะขึ้นกับความหนาของวัสดุด้วย แต่ยังไม่มีการทดลองพิสูจน์

ทั้งค่า q_o และ c สามารถลดลงได้ด้วยการออกแบบ เลือกวัสดุ และสร้างอย่างพิถีพิถัน

4.3 อภิปรายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้นี้ เป็นค่าเฉพาะของวัสดุชิ้นที่นำมาทำการทดลองเท่านั้น เพราะค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดหนึ่ง ๆ อาจแตกต่างกันได้เนื่องจากสาเหตุหลายประการ คือ

1. แตกต่างกันเนื่องจากลักษณะทั่วไปของวัสดุ เช่น ความหนาแน่น เป็นต้น แม้จะเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน แต่ผลิตคนละครั้งก็อาจมีความแตกต่างกันได้

2. แตกต่างกันเนื่องจากความชื้น เนื่องจากวัสดุบางชนิดดูดความชื้น ปริมาณความชื้นในวัสดุเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป

3. แตกต่างกันเนื่องจากเวลาและอุณหภูมิร้อนจัด ซึ่งวัสดุบางชนิดคุณสมบัติต่าง ๆ จะเสื่อม เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานหรืออยู่ในอุณหภูมิสูงนาน ๆ

นอกจากนี้ ในการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนยังเปลี่ยนตามความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยอีกด้วย ซึ่งผลของความดันนั้นน้อยมากจนตัดทิ้งได้ แต่อุณหภูมิเฉลี่ยเป็นส่วนสำคัญที่จะละเสียมิได้ ดังนั้นผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุหนึ่ง ๆ จึงต้องระบุรายละเอียดต่าง ๆ ในการทดลองให้มากที่สุด ดังในผลการทดลองตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่า แสดงทั้งความหนาแน่นก่อนการทดลอง และความหนาแน่นหลังการทดลอง เพื่อดูว่ามีความชื้นอยู่ในวัสดุหรือไม่ ความหนาแน่นสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้คือ ความหนาแนนหลังการทดลอง

ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด ซึ่งคำนวณจากค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อนที่ได้จากการทดลองนั้น เป็นค่าที่บอกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้ถูกต้องเพียงไร แต่การที่จะใช้ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดนี้มาแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้นั้นเป็นสิ่งไม่จำเป็น เพราะในการทดลองที่ดีนั้นค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดจะน้อยมาก และเนื่องจากค่าคงที่ c นั้นได้จากวัสดุเพียง 5 ชิ้น ซึ่งมีความหนาต่าง ๆ กันไป ซึ่งค่า c อาจขึ้นอยู่กับความหนาก็ได้ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดจึงใช้สำหรับตรวจสอบดูว่ามีความถูกต้องเพียงไรเท่านั้น

การเปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องมือที่ดีที่สุดคือ การนำวัสดุที่ผ่านการทดลองจากเครื่องมือมาตรฐานในต่างประเทศมาแล้วมาทำการทดลอง โดยจัดรายละเอียดต่าง ๆ ให้ตรงตามการทดลองของเขา เพื่อเปรียบเทียบค่าที่เราทดลองได้ แต่ทางบริษัทผู้ผลิตและผู้แทนจำหน่ายวัสดุต่าง ๆ ไม่มีวัสดุประเภทนี้ มีแต่ค่าจากแค็ตตาล็อก หรือ Technical Data ของวัสดุเท่านั้น จึงจำต้องเปรียบเทียบจากแหล่งที่หาได้ดังต่อไปนี้

สตรามิตบอร์ดได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจาก Technical Information ของทางบริษัท .101 $W/m^2\ ^\circ C$ หรือ .7 $Btu\text{-}in/\ ft^2\ ^\circ F$ น้ำหนักเฉลี่ย

18.5 Kg/m^2 รายละเอียดอื่น ๆ ไม่มี จากการทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน .73 Btu-in/ ft^2 °F ความหนาแน่น 26.5 lb/ft^3 หรือน้ำหนัก 21.5 Kg/m^2 ผิดไป 4% ซึ่งอาจเนื่องจากความหนาแน่น ความชื้น และอุณหภูมิเฉลี่ยผิดกันก็เป็นได้

ไม่น่าบอร์ด ผ้าเพดานกันไฟของอาร์มสตรง ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากแค็ตตาล็อกคือ สภาพนำความร้อน C .55 Btu/hr.ft^2 °F ที่อุณหภูมิเฉลี่ยวัสดุ 75°F ส่วนที่ทดลองได้ .604 Btu/hr. ft^2 °F ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 131.38°F ซึ่งค่าผิดไปถึงเกือบ 10 เปอร์เซนต์ ซึ่งเหตุผลที่เห็นแน่ชัดคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุซึ่งในการทดลองนี้สูงเป็นสองเท่า นอกจากนี้ยังพบว่ามีความชื้นอยู่ในไม่น่าบอร์ดอีกด้วย

ยิบซั่มบอร์ด ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากแค็ตตาล็อก 1.1 Btu-in/ hr.ft^2 · F โดยไม่บอกรายละเอียดในการทดลอง จากการทดลองได้ 1.109 Btu-in/hn. ft^2 · F ซึ่งใกล้เคียงมาก

กลาสวูลอันดับที่ 1 ทดลองได้ .31 Btu-in/hr.ft^2 °F หรือ .038 Kcal/m hr.°C ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 179.12°F หรือ 81.7°C มีความหนาแน่น 2.16 lb/ft^3 หรือ .035 g/cm^3 ซึ่งจากมาตรฐานกลาสวูลของ JIS A 9505-1969(7) TABLE 4 กลาสวูล No. 2 32K มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงสุด .04 Kcal/ m hr.°C ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 70 + 5°C ความหนาแน่น .032 ± .004 g/cm^3 จะเห็นได้ว่ารายละเอียดในการทดลองและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้ใกล้เคียงกันมาก

กลาสวูลอันดับที่ 5 ทดลองได้ .241 Btu-in/hr.ft^2 · F หรือ .0298 Kcal/m hr.°C ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 61.69°F หรือ 16.5°C ความหนาแน่น 1.32 lb/ft^3 หรือ .008 g/cm^3 ซึ่งเทียบจากตารางเดียวกัน ความหนาแน่นตรงกับกลาสวูล No. 1 ขนาด 8 K ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงสุด .054 Kcal/ m hr.°C ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 70 + 5°C และสูงสุด .037 Kcal/mhr.C ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 0°C ซึ่งค่าที่ทดลองได้ต่ำกว่าค่าสูงสุด แต่อยู่ในขีดจำกัด

Expanded Styropor Rigid Foam นั้น จากแค็ตตาล็อกของทางบริษัท ระบุว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงสุด .394 Btu-in/hr ft^2 °F ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่าได้ค่าอยู่ในขีดจำกัดนี้ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงเมื่อความหนาแน่นมากขึ้น

ชิปบอร์ดนั้นไม่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเปรียบเทียบ ชิปบอร์ดยางจากอันดับที่ 9 ถึง 12 ความหนาต่าง ๆ กันนั้น ปรากฏว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนผิดไปมากที่สุด 5 เปอร์เซนต์จากค่าเฉลี่ย ซึ่งส่วนที่ผิดกันที่เห็นชัดคือ ความหนาแน่นและอุณหภูมิเฉลี่ยในการทดลอง

กระจกสีชาทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.92 Btu-in/hr ft^2 °F ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 103.46°F และกระจกใสได้ 2.065 Btu in/hr ft^2 °F ที่อุณหภูมิ 100.5°F ซึ่งจากหนังสือ PROCESS HEAT TRANSFER[8] ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระจกมีค่า .2 - .72 Btu ft/hr ft^2 °F หรือ 2.4 - 8.76 Btu in/hr ft^2 °F ซึ่งค่าที่ทดลองได้ต่ำกว่าขีดจำกัดมาก

เนื่องจากไม่มีวัสดุที่ได้รับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากเครื่องมือมาตรฐานในต่างประเทศมาทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือที่สร้างขึ้น ดังนั้นจึงไม่สามารถจะยืนยันได้ว่าผลการทดลองนั้นถูกต้องเพียงไร แต่จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้กับเอกสารจากทางบริษัทผู้ผลิตและหนังสือที่พอหาได้ ปรากฏว่าวัสดุส่วนใหญ่ได้ค่าจากการทดลองใกล้เคียง แต่กระจกมีค่าต่ำกว่าที่ควร จากการเปรียบเทียบลักษณะภายนอก กระจกต่างจากวัสดุอื่น คือผิวซึ่งแข็งไม่มีการยืดหยุ่น ความแข็งทำให้ผิวสัมผัสไม่ดี และการวัดได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยลง ซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดในตอนต่อไป

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุอื่น ๆ ซึ่งไม่มีค่าเปรียบเทียบนั้น จึงไม่สามารถยืนยันได้ว่าถูกต้องหรือไม่ เนื่องจากไม่มีวัสดุยืนยันความถูกต้องของเครื่องมือ และเครื่องมือนี้สร้างขึ้นเป็นครั้งแรก จึงมีความบกพร่องในการออกแบบสร้างอยู่มาก

4.4 ความผิดพลาดในการทดลอง

การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยวิธี Guarded Hot Plate ถูกพัฒนาขึ้นในหลายประเทศ แต่ละประเทศก็ตั้งมาตรฐานของการทดลองด้วยวิธีนี้ต่าง ๆ กัน แต่รายละเอียด การออกแบบ และเทคนิคการสร้างเครื่องมือนั้นหาแบบอย่างได้ยาก การวิจัยนี้จึงเป็นการออกแบบสร้างเครื่องมือแบบ Guarded Hot Plate ชิ้นใช้เป็นเครื่องแรก ดังนั้นความผิดพลาดจึงอยู่ที่การสร้างเครื่องมือด้วยส่วนหนึ่ง

การที่ออกแบบใช้วัสดุที่จะทำการทดลอง 2 ชิ้นประกบ 2 ด้านของแผ่นให้ความร้อนด้านละชิ้น แทนที่จะประกบวัสดุด้านเดียวก็เพื่อตัดปัญหาการสูญเสียความร้อนทางอีกด้านหนึ่งของแผ่นให้ความร้อน สิ่งที่สำคัญคือ ความร้อนจะต้องถ่ายเทออกทั้ง 2 ด้านเท่า ๆ กัน วัสดุทั้ง 2 ชิ้นที่ประกบแผ่นให้ความร้อนจึงต้องมีขนาดและความหนาเท่ากัน ผิวสัมผัสของวัสดุและแผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อนจะต้องสนิทดี ผิวสัมผัสดีขึ้นอยู่กับความเรียบของผิว ประเภทของวัสดุและการติดเทอร์โมคัปเปิลและเทอร์โมไฟร์

วัสดุก่อสร้างส่วนมากหนา ดังนั้นจึงออกแบบเครื่องมือขนาด 2 x 2 ฟุต ซึ่งตามทฤษฎีสามารถวัดได้ถูกต้องดีถึงความหนา 2 นิ้วกว่า ไม่ว่าอุณหภูมิด้านข้างจะเป็นเท่าไร แต่การทำแผ่นขนาดใหญ่นี้ทำให้การขัดผิวของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อนทำได้ยาก ดังนั้นความเรียบของผิวสัมผัสจึงไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้การติดเทอร์โมคัปเปิลและเทอร์โมไฟร์ที่ผิวของเครื่องมือก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผิวสัมผัสไม่ดี

สำหรับวัสดุที่มีผิวอ่อนพอนั้น ความเรียบและการติดเทอร์โมคัปเปิลและเทอร์-โมไฟร์ไม่มีปัญหา เพราะเนื้อวัสดุจะสัมผัสกับแผ่นสนิท การทดลองจึงได้ผลดีตามที่ได้เปรียบเทียบในตอนที่แล้ว สำหรับวัสดุซึ่งผิวแข็งมีความยืดหยุ่นน้อย เช่นกระจกนั้น การอัดชุดทดลอง ซึ่งมีแผ่นให้ความร้อน วัสดุและแผ่นระบายความร้อน ทำให้ผิวของวัสดุและผิวของแผ่นโลหะปรับตัวเข้าหากัน แต่เทอร์โมคัปเปิลและเทอร์โมไฟร์เป็นส่วนกันไว้ทำให้ผิวสัมผัสไม่ดีพอ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของวัสดุจึงสูง และได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าที่เป็นจริง

ความผิดพลาดอีกประการหนึ่งคือ การติดเทอร์โมไฟร์ เมื่อติดเทอร์โมไฟร์ที่ผิวอลูมิเนียมด้านที่ติดวัสดุ ปรากฏว่า $\Delta\Theta = 0$ ไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกับเมื่อติดเทอร์โมไฟร์ที่ผิวอลูมิเนียมด้านติดกับขดลวดความร้อน เนื่องจากความหนาของอลูมิเนียมและการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างของอลูมิเนียม ดังนั้นเมื่อติดเทอร์โมไฟร์ที่ผิวด้านนอก $\Delta\Theta = 0$ หมายถึงอุณหภูมิอลูมิเนียมเท่ากัน แต่อุณหภูมิที่ขดลวดให้ความร้อนชุดนอกสูงกว่าอุณหภูมิขดลวดความร้อนชุดใน ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากชุดขดลวดความร้อนชุดนอกสูงกว่าความร้อนชุดใน และถ่ายเทออกทางแผ่นอลูมิเนียมอีกทีหนึ่ง เป็นผลให้อุณหภูมิแตกต่างของผิววัสดุสูงกว่าที่ควร และได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนซึ่งต่ำกว่าจริงเล็กน้อย ทำนองเดียวกัน เมื่อติดเทอร์โมไฟร์ที่ผิวในของอลูมิเนียม $\Delta\Theta = 0$ หมายถึงอุณหภูมิที่ขดลวดทั้ง 2 ชุดเท่ากัน แต่อุณหภูมิที่ผิวของอลูมิเนียมชุดนอกจะต่ำกว่าอุณหภูมิผิวอลูมิเนียมชุดในเล็กน้อย ทำให้เกิดความร้อนถ่ายเทมาทางด้านข้าง และได้อุณหภูมิแตกต่างที่ผิววัสดุต่ำลง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ทดลองได้สูงกว่าที่เป็นจริงเล็กน้อย

จากการแก้ไขผิวหน้าสัมผัสของเครื่องมือโดยการย้ายเทอร์โมไฟร์เข้าที่ผิวในของอลูมิเนียม และปรับปรุงเทอร์โมคัปเปิลให้สนิทยิ่งขึ้น ปรากฏว่าทดลองวัดกระจกใสได้ 2.6 Btu in/hr ft^2 °F ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 100.6 °F ซึ่งมากขึ้นเนื่องจากเหตุทั้ง 2 ประการ คือ ผิวสัมผัสดีขึ้น และการติดเทอร์โมไฟร์ที่ด้านใน

การแก้ไขผิวสัมผัสอยู่ที่การสร้าง คือพยายามขัดให้ผิวหน้าเครื่องมือเรียบที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้าจำเป็นก็ลดขนาดของเครื่องมือลงเพื่อสะดวกแก่การขัดผิว การติดเทอร์โมคัปเปิลนั้นเพื่อความสะดวกควรตามมาตรฐาน JIS A 1413[4] ซึ่งใช้เทอร์โมคัปเปิลขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน .2 ม.ม. ติดบนกระดาษหนาหรือกระดาษแอสเปสตอสหนา .5 ม.ม. และเอากระดาษนี้ติดบนผิวโลหะด้านนอกอีกทีหนึ่ง กระดาษจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้ผิวสัมผัสดีไม่ว่าผิวสัมผัสวัสดุจะเป็นอย่างไร ข้อสำคัญกระดาษจะต้องติดทั้ง 2 ด้านของเครื่องมือเพื่อให้เกิดความสมดุลย์ เทอร์โมคัปเปิลควรติดทั้ง 2 ด้าน เพื่อเป็นการตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนของแผ่นให้ความร้อนว่าเท่ากันทั้ง 2 ด้าน

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หรือไม่ ส่วนการติดเทอร์โมไฟร์นั้นควรติดที่ด้านในของแผ่นโลหะเพื่อไม่ให้มีความร้อนถ่ายเทระหว่างขดลวดความร้อนทั้ง 2 ชุด โดยลดความแตกต่างของ $\Delta\theta = 0$ เพื่อติดเทอร์โมไฟร์ที่ผิวนอกกับติดที่ผิวในของแผ่นโลหะด้วยการใช้ทองแดงยาว 1/8 นิ้ว แทนอลูมิเนียมหนา 1/4 นิ้วที่ใช้อยู่ และใช้ฉนวนด้านข้างให้หนาขึ้นด้วย

ความผิดพลาดส่วนอื่นคือ การเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ของระบบเนื่องจากในการทดลองแรงดันไฟฟ้าตกในบางคราว และอุณหภูมิน้ำซึ่งใช้ระบายความร้อนนั้นควบคุมไม่ได้ ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่า ในเวลา 1 ชั่วโมงก่อนเก็บข้อมูลนั้นอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนเปลี่ยนไม่เกิน 1 องศาฟาเรนไฮต์ ทำให้การควบคุมต้องตรวจสอบอย่างใกล้ชิดตามที่แสดงไว้ในบทที่ 3 แต่ก็อาจเกิดความผิดพลาดได้

การแก้ไขข้อผิดพลาดของการเข้าสู่จุดสมดุลย์นี้ทำโดยการเพิ่ม Stabilizes Transformer ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ และเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิน้ำให้คงที่ ซึ่งจะทำให้การทดลองง่ายเข้า และทำให้การเข้าสู่สมดุลย์ใช้เวลาน้อยลงด้วย

4.5 สรุปผลการวิจัย

จุดประสงค์เดิมของการวิจัยคือ เพื่อออกแบบสร้างเครื่องมือสำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และทำการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ ที่มีภายในประเทศเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวนในงานต่าง ๆ ในด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านการปรับอากาศซึ่งยังขาดข้อมูลของวัสดุที่ผลิตในประเทศอีกมาก แต่เนื่องจากเครื่องมือที่ออกแบบสร้างขึ้นเป็นแบบ Guarded Hot Plate ซึ่งเป็นเครื่องแรกในประเทศ การออกแบบและสร้างจึงไม่มีรายละเอียดเป็นแบบอย่าง เมื่อทำการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ มากพอสมควร จึงทราบถึงจุดบกพร่องต่าง ๆ ของเครื่องมือที่สร้างขึ้น

อย่างไรก็ดี การวิจัยนี้เป็นการบุกเบิกการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยวิธี Guarded Hot Plate ในประเทศไทย เป็นตัวอย่างของการทดลอง การเก็บ

ข้อมูลและการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จำเป็น นอกจากนี้ยังแสดงข้อบกพร่องของการออกแบบและการสร้างเครื่องมือ และการแก้ไข ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบสร้างเครื่องมือและการดำเนินการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนและวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ ด้วยวิธี Guarded Hot Plate ต่อไปในอนาคต

4.6 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างเครื่องมือ Guarded Hot Plate และการทดลองในโอกาสต่อไป ควรทำให้เป็นหน่วย SI เนื่องจากงานในด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้นได้มีการเปลี่ยนไปใช้หน่วย SI แพร่หลายมาก ในงานทางด้านการปรับอากาศก็เช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้เข้ากับมาตรฐานสากลในการสร้างและทดลองในครั้งต่อไปควรใช้หน่วย SI

สำหรับเครื่องมือที่จะสร้างใหม่นั้น ควรทำให้แผ่นให้ความร้อนบางที่สุดเท่าที่จะทำได้ โลหะที่เป็นผิวสัมผัสควรจะเป็นทองแดงหนา 3 ม.ม. การติดเทอร์โมไฟร์ควรติดด้านในของผิวโลหะ การติดเทอร์โมคัปเปิลควรติดบนกระดาษแอสเบสตอสขนาดเท่าแผ่นให้ความร้อนเพื่อให้ผิวสัมผัสถ่ายเทความร้อนดี ชุดให้ความร้อนชุดนอกและชุดในควรให้มีส่วนต่อกันน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ขนาดของชุดให้ความร้อนชุดนอกควรลดลงเพื่อให้ควบคุมอุณหภูมิของชุดให้ความร้อนชุดนอกได้มากขึ้น และทำการขัดผิวได้สะดวกขึ้น

ในการทดลองควรเพิ่ม Stabilizes Transformer เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ และมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนให้คงที่ สำหรับวัสดุที่มีความชื้นควรจะมีเครื่องมือวัดความชื้นในวัสดุเพื่อเป็นข้อมูลประกอบสำหรับการทดลองด้วย

ในการทดลองควรควบคุมให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยวัสดุเป็นไปตามสภาพการใช้งานจริง ถึงแม้จะต้องใช้เวลาในการควบคุมมากก็ตาม แต่ค่าที่ได้จะตรงตามสภาพใช้งานจริง ทำให้การคำนวณใช้งานมีความถูกต้องมากกว่า