

ข้อมูลข่าวสาร วศ.

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ  
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ  
กฟ  
อว 19

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน

เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 1

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดการวัดค่าสภาพการนำความร้อน

ของ

นายภคณัย ทองทิอัมพร  
ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6ว.

กลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

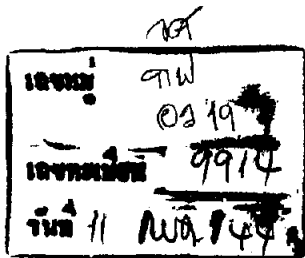
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน

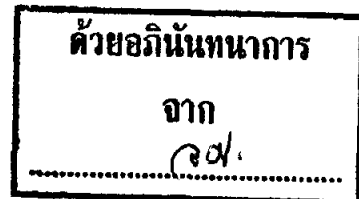
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7ว.

เรื่องที่ 1

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดการวัดค่าสภาพการนำความร้อน



ของ



นายภักดิ์ ทงทิมพร  
ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6ว.

กลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

**กรมวิทยาศาสตร์บริการ**

**การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดการวัดค่าสภาพการนำความร้อน**

**นายภคณัย ทองทีอัมพร**

**กลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1**

**กองฟิสิกส์และวิศวกรรม**

**กรมวิทยาศาสตร์บริการ**

**พ.ศ. 2539**

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
รายการตารางประกอบ	ข
รายการรูปประกอบ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย	1
1.3 ระยะเวลาดำเนินการ	2
2 ทฤษฎี Guard Hot Plate Method	
2.1 บทนำ	3
2.2 Guard Hot Plate Method	4
2.3 อุณหภูมิแตกต่าง ระหว่างแผ่นให้ความร้อนชุดใน และ ชุดนอก และความผิดพลาด	6
3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 จุดประสงค์ของการทดลอง	9
3.2 วัสดุอุปกรณ์	9
3.3 วิธีการทดลอง	11
4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลอง	15
4.2 ผลค่าคงที่ต่อการทดลอง	15
4.3 การพิจารณาค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้กับเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด	16
4.4 สรุปผลการศึกษา	18
กิตติกรรมประกาศ	20
เอกสารอ้างอิง	21
ภาคผนวก	22

## บทคัดย่อ

การศึกษาทดลองนี้ได้สร้างเครื่องมือทดสอบหาค่าสภาพการนำความร้อนที่ได้จัดสร้างขึ้นมา ตามมาตรฐาน ASTM C - 177 เพื่อศึกษาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ

การหาเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุจากเครื่องมือนี้ หาได้จากการหาค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อนซึ่งขึ้นกับขนาดและการสร้างแผ่นให้ความร้อน( $q_0$ ) และ ค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อนซึ่งขึ้นกับขนาดและช่องว่างระหว่างแผ่นให้ความร้อนชุดในและชุดนอก(c)

จากผลการทดลองใช้เครื่องมือทดสอบหาค่าสภาพการนำความร้อนพบว่าค่า  $q_0$  และ c ที่วัดได้มีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการหาค่าสภาพการนำความร้อน ทั้งนี้แก้ไขได้ด้วยการควบคุมการทดลองให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างของแผ่นให้ความร้อนต่อ อุณหภูมิแตกต่างของวัสดุ ( $\Delta\theta / \Delta t$ ) มีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้ควรจะใช้เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ (Stabilizer)

สำหรับวัสดุประเภทผิวแข็งที่ไม่ยืดหยุ่น จะมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง แต่วัสดุประเภทผิวอ่อนนุ่ม จะมีเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดต่ำกว่าวัสดุผิวนุ่มที่มีค่าสภาพการนำความร้อนสูง จะมีเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดสูงด้วย และกระจกซึ่งเป็นวัสดุประเภทผิวแข็งที่ไม่ยืดหยุ่น แม้จะมีความเข้มของสีต่างกัน แต่จะให้ค่าสภาพการนำความร้อนเท่ากัน

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1 ผลการทดลองวัดค่าสภาพการนำความร้อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวัสดุต่างๆ	16
ก.1 ข้อมูลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ $\Delta\theta$ ต่างๆกัน เพื่อหาค่า $q_0$ และ $c$	22
ก.2 ผลการคำนวณ $k_{exp}$ และ $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ จากตารางที่ 1	23
ก.3 ผลการคำนวณ $q_0$ ที่ค่า $k$ ของวัสดุจากกราฟรูปที่ 1-5	23
ก.4 ข้อมูลในการทดลองหาค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ	24

## รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1. อุปกรณ์การทดสอบค่าสภาพการนำความร้อน.....	5
2. แผ่นให้ความร้อนแบบ Guard Hot Plate .....	5
3. แผ่นขดลวดชุดใน และชุดนอก ที่ให้ความร้อน (Heater)	12
4. แผ่นระบายความร้อน .....	13
ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $k_{exp}$ กับ $\Delta\theta / \Delta t$ ของ ตัวอย่างแผ่นฉนวนใยแก้ว	25
ก. 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $k_{exp}$ กับ $\Delta\theta / \Delta t$ ของ ตัวอย่างไม้อัดซีเมนต์	26
ก. 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $k_{exp}$ กับ $\Delta\theta / \Delta t$ ของ ตัวอย่างฉนวนขงกันความร้อน	27
ก. 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $k_{exp}$ กับ $\Delta\theta / \Delta t$ ของ ตัวอย่าง Polyethylene Foam	28
ก. 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $k_{exp}$ กับ $\Delta\theta / \Delta t$ ของ ตัวอย่างฝ้าเพดาน	29
ก. 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาด ( $\Delta k / k$ ) กับ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ	30

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี วิธีการถ่ายเทความร้อน ทั้ง 3 วิธีนี้ วิธีที่สำคัญและต้องคำนึงเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบทางวิศวกรรมเกือบทุกครั้ง คือ การนำความร้อน

ในการออกแบบทางวิศวกรรมนั้น บางครั้งต้องการให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ที่น้อยที่สุด เช่นการออกแบบผนังเตาอบ และการใช้ฉนวนป้องกันความร้อนกับหลังคาอาคาร เพื่อช่วยในการประหยัดกระแสไฟฟ้าในการใช้เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) ซึ่งเป็นสมบัติประจำของวัสดุต่างๆ

ในงานด้านการปรับอากาศ ขนาดของเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในบริเวณที่ใช้เครื่องปรับอากาศ อัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนังเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น สภาพการนำความร้อนของวัสดุฉนวนกับความร้อนจึงมีความสำคัญต่อการออกแบบระบบปรับอากาศ ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถหาได้จากหนังสือคู่มือต่างประเทศหลายเล่ม เช่น จากหนังสือ ASHRAE HANDBOOK<sup>(1)</sup> แต่ค่าที่ได้เป็นวัสดุในต่างประเทศซึ่งไม่เหมือนกับวัสดุภายในประเทศ ดังนั้น ค่าที่ได้จากการคำนวณจึงไม่ตรงกับความเป็นจริง มากเกินหรือน้อยเกินไป ย่อมเกิดผลเสียแก่การออกแบบ กล่าวคือ น้อยเกินไปย่อมทำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการมากเกินทำให้เกิดการสูญเสียเงินลงทุนมากขึ้น ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุภายในประเทศที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญมากสำหรับงานปรับอากาศ

การทดลองหาค่าสภาพการนำความร้อนทุกๆวิธี ใช้กฎของฟูเรียร์ (Fourier) ทั้งสิ้น ซึ่งมีสมมุติฐานว่า การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบทางเดียว (Unidirectional flow of heat) ดังนั้นเครื่องมือที่สร้างขึ้นจึงมีความมุ่งหมายที่จะจัดให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบทางเดียวขึ้นทั้งสิ้น เครื่องมือทดลองเบื้องต้นนั้นเป็นแบบที่ใช้แผ่นให้ความร้อนซึ่งมีลวดความร้อนชุดเดียว และหุ้มด้านข้างด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้าง ต่อมาจึงพัฒนาการป้องกันการถ่ายเทความร้อนด้านข้างด้วยลวดความร้อนอีกชุดหนึ่ง ซึ่งปรับอุณหภูมิให้เท่ากัน ซึ่งวิธีนี้เป็นหลักการของ Guarded Hot Plate<sup>(2)</sup> หลักการนี้ใช้กันอย่างแพร่หลาย และถูกดัดแปลงไปใช้กับเครื่องมือวัดค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุทุกประเภท ดังได้อธิบายทฤษฎีไว้ในหัวข้อ 2.2



สำหรับวัสดุก่อสร้างและฉนวนซึ่งมีค่าสภาพการนำความร้อนนั้น วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ Guarded Hot Plate ซึ่งเป็นวิธีที่กำหนดอยู่ในมาตรฐาน British Standard - 874<sup>(2)</sup>, ASTM C 177<sup>(3)</sup> เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสภาพการนำความร้อนของงานการวิเคราะห์-วิจัยทางความร้อน กองฟิสิกส์และวิศวกรรม ครั้งแรกจะมีแผ่นให้ความร้อนทำด้วยทองแดง ขนาด 8 X 10.5 เซนติเมตร ใช้ลวดความร้อนชุดเดียว หุ้มด้านข้างด้วยฉนวนและระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดวัสดุที่ใช้ทดลองซึ่งเล็ก ความหนาจำกัด และต่อมาได้มีการปรับปรุงเครื่องมือโดยการจัดทำขึ้นมาใหม่ ซึ่งแผ่นให้ความร้อนนี้ทำด้วยทองแดงขนาด 30 X 30 เซนติเมตร มีชุดลวดความร้อน 2 ชุด โดยที่ชุดในจะมีขนาด 15 X 15 เซนติเมตร

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

ตามทฤษฎีแล้ว Guarded Hot Plate Method สามารถให้ค่าสภาพการนำความร้อนที่ถูกต้องดีมาก ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะเป็นสิ่งที่แสดงว่า การออกแบบและสร้างเครื่องมือนี้ ทำได้ดีเพียงไร ซึ่งจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

1.2.1 ทดลองหาค่าคงที่ของเครื่องมือ วัดค่าสภาพการนำความร้อน ( Thermal Conductivity )

1.2.2 ทดลองหาความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่ให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด

## 1.3 ระยะเวลาดำเนินการ

ได้ศึกษาถึงมาตรฐาน ASTM C - 177 ประมาณ กุมภาพันธ์ 2537 ถึง พฤษภาคม 2537 และทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ มิถุนายน 2537 ถึง สิงหาคม 2537 จากนั้นนำข้อมูลมาศึกษาหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของค่าสภาพการนำความร้อน ในเดือน กันยายน 2537 ถึง พฤศจิกายน 2537

## บทที่ 2

### ทฤษฎีของ Guarded Hot Plate

ในการคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนของวัสดุใดๆนั้น ฟูเรีย (Fourier) แสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{Q}{T} = \frac{k A (t_H - t_C)}{X}$$

- เมื่อ
- Q = ปริมาณความร้อน (แคลอรี)
  - T = เวลา (วินาที)
  - Q/T = อัตราการถ่ายเทความร้อน ด้วยการนำความร้อน (วัตต์)
  - A = พื้นที่ผิววัสดุ (ตารางเมตร)
  - t<sub>H</sub> = อุณหภูมิที่ผิววัสดุด้านร้อน (องศาเซลเซียส)
  - t<sub>C</sub> = อุณหภูมิที่ผิววัสดุด้านเย็น (องศาเซลเซียส)
  - X = ความหนาวัสดุ (เซนติเมตร)
  - k = ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุชิ้นนั้น (วัตต์/เมตร.เคลวิน = W/m.K)

ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง คือ ความดันที่วัสดุได้รับ และ อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุ เมื่อความดันอยู่ในขั้นปานกลาง ผลของความดันต่อสภาพการนำความร้อนมีน้อยจนตัดทิ้งได้ แต่สำหรับอุณหภูมินั้นมีผลมากต่อ ค่าสภาพการนำความร้อน

กฎของฟูเรีย<sup>(6)</sup> นั้น ใช้เมื่อการนำความร้อนดำเนินไปในทิศทางเดียวคือ ตั้งฉากกับพื้นที่ผิวของวัสดุ นั่นคือ มีสมมติฐานว่า พื้นที่ผิวของวัสดุนั้นใหญ่จนไม่มีผลจากสภาพด้านข้างของวัสดุเข้ามาเกี่ยวข้องเมื่อนำกฎของฟูเรียมาใช้ในการทดลองหาค่าสภาพการนำความร้อนซึ่งเกิดผิดพลาดขึ้นเล็กน้อย แต่เพื่อความสะดวกในการทดลอง จึงมักใช้กฎของฟูเรียจากสมการ (1) หาค่าสภาพการนำความร้อน

ในการทดลอง สามารถหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้ เนื่องจากสภาพด้านข้างของวัสดุได้หลายวิธี วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทำให้ค่าสภาพการนำความร้อนได้ถูกต้องและเหมาะสมในการหาค่าการนำความร้อนสำหรับวัสดุก่อสร้างและฉนวนมากที่สุด คือวิธี Guard Hot Plate ดังรายละเอียดต่อไปนี้

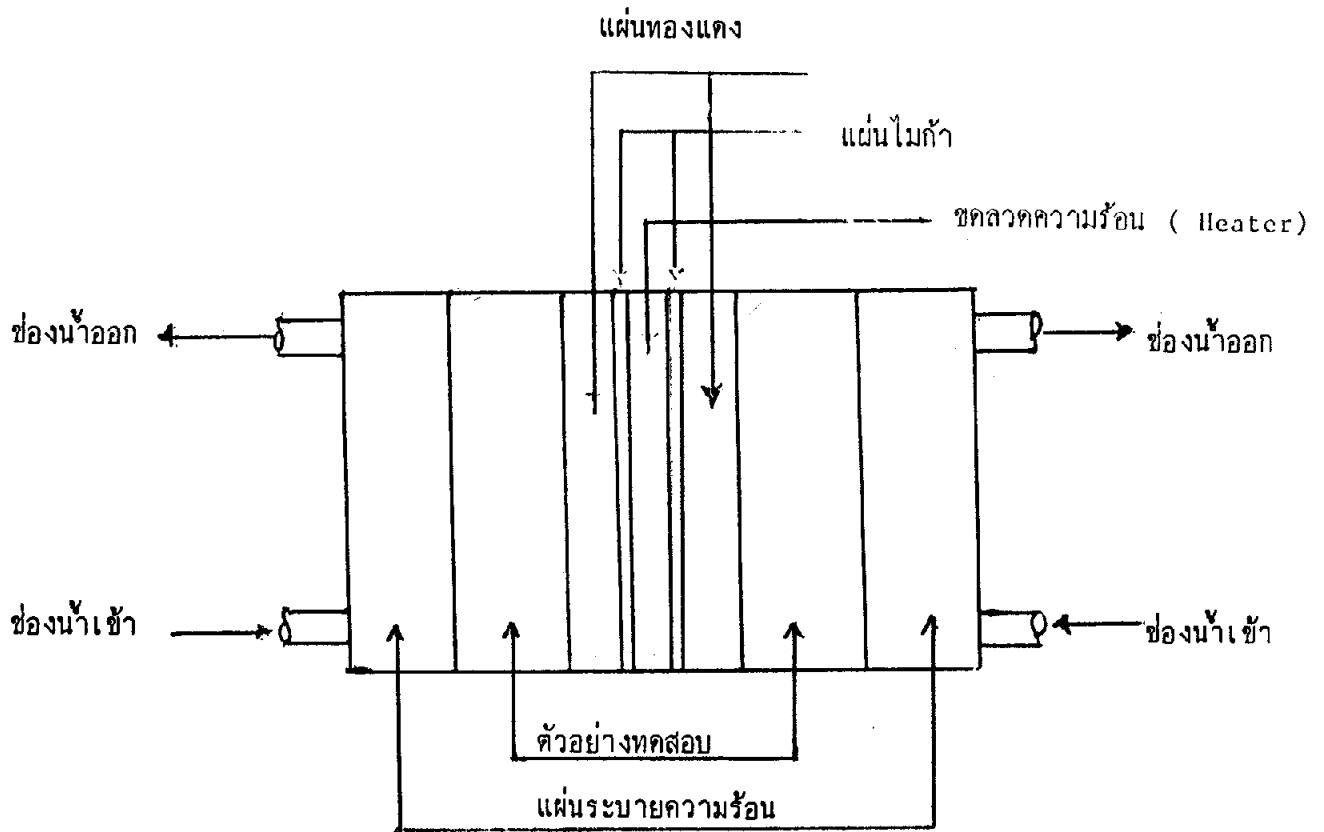
## 2.1 Guard Hot Plate Method

ลักษณะทั่วไปของการทดลองหาค่าสภาพการนำความร้อนแสดงไว้ในรูปที่ 1 ประกอบด้วยแผ่นให้ความร้อนทำด้วยโลหะ ซึ่งมีค่าสภาพการนำความร้อนสูง เช่นทองแดง ภายในแผ่นให้ความร้อนเป็นขดลวดความร้อนควบคุมอุณหภูมิได้โดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด วัสดุสำหรับทดลอง 2 แผ่น วางประกบเข้ากับแผ่นให้ความร้อนด้านละแผ่น วัสดุทั้ง 2 แผ่น เป็นวัสดุชนิดเดียวกันต้องมีขนาด คือ ความกว้าง ความยาว และ ความหนา ใกล้เคียงกันมากที่สุด ด้านนอกสุดเป็นแผ่นระบายความร้อนจะถูกหล่อด้วยน้ำเย็น ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน ความร้อนส่วนใหญ่จากแผ่นให้ความร้อนจะถ่ายเทด้วยการนำมาสู่แผ่นระบายความร้อน ความร้อนบางส่วนจะถ่ายเทออกทางด้านข้างของแผ่นให้ความร้อนและด้านข้างของวัสดุ

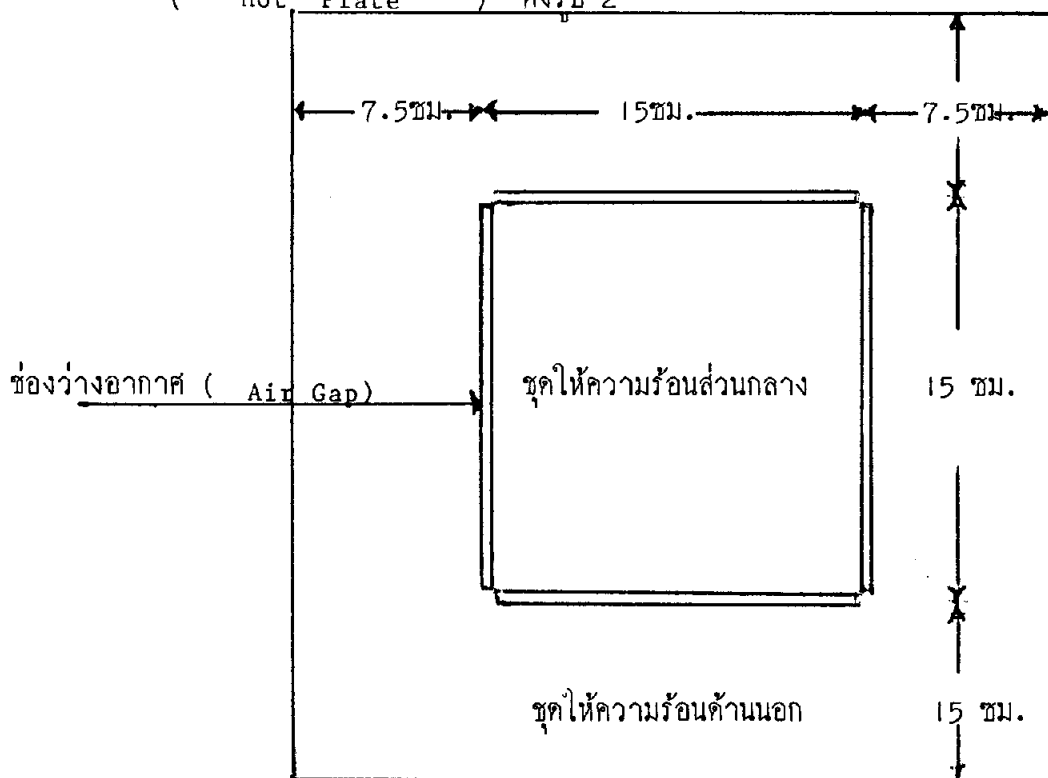
การถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างนี้ ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ ระหว่าง แผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อน ต่ำกว่าที่ควร ดังนั้น เมื่อใช้สมการ 1 ก็จะได้ค่าสภาพการนำความร้อนที่สูงกว่าความเป็นจริง เพื่อให้ค่าความจริงยิ่งขึ้นต้องลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกทางด้านข้างนี้ วิธีหนึ่ง คือ ใช้ฉนวนหุ้ม แต่วิธีนี้ก็ไม่สามารถขจัดความผิดพลาดของค่าที่ทดลองได้

Guard Hot Plate Method มีลักษณะการทดลองทั่วไปเช่นเดียวกับรูป 1 ผิดกันเฉพาะที่แผ่นให้ความร้อนเท่านั้น รูปที่ 2 แสดงแผ่นให้ความร้อนแบบ Guard Hot Plate ซึ่งมีแผ่นให้ความร้อน 2 ชุด แต่ละชุดมีขดลวดความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ขึ้นแก่กัน โดยการควบคุมอุณหภูมิ ให้อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดนอกเท่ากับอุณหภูมิของแผ่นความร้อนชุดใน จะทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างของแผ่นให้ความร้อนชุดใน สู่ แผ่นให้ความร้อนชุดนอก และเมื่อเลือกขนาดความกว้างของแผ่นความร้อนชุดนอก กว้างพอที่จะทำให้วัสดุส่วนที่ติดกับแผ่นให้ความร้อนชุดนอกเท่านั้นที่มีการถ่ายเทความร้อนออกทางด้านข้าง นั่นคือ วัสดุส่วนในที่ติดกับแผ่นให้ความร้อนชุดใน จะมีการถ่ายเทความร้อนแบบทางเดียว และแผ่นให้ความร้อนชุดใน ไม่มีการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้าง ความร้อนทั้งหมดผ่านวัสดุส่วนในไปสู่แผ่นระบายความร้อน ดังนั้น โดยการแทนค่าพื้นที่ของแผ่นให้ความร้อนชุดใน อุณหภูมิแตกต่างของผิวทั้ง 2 ของวัสดุส่วนใน และ อัตราความร้อนของแผ่นให้ความร้อนชุดในลงในสมการ 1 ก็จะได้ค่า สภาพการนำความร้อนที่ถูกต้อง

ในการทดลองนั้น การที่จะปรับให้อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุดเท่ากันนั้น เป็นเรื่องยากมาก เพราะต้องใช้เวลา และเครื่องมือที่พิเศษ เพื่อความเหมาะสม จึงยอมให้ค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้ ผิดพลาดได้เล็กน้อย โดยการปรับอุณหภูมิให้ได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด การคำนวณหาความผิดพลาดจากความแตกต่างของอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุดจะเป็นเรื่องชี้ว่า การทดลองนี้ผิดพลาดเกินกำหนดหรือไม่



รูป 1 อุปกรณ์การทดสอบค่าสภาพการนำความร้อน ที่มองทางด้านข้างจะมีขดลวดความร้อน อยู่ตรงกลางชั้นด้วยแผ่นไมก้าเป็นฉนวนไฟฟ้า และแผ่นทองแดง ประกอบขึ้นเป็นแผ่นให้ความร้อน ( Hot Plate ) ดังรูป 2



รูป 2 แผ่นให้ความร้อนแบบ Guard Hot Plate จะมี 2 ส่วนคือ ชุดให้ความร้อนส่วนกลาง และชุดให้ความร้อนด้านนอกที่ล้อมรอบชุดให้ความร้อนส่วนกลาง ที่แต่ละส่วนประกอบด้วย แผ่นทองแดง ขดลวดความร้อนชุดใน ขดลวดความร้อนชุดนอก และ แผ่นไมก้า

### 2.2 อุณหภูมิแตกต่างระหว่างแผ่นให้ความร้อนชุดในและชุดนอก และความผิดพลาด

ในทางทฤษฎีนั้น แผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด จะมีอุณหภูมิเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติการปรับอุณหภูมิให้เท่ากันนั้นทำได้ยากมาก ASTM C - 177 จึงกำหนดให้ปรับอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุดให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยยอมให้ค่าผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนที่วัดได้ไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ Woodside and Wilson แสดงวิธีการหาค่าความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนเมื่ออุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุดไม่เท่ากัน คือ

เมื่ออุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุดเท่ากัน สมการ 1 จะได้

$$k = \frac{Q \cdot X}{T_A \cdot \Delta t} \tag{2}$$

- ซึ่ง  $k$  = ค่าสภาพการนำความร้อน
- $Q$  = ปริมาณความร้อน
- $T$  = เวลา
- $Q/T$  = ความร้อนที่ถ่ายเทจากแผ่นให้ความร้อนชุดในไปสู่วัสดุ
- $\Delta t$  =  $t_H - t_C$  ความแตกต่างของอุณหภูมิ
- $A$  = พื้นที่วัสดุส่วนที่ติดกับแผ่นให้ความร้อนชุดใน ซึ่งเท่ากับพื้นที่แผ่นให้ความร้อนชุดใน

เมื่ออุณหภูมิไม่เท่ากัน แต่ปรับให้อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดในและชุดนอก เท่ากัน

$$\text{ดังนั้น } k_{exp} = \frac{(Q + q) X}{T A \cdot \Delta t} \tag{3}$$

- $k_{exp}$  = ค่าสภาพการนำความร้อนจากการทดลอง
- ซึ่ง  $q$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกทางด้านข้างของแผ่นให้ความร้อนชุดใน
- $q/T$  = อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านข้างของแผ่นให้ความร้อนชุดใน และ สมการ (3) - (2) .จะได้

$$\Delta k = \frac{q \cdot X}{T A \cdot \Delta t} \tag{4}$$

$\Delta k$  = ความแตกต่างของค่าสภาพการนำความร้อน

สมการ (4) หาค่าด้วย สมการ (2) จะได้

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{q}{Q} \tag{5}$$

และแทนสมการ (5) ด้วยสมการ (1) จะได้

$$q/T = \frac{k \cdot A \cdot \Delta t}{X} \tag{6}$$

เมื่ออุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด ต่างกัน  $1^{\circ}\text{C}$  ความร้อนที่ถ่ายเททางด้านข้างของแผ่นให้ความร้อนชุดในมีความสัมพันธ์ กับค่าสภาพการนำความร้อน เป็นเส้นตรงตาม Woodside and Wilson<sup>(4)</sup> หรือ

$$\begin{aligned}
 q &= q_0 + ck & (7) \\
 \text{เมื่อ } q_0 &= \text{ค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อน ซึ่งขึ้นกับขนาดและ} \\
 &\quad \text{ของแผ่นให้ความร้อน} \\
 c &= \text{ค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อน ซึ่งขึ้นกับขนาดและ} \\
 &\quad \text{ช่องว่างระหว่างแผ่นให้ความร้อน ทั้ง 2 ชุด}
 \end{aligned}$$

เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน  $\Delta\theta$  ปริมาณการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างของแผ่นให้ความร้อนชุดใน กลายเป็น

$$q = (q_0 + ck) \Delta\theta \quad (8)$$

เมื่อ  $\Delta\theta =$  เป็นความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดในชุดนอก เมื่อแทนค่า สมการ (8) และ สมการ (2) ลงใน สมการ (5) จะได้

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{X \Delta\theta}{A \cdot \Delta t \cdot k} (q_0 + c) \quad (9)$$

สมการ (9) จะทำให้ทราบความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพการนำความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด แตกต่างกับ  $\Delta\theta$

ค่า  $q_0$  และ  $c$  หาได้จากการทดลองกับวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป แบ่งขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า  $k_{exp}$  ที่  $\Delta\theta$  ต่างๆของวัสดุหนึ่งที่  $\Delta t$  คงที่ จากนั้น จึงสร้างกราฟระหว่างค่า  $k_{exp}$  กับ  $\Delta\theta$  ค่า  $k$  ก็คือค่า  $k_{exp}$  ที่  $\Delta\theta = 0$  และ  $\Delta k$  ที่  $\Delta\theta = 1^{\circ}\text{C}$  ก็สามารหาค่าได้ นำมาแทนค่าในสมการ (6) จะได้  $q/T$  และ  $k$  ของวัสดุต่างๆ

2. นำค่า  $q/T$  และ  $k$  มาเขียนกราฟ จะได้กราฟเป็นเส้นตรง โดยสังเกตจากสมการ (7) ซึ่ง  $q_0$  และ  $c$  ก็สามารหาค่าได้จากกราฟนี้เอง

สำหรับการทดลองที่ขาดเครื่องมืออัตโนมัติ สำหรับควบคุมอุณหภูมิ การตั้ง  $\Delta t$  ทำได้ยากมาก ดังนั้นในการทดลองจึงมักจะได้ค่า  $k_{exp}$  ที่  $\Delta\theta$  ที่ต่างๆกัน และ  $\Delta t$  ต่างๆกัน เมื่อเป็นเช่นนี้ ควรเขียนกราฟ ระหว่าง  $k_{exp}$  กับ  $\Delta\theta / \Delta t$  จึงให้กราฟเป็นเส้นตรงเหมือนกัน ทั้งนี้ จากสมการที่ (9) สามารถเขียนได้เป็น

$$k_{exp} = \frac{X \cdot k \cdot \Delta\theta}{A \cdot \Delta t \cdot k} (q_0 + c) + k \quad (10)$$

ซึ่งค่า  $A$  ,  $q_0$  ,  $c$  เป็นค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อน ส่วน  $X$  และ  $k$  เป็นค่าคงที่ของวัสดุ ถึงแม้  $k$  จะเปลี่ยนไปบ้างตามอุณหภูมิก็ตาม เมื่อ  $\Delta t$  แตกต่างกันไปเล็กน้อย ค่า  $k$  ถือว่าคงที่ได้ ดังนั้น สมการ (10) จึงเป็น

$$k_{exp} = c \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + k \quad (11)$$

ซึ่ง  $c =$  ค่าคงที่

จากกราฟ จึงได้  $k$  และ  $\Delta k$  เมื่อ  $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$  และ  $\Delta t$  เป็นค่าเฉลี่ยของ  $\Delta t$  ทั้งหมดแล้ว จึงได้ค่า  $q$  จากนั้น ก็หาค่า  $q_0$  และ  $c$  ได้ตามต้องการ

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์ และ วิธีการ

##### 3.1 จุดประสงค์ของการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน

- 3.1.1 เพื่อหาค่า  $q_0$  และ  $c$  ซึ่งเป็นค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อนที่ออกแบบขึ้น เพื่อทดลองใช้วิธี Guarded Hot Plate
- 3.1.2 หาค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดจากการทดลองหาค่าสภาพการนำความร้อน

##### 3.2 วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับการทดลองในการวิจัย ดังรูป 1 ซึ่งอยู่ในสภาพพร้อมที่จะทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย แผ่นให้ความร้อน แผ่นระบายความร้อน และตัวจับ ในรูปนั้น วัสดุที่ใช้ทดลอง ประเภทเดียวกัน 2 แผ่น ถูกประกบอยู่ระหว่าง แผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อน โดยมีตัวจับเป็นที่ยึด

###### 3.2.1 แผ่นให้ความร้อน ( Hot Plate )

แผ่นให้ความร้อนที่สร้างขึ้น แสดงดังรูป 2 จะมี 2 ส่วน คือชุดให้ความร้อนส่วนกลาง และชุดให้ความร้อนด้านนอก ซึ่งล้อมรอบชุดให้ความร้อนส่วนกลาง

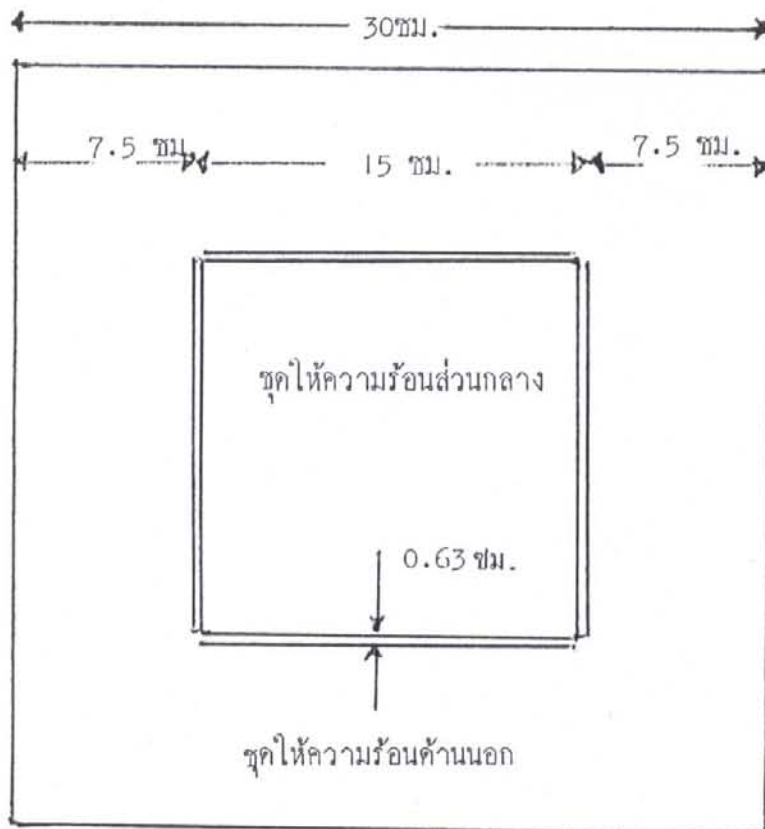
แผ่นทองแดงขนาด 6 มิลลิเมตร กว้าง 30 ซม. ยาว 30 ซม. จำนวน 2 แผ่น เฆาะร่องขนาด 0.63 ซม. ตามรูป 2 เหลือที่มุมไว้เพื่อเป็นที่ยึดเล็กน้อย และ แผ่นทองแดงแผ่นหนึ่งจะเฆาะร่องตื้นๆ เพื่อติด เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งแผ่นทองแดงนี้จะใช้เป็นผิวสัมผัสกับวัสดุ

ขดลวดความร้อนชุดใน ใช้ขดลวดวัลลิโครมแบบแบน ความต้านทานทั้งหมดของขดลวดความร้อนชุดใน 40 โอห์ม ขดลวดความร้อนชุดนอกใช้ลวดแบบเดียวกันพันบนแม่กกาไลต์ ความต้านทานทั้งหมดของขดลวดชุดนอก 120 โอห์ม ขดลวดความร้อนทั้ง 2 ชุด วางซ้อนกัน ดังรูป 3 และพื้นที่ใช้งาน หรือพื้นที่ซึ่งแทนในสูตรหาค่าสภาพการนำความร้อน นั่นคือ พื้นที่ซึ่งล้อมรอบด้วยเส้นกึ่งกลางช่องที่เฆาะขึ้นทั้ง 4 ด้าน จากการวัดพื้นที่ใช้งานของแผ่นให้ความร้อนโดยเฉลี่ยทั้ง 2 ด้าน ได้  $2.3 \times 10^{-2}$  ตารางเมตร

###### 3.2.2 แผ่นระบายความร้อน ( Cold Plate )

แผ่นระบายความร้อน ดังรูป 3-4 ผิวสัมผัสทำด้วยทองแดงหนา 6 มิลลิเมตร ขนาด 30 ซม. คูณ 30 ซม. ทั้ง 2 ด้าน ภายในรางทองแดงกัน ทำหน้าที่เป็นครีบบระบายความร้อนและทำหน้าที่เป็นทางน้ำ ให้น้ำเข้าจากท่อด้านล่าง และไหลวนไปทั่วทั้งแผ่น เพื่อให้อุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นระบายความร้อน และน้ำที่เข้าสู่แผ่นระบายความร้อนนั้น จะใช้อย่างน้ำวนที่เป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่สามารถปรับระดับอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ได้ ให้ไหลวนผ่านเข้าออกของแผ่นระบายความร้อนได้





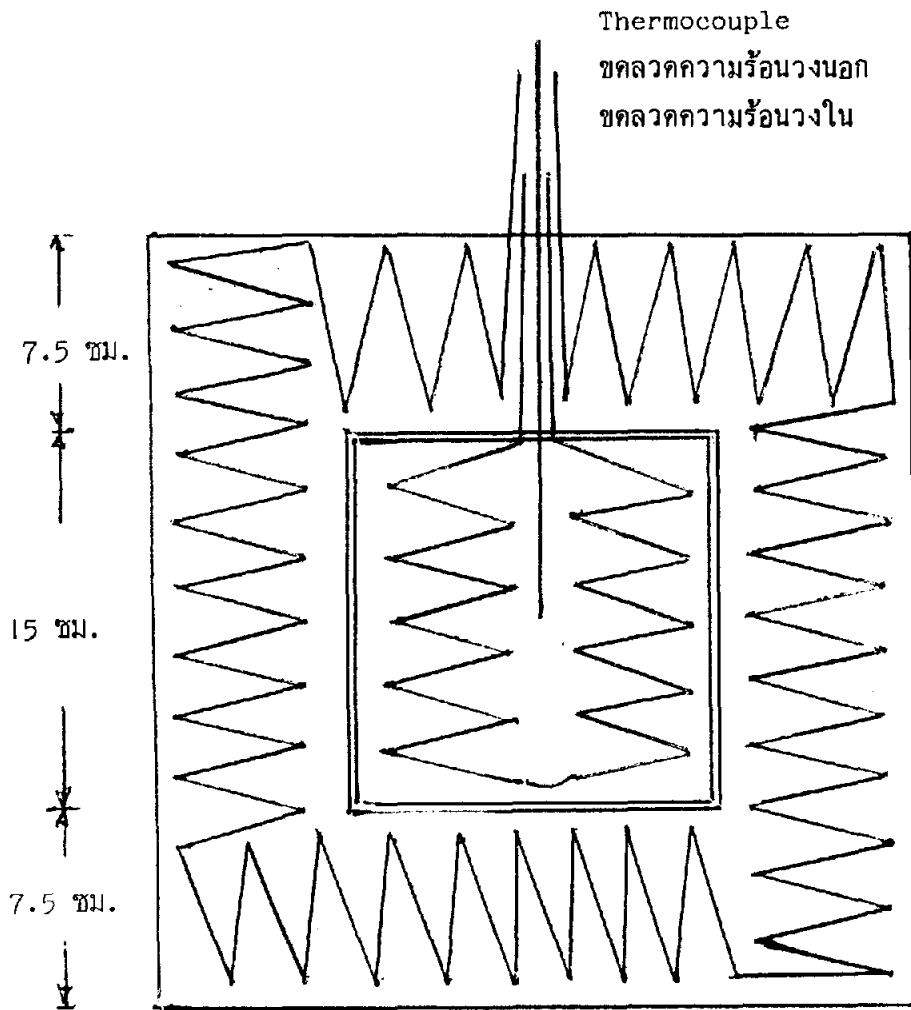
รูป 2 แผ่นให้ความร้อน (Guard Hot Plate) จะมี 2 ส่วน คือ ชุกให้ความร้อนส่วนกลาง และชุกให้ความร้อนด้านนอก ที่ล้อมรอบชุกให้ความร้อนส่วนกลาง ซึ่งแต่ละส่วนประกอบด้วย แผ่นทองแดง ชดลวดความร้อนชุกใน ชดลวดความร้อนชุกนอก และ แผ่นไมก้า

### 3.2.3 การวัดอุณหภูมิ

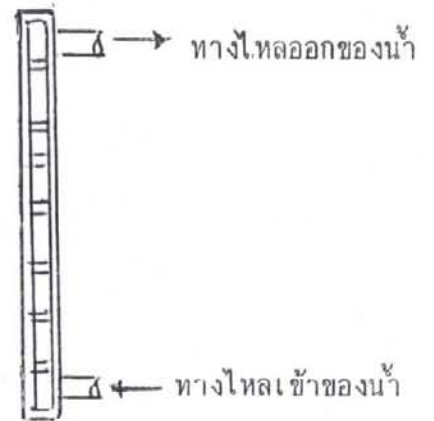
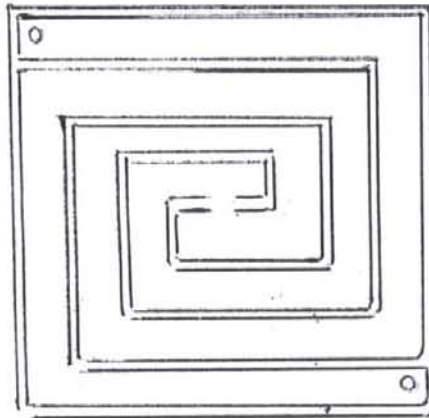
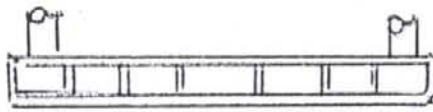
ในการทดลอง อุณหภูมิที่ต้องการวัดคือ อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุทางด้านที่ติดกับแผ่นให้ความร้อน อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุทางด้านที่ติดกับแผ่นระบายความร้อน เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิคือ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ซึ่งให้แรงดันไฟฟ้าขึ้นเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิ ในการวัดจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแล้วจึงเทียบกันเป็นค่าอุณหภูมิ เนื่องจากการทดลองนี้ ผิวของวัสดุจะต้องแนบสนิทกับผิวสัมผัสของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อน ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการทดลอง จึงติดเทอร์โมคัปเปิลโดยฝังลงในผิวของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อน เพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นระบายความร้อนแทนที่ผิวของของวัสดุ การที่ต้องฝังในผิวก็เพื่อให้ผิวสัมผัสเรียบ และเนื่องจากทองแดงมีค่าสภาพการนำความร้อนสูง ดังนั้นการที่ ฝังด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ผิวแผ่นให้ความร้อน และอุณหภูมิที่ผิววัสดุด้านเย็น จึงวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ผิวของแผ่นระบายความร้อน

### 3.3 วิธีการทดลอง

ในตอนแรก ก่อนที่นำวัสดุเข้าเครื่อง จะต้องทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของวัสดุ จากนั้น นำวัสดุมาตั้งอยู่ระหว่างแผ่นให้ความร้อนกับแผ่นระบายความร้อน ซึ่งทั้งหมดตั้งอยู่ในตัวจับ จากนั้นวัดความหนาของวัสดุ และเอาจนวนนหุ้มด้านข้างของทั้งชุด จนวนที่ใช้คือ จนวนใยแก้ว การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการหาค่าคงที่ของเครื่องมือ คือ ค่า  $q_0$  และ  $c$  การทดลองเป็นไปตามลำดับดังนี้ ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าชุดลดความร้อนทั้ง 2 ชุด และเปิดน้ำเข้าแผ่นระบายความร้อนทั้ง 2 ชุด ซึ่งน้ำนี้จะมาจากอ่างน้ำไหลวนที่สามารถปรับอุณหภูมิให้คงที่ได้ จากนั้น จะทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจากส่วนที่ติดกับแผ่นให้ความร้อนตัวในตัวนอก เพื่อที่จะดูถึงความแตกต่างของอุณหภูมิ และพยายามปรับแรงดันไฟฟ้าเพื่อที่จะให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของวัสดุที่ติดกับแผ่นให้ความร้อนตัวในตัวนอกน้อยที่สุด และตรวจดูอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุว่า จะถึงจุดอุณหภูมิแล้วหรือยัง ดังนั้นในการทดลอง จะทำการเก็บอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที โดยจะอาศัยจากเครื่องบันทึกที่สามารถตั้งเวลาได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบได้ว่า อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุนั้นอยู่ในสภาพสมดุล เมื่อการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที นั้น อุณหภูมิจะคงที่



รูป 3 แผ่นชดลวดชุดในและชุดนอกที่ให้ความร้อน (Heater)



รูป 3-4 แผ่นระบายความร้อน ที่แสดงถึงทางเดินของน้ำที่ไหลเข้า และออกไปตามรางที่มีแผ่นทองแดงกัน ทำให้น้ำไหลวนเวียนไปทั่วทั้งแผ่น

การทดลองในตอนที่ 1 นี้ สำหรับวัสดุหนึ่งๆ จะทำ 3 ครั้ง โดยการตั้งแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดความร้อนทั้ง 2 ชุดต่างๆกัน เพื่อให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุใกล้เคียงกัน และได้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างชุดให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด ต่างๆกัน ดังนั้น ข้อมูลที่ได้สำหรับวัสดุชนิดหนึ่งประกอบด้วย

1. ความหนาของวัสดุซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ชั้น
2. ความหนาแน่น ของวัสดุซึ่งคิดจากน้ำหนัก และปริมาตรขณะทดลอง
3. กำลังไฟฟ้าซึ่งตั้งไว้โดยอ่านค่ากระแส และ ความต่างศักย์จากเครื่อง Multimeter ที่ได้ผ่านการสอบเทียบมาแล้ว
4. อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน
5. อุณหภูมิแผ่นระบายความร้อน
6. อุณหภูมิแตกต่างระหว่างชุดให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด

จากข้อมูลเหล่านี้ จึงนำไปทำการคำนวณตามลำดับ ได้ค่าคงที่ของเครื่องมือ คือ ค่า  $q_0$  และ  $c$  ตามทฤษฎีบทที่ 2 และตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ข

การทดลองตอนที่ 2 เป็นการหาค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุแบบต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนการหาดังนี้ ป้อนกระแสไฟฟ้าและเปิดน้ำจากอ่างน้ำวนที่ตั้งอุณหภูมิได้ ผ่านเข้าแผ่นระบายความร้อนแต่ละชุดเท่าๆกัน ภายหลังจากที่ได้ใส่วัสดุทดสอบเข้าเครื่องทดสอบแล้ว จากนั้น คอยตรวจสอบดูว่า อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดในและชุดนอกว่ามีความแตกต่างกันมากเพียงใด แล้วจึงทำการปรับการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดของแผ่นให้ความร้อนชุดในชุดนอก เพื่อให้จะได้ อุณหภูมิชุดในและชุดนอกมีความแตกต่างกั้น้อยที่สุด และเมื่อถึงสภาพสมดุล จึงทำการเก็บข้อมูล ข้อมูลที่ได้จะเป็นแบบเดียวกันการทดลองตอนที่ 1 แต่ครั้งนี้ จะทำการทดลองเพียงครั้งเดียวสำหรับตัวอย่างหนึ่งๆ และนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการคำนวณหาสภาพการนำความร้อน และหาค่า  $q_0$  และ  $c$  จาการทดลองที่ 1 นำมาหาค่าความผิดพลาดในการทดลองในตอนที่ 2 ดังทฤษฎีบทที่ 2 และตัวอย่างการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองตอนที่ 1 นี้ เพื่อหาค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อน ได้ทำการทดลองกับวัสดุ 5 ชิ้น ดังข้อมูลจากการทดลองและการคำนวณในภาคผนวก ผลที่ได้คือ

$$\begin{aligned} q_0 &= 0.202 \quad \text{watt} \\ c &= 0.018 \quad \text{m.k} \end{aligned}$$

ซึ่งค่า  $q_0$  และ  $c$  นี้ มาจาก Least Squares ดังข้อมูลตารางที่ ก-3 ในภาคผนวก ข.

ในการทดลองตอนที่ 2 เป็นการหาค่าสภาพการนำความร้อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ดังแสดงในตารางที่ 4-1 และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่หาได้นี้ เป็นค่าที่บอกถึงความถูกต้องของค่าสภาพการนำความร้อนที่ควรจะทดลองได้

#### 4.2 ผลของค่าคงที่ต่อการทดลอง

ค่า  $q_0$  และ  $c$  ของแผ่นให้ความร้อนจากเครื่องมือที่ใช้หาค่าสภาพการนำความร้อนนี้ ถ้าเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Woodside and Wilson<sup>(4)</sup> ซึ่งใช้ขนาดของแผ่นให้ความร้อน ขนาด 30 X 30 ซม. และ 15 X 15 ซม. แล้วค่า  $q_0$  และ  $c$  ของเขาจะได้ 0.539 วัตต์ และ 0.098 วัตต์ กับ 1.381 และ 0.0345 m. k. ซึ่งจากเครื่องมือที่ใช้ทดลองนี้ ขนาดของแผ่นระบายความร้อนเป็น 0.22 วัตต์ และ 0.018 m. k จะพบว่าค่าของ  $q_0$  ที่ทำการทดลอง จะมีค่าอยู่ระหว่างกลาง แต่ละค่าของ  $c$  จะน้อยมาก ซึ่งจะมีผลต่อการควบคุมการทดลอง ทำได้ยากขึ้นเท่านั้น เพราะต้องควบคุมให้อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง ชุดให้ความร้อนชุดนอกและชุดใน ใกล้เคียงกันยิ่งขึ้น ไม่มีผลต่อค่าสภาพการนำความร้อน โดยพิจารณาจากสมการ

$$\frac{\Delta k}{k} = x \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

จะเห็นได้ว่า สำหรับวัสดุชิ้นหนึ่งนั้น ความหนาและค่าสภาพการนำความร้อนคงที่ แผ่นให้ความร้อนที่มีค่าคงที่มาก จะต้องควบคุมให้  $\Delta \theta / \Delta t$  น้อยกว่าแผ่นให้ความร้อนที่มีค่าคงที่น้อย เมื่อต้องการจะให้ค่าความผิดพลาดเท่าๆกัน ซึ่งในการควบคุม  $\Delta \theta / \Delta t$  ในการศึกษานี้ ควบคุมด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าของขดลวดความร้อนด้วยมือ และตรวจสอบอุณหภูมิอยู่เสมอ ดังนั้น เมื่อต้องการควบคุมให้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างชุดให้ความร้อนทั้ง 2 ชุด มีค่า  $\Delta \theta$  น้อยลง ก็ต้องมีการควบคุมที่ใกล้ชิดยิ่งขึ้น ความพยายามมากขึ้น และเวลานานขึ้น

ชื่อวัสดุทดสอบ	ความหนา ซม.	ความหนาแน่น kg / m <sup>3</sup>	k W / m.k.	$\Delta k / k$ %	$\Delta t$	อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุ
1. แผ่นฉนวนใยแก้ว	2.5	48.00	0.027	-	116.91	76.04
2. แผ่นไม้อัดซีเมนต์	0.8	1364.80	0.040	-	44.42	43.37
3. ฉนวนยางกันความร้อน.	2.5	91.93	0.036	-	78.33	52.70
4. Polyethelene Foam	2.0	311.20	0.042	-	42.58	39.29
5. ฝ้าเพดาน	1.2	680.15	0.055	-	44.33	33.75
6. Cellulose Fiber	2.5	98.51	0.029	3.42	110.25	69.87
7. แผ่นอะคิลิก	0.5	1074.00	0.054	5.04	20.25	30.12
8. แผ่น Polyisocyanurate	2.5	125.64	0.024	9.87	116.00	73.50
9. แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.8	661.86	0.068	1.76	29.50	38.50
10. หินมวลเบาผสมซีเมนต์	4.8	895.50	0.287	8.36	27.00	41.00
11. กระดาษลูกฟูก	0.5	60.20	0.038	4.04	21.50	24.00
12. กระฉกใส	0.6	2411.66	0.053	6.99	25.00	38.00
13. กระฉกสีขาวอ่อน	0.6	2466.78	0.053	4.49	27.75	40.00
14. กระฉกสีขาวเข้ม	0.6	2467.77	0.053	5.54	27.00	39.00

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดค่าสภาพการนำความร้อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวัสดุต่างๆที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $\Delta t$  ของแผ่นให้ความร้อนกับแผ่นระบายความร้อนจากการทดลองตัวอย่างละ 3 ครั้ง กับอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุ

#### 4.8 การพิจารณาค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

ค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้นี้ เป็นค่าเฉพาะของวัสดุชิ้นที่นำมาทำการทดลองเท่านั้น เพราะเป็นค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุชิ้นหนึ่งๆ อาจแตกต่างกันได้ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ คือ

1. แตกต่างกันเนื่องจากลักษณะทั่วไปของวัสดุ เช่น ความหนาแน่น เป็นต้น แม้จะเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ดังเช่น วัสดุฉนวนใยแก้ว ที่ความหนาแน่นต่างๆกัน ก็มีค่าที่แตกต่างกันได้

2. แตกต่างกันเนื่องจากความชื้น เนื่องจากวัสดุบางชนิดดูดความชื้น ปริมาณความชื้นในวัสดุเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป

ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ซึ่งคำนวณจากค่าคงที่ของแผ่นให้ความร้อนที่ได้จากการทดลองนั้น เป็นค่าที่บอกว่าคุณภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้ถูกต้องเพียงไร แต่การที่จะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดนี้มาแก้ไขค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้เป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น เพราะการทดลองที่ดีนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการทดลองต้องน้อยมากอยู่แล้ว ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจึงใช้สำหรับตรวจสอบดูว่า มีความถูกต้องเพียงไรเท่านั้น

ดังนั้นการเปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องมือที่ดีที่สุดคือ การนำวัสดุที่ผ่านการทดลองจากเครื่องมือมาตรฐานในต่างประเทศมาแล้วทำการทดลอง โดยจัดรายละเอียดต่างๆให้ตรงตามการทดลองของเรา เพื่อเปรียบเทียบค่าที่เราทดลองได้ ซึ่งยังไม่มีการวัดประเภทนี้มา จะมีก็แต่ตัวอย่างที่ส่งมา และมีแค่ตลิ่งบอกค่าให้มา แต่ไม่มีรายละเอียดและวิธีการให้มา ซึ่งเมื่อทำการทดสอบดูก็จะให้ผลที่แตกต่างกันออกไป แต่ไม่มากนัก ดังเช่น

ฉนวนใยแก้วของบริษัท Kimmco ที่ค่าความหนา 25 มม. ความหนาแน่น  $48 \text{ kg/m}^3$  ค่าสภาพการนำความร้อน  $0.033 \text{ W/m.K}$  รายละเอียดอื่นๆไม่มี จากการทดลองค่าสภาพการนำความร้อน  $0.035 \text{ W/m.K}$ . ซึ่งผิดไป 6 % อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิดกัน หรือ ความชื้นก็เป็นได้

ฉนวนเยื่อกระดาษกันความร้อน ของบริษัท Natural Insulation ( Thailand ) ค่าสภาพการนำความร้อน  $0.028 \text{ W/m.K}$  รายละเอียดอื่นๆไม่มี จากการทดลองค่าสภาพการนำความร้อน  $0.029 \text{ W/m.K}$ . ที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $70^\circ \text{C}$  ความหนาแน่น  $98.51 \text{ kg/m}^3$  ซึ่งผิดไป 3.6 % ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากความหนาแน่นที่ต่างกัน หรืออุณหภูมิเฉลี่ยก็เป็นได้

กระจกสีชาอ่อน ทดลองได้ค่าสภาพการนำความร้อน  $0.053 \text{ W/m.K}$ . ที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $40^\circ \text{C}$  และกระจกใสได้  $0.053 \text{ W/m.K}$ . ที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $38^\circ \text{C}$  ซึ่งจากหนังสือ PROCESS HEAT TRANSFER<sup>(5)</sup> ค่าสภาพการนำความร้อนของกระจกมีค่า 0.346 ถึง 1.245 W/m.K. และ 4.152 ถึง 15.1548 W/m.K. ซึ่งค่าทดลองที่ได้ มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดอยู่มาก



เนื่องจากไม่มีวัสดุที่ได้รับการวัดค่าสภาพการนำความร้อนจากเครื่องมือมาตรฐานในต่างประเทศมาทำการวัด เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือนี้ ดังนั้น จึงไม่สามารถยืนยันได้ว่า ผลการทดลองนี้ถูกต้องเพียงไร แต่จากการเปรียบเทียบค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้จากเอกสารจากทางบริษัทที่พอจะหาได้ ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันพอสมควร แต่กระเจมีค่าต่ำกว่าที่ควร ซึ่งจากการพิจารณาลักษณะของวัสดุแล้ว ผิวกระจกซึ่งเป็นผิวที่แข็งไม่มีความยืดหยุ่น ความแข็งทำให้ผิวสัมผัสไม่ดี การวัดค่าสภาพการนำความร้อนน้อยลง ทั้งนี้ ความร้อนที่จะต้องถ่ายเทออกทั้ง 2 ด้านของเครื่องมือชุดนี้ จะต้องเท่าๆกัน วัสดุทั้ง 2 ชั้นที่ประกบเข้ากับแผ่นให้ความร้อนจึงต้องสนิทดี ไม่ทำให้เกิดช่องว่างของอากาศระหว่างแผ่นให้ความร้อนกับวัสดุ จึงจะทำให้ค่าสภาพการนำความร้อนที่วัดออกมาให้มีความถูกต้องมากขึ้น

#### 4.4 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาทดลอง จะทำให้เราได้ทราบว่า

1. ค่าของ  $q_0$  และ  $c$  ที่ได้นี้มีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการหาค่าสภาพการนำความร้อน ทางแก้ก็คือ จะต้องพยายามควบคุมการทดลองอย่างใกล้ชิด

โดยให้  $\Delta\theta$  นี้มีค่า น้อย มาก

$$\Delta t$$

2. จากการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสภาพการนำความร้อนของวัสดุ จะพบว่า วัสดุที่ทำการทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง จะเป็นวัสดุประเภทผิวแข็งที่ไม่ยืดหยุ่น ทั้งนี้ ความแข็งจะทำให้ผิวสัมผัส ระหว่าง แผ่นให้ความร้อนกับผิววัสดุไม่สัมผัสกันดี ซึ่งจะทำให้การวัดค่าสภาพการนำความร้อนน้อยลง

3. ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุที่คำนวณออกมาได้นั้น ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำมาใช้ ในการแก้ไขค่าสภาพการนำความร้อน แต่ควรที่จะใช้เป็นการบอกให้ทราบว่า ค่าสภาพการนำความร้อนที่ทดลองได้ถูกต้องเพียงไร เพื่อที่จะได้ทำการทดลองซ้ำ โดยพยายามควบคุมการปรับแรงดันไฟฟ้าของแผ่นให้ความร้อนชุดในและชุดนอกมีความแตกต่างของอุณหภูมิ ( $\Delta\theta$ ) ต่างกันน้อยมาก

4. ข้อสังเกตที่ได้จากการศึกษา ขณะทำการทดลองจะพบว่า ช่วงเวลา ก่อน 12.00 น. ถึง 13.00 น. จะมีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่คงที่ ซึ่งมีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เมื่ออุณหภูมิจะเริ่มอยู่ในสภาวะที่คงที่ ดังนั้น จึงพยายามที่จะหา Stabilizes Transformer เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่

5. กับวัสดุประเภทผิวอ่อนนุ่ม จะพบว่า เปอร์เซนต์ความผิดพลาด จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุมีค่าสูงขึ้น ดังพิจารณาจากกราฟรูปที่ 6 ทั้งนี้เพราะในการทดลอง เราพยายามจะให้ความร้อนไหลไปในทางเดียวในแนวตั้งฉากกับแผ่นวัสดุ แต่เนื่องจากวัสดุที่มีค่าสภาพนำความร้อนสูงจึงทำให้ความร้อนไหลผ่านออกทางด้านข้างได้มาก ทำให้การหาเปอร์เซนต์ความผิดพลาดสูงขึ้นด้วย

6. สำหรับวัสดุประเภทผิวแข็งที่เป็นกระจกที่มีความเข้มสีต่างกัน จะให้ค่าสภาพการนำความร้อนเท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม่ขึ้นกับความเข้มของสี แต่มีเปอร์เซนต์ความผิดพลาดจากการทดลองที่ต่างกันอาจเป็นผลจากขณะทำการทดลองในการนำชิ้นวัสดุเข้าเครื่องทดสอบที่ถูกประกบด้วยแผ่นให้ความร้อนกับแผ่นระบายความร้อนได้ไม่ดี แต่ก็มี ความแตกต่างกันของเปอร์เซนต์ความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย สำหรับวัสดุประเภทผิวแข็งอื่นๆ อาจเป็นเดียวกับสรุปข้อที่ 2

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณชัชชัย นบธีรานุภาพ ที่ได้ให้ใช้เครื่องวัด Multimeter มาตลอด และคุณ รัชฎา ศาครินทร์ราชัย จากบริษัท สยามเวลส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ช่วยจัดหาตัวอย่างบางชิ้นให้

## เอกสารอ้างอิง

1. ASHRAE. ASHRAE Guide And Data Book 1963 Fundamentals and Equipment. American Society of Heating , Refeigerating and Air - Conditioning Engineers , Inc. , 1963
2. British Standard Definitions of Heat Insulating Term and Methods of Determining Thermal Conductivity B.S. 874 1956
3. American Society for Testing and Materials. Standard Method of Test for Thermal Conductivity of Materials by means of the Guarded Hot Plate , ASTM C 177.
4. Woodside , W. and Wilson , A.C Unbalance Errors In-Guarded Hot Plate Measurement Symposium on Thermal Conductivity Measurements and Applicationns of Thermal Conductivity AST Special Technical Publication No.217 , Philadelphia Meeting , 1957 ; 32 - 48
5. Chapman , A.J. , Heat Transfer , 4 th ed. , Macmillan , New York , 1984
6. Fourier , J.B. , Theorie analytique de la Chaleur. Paris, 1822 ; English Translation by A. Freeman , Dover Publieation , Inc., New York , 1955.

ภาคผนวก

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลจากการทดลองหาค่าสภาพการนำความร้อนที่  $\Delta\theta$  ต่างๆกัน เพื่อหาค่า  $q_0$  และ  $c$  และข้อมูลในช่องสุดท้ายของตารางแสดงถึงค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างของแผ่นให้ความร้อนและชุดนอก คือ  $\Delta\theta$

ชื่อวัสดุทดสอบ	ความหนา cm.	ความหนาแน่น kg / m <sup>3</sup>	ปริมาณไฟฟ้า (Watt)	อุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน ( <sup>o</sup> C)= t <sub>H</sub>	อุณหภูมิแผ่นระบายความร้อน(C)= t	อุณหภูมิแตกต่างของแผ่นให้ความร้อน $\Delta\theta$
1. แผ่นฉนวนใยแก้ว	2.5	48.00	3.880	140.00	17.50	0.75
			4.033	141.50	17.25	1.00
			3.487	122.00	18.00	1.00
2. แผ่นไม้อัดซีเมนต์	0.8	1,364.80	5.812	66.50	22.25	1.25
			5.517	61.00	20.25	1.50
			6.894	69.25	21.00	2.5
3.ฉนวนขากันความร้อน	2.5	91.93	2.593	108.25	17.75	-7.75
			2.479	79.75	8.25	-0.75
			2.899	89.75	12.50	1.25
4.Polyethelene Foam	2.0	311.20	2.343	68.50	21.00	0.50
			2.010	57.50	17.00	0.75
			2.033	55.75	16.00	1.00
5. ฝ้าเพดาน	1.2	680.15	5.420	55.00	8.25	-0.25
			5.302	56.75	10.75	.0.75
			5.673	89.25	12.50	1.25

ตารางที่ ก-2 ผลการคำนวณ  $k_{exp}$  และ  $\Delta\theta$  จากตารางที่ 1 ดังแสดง

ตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ข

ครั้งที่	อุณหภูมิแตกต่างของวัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $\Delta t = t_H - t_c$	อุณหภูมิแตกต่างผ่านให้ความ ร้อนต่ออุณหภูมิแตกต่างของ วัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ ) = $\Delta\theta / \Delta t$	ค่าสภาพการนำความร้อนที่ ทดลองได้ = $k_{exp}$ ( $\text{W} / \text{m.K}$ )
1/1	122.50	$6.122 \times 10^{-3}$	0.0344
1/2	124.25	$8.048 \times 10^{-3}$	0.0353
1/3	104.00	$9.618 \times 10^{-3}$	0.0364
2/1	44.25	$2.825 \times 10^{-2}$	0.0457
2/2	40.75	$3.680 \times 10^{-2}$	0.0471
2/3	48.25	$5.181 \times 10^{-2}$	0.0497
3/1	90.50	$-8.563 \times 10^{-2}$	0.0268
3/2	67.25	$-1.115 \times 10^{-2}$	0.0354
3/3	77.25	$1.618 \times 10^{-2}$	0.0384
4/1	47.50	$1.053 \times 10^{-2}$	0.0429
4/2	40.50	$1.851 \times 10^{-2}$	0.0431
4/3	39.75	$2.516 \times 10^{-2}$	0.0445
5/1	46.25	$-0.540 \times 10^{-2}$	0.0529
5/2	40.00	$1.630 \times 10^{-2}$	0.0601
5/3	46.75	$2.674 \times 10^{-2}$	0.0633

ตารางที่ ก-3 ผลการคำนวณ  $q^{\circ}$  ที่ค่า  $k$  จากตารางนี้ได้มาจาก  
กราฟที่แสดงในรูปที่ 1 - 5 ของ 5 ดังอย่าง และนำผลไปคำนวณหาค่า  $q^{\circ}$  ดังแสดง  
ในตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ข

ลำดับที่	$q^{\circ}$ ( Watt )	$k$ ( $\text{W} / \text{m. K.}$ )
1	0.2796	0.0311
2	0.2809	0.0404
3	0.0648	0.0365
4	0.0587	0.0419
5	0.3313	0.0548

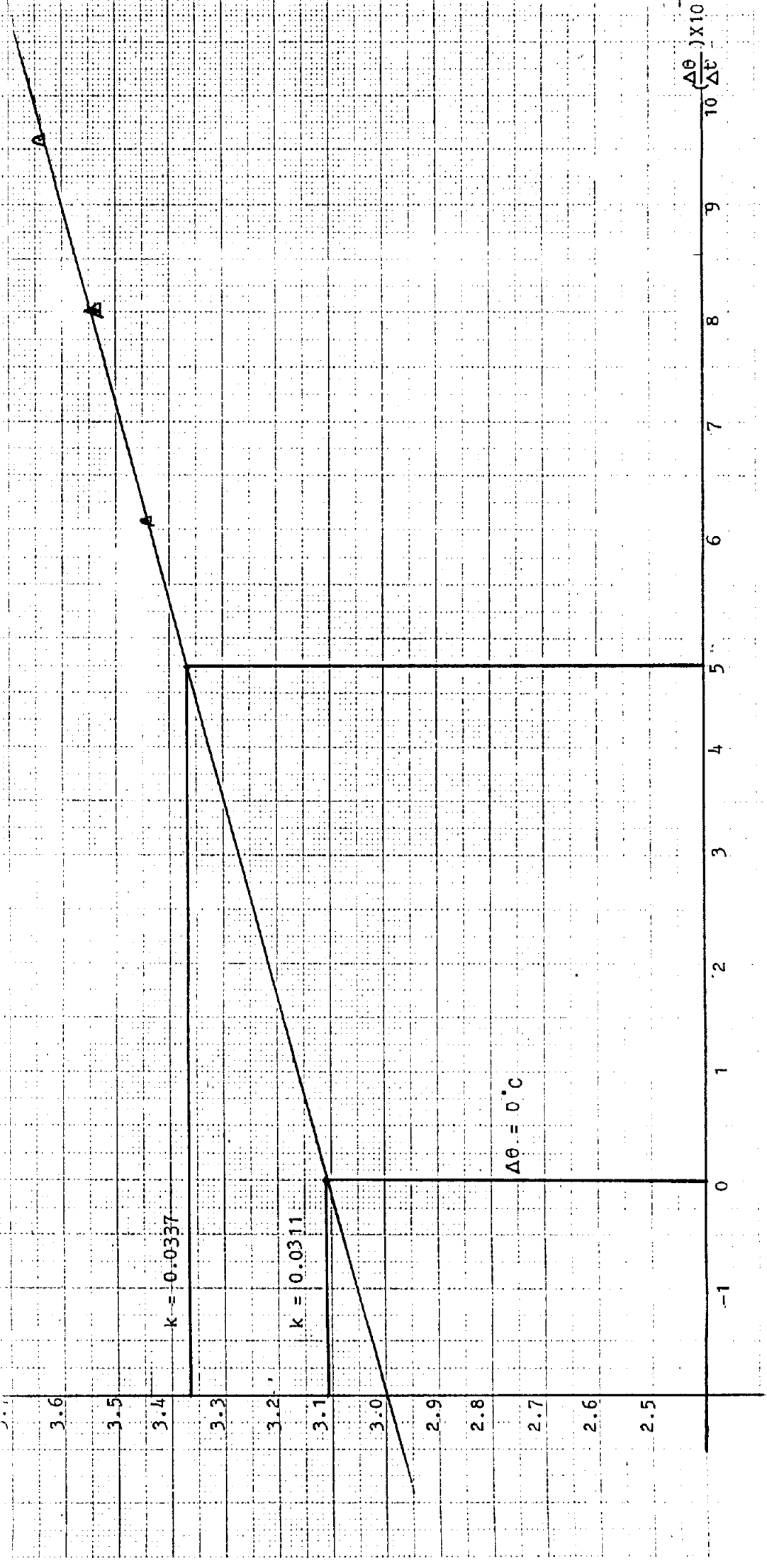
ตาราง ก-4 ข้อมูลในการทดสอบหาค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ  
ต่างๆ เป็นข้อมูลที่ทำกรทดสอบกับตัวอย่างอีก 9 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำไปหาค่าสภาพนำความร้อน  
และให้ผลค่าสภาพนำความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 1

ชื่อวัสดุทดสอบ	ความหนา cm.	ความ หนาแน่น kg / m <sup>3</sup>	ปริมาณ ไฟฟ้า Watt	อุณหภูมิแผ่น ให้ความร้อน ( <sup>0</sup> C) = t <sub>N</sub>	อุณหภูมิแผ่น ระบายความ ร้อน( <sup>0</sup> C)=t <sub>C</sub>	อุณหภูมิแตกต่าง ของแผ่นให้ ความร้อนΔθ
6. Cellulose Fiber	2.5	98.51	2.871	125.00	14.75	0.50
7. แผ่นอะคิลิก	0.5	1,074.00	5.001	40.25	20.00	1.25
8. แผ่น Polyisocyanurate	2.5	125.64	2.831	131.50	15.50	1.25
9. แผ่นขีบข้มบอร์ด	0.8	661.86	5.041	53.25	23.75	0.50
10. หินมวลเบาผสมปูนซีเมนต์	4.8	895.50	4.843	57.50	24.50	1.50
11. กระดาษลูกฟูก	0.5	60.20	3.810	34.75	13.25	0.75
12. กระดาษใย	0.6	2,411.66	5.049	50.25	25.25	1.75
13. กระดาษชีช่ายอน	0.6	2,460.78	5.625	53.75	26.00	1.25
14. กระดาษชีซาเข้ม	0.6	2,467.77	5.448	52.50	25.50	1.50

ตัวอย่าง 1

$k \text{ (W/m.k)} \times 10^{-2}$

รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นนวนใยแก้ว  $k_{exp} = k_{theo} \frac{\Delta T}{\Delta t}$  โดย  $\Delta T = 116.91^\circ\text{C}$



แสดงถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์นำความร้อนเมื่ออุณหภูมิของแผ่นใยแก้วร้อนขึ้นและอุณหภูมิของแผ่นใยแก้ว



5.0  $k \text{ (W/m.k)} \times 10^{-2}$

26

ตัวอย่าง 2

รูปที่ 2 ตัวอย่างไม้ค้ำซีเมนต์  $k_{exp}$  กับ  $\frac{\Delta \theta}{\Delta t}$

เฉลี่ย 44.42 °C

4.5

$k_{exp} = 0.0426$

4.0  $k = 0.0404$

$\Delta \theta = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

3.5

$(\frac{\Delta \theta}{\Delta t}) \times 10$

-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

แสดงถึงการหาค่าสภาพนำความร้อนเมื่ออุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดใน และชุดนอก ต่างกัน 0 °C ของไม้ค้ำซีเมนต์

$k = (w/m.k) \times 10^{-2}$

27 -

ตัวอย่าง 3

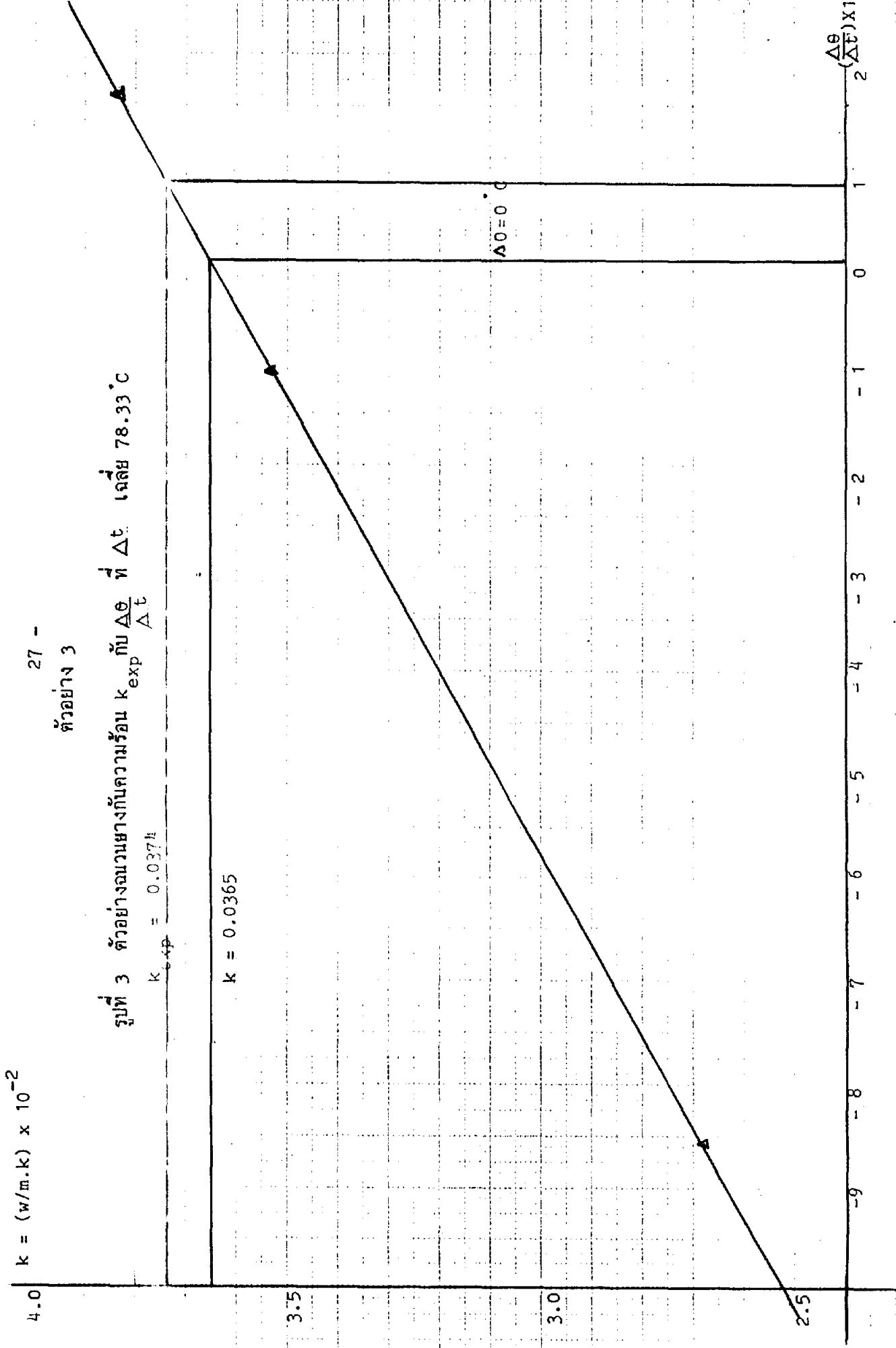
รูปที่ 3 ตัวอย่างของความสัมพันธ์  $k_{exp}$  กับ  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  ที่  $\Delta t$  เฉลี่ย 78.33 °C

$k_{exp} = 0.0374$

$k = 0.0365$

$\Delta\theta = 0$

$\frac{\Delta\theta}{(\Delta t) \times 10^2}$



แสดงถึงการหาค่าสภาพนำความร้อนเมื่ออุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดใน และชุดนอก ต่างกัน 0 °C ของจำนวนยางฉนวนความร้อน

$k(w/m \cdot k) \times 10^{-2}$

-28-

ตัวอย่าง 4

รูปที่ 4 ตัวอย่าง Polyethylene Foam  $k_{exp}$  ที่  $\Delta\theta$  เท่ากับ  $42.58^\circ C$

$k_{exp} = 0.0431$

$k = 0.0419$

$\Delta\theta = 0^\circ C$

$\Delta\theta \times 10^{-1}$

2.5

2

1

0

-1

3.5

แสดงถึงการหาค่าสภาพนำความร้อนเมื่ออุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนสูงขึ้น และจุดนอก ต่ำกัน  $0^\circ C$  ของ Polyethylene Foam

$k \text{ (w/m.k)} \times 10^{-2}$

6.5

6.0

5.5

5.0

- 29 -

ตัวอย่าง 5

รูปที่ 5 ตัวอย่างค่าพหุคูณ  $k_{exp}$  กับ  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  ที่  $\Delta t$  คงที่ 4.33 °C

$k_{exp} = 0.0587$

$k = 0.0548$

$\Delta\theta = 0.1^\circ\text{C}$

$\Delta\theta \times 10^{-2}$

-1

0

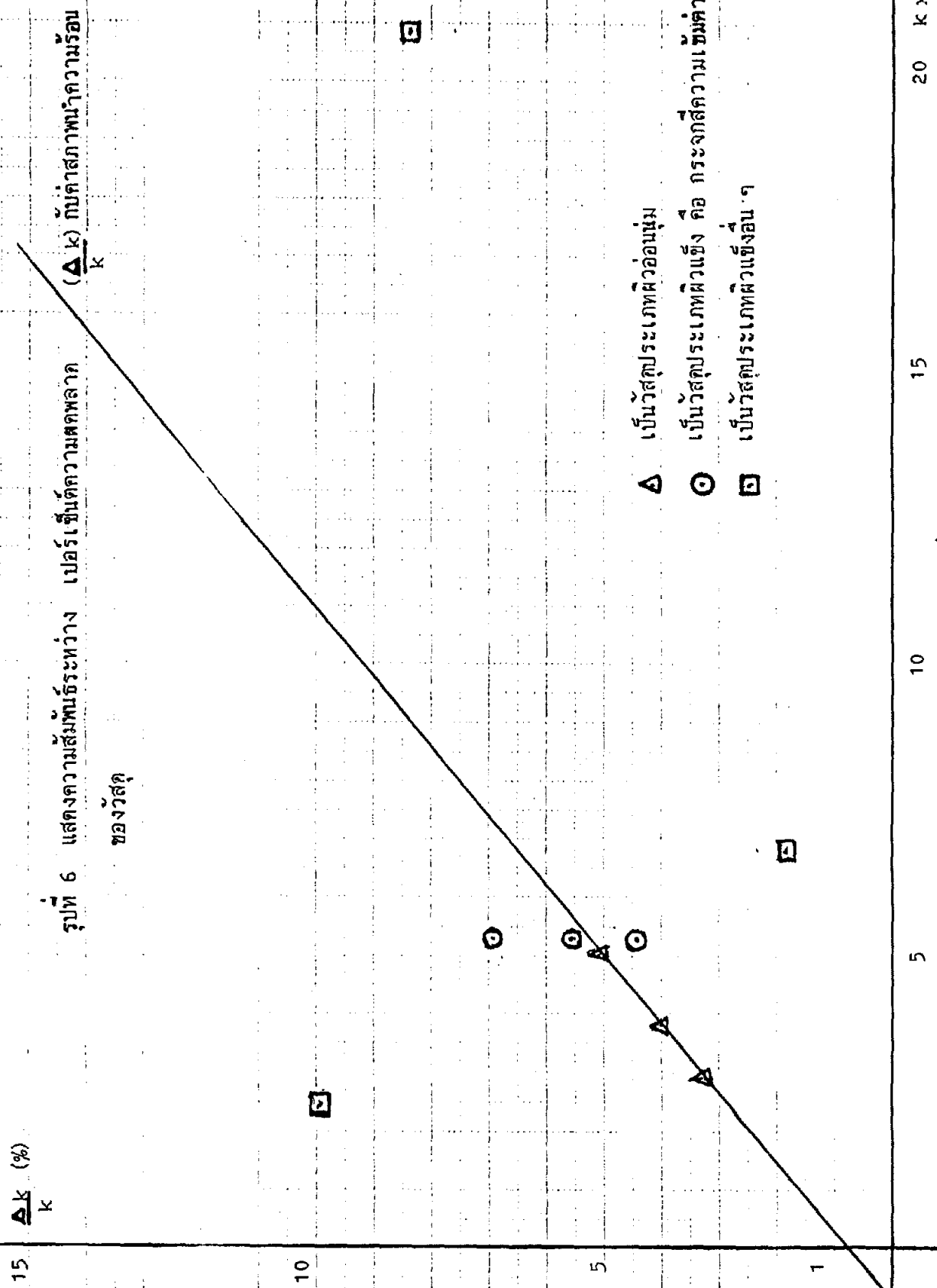
1

2

2.5

แสดงถึงการหาค่าสภาพนำความร้อน เมื่ออุณหภูมิคงที่ให้ความร้อนที่  $0^\circ\text{C}$  ของน้ำเปกาน

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของวัสดุ  $\frac{\Delta k}{k}$  กับค่าสภาพนำความร้อน  $\frac{(\Delta k)}{k}$  ของวัสดุ



แสดงให้เห็นว่า วัสดุประเภทผิวอ่อนนุ่ม จะมีค่าความนำความร้อนสูงขึ้น เมื่อค่าสภาพนำความร้อนสูงขึ้น สำหรับกรณีที่วัสดุที่มีความแข็งต่างกัน จะไม่มีผลต่อค่าสภาพนำความร้อน และวัสดุประเภทผิวแข็ง ค่าสภาพนำความร้อนจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความนำความร้อนสูง

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณ ตารางที่ ก-2 จากข้อมูลในตาราง ก-1

จากข้อมูลแผ่นฉนวนใยแก้ว ของการทดลองครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{อุณหภูมิแตกต่างของวัสดุ } \Delta t &= \text{อุณหภูมิแผ่นให้ความร้อน} - \text{อุณหภูมิแผ่นระบายความร้อน} \\ &= 140.00 - 17.50 \\ &= 122.50 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนอุณหภูมิแตกต่างของแผ่นให้ความร้อน 2 ชุด } (\Delta \theta) \text{ ต่อ อุณหภูมิแตกต่างของวัสดุ } (\Delta t) \\ &= \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{0.75}{122.50} \\ &= 6.122 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\text{จาก ค่าสภาพการนำความร้อน , } k_{\text{exp}} = \frac{(Q + q) \cdot x}{T \cdot A \cdot t}$$

$$\text{ปริมาณความร้อน } \frac{(Q + q)}{T} = 3.880 \text{ Watt}$$

$$\text{พื้นที่ของแผ่นให้ความร้อน , } A = 2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$\text{ความยาว , } x = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{อุณหภูมิแตกต่างวัสดุ , } \Delta t = 122.50$$

$$k = \frac{3.880 \times 2.5 \times 10^{-2}}{2.3 \times 10^{-2} \times 122.50}$$

$$= 0.0344 \text{ W/m.k}$$

การคำนวณ ตารางที่ ก-3 จากข้อมูลของกราฟรูปที่ 1 - 5

พิจารณา ค่าสภาพการนำความร้อนจากกราฟที่  $\Delta \theta = 0$  ซึ่งเป็นค่า  $k_{\text{exp}} = 0.0311 \text{ W/m.k}$

และค่า  $k_{\text{exp}}$  ที่  $\Delta \theta = 1 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0.0337 \text{ W/m.k}$

$$\text{จากสมการ (2-4) อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านข้าง } q/T = \frac{k \cdot A \cdot \Delta t}{x}$$

$$\text{ซึ่ง } \Delta k = 0.0337 - 0.0311 = 0.0026 \text{ W/m.k}$$

$$A = 2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$\Delta t = 116.91 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$x = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$q' = q/T = \frac{0.0026 \times 2.3 \times 10^{-2} \times 116.91}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.2796 \quad \text{Watt}$$

การคำนวณหาค่า  $q_0$  และ  $c$  จากข้อมูลในตารางที่ ก-3

ใช้ Least Square เพื่อให้ได้  $q_0$  และ  $c$  ซึ่งเหมาะกับข้อมูลในตารางที่ ก-3 ดังนี้

$q'$	$k$	$k^2$	$k \cdot q'$
0.2796	0.0311	$9.672 \times 10^{-4}$	$8.696 \times 10^{-3}$
0.2809	0.0404	$1.632 \times 10^{-3}$	$1.135 \times 10^{-2}$
0.0648	0.0365	$1.332 \times 10^{-3}$	$2.365 \times 10^{-3}$
0.0587	0.0419	$1.756 \times 10^{-3}$	$2.459 \times 10^{-3}$
0.3313	0.0548	$3.003 \times 10^{-3}$	$1.815 \times 10^{-3}$
$q = 1.0153$	$k = 0.2047$	$k^2 = 8.690 \times 10^{-3}$	$kq = 0.0430$

จาก  $q = q_0 + ck$

$$\therefore 1.0153 = 5q_0 + 0.2047c \quad (1)$$

และ  $0.0430 = 0.2047q_0 + 8.690 \times 10^{-3}c \quad (2)$

จาก (1)  $q_0 = \frac{1.0153 - 0.2047c}{5}$

แทนค่า  $q_0$  ลงใน(2)  $0.0430 = \frac{0.2047(1.0153 - 0.2047c)}{5} + 0.0869c$

$$= 0.0416 + 0.0785c$$

$$c = \frac{0.0152}{0.0785} = 0.018 \quad \text{m.k}$$

และแทนค่า  $c$  ลงใน(1)

$$q_0 = \frac{1.0153 - 0.2047 \times 0.018}{5}$$

$$= 0.202 \quad \text{Watt}$$

การคำนวณผลการทดลองจากข้อมูลตารางที่ ก-4

ตัวอย่างจากข้อมูลตารางที่ ก-4 ที่เป็น cellulose fiber จากสมการ (2-3)

$$k_{\text{exp}} = \frac{(Q + q) x}{T.A. t}$$

ซึ่ง

$$\begin{aligned} \frac{(Q + q)}{T} &= 2.871 \quad \text{Watt} \\ x &= 2.5 \quad \text{cm.} \\ A &= 2.3 \times 10^{-2} \quad \text{m}^2 \\ \Delta t &= 110.25 \quad ^\circ\text{C} \\ k_{\text{exp}} &= \frac{2.871 \times 2.5 \times 10^{-2}}{2.3 \times 10^{-2} \times 110.25} \\ &= 0.029 \quad \text{W/m.k} \end{aligned}$$

เนื่องจากการทดลองนี้พยายามปรับให้อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนชุดในและชุดนอกใกล้เคียงกันมากที่สุด

$$\begin{aligned} k &\approx k_{\text{exp}} \\ k &= 0.029 \quad \text{W/m.k} \end{aligned}$$

และความผิดพลาดของค่าสภาพการนำความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนของชุดในและชุดนอกไม่เท่ากัน จากสมการ (2-9)

ซึ่ง

$$\begin{aligned} \frac{\Delta k}{k} &= \frac{x \cdot \Delta \theta}{A \cdot \Delta t} \left( \frac{q_0}{k_0} + c \right) \\ x &= 2.5 \quad \text{cm.} \\ A &= 2.3 \times 10^{-2} \quad \text{m}^2 \\ \Delta t &= 110.25 \quad ^\circ\text{C} \\ \Delta \theta &= 0.5 \quad ^\circ\text{C} \\ q_0 &= 0.202 \quad \text{Watt} \\ c &= 0.018 \quad \text{m.k} \\ k &= 0.029 \quad \text{W/m.k} \\ \frac{\Delta k}{k} &= \frac{2.5 \times 10^{-2}}{2.3 \times 10^{-2}} \times \frac{0.5}{110.25} \left( \frac{0.202}{0.029} + 0.018 \right) \\ &= 3.42 \% \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{และอุณหภูมิเฉลี่ย ของวัสดุ} &= \frac{125.0 + 14.75}{2} \\ &\cong 70 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$