บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การทดสอบดำเนินการไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึง แผนการดำเนินการ ตัวแปรสำหรับการทดสอบ วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

2.1 แผนการดำเนินการ

1 ศึกษาสาระสำคัญและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (CLPHP) ที่จะทำการทดสอบ โดยการสืบค้นจากหนังสือและบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ทั้งทางด้านท่อความร้อนและด้านการถ่ายเทความร้อน

2 ทำการสรุปและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาเป็นแนวทางในการทดลองเบื้องต้นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่สภาวะปรกติ

3 เตรียมการทดลองทั้งหมดโดย สร้างชุดทดสอบตามที่คาดหมายไว้ จากนั้นเตรียมอุปกรณ์ที่ช่วยในการทดลอง เช่น แท่นทดสอบ อ่างทำความร้อน (Hot bath) อ่างทำความเย็น (Cold bath) สายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) หรือ เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

4 ทำการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยการวัดค่าความแตกต่างอุณหภูมิของของไหลที่รับความร้อนระหว่างทางเข้าและออก นำไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนในแต่ละชุดการทดลอง

5 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อค่าการส่งถ่ายความร้อน

6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบทั้งหมด

2.2 ตัวแปรในการทดสอบ

2.2.1 ตัวแปรควบคุม

1 อุณหภูมิการทำงาน 60 °C

2 ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น มีค่าเท่ากัน ที่ 100 mm.

2.2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบวางตัวอยู่ในแนวดิ่งและแนวนอน (มุมเอียง 90 และ 0 องศา เมื่อวัดจากแนวระดับ)

2 สัดส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางท่อใหญ่ต่อท่อเล็ก 5 ค่า ได้แก่ 1.49, 1.91, 1.85 และ 3.11

3 สัดส่วนความยาวท่อใหญ่ต่อความยาวท่อเล็ก 5 ค่า ได้แก่ 0.33, 0.2, 1, 2 and 3

4 จำนวนโค้งเลี้ยวไม่น้อยกว่า 3 ค่า ได้แก่ 10 15 และ 30 โค้งเลี้ยว

5 สารทำงานไม่น้อยกว่า 3 ชนิด ได้แก่ R123 น้ำ และ เอทานอล

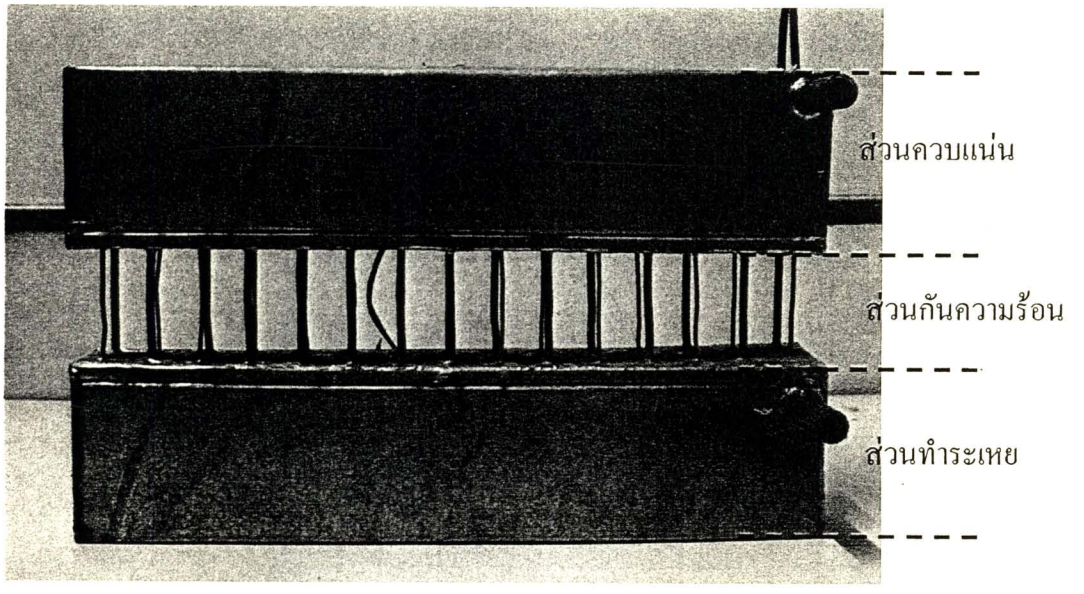
6 อุณหภูมิส่วนทำระเหย 4 ค่า ได้แก่ 70, 80, 90 และ 100 °C

7 สัดส่วนการเติมสารทำงาน 3 ค่า ได้แก่ 30, 50 และ 70% ของปริมาตรทั้งหมด

2.3 ชุดทดสอบ

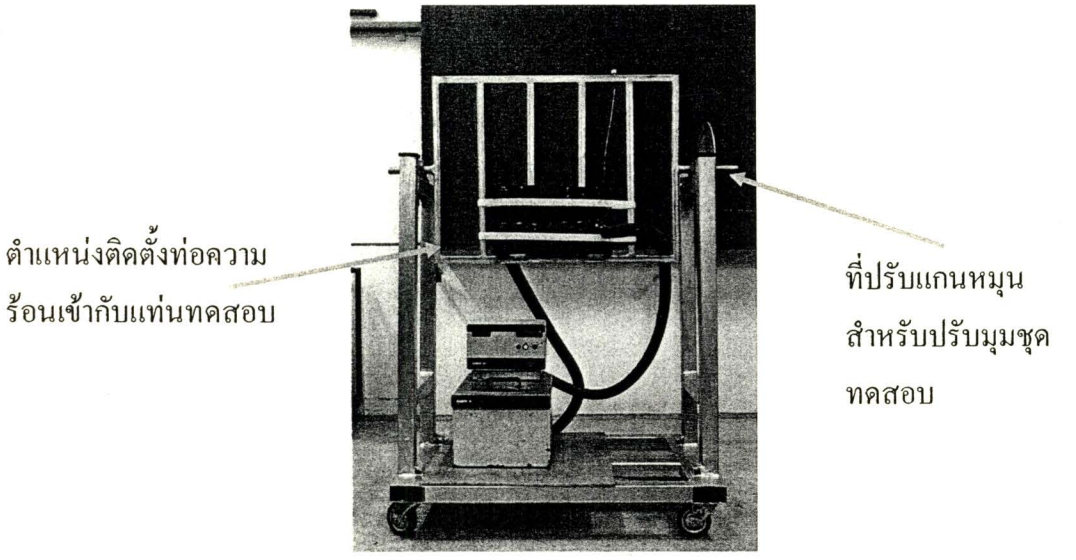
1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ทำจากท่อทองแดงแบบคาปิลลารีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสองค่าโดยมีความยาวท่อแต่ละขนาดตามค่าสัดส่วนความยาว และแบ่งท่อความร้อนออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และ ส่วนควบแน่น (Condenser section) ซึ่งทั้งสามส่วนมีความยาวเท่ากัน ดังรูปที่ 2.1

2 กล่องให้ความร้อนและกล่องทำเย็น (Heating and Cooling jacket) ทำจากแผ่นสังกะสี ของไหลที่ให้ความร้อนในส่วนทำระเหย คือ ซิลิโคนออยล์ และของไหลที่รับความร้อนจากส่วนควบแน่นคือ น้ำกลั่น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดกล่องให้ความร้อนและกล่องทำเย็น

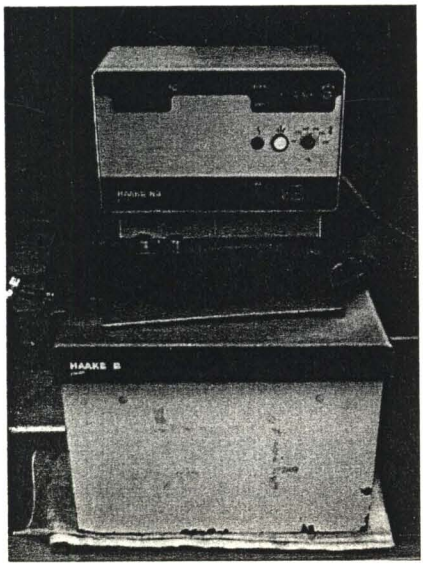
3 แท่นติดตั้งและทดสอบท่อความร้อนเป็นแท่นทดสอบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยสามารถปรับค่ามุมเอียงในการทดสอบได้จาก 0 ถึง 180 องศาจากแนวดิ่ง ซึ่งทำให้ท่อความร้อนที่ใช้ทดสอบสามารถปรับค่ามุมเอียงการทดสอบได้ตามการเอียงของแท่นทดสอบ และมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แท่นติดตั้งและชุดทดสอบท่อความร้อน

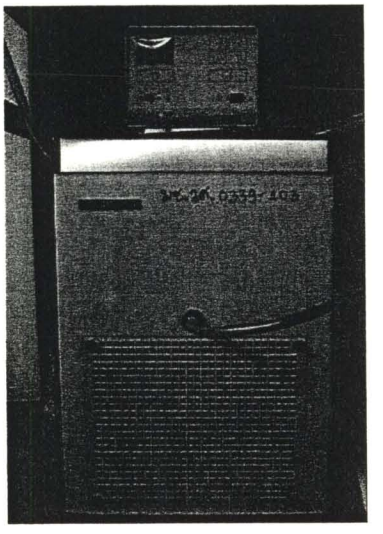
2.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

1 อ่างทำความร้อน ยี่ห้อ HAAKE รุ่น 8N3-B มีช่วงควบคุม 30 ถึง 150 °C ซึ่งมีค่าความแม่นยำ ± 0.05 °C ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิซิลิโคนออยล์เข้ากล่องให้ความร้อนของส่วนทำระเหยดังแสดงในรูปที่ 2.3



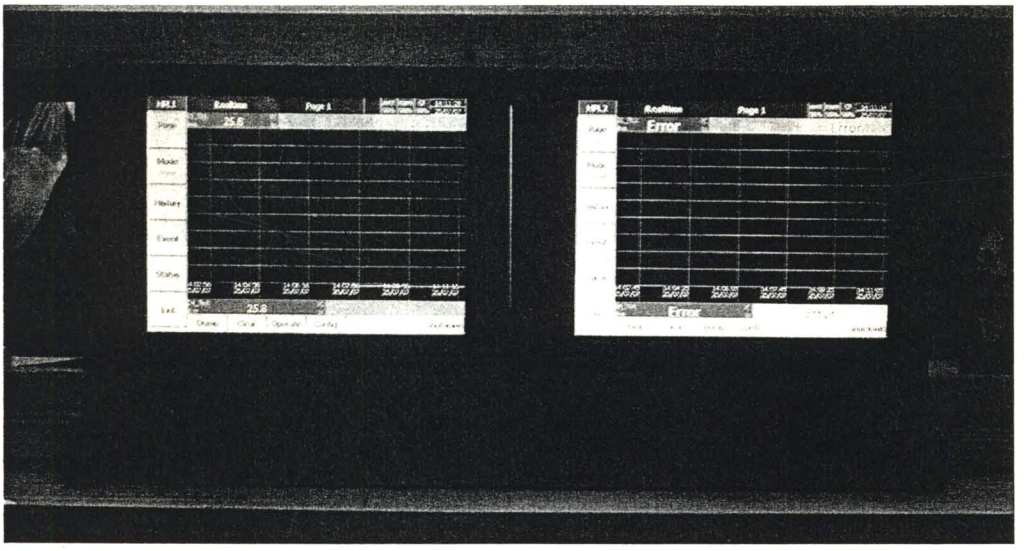
รูปที่ 2.3 อ่างทำความร้อน

2 เครื่องทำเย็นสารหล่อเย็น ยี่ห้อ Haake thermostat รุ่น N6-C41 ใช้ควบคุมน้ำหล่อเย็น สำหรับส่วนควบแน่นของท่อความร้อนซึ่งมีค่าความแม่นยำ ± 0.01 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องทำเย็นน้ำหล่อเย็น

3 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Brainchild รุ่น VR18 ขนาด 18 ช่อง สัญญาณมีความแม่นยำ ± 0.1 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.5

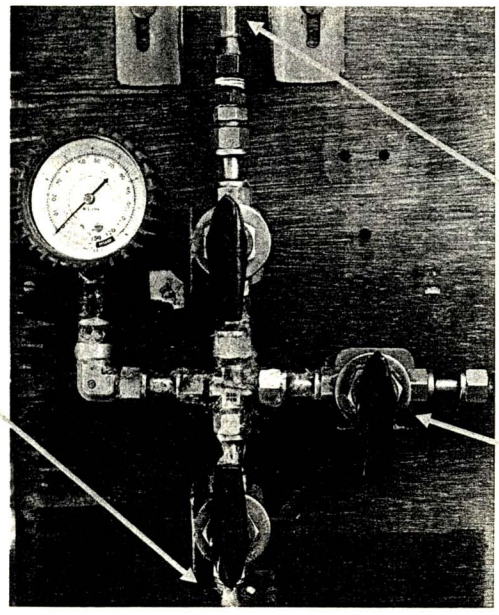


รูปที่ 2.5 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

4 เทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ Omega Type K ชนิด Chromel-Alumel ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.4.3 ใช้วัดอุณหภูมิสารรับความร้อนเข้าและออกจากกล่องส่วนควบแน่นและสารให้ความร้อนจากกล่องส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูปที่ 2.6

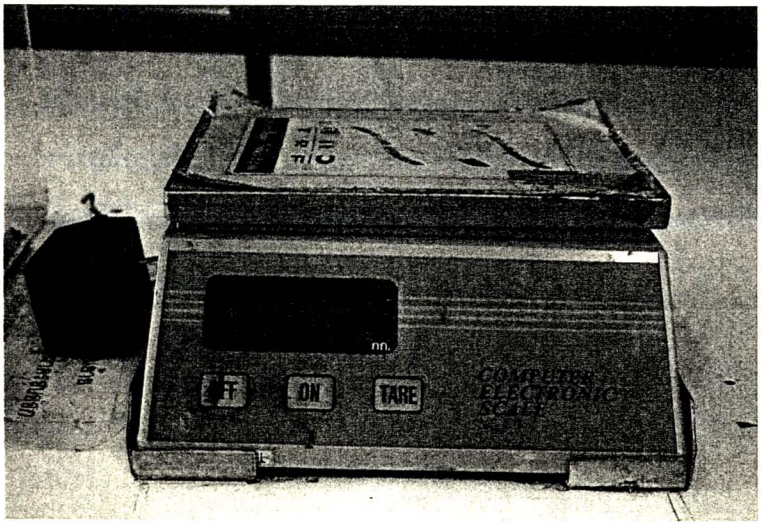
รูปที่ 2.6 เทอร์โมคัปเปิล

5 ชุดเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump), วาล์ว, เกจน์วัดความดัน (Pressure gage) และสายเติมสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ชุดเติมสารทำงาน

6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Digicon รุ่น GL มีช่วงน้ำหนักที่จะชั่ง 0.005 ถึง 9.990 kg ใช้ในการชั่งน้ำหนักของสารหล่อเย็นเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวล ดังแสดงในรูปที่ 2.8

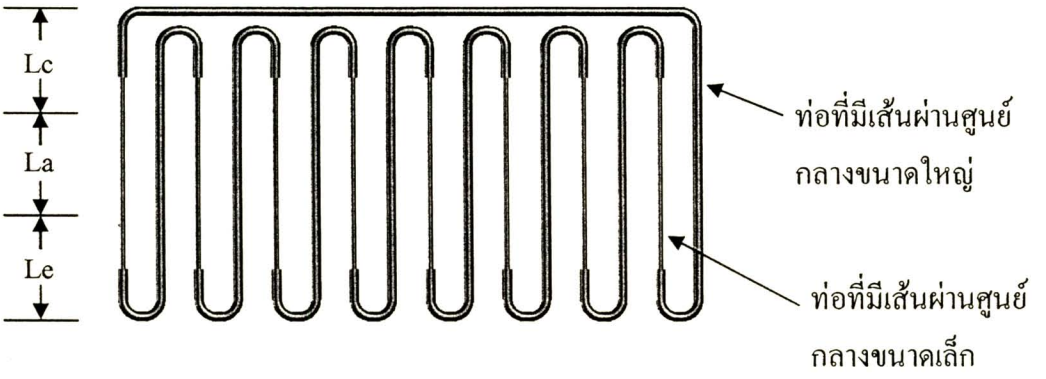


สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

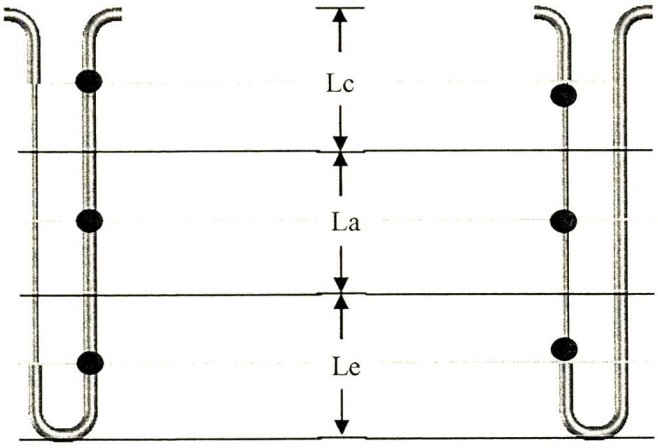
1 ทำการสร้างท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบตามขอบเขตของการทดลอง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.9 พร้อมทั้งนำไปประกอบกับกล่องสังกะสีทั้งในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นสำหรับเป็นส่วนให้ความร้อนและรับความร้อนของชุดทดลอง



รูปที่ 2.9 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่สม่ำเสมอ

2 ทำให้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเป็นสุญญากาศแล้วบรรจุสารทำงานเข้าไปในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบโดยใช้ชุดเติมสารทำงาน ซึ่งจะเติมสารทำงานตามค่าสัดส่วนการเติมสารทำงานที่ต้องการ

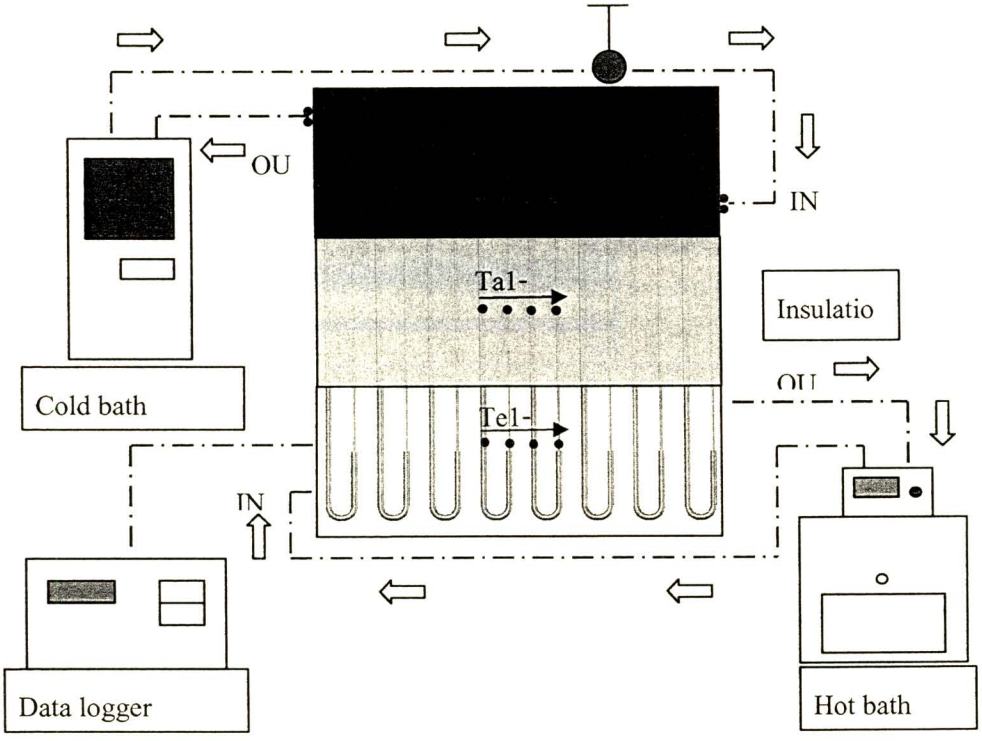
3 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับชุดทดลองที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น อย่างละ 4 จุด โดยในกรณีที่ท่อที่ทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลในแต่ละส่วนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่จะติดตรงกลางของแต่ละส่วนดังรูปที่ 2.10 (ก) และกรณีที่ท่อที่ทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลในแต่ละส่วนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอจะติดตรงกลางของแต่ละส่วนบนท่อที่ติดใกล้ส่วนกันความร้อนดังรูปที่ 2.10 (ข) โค้งเลี้ยวที่ทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นโค้งเลี้ยวที่มีท่อทั้ง 2 ขนาดโดยหมายเลข 1, 3 จะติดบนผิวท่อขนาดใหญ่ และหมายเลข 2, 4 จะติดบนผิวท่อขนาดเล็ก



(ก) (ข)

รูปที่ 2.10 จุดติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล (ตำแหน่งติดตั้ง Thermocouple ●)

- ส่วนขาเข้าและขาออกของสารหล่อเย็นที่ส่วนควบแน่นอย่างละ 2 จุดดังรูปที่ 2.11 จากนั้นติดตั้งท่อความร้อนที่หุ้มฉนวนแล้วเข้ากับแท่นทดสอบพร้อมกับติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ ดังรูปที่ 2.11



• **ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล**

รูปที่ 2.11 ลักษณะการติดตั้งชุดทดสอบและอุปกรณ์ต่าง ๆ

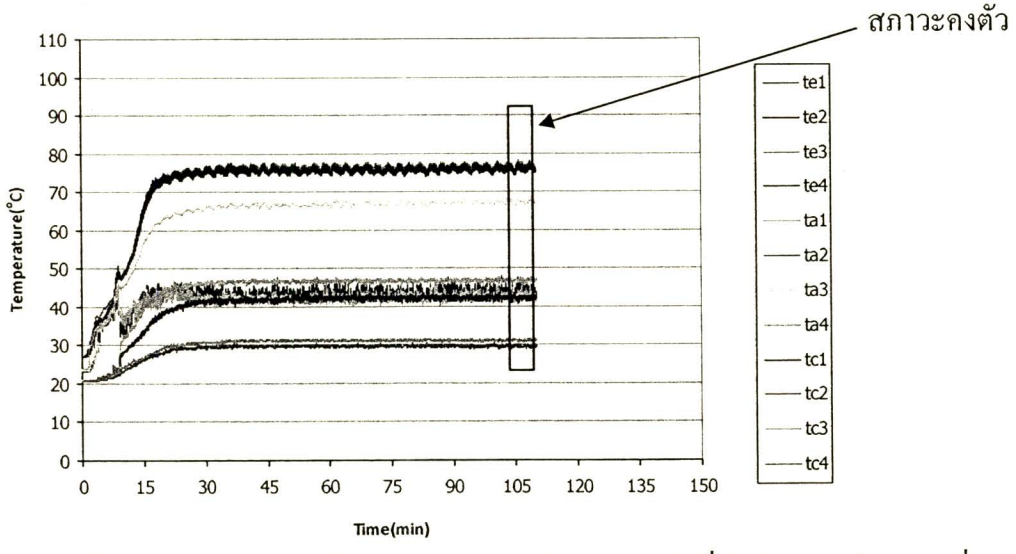
4 ทำการต่อเชื่อมสัญญาณทุกจุดของเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องแสดงผล เพื่อเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5 บรรจุซิลิโคนออยล์ในอ่างทำความร้อนและน้ำในอ่างทำความเย็นแล้วเปิดสวิตซ์เริ่มการทำงาน ปรับอุณหภูมิอ่างทำความเย็นและอ่างทำความร้อนให้อยู่ที่ 20 °C และ 100 °C ตามลำดับ

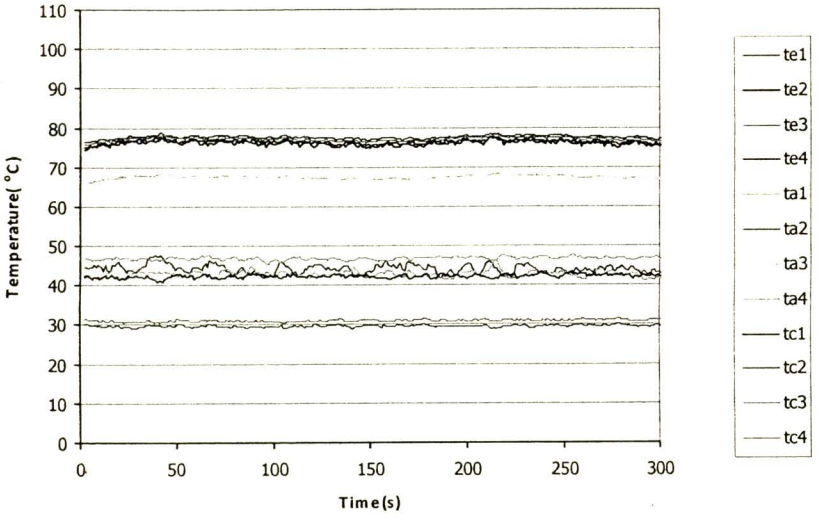
6 จากนั้นจะบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิทุกจุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและค่าการส่งถ่ายความร้อนแอมปลิจูดที่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จากนั้นจะนำข้อมูลที่สภาวะคงที่ที่ต่อเนื่อง 300 วินาทีของทุกการทดลองมาทำการวิเคราะห์ผลซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13

7 นำค่าอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างขาเข้าและขาออกของสารหล่อเย็นที่ได้จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและจากการวัดอัตราการไหล มาคำนวณหาอัตราการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนขณะเริ่มการทำงานของแต่ละชุดการทดสอบ

8 ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งเพื่อยืนยันผลการทดสอบ ของแต่ละชุดการทดลอง



รูปที่ 2.12 อุณหภูมิส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ที่ผิวท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่สม่ำเสมอ ที่สัดส่วนความยาว 0.33 สารทำงาน R123 มุมเอียง 90 องศา ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว



รูปที่ 2.13 อุณหภูมิส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ที่ผิวท่อความร้อนแบบสั่น วงรอบเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่สม่ำเสมอ ที่สัดส่วนความยาว 0.33 สารทำงาน R123 มุมเอียง 90 องศา ที่สภาวะคงตัว

2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

2.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลของคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน

หาค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่น ด้วยวิธี Calorific คำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน

$(T_{out} - T_{in})$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของสารรับความร้อนขาเข้าและขาออกของกล่องทำเย็นที่ส่วนควบแน่น

เนื่องจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของสัดส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง ผลของสารทำงาน ผลของสัดส่วนการเติมสารทำงาน และสัดส่วนความยาวที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนจึงจำเป็นต้องแสดงสมรรถนะการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนในรูปของฟลักซ์ความร้อน (q) ดังแสดงในสมการ (2.2)

$$q = \frac{Q}{\sum_{i=1}^{n} \left(\pi D_i L_i\right)_{cond}} \qquad (2.2)$$

เมื่อ q คือ ค่าฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)

Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อคาปิลลารี่ (m)

L_i คือ ความยาวของท่อคาปิลลารีในส่วนส่วนควบแน่น (m)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.6.2 การวิเคราะห์ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือวัด

ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนในสมการ (2.1) จำเป็นต้องทราบค่าอัตราการไหลของน้ำโดยวัดจากมาตรวัดอัตราการไหล และอุณหภูมิทั้งขาเข้าและขาออกโดยอ่านจากเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งต่อสายเทอร์โมคัปเปิลไว้แล้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดแต่ละตัวนั้นยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ด้วย ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้นั้นจึงมีความผิดพลาดอยู่ด้วย ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$dQ = \left(\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} d\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C_p} dC_p \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{out}} dT_{out} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{in}} dT_{in} \right)^2 \right)^{1/2} \qquad (2.3)$$

เนื่องจากค่า C_p เป็นค่าคงที่จึงทำให้เทอม $\left(\frac{\partial Q}{\partial C_p} dC_p\right)^2$ มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการ (2.3) จึงลดรูปเหลือ

$$dQ = \left(\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} d\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{out}} dT_{out} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{in}} dT_{in} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

โดย dQ คือ ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด

$d\dot{m}$ คือ ค่าความละเอียดจากการวัดอัตราการไหล

dT_{out} และ dT_{in} คือ ค่าความละเอียดจากการวัดอุณหภูมิขาออกและขาเข้า

ซึ่งข้อมูลทุกชุดที่ทดลองนั้นหากผ่านค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดก็จะนำข้อมูลของแต่ละการทดลองมาพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้อมูลการทดลองแต่ละชุด โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบในแต่ละชุดการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งใช้สมการดังนี้

$$\text{Error bar} = \overline{X} \pm S_E \quad (2.5)$$

$$= \overline{X} \pm \frac{2(S_D)}{\sqrt{N-1}} \quad (2.6)$$

โดยที่ $$\overline{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} X_i \quad (2.7)$$

$$S_E = \frac{2(S_D)}{\sqrt{N-1}} \quad (2.8)$$

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} (X_i - \overline{X})^2} \quad (2.9)$$

โดย N คือ จำนวนซ้ำของชุดข้อมูล

X_i คือ ค่าของชุดข้อมูลลำดับที่ i

S_D คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

S_E คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error of the mean)

$\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูล