บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดสอบ

3.1 ตัวแปรในการทดสอบ

3.1.1 ท่อทดสอบ CLOHP ทำมาจากท่อทองแดงแบบ Capillary tube ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.66, 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร

3.1.2 สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบ คือ สาร HP62 และ MP39 โดยคุณสมบัติเด่นของสารทำงานทั้งสองชนิดนี้ คือ เป็นสารทำงานที่ไม่ติดไฟและไม่ทำอันตรายแก่ชั้นบรรยากาศ

3.1.3 อัตราการเติมสารทำงานจะอยู่ในช่วง 50% - 70% โดยปริมาตร เพราะเป็นช่วงที่ท่อ CLOHP สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด (Chareonsawan et al., 2000)

3.1.4 อุณหภูมิอ่างร้อนที่ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย คือ 80 °C

3.1.5 สารรับความร้อนที่ใช้ คือ น้ำกลั่นผสมเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร มีอุณหภูมิขาเข้ากล่องความเย็น 20 °C

3.1.6 มุมเอียงการทดสอบกำหนดอยู่ระหว่าง -90 ถึง 90 องศาวัดจากแนวระดับ คือ -90, -70, -50, -30, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศา

3.1.7 ความยาวในส่วนทำระเหย ส่วนฉนวน และส่วนควบแน่น มีขนาดเท่ากัน 3 ค่า คือ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร เพื่อที่ทำให้พื้นที่ของท่อในแต่ละส่วนมีค่าเท่ากัน

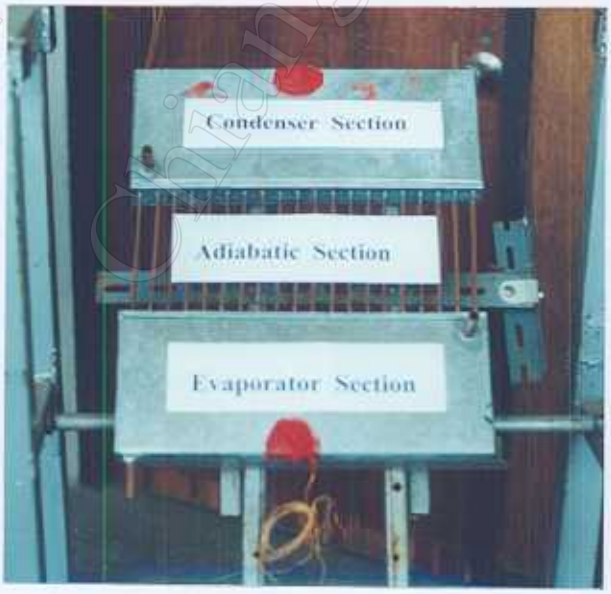
3.1.8 ความยาวรวมของท่อมี 3 ค่า คือ 5, 10 และ 15 เมตร

3.2 อุปกรณ์การทดสอบ

3.2.1 ท่อความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบทำมาจากท่อทองแดงแบบ Capillary tube ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.66, 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนฉนวน และส่วนควบแน่น ซึ่งทั้งสามส่วนมีความยาวเท่ากัน ปลายทั้งสองข้างจะเชื่อมติดกันให้มีลักษณะเป็นวงรอบดังในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ท่อความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบ

3.2.2 กล่องความร้อนและกล่องความเย็น (Heating jacket and Cooling jacket) ทำจากแผ่นสังกะสี ใช้บรรจุของไหลที่ให้ความร้อนในส่วนทำระเหย คือ น้ำร้อน และบรรจุของไหลที่รับความร้อนจากส่วนควบแน่น คือ น้ำกลั่นผสมเอทิลีนไกลคอล 50% โดยปริมาตร โดยขนาดของกล่องจะขึ้นอยู่กับความยาวที่เท่ากันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ท่อความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบที่ติดกล่องความร้อนและกล่องความเย็น

3.2.3 น้ำกลั่นผสมเอทิลีนไกลคอล ในอัตราส่วน 50% โดยปริมาตร ใช้เป็นของไหลรับความร้อนจากส่วนควบแน่นไปยังอ่างทำเย็น (Cold bath) เป็นสารผสมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำถึง –35 °C ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 น้ำกลั่นผสมเอทิลีนไกลคอล

3.2.4 แท่นติดตั้งและทดสอบท่อความร้อน เป็นแท่นทดสอบที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ โดยสามารถปรับค่ามุมเอียงในการทดสอบได้จาก -90 ถึง 90 องศาจากเทียบกับแนวระดับ ซึ่งจะทำให้ท่อความร้อนที่ใช้ทดสอบสามารถปรับค่ามุมเอียงการทดสอบได้ตามการเอียงของแท่นทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 แท่นติดตั้งและชุดทดสอบท่อความร้อน

3.2.5 สารทำงาน HP62 มีจุดเดือดที่ –46.5°C ที่ความดันบรรยากาศ และ MP39 มีจุดเดือดที่ -33°C ที่ความดันบรรยากาศ ถูกเลือกใช้เป็นสารทำงานในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 สารทำงาน HP62 และ MP39

3.3 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

3.3.1 อ่างทำความร้อน ยี่ห้อ HAAKE รุ่น 8N3-B ซึ่งมีช่วงการควบคุมอุณหภูมิ 5 °C ถึง 300 °C มีค่าความแม่นยำ ±0.03 °C ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนเข้ากล่องความร้อนของส่วนทำระเหยดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 อ่างทำความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

3.3.2 อ่างทำความเย็น ยี่ห้อ HAAKE รุ่น N6-C41 มีช่วงการควบคุม –40 °C ถึง 150 °C มีความแม่นยำ ±0.01 °C ใช้ควบคุมอุณหภูมิน้ำกลั่นผสมเอทิลีนไกลคอลเข้ากล่องความเย็นของส่วนควบแน่นดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 อ่างทำความเย็น

3.3.3 มาตรวัดอัตราการไหล ยี่ห้อ Platon รุ่น PGB411 แบบ Rotameter ที่มีช่วงการวัด 0.4 ถึง 4.4 ลิตรต่อนาที มีความแม่นยำ ±3% ใช้ในการวัดอัตราการไหลของสารรับความร้อนที่เข้ากล่องความเย็นของท่อความร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 มาตรวัดอัตราการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

3.3.4 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Comark รุ่น C8510 ขนาด 10 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ –100 °C ถึง 1300 °C มีความแม่นยำ ±0.2 °C ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.3.5 เทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.3.4 ใช้วัดอุณหภูมิสารรับความร้อนเข้าและออกจากกล่องส่วนควบแน่นและสารให้ความร้อนจากกล่องส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 เทอร์โมคับเปิล

3.3.6 วาล์วควบคุมการไหลแบบ Globe valve ขนาด 15 มิลลิเมตร ที่ใช้กับความดันได้สูงถึง 850 kPa (125 psi) ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของสารรับความร้อนขาเข้ากล่องความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

3.3.7 ชุดเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานทั้ง 2 ชนิด เข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ วาล์ว เกจวัดความดัน และสายเติมสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชุดเติมสารทำงาน

3.3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ AND รุ่น FP-6200 โดยช่วงของน้ำหนัก 0.01 g ถึง 1000 g จะมีความละเอียด 0.01 g ช่วงของน้ำหนัก 1000 g ถึง 6100 g จะมีความละเอียด 0.1 g ใช้ในการชั่งน้ำหนักของสารที่เติมลงในท่อความร้อน แสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

3.4.1 ทำท่อ CLOHP ให้เป็นสุญญากาศโดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ

3.4.2 เติมสารทำงานเข้าไปในท่อ CLOHP ตามชนิดและปริมาณที่ต้องการ

3.4.3 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลในส่วนที่ต้องการจะวัดอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.14

3.4.4 ทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ชุดทดสอบ

3.4.5 ติดตั้งชุดทดสอบที่หุ้มฉนวนแล้วบนแท่นทดสอบ

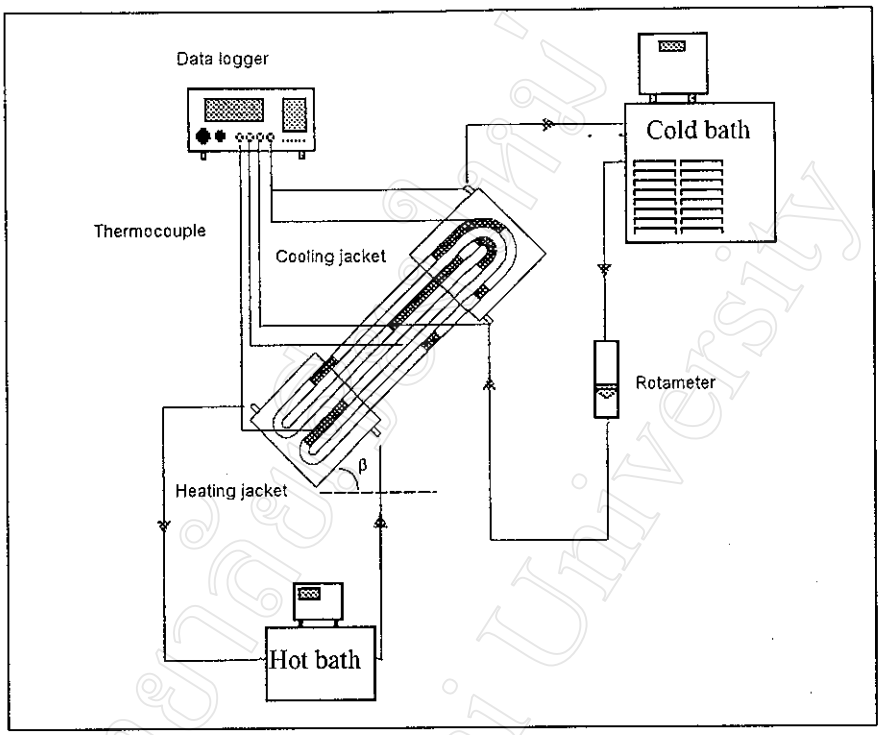
3.4.6 ติดตั้งสายยางของชุดให้ความร้อนเข้ากับกล่องความร้อน (Heating jacket) ของชุดทดสอบ เพื่อให้สารให้ความร้อนสามารถหมุนเวียนมาให้ความร้อนแก่ชุดทดสอบได้

3.4.7 ติดตั้งสายยางของชุดรับความร้อนเข้ากับกล่องความเย็น (Cooling jacket) ของชุดทดสอบ เพื่อให้สารรับความร้อนสามารถหมุนเวียนมารับความร้อนจากชุดทดสอบได้

3.4.8 เติมสารให้ความร้อนและสารรับความร้อนเข้าสู่อ่างทำความร้อนและอ่างทำความเย็นตามลำดับ

3.4.9 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล

3.4.10 ทำการบันทึกอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารรับความร้อนที่มุมเอียงเริ่มต้นจนกระทั่งอยู่ในสภาวะคงตัว



รูปที่ 3.14 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

3.4.11 ทำการปรับมุมเอียงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบตามที่ต้องการ

3.4.12 เมื่อทดสอบเสร็จ ทำการระบายน้ำออกจากอ่างทำความร้อนและอ่างทำความเย็น ถอดสายยางออกจากชุดให้และรับความร้อน และถอดชุดทดสอบออกจากแท่นทดสอบ

3.4.13 ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย โดยเปลี่ยนชุดทดสอบจนครบตามที่ต้องการ

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

3.5.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะวิเคราะห์จากการหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยใช้สมการที่ (3.1)

$$Q = \dot{m} C_p \left(T_{out} - T_{in} \right) \qquad (3.1)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของสารรับความร้อน (kJ/kg $^{\circ}$C)

$(T_{out} - T_{in})$ คือ ความแตกต่างอุณหภูมิของสารรับความร้อนขาเข้าและขาออกของกล่องความเย็น ($^{\circ}$C)

เพื่อให้ทราบถึงผลของมุมเอียง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย และความยาวทั้งหมดของท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน จึงจำเป็นต้องแสดงในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (q) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร โดยจะคำนวณได้จากสมการ (3.2)

$$q = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \tag{3.2}$$

โดย Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ (W)

D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อคาปิลลารี่ (m)

L_c คือ ความยาวของส่วนควบแน่น (m)

N คือ จำนวนแท่งของท่อความร้อนในส่วนควบแน่น

ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนในสมการ (3.1) นั้น จำเป็นต้องทราบค่าอัตราการไหลของสารผสมน้ำกับเอทิลีนไกลคอลโดยวัดจากมาตรวัดอัตราการไหล และอุณหภูมิทั้งขาเข้าและขาออกโดยอ่านจากเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลไว้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดแต่ละตัวนั้นยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ด้วย ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้นั้นจึงมีความผิดพลาดอยู่ด้วย ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (3.3) (Charoensawan et al. 2000)

$$dQ = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} d\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C_p} dC_p \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{out}} dT_{out} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{in}} dT_{in} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{3.3}$$

เนื่องจากค่า C_p เป็นค่าคงที่จึงทำให้พจน์ $\left(\frac{\partial Q}{\partial C_p} dC_p \right)^2$ มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการ (3.3) จึงลดรูปเหลือ

$$dQ = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} d\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{out}} dT_{out} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{in}} dT_{in} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

โดย dQ คือ ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

$d\dot{m}$ คือ ค่าความละเอียดจากการวัดอัตราการไหล (kg/s)

dT_{out} และ dT_{in} คือ ค่าความละเอียดจากการวัดอุณหภูมิ (°C)

และเนื่องจากท่อความร้อนที่ใช้ทำมาจากทองแดงซึ่งมีค่าการนำความร้อนสูง ท่อทองแดงจึงมีอิทธิพลในการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนมาก จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าการนำความร้อนของท่อความร้อนด้วยและนำไปรวมกับค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด เพื่อกำหนดขอบเขตในการเลือกข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยค่าการนำความร้อนผ่านผิวผนังท่อสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_c = \frac{kAN}{L}(T_e - T_c) \quad (3.5)$$

โดย Q_c คือ ค่าการนำความร้อนของผนังท่อ (W)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของทองแดง (W/m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อทองแดง (m^2)

N คือ จำนวนแท่งของท่อทดสอบ (แท่ง)

L คือ ความยาวรวมของส่วนทำระเหย ส่วนฉนวน และส่วนควบแน่น (m)

T_e คือ อุณหภูมิของส่วนทำระเหย (°C)

T_c คือ อุณหภูมิของส่วนควบแน่น (°C)

3.5.2 การหาตัวแปรไร้มิติที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะหาจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จากนั้นจะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนกับตัวแปรไร้มิติที่คำนวณได้