บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงวัตถุประสงค์ของการทดสอบ อุปกรณ์การทดสอบ วิธีการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งสามารถอธิบายในรายละเอียดดังนี้

3.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

3.1.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากพลาสติกชนิด HDPE ภายใต้ สภาวะการทำงานปกติที่ตำแหน่งมุมเอียงต่าง ๆ เพื่อหาช่วงมุมเอียงการทำงานที่ให้ค่าการส่งผ่านความร้อนสูงสุดและหาค่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งแนวดิ่งเพื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวจากแบบจำลองทางความร้อน

3.1.2 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนสนทัดที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจาก HDPE

3.1.3 เพื่อศึกษาผลของตัวเลขของบอนด์ที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจาก HDPE

3.2 ตัวแปรสำหรับการทดสอบ

3.2.1 ท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจาก HDPE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15, 20 และ 25 มิลลิเมตร

3.2.2 สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบใช้สาร R113 และ R11 โดยคุณสมบัติของสารทำงานทั้งสองชนิดสามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง [8]

3.2.3 อัตราส่วนสนทัดที่ใช้ในการทดสอบ 5, 10, 20 และ 30

3.2.4 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบ 65 $\pm 2\,^{\circ}C$, 75 $\pm 2\,^{\circ}C$ และ 80 $\pm 2\,^{\circ}C$

3.2.5 สารรับความร้อนที่ใช้ คือ น้ำกลั่นผสมกับเอทธิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) [7] อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร มีอุณหภูมิขาเข้ากระเปาะความเย็น 12 $\pm 2\,^{\circ}C$ และมีอัตราการไหล 0.5 ± 0.1 ลิตรต่อนาที

3.2.6 มุมเอียงการทดสอบ 10 ค่า คือ 5°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° และ 90°

3.2.7 อัตราส่วนการเติมที่เลือกใช้ 50%

3.2.8 ในการทดสอบแต่ละรอบจะทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

3.3 อุปกรณ์การทดสอบ

3.3.1 เทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบปิดที่ทำจากท่อ HDPE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15, 20 และ 25 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนรับความร้อน(Evaporator section) ส่วนฉนวน(Adiabatic section) และส่วนควบแน่น(Condenser section) ซึ่งทั้งสามส่วนมีความยาวเท่ากัน และทำการอุดหัว-ท้าย ด้วยปลั๊กอุดแบบเกลียว โดยที่ส่วนควบแน่นนั้นจะมีวาล์วเติมสารทำงานเชื่อมต่ออยู่เพื่อใช้ในการเติมสารทำงาน ดังในรูป 3.1

รูป 3.1 แสดงลักษณะของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบ HDPE ที่ใช้ในการทดสอบ

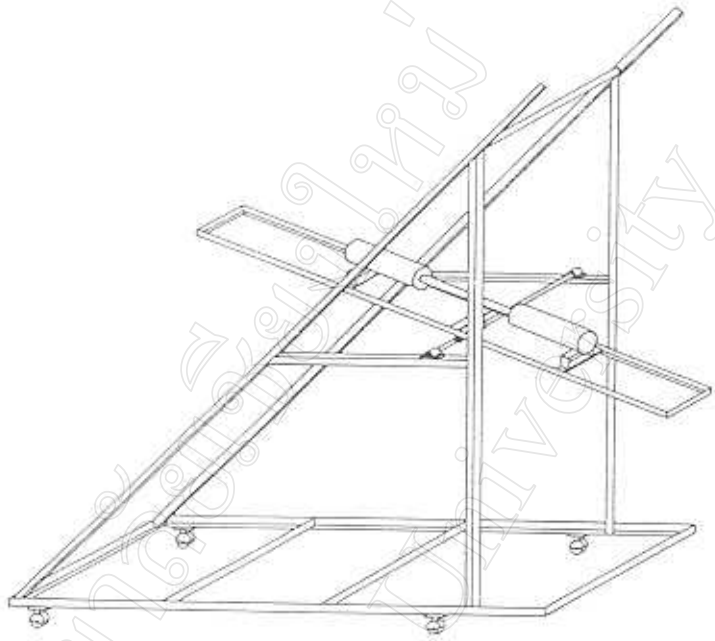
3.3.2 กระเปาะความร้อนและกระเปาะความเย็น (Heating & Cooling Jacket) ทำด้วยท่อพลาสติกชนิด PVC ใช้บรรจุของไหลที่ให้ความร้อนในส่วนทำระเหย คือ น้ำร้อน และบรรจุของไหลที่รับความร้อนจากส่วนควบแน่นคือ น้ำกลั่นผสมกับเอทธิลีนไกลคอล โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 52 มิลลิเมตร และหนา 3.5 มิลลิเมตร โดยจะมีความยาวเท่ากับความยาวของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูป 3.2

3.3.3 น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล ในอัตราส่วน 50 % โดยปริมาตร ซึ่งใช้เป็นของไหลรับความร้อนจากส่วนควบแน่นไปยังอ่างทำความเย็น (Cold Bath) เป็นสารผสมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำถึง -35 °C ดังแสดงในรูป 3.3

รูป 3.2 กระเปาะความร้อนและกระเปาะความเย็น (Heating & Cooling Jacket) ที่ทำด้วยท่อพลาสติกชนิด PVC

รูป 3.3 น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล

3.3.4 แท่นติดตั้งและทดสอบเทอร์โมไซฟอน เป็นแท่นทดสอบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย โดยสามารถปรับค่ามุมเอียงในการทดสอบได้จาก 0 ถึง 90 องศาจากแนวระดับ ซึ่งจะทำให้เทอร์โมไซฟอนที่ทำการทดสอบนั้นสามารถปรับค่ามุมเอียงการทดสอบได้ตามมุมเอียงของแท่นทดสอบ และมีลักษณะและรายละเอียดดังแสดงในรูป 3.4



รูป 3.4 แท่นติดตั้งและทดสอบเทอร์โมไซฟอนแบบ HDPE

3.3.5 สารทำงาน R113 มีจุดเดือดที่ 48 °C ที่ความดันบรรยากาศ และ R11 ซึ่งมีจุดเดือดที่ 23 °C ที่ความดันบรรยากาศ ถูกเลือกใช้เป็นสารทำงานในการทดสอบดังแสดงในรูป 3.5

รูป 3.5 สารทำงาน R113 และ R11

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

3.4.1 อ่างทำความร้อน ยี่ห้อ Cole Parmer รุ่น 12105-05 ซึ่งมีช่วงการควบคุมอุณหภูมิ 5 °C ถึง 150 °C มีค่าความแม่นยำ ±0.1 °C ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนเข้ากระเปาะให้ความร้อนของส่วนทำระเหยดังแสดงในรูป 3.6

รูป 3.6 อ่างทำความร้อน

3.4.2 อ่างทำความเย็น ยี่ห้อ HAAKE รุ่น N6-C41 มีช่วงการควบคุมอุณหภูมิ -40 °C ถึง 150 °C มีความแม่นยำ ±0.01 °C ใช้ควบคุมอุณหภูมิน้ำผสมเอทธิลีนไกลคอลเข้ากระเปาะของส่วนควบแน่นดังแสดงในรูป 3.7

รูป 3.7 อ่างทำความเย็น

3.4.3 มาตรวัดอัตราการไหล ยี่ห้อ Platon รุ่น *PGB411* แบบ Rotameter ที่มีช่วงการวัด 0.4 ถึง 4.4 ลิตรต่อนาที มีความแม่นยำ ±3 % ใช้ในการวัดอัตราการไหลของสารรับความร้อนที่เข้ากระเปาะส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนดังแสดงในรูป 3.8

รูป 3.8 มาตรวัดอัตราการไหล

3.4.4 เครื่องเก็บข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Comark รุ่น C8510 ขนาด 10 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -100 °C ถึง 1300 °C มีความแม่นยำ ± 0.2 % ดังแสดงในรูป 3.9 โดยใช้ร่วมกันกับเทอร์โมคัปเปิลในข้อ 3.4.5

รูป 3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.4.5 เทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.4.4 ใช้วัดอุณหภูมิสารรับความร้อนเข้าและออกจากกระเปาะส่วนควบแน่นและสารให้ความร้อนจากกระเปาะส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูป 3.10

รูป 3.10 เทอร์โมคัปเปิล

3.4.6 วาล์วควบคุมการไหลแบบ Globe valve ขนาด 15 มิลลิเมตร ที่ใช้กับความดันได้สูงถึง 850 kPa (125 psi) โดยใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของสารรับความร้อนขาเข้ากระเปาะส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูป 3.11

รูป 3.11 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

3.4.7 ชุดเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานทั้ง 2 ชนิด เข้าสู่ท่อเทอร์โมไซฟอน ซึ่งประกอบไปด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump), วาล์ว A, B, C, D, E, F, G, H, Burette และ ท่อสแตนเลสที่เชื่อมวาล์วและอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันดังแสดงในรูป 3.12 โดยจะนำเทอร์โมไซฟอนมาต่อเข้ากับวาล์ว C เมื่อต้องการเติมสารทำงาน

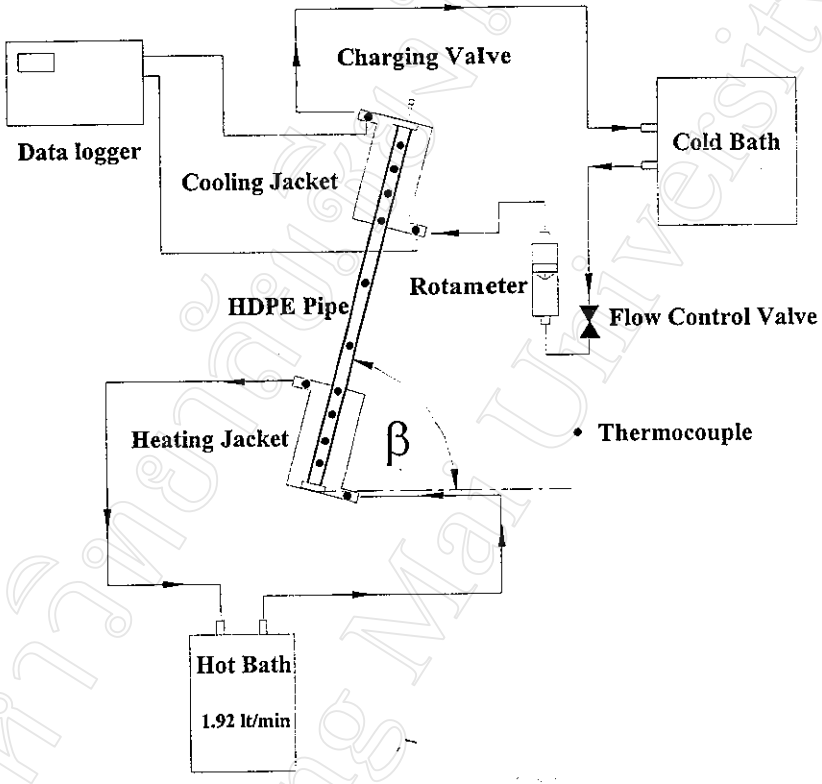
รูป 3.12 ชุดเติมสารทำงาน

3.5 ขั้นตอนการทดสอบ

3.5.1 บรรจุสารทำงานเข้าภายในท่อโดยใช้ชุดเติมสารทำงานดังในรูป 3.12 ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนเข้ากับวาล์ว C ปิดวาล์ว A, B, E, เปิดวาล์ว C และ D ทำการเดินปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดสุญญากาศ ภายในท่อเทอร์โมไซฟอน ขั้นตอนที่ 2 ทำการชะโลม Burette ด้วยผ้าชุบน้ำเย็น สำหรับกรณีการเติมสารทำงาน R11 ทั้งนี้เพื่อไม่ให้สารทำงานดังกล่าวเกิดการเดือดระหว่างการเติม ขั้นตอนที่ 3 เปิดวาล์ว A เพื่อให้สารทำงานไหลเข้าสู่ท่อเทอร์โมไซฟอนให้ได้อัตราส่วนการเติมตามที่กำหนดคือ 50% ของส่วนทำระเหย แล้วปิดวาล์ว C และ A แล้วถอดเทอร์โมไซฟอนออกจากชุดเติมสารทำงานเพื่อนำไปติดตั้งและทดสอบบนแท่นทดสอบ

3.5.2 ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนและเครื่องมือวัดตามรูป 3.13 โดยตัวท่อเทอร์โมไซฟอนจะติดตั้งกับแท่นทดสอบตามในรูป 3.4 และเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิสารให้ความร้อนและรับความร้อน จะติดตั้งไว้ตำแหน่งขาเข้าและขาออกของกระเปาะให้ความร้อนและกระเปาะรับความร้อน

ส่วนเทอร์โมคัปเปิล ที่ใช้ในการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ผิวภายนอกท่อจะติดไว้ที่บริเวณผิวนอกท่อกระจายไปตามแนวความยาวท่อ จำนวนในการติดตั้งขึ้นอยู่กับความยาวของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น และสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลทุกสายจะถูกต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลเพื่อบันทึกและแสดงผลออกมาในรูปแบบของแถบแสดงผล



รูป 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบและเครื่องมือวัด

3.5.3 บรรจุน้ำกลั่นให้กับอ่างความร้อนแล้วทำการเปิดสวิตช์อ่างความร้อน โดยปรับอุณหภูมิการทดสอบอยู่ที่ 65 °C , 75 °C และ 80 °C ตามเงื่อนไขการทดสอบในแต่ละครั้ง

3.5.4 บรรจุน้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอลให้กับอ่างทำความเย็นจนเต็ม เปิดสวิตช์อ่างทำความเย็นโดยกำหนดอุณหภูมิของอ่างทำความเย็นไว้ที่ 9.5 °C อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที

3.5.5 ทำการทดสอบท่อเทอร์โมไซฟอนซึ่งมีรายละเอียดตามตาราง 3.1 โดยทำการทดสอบกับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร อัตราส่วนสนทัด 5 มุมเอียงการทำงาน 90 ° จากแนวระดับแล้วจึงทำการทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียง 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 5 ° ตามลำดับ นำค่า

อุณหภูมิแตกต่างที่ได้จากการอ่านค่าของสารรับความร้อนที่กระเปาะรับความร้อนมาคำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อนในแต่ละการทดสอบ ซึ่งจะทำการเก็บค่าข้อมูล ของอุณหภูมิจำนวน 10 ครั้ง ภายหลังจากอุณหภูมิที่ส่วนฉนวนเข้าสู่ภาวะคงตัว

3.5.6 ในการวัดการกระจายอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองของ Shiraishi นั้นจะทำการทดสอบกับเฉพาะที่มุมเอียงการทำงาน 90 ° จากแนวระดับเท่านั้น สุดท้ายจึงนำค่าการส่งผ่านความร้อนที่ทุก ๆ ตำแหน่งและค่าการกระจายอุณหภูมิในท่อที่ทำการทดสอบไปวิเคราะห์และเสนอผลต่อไป

ตาราง 3.1 รายละเอียดท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดสอบ

d (mm)	Le/d	Inclination Angle (degree)
15	5, 10, 20, 30	90,80,70,60,50,40,30,20,10,5
20	5, 10, 20, 30	90,80,70,60,50,40,30,20,10,5
25	5, 10, 20, 30	90,80,70,60,50,40,30,20,10,5

3.6 วิธีการวิเคราะห์ผล

จะทำการเก็บข้อมูลความแตกต่างของอุณหภูมิสารรับความเย็นขาเข้าและขาออกจากกระเปาะที่ส่วนควบแน่นแล้วนำไปหาค่าการส่งผ่านความร้อนด้วยวิธี Calorific โดยคำนวณจาก

$$Q = m^{\bullet} C_p \Delta T \qquad (3.1)$$

เมื่อ $m^{\bullet}$ คือค่าอัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน

C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารรับความร้อน

ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิสารรับความเย็นขาเข้าและขาออกจากกระเปาะที่ส่วนควบแน่น

โดยจะหาค่าการส่งผ่านความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนดังกล่าวทุก ๆ การทดสอบและทุก ๆ ตำแหน่งมุมเอียงการทดสอบ และจะทำการหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของท่อจากสมการ

$$Q = \frac{\Delta T}{R}, Q = \frac{\Delta T}{Z} \qquad (3.2)$$

เมื่อ R หรือ Z คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของท่อเทอร์โมไซฟอน

ΔT คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสารให้ความร้อนเฉลี่ยกับสารรับความร้อนเฉลี่ย

สำหรับการหาอุณหภูมิที่ผนังท่อภายในนั้นจะนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบมาลบกับความแตกต่างอุณหภูมิเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังท่อ ในส่วนทำระเหย หรือนำมาบวกกับความแตกต่างอุณหภูมิเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังท่อ ในส่วนควบแน่น และนำผลนี้ไปเทียบกับแบบจำลองการกระจายอุณหภูมิของ Shiraishi ต่อไป ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดจะแสดงในลักษณะ

3.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Q/Q_{90} เทียบกับมุมเอียงการทำงาน

3.6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน R/R_{90} เทียบกับมุมเอียงการทำงาน

3.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนสนทัด (Le/d) กับ Q_{max}/Q_{90}

3.6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวเลขของบอนด์ (Bo) กับ Q_{max}/Q_{90}

3.6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวภายในท่อจากแบบจำลองของ Shiraishi เทียบกับผลจากการทดสอบ

3.6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการส่งผ่านความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux, q) เทียบกับความต้านทานความร้อนรวม (Thermal resistance, R)