บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึง แผนการดำเนินการ ตัวแปรสำหรับการทดสอบ วิธีการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

3.1 แผนการดำเนินการ

3.1.1 ศึกษาสาระสำคัญและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (CEOHP)ที่จะทำการทดสอบในงานวิจัยที่ให้มากที่สุด โดยการสืบค้นจากหนังสือและบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ทั้งทางด้านท่อความร้อนและด้านการถ่ายเทความร้อน

3.1.2 ทำการสรุปและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่หามาได้มาเป็นแนวทางในการทำการทดลองเบื้องต้น โดยสร้างท่อความร้อนแบบสั่นท่อหนึ่งและเติมสารทำงาน HP62 และ MP39 เพื่อทำนายลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ CEOHP ที่ภาวะมุมเอียงต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าท่อความร้อนนั้นสามารถทำงานได้จริง

3.1.3 เตรียมการทดลองทั้งหมดโดย สร้างชุดทดสอบตามที่คาดหมายไว้ จากนั้นเตรียมอุปกรณ์ที่ช่วยในการทดลอง เช่น แท่นทดสอบ อ่างทำความร้อน อ่างทำความเย็น สายวัดอุณหภูมิ หรือเครื่องบันทึกข้อมูล เป็นต้น

3.1.4 ทำการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยการวัดค่าความแตกต่างอุณหภูมิของของไหลที่รับความร้อนระหว่างทางเข้าและออก นำไปคำนวณหาค่าการส่งถ่ายความร้อนในแต่ละมุมเอียง

3.1.5 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เช่น มีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลกระทบต่อค่าการส่งถ่ายความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน

3.1.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบทั้งหมด

3.1.7 เตรียมเขียนวิทยานิพนธ์ และเขียนวิทยานิพนธ์

รูปที่ 3.1 ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

3.2 ตัวแปรในการทดสอบ

3.2.1 ท่อทดสอบ CEOHP ทำมาจากท่อทองแดงแบบ Capillary tube ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.03 และ 2.06 มิลลิเมตร เนื่องจากในการทดสอบท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดนั้น ผู้วิจัยได้เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 ค่าคือ 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อทดสอบให้อยู่ระหว่างช่วงของค่ามากที่สุดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนจาก Maezawa et al. (1996) โดยสารทำงาน MP39 จะให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่สอดคล้องกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากสุดที่ 1.06 มิลลิเมตร นอกจากนี้ค่าคือ สาร MP39 ในท่อความร้อนขนาด 2.03 มิลลิเมตร และสาร HP62 จะไม่สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากที่สุด

3.2.2 สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบคือ สาร HP62 และ MP39 โดยคุณสมบัติเด่นของสารทำงานทั้งสองชนิดนี้คือ เป็นสารทำงานที่ไม่ติดไฟและไม่ทำอันตรายแก่ชั้นบรรยากาศ

3.2.3 อัตราการเติมสารทำงานประมาณ 50% โดยปริมาตรทั้งหมด เนื่องจากว่าอัตราการเติมค่านี้สามารถให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด

3.2.4 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบคือ $60 \pm 3\ ^{\circ}C$, $70 \pm 3\ ^{\circ}C$ และ $80 \pm 3\ ^{\circ}C$

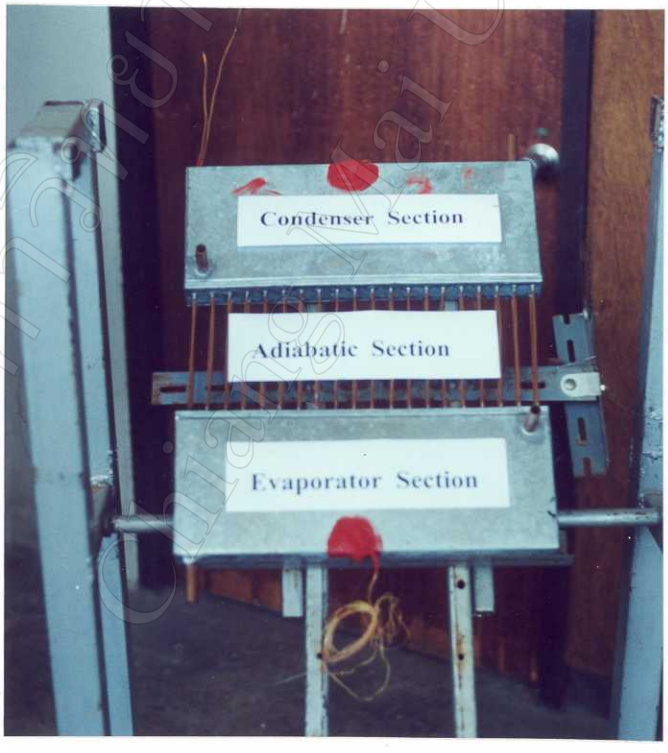
3.2.5 สารรับความร้อนที่ใช้ คือ น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร มีอุณหภูมิขาเข้ากล่องความเย็น 20 ± 3 °C และมีอัตราการไหล 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที

3.2.6 มุมเอียงการทดสอบกำหนดอยู่ระหว่าง 0 – 180 องศา คือ –90, -80, -60, -40, -20, 0, 15, 30, 40, 50, 60, 75 และ 90 องศา

3.2.7 ความยาวในส่วนทำระเหย (Evaporator section), ส่วนฉนวน (Adiabatic section) และส่วนระบายความร้อน (Condenser section) ที่มีขนาดเท่ากัน 3 ค่า คือ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร เพื่อที่ทำให้พื้นที่ของท่อในแต่ละส่วนมีค่าเท่ากัน

3.2.8 ความยาวทั้งหมดของท่อ (Total length) มี 3 ค่า คือ 10, 15 และ 20 เมตร โดยทั้ง 3 ค่านี้ทำให้ท่อความร้อนสามารถส่งถ่ายความร้อนโดยมีค่าที่ชัดเจน เมื่อทำการคำนวณหาค่าความร้อนส่งถ่ายโดยวัดความแตกต่างอุณหภูมิของของไหลระหว่างขาเข้าและขาออกของส่วนควบแน่น

3.2.9 อุณหภูมิการทำงาน 3 ค่า คือ 30, 40 และ 50 °C



รูปที่ 3.2 ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่ติดกล่องความร้อนและกล่องความเย็น

3.3 ชุดทดสอบ

3.3.1 ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่ทำมาจากท่อทองแดงแบบ Capillary tube ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.03 และ 2.06 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนรับความร้อน (Evaporator section) ส่วนฉนวน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ซึ่งทั้งสามส่วนมีความยาวเท่ากัน ปลายทั้งสองข้างของท่อเป็นปลายปิดโดยด้านหนึ่งจะมีวาล์วเติมสารทำงานเชื่อมต่ออยู่เพื่อใช้ในการเติมสารทำงาน ดังในรูปที่ 3.1

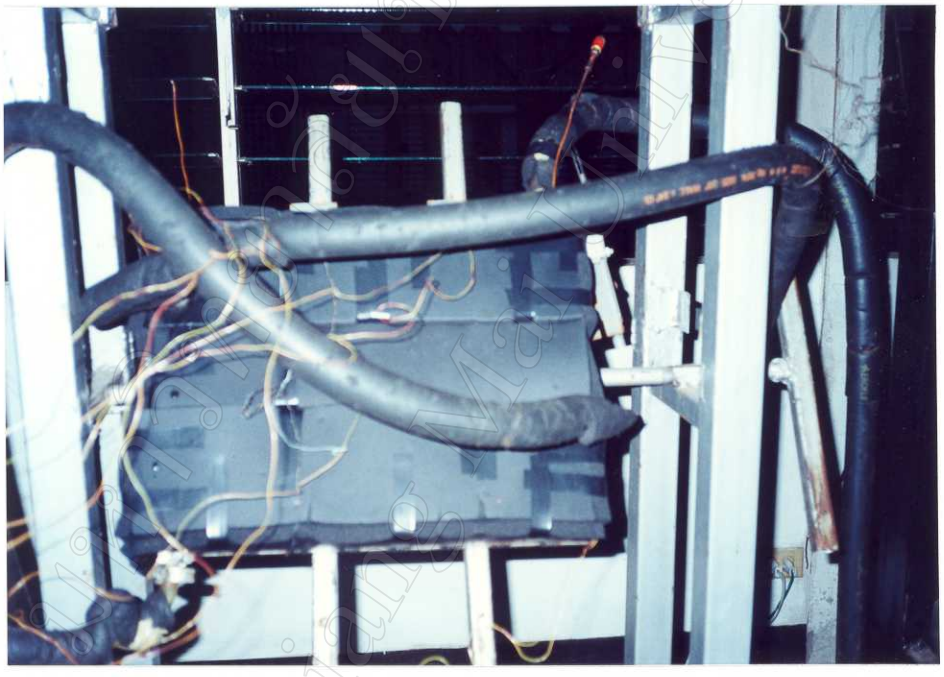
3.3.2 กล่องความร้อนและกล่องความเย็น (Heating and Cooling Jacket) ทำจากแผ่นสังกะสี ใช้บรรจุของไหลที่ให้ความร้อนในส่วนทำระเหย คือ น้ำร้อน และบรรจุของไหลที่รับความร้อนจากส่วนควบแน่นคือ น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล โดยขนาดนั้นขึ้นอยู่กับความยาวที่เท่ากันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.3 น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล

3.3.3 น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล ในอัตราส่วน 50% โดยปริมาตร ซึ่งใช้เป็นของไหลรับความร้อนจากส่วนควบแน่นไปยังอ่างทำเย็น (Cold bath) เป็นสารผสมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำถึง –35 °C ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.3.4 แท่นติดตั้งและทดสอบท่อความร้อน เป็นแท่นทดสอบที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ โดยสามารถปรับค่ามุมเอียงในการทดสอบได้จาก 0 ถึง 180 องศาจากแนวดิ่ง ซึ่งจะทำให้ท่อความร้อนที่ใช้ทดสอบสามารถปรับค่ามุมเอียงการทดสอบได้ตามการเอียงของแท่นทดสอบ และมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.4

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



รูปที่ 3.4 แท่นติดตั้งและชุดทดสอบท่อความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

รูปที่ 3.5 สารทำงาน HP62 และ MP39

3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

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

รูปที่ 3.6 อ่างทำความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

3.4.2 อ่างทำความเย็น มีช่วงการควบคุม –40 °C ถึง 150 °C มีความแม่นยำ ±0.1 °C ใช้ควบคุมอุณหภูมิน้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอลเข้ากล่องของส่วนควบแน่นดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 อ่างทำความเย็น

3.4.3 มาตรวัดอัตราการไหล ยี่ห้อ Platon รุ่น PGB411 แบบ Rotameter ที่มีช่วงการวัด 0.4 ถึง 4.4 ลิตรต่อนาที มีความละเอียด 0.2 ลิตรต่อนาที ใช้ในการวัดอัตราการไหลของสารรับความร้อนที่เข้ากล่องส่วนควบแน่นของท่อความร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 มาตรวัดอัตราการไหล

3.4.4 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น HR 1300 ขนาด 20 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ –100 °C ถึง 1300 °C มีความแม่นยำ ±0.1 °C ดังแสดงในรูปที่ 3.9

3.4.5 เทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.4.4 ใช้วัดอุณหภูมิสารรับความร้อนเข้าและออกจากกล่องส่วนควบแน่นและสารให้ความร้อนจากกล่องส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล

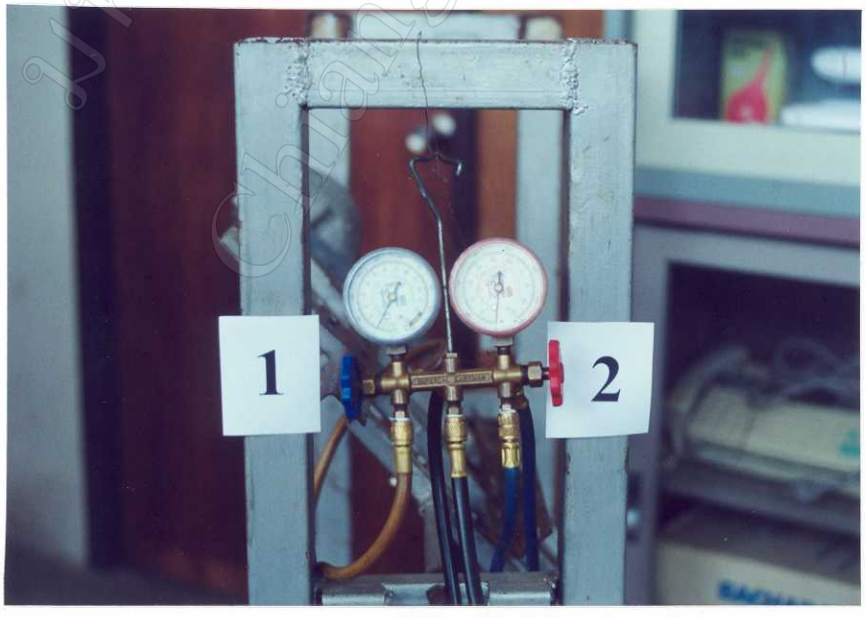
รูปที่ 3.10 เทอร์โมคับเปิล

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

3.4.6 วาล์วควบคุมการไหลแบบ Globe valve ขนาด 15 มิลลิเมตร ที่ใช้กับความดันได้สูงถึง 850 kPa (125 psi) ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของสารรับความร้อนขาเข้ากล่องส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

3.4.7 ชุดเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานทั้ง 2 ชนิด เข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump), วาล์ว, เกจน์วัดความดัน (Pressure gauge) และสายเติมสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ชุดเติมสารทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

3.4.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Digicon รุ่น GL มีช่วงของน้ำหนักที่จะชั่ง 0.005 ถึง 9.990 kg ใช้ในการชั่งน้ำหนักของสารที่เติมลงในท่อความร้อน แสดงในรูปที่ 3.13

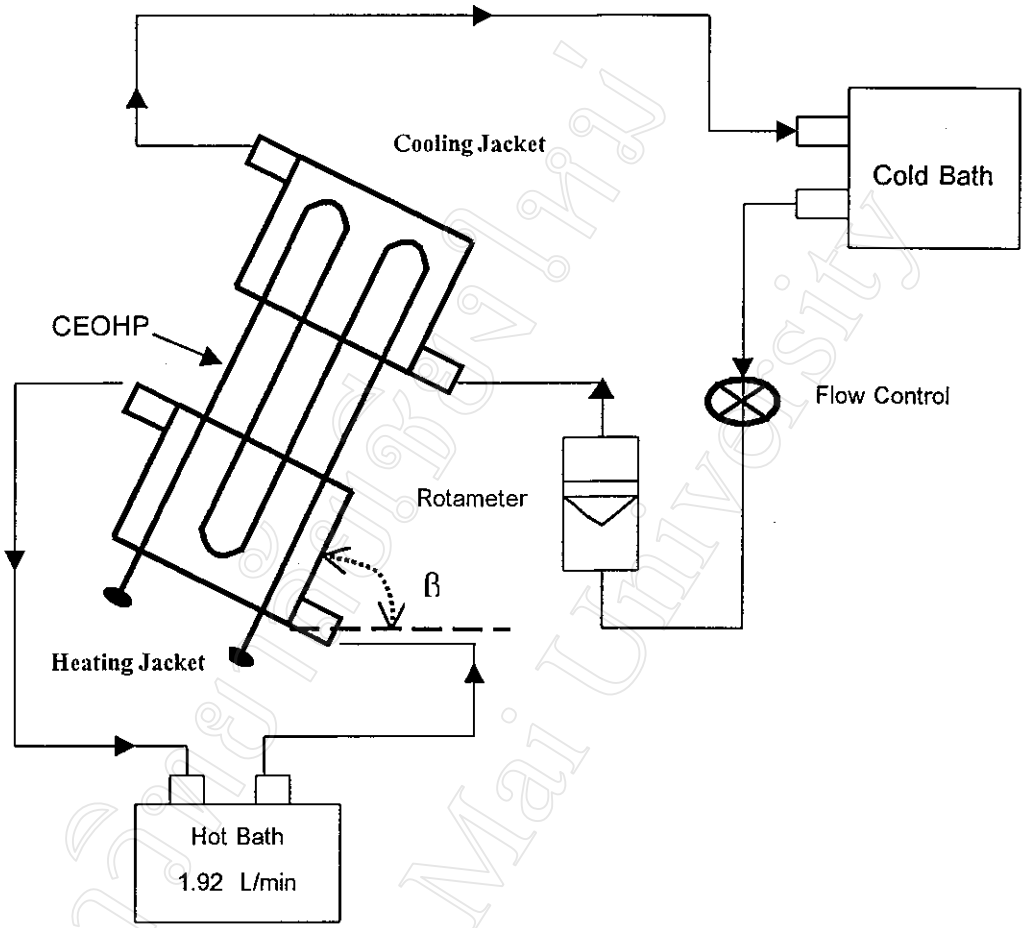
รูปที่ 3.13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

3.5 ขั้นตอนการทดสอบ

3.5.1 บรรจุสารทำงานเข้าในท่อความร้อนโดยใช้ชุดเติมสาร

3.5.2 ติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิลเข้ากับท่อความร้อน โดยติดที่ตำแหน่งปลายสุดของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น และติดตรงกลางของส่วนฉนวน จำนวนของการติดตั้งนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของขดท่อของแต่ละชุดของท่อทดสอบ จากนั้นติดตั้งท่อความร้อนที่หุ้มฉนวนแล้วกับแท่นทดสอบ พร้อมกับเครื่องมือวัดตามรูปที่ 3.14

3.5.3 จากนั้นติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิลไว้ตำแหน่งขาเข้าและขาออกของกล่องให้ความร้อนและกล่องรับความร้อน และสัญญาณทุกสายจากเทอร์โมคับเปิลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องแสดงผล (Data logger) เพื่อเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์

3.5.4 บรรจุน้ำกลั่นให้กับอ่างความร้อนแล้วทำการเปิดสวิตช์อ่างความร้อน โดยปรับอุณหภูมิการทดสอบอยู่ที่ 60 °C, 70 °C และ 80 °C ตามเงื่อนไขของการทดสอบในแต่ละครั้ง

3.5.5 บรรจุน้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอลลงในอ่างทำความเย็นจนเต็ม เปิดสวิตช์อ่างทำเย็น โดยกำหนดอุณหภูมิของอ่างทำเย็นไว้ที่ 20 °C อัตราการไหล 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที

3.5.6 ทำการทดสอบท่อความร้อนซึ่งมีรายละเอียดตามตาราง 3.1 โดยในการทดสอบท่อความร้อนในแต่ละท่อนั้นจะเริ่มจากมุมเอียงการทำงานที่ 90 องศา จากแนวระดับ โดยให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างแล้วจึงทำการทดสอบที่มุมเอียง 75, 60, 50, 40, 30, 15, 0, -20, -40, -60, -80 และ -90 องศาตามลำดับ

3.5.7 นำค่าอุณหภูมิแตกต่างของสารรับความร้อนในส่วนควบแน่นระหว่างขาเข้าและขาออกที่ได้จากการอ่านค่าโดย Data logger พร้อมทั้งวัดอัตราการไหล มาคำนวณหาค่าการส่งถ่ายความ

ร้อนในแต่ละการทดสอบ ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจำนวน 3 ครั้งภายหลังจากที่อุณหภูมิฉนวนเข้าสู่ภาวะเสถียร

3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลของคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะวิเคราะห์ได้ จากการหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยวิธี Calorific คำนวณจาก

$$Q = \dot{m}\, Cp(T_{out} - T_{in}) \tag{3.1}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลเชิงมวลของสารรับความร้อน

C_P คือค่าความจุความร้อนของสารรับความร้อน

$(T_{out} - T_{in})$ คือความแตกต่างอุณหภูมิของสารรับความร้อนขาเข้าและขาออกของกล่องที่ส่วนควบแน่น

โดยจะหาค่าการส่งผ่านความร้อนของท่อความร้อนดังกล่าวทุกๆ การทดสอบและทุกๆ ตำแหน่งมุมเอียงการทดสอบ และจะทำการหาค่าความต้านทานความร้อนของท่อจากสมการ

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \tag{3.2}$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อน

ΔT คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย

และเนื่องจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงผลของมุมเอียง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหยและความยาวทั้งหมดของท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน จึงจำเป็นต้องแสดงผลในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อน (q) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร แสดงในสมการ 3.3

$$q = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \tag{3.3}$$

เมื่อ Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)

D_O คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อคาปิลารี่ (m)

L_C คือ ความยาวในส่วนควบแน่น (m)

N คือ จำนวนแท่งของท่อความร้อนในส่วนควบแน่น

ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนในสมการที่ 3.1 จำเป็นต้องทราบค่าของอัตราการไหลของสารผสมน้ำกับเอทธิลีนไกลคอลโดยวัดจากมาตรวัดอัตราการไหล และอุณหภูมิทั้งขาเข้าและขาออกโดยอ่านจากเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งต่อสายเทอร์โมคับเปิลไว้แล้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดแต่ละตัวนั้นยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ด้วย ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้นั้นจึงมีความผิดพลาดอยู่ด้วย ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

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

เนื่องจากค่า Cp เป็นค่าคงที่จึงทำให้เทอม $\left(\frac{\partial Q}{\partial Cp} dCp \right)^2$ มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการ 3.4 จึงลดรูปเหลือ

$$dQ = \left(\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} d\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{out}} dT_{out} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{in}} dT_{in} \right)^2 \right)^{1/2} \qquad (3.5)$$

โดย dQ คือ ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด

$d\dot{m}$ คือ ค่าความละเอียดจากการวัดอัตราการไหล

dT_{out} และ dT_{in} คือ ค่าความละเอียดจากการวัดอุณหภูมิ

ยกอย่างเช่น ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดของท่อความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตรและใช้สาร MP39 มีค่าความผิดพลาด 27.5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียง 50 องศา

เนื่องจากท่อความร้อนทำมาจากท่อทองแดงซึ่งมีความสามารถในการนำความร้อนสูง ท่อทองแดงจึงมีอิทธิพลในการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนมาก จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าการนำความร้อนของท่อความร้อนด้วยและนำไปรวมกับค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด เพื่อกำหนดขอบเขตในการเลือกข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยค่าการนำความร้อนผ่านผิวผนังท่อสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_C = \frac{kAN}{L}(T_e - T_c) \qquad (3.6)$$

โดย Q_C คือ ค่าการนำความร้อนของผนังท่อ

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของทองแดง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อทองแดง

N คือ จำนวนแท่งของท่อทองแดง

L คือ ความยาวรวมของส่วนทำระเหย ส่วนฉนวนและส่วนควบแน่น

T_e คือ อุณหภูมิของส่วนทำระเหย

T_C คือ อุณหภูมิของส่วนควบแน่น

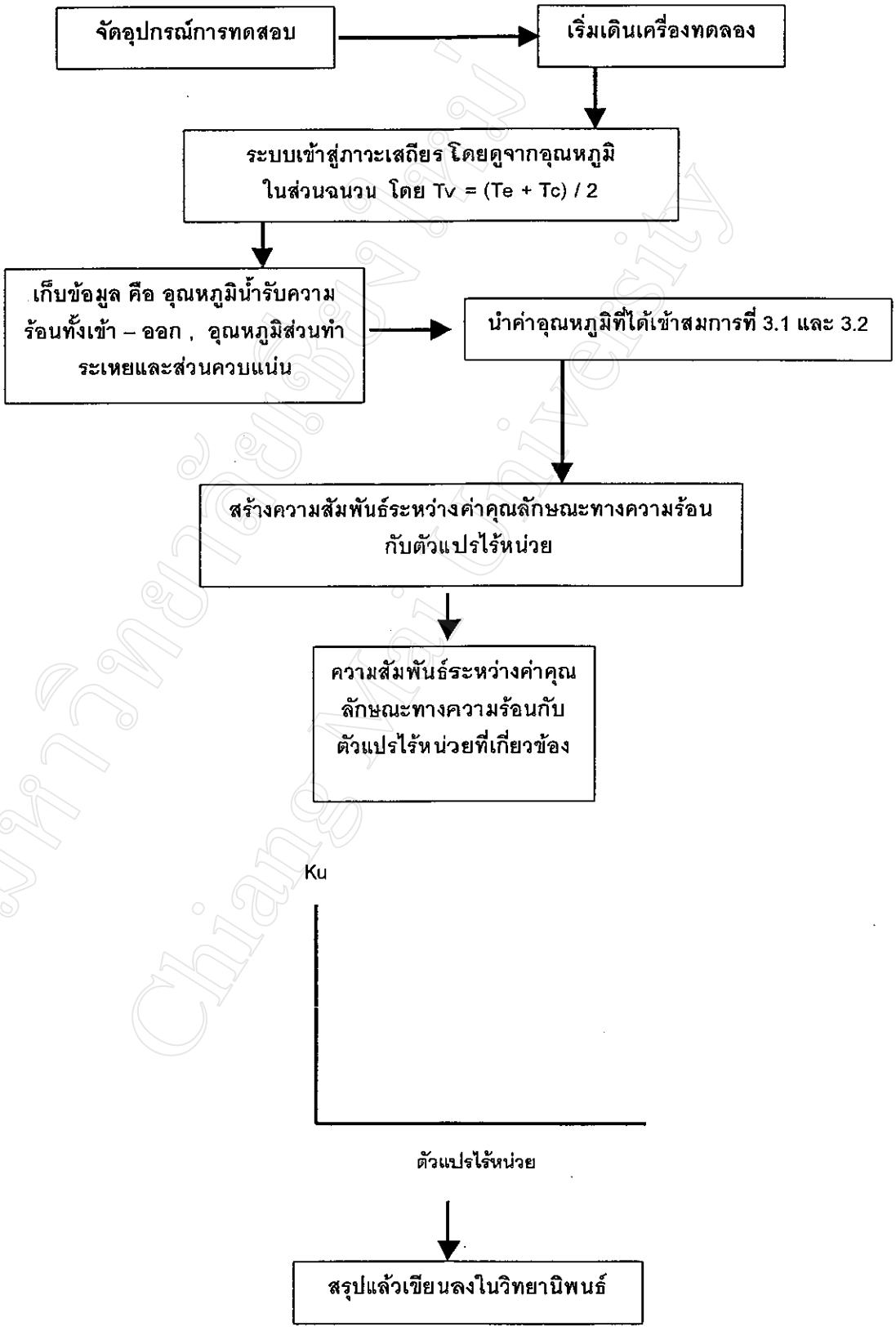
ยกตัวอย่างเช่น ค่าการนำความร้อนของท่อความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 50 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 15 เมตรและใช้สาร MP39 มีค่าเท่ากับ 13 เปอร์เซ็นต์ของค่าการถ่ายเทความร้อน นำค่าที่ได้ไปรวมกับค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.6.2 การวิเคราะห์ลักษณะตัวแปรไร้มิติที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยนำเอาคุณสมบัติของสารที่อุณหภูมิทำงานมาแทนค่าในสมการตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้อง แล้วคำนวณหาค่าเป็นตัวเลข สุดท้ายจึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนกับตัวแปรไร้มิติเหล่านี้ สรุปลำดับขั้นตอนการวิจัยแสดงในรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดสอบท่อความร้อน

สาร	Di (m)	Le (m)	Lt (m)	อุณหภูมิ	มุมเอียง
HP62	0.00103, 0.00206	0.05, 0.1, 0.15	5, 10, 15	30, 40, 50	90, 75, 60, 50, 40, 30, 15, 0, -20, -40, -60, -80, -90
MP39	0.00103, 0.00206	0.05, 0.1, 0.15	5, 10, 15	30, 40, 50	90, 75, 60, 50, 40, 30, 15, 0, -20, -40, -60, -80, -90

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนในการวิจัย