

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จจำเป็นต้องทำอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงวัตถุประสงค์ในการทดสอบ ตัวแปรสำหรับการทดสอบ วิธีการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบ

ศึกษาถึง ผลกระทบของมุมเอียง อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน และความเสียดทานภายในท่อ ที่มีต่อ

3.1.1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน

3.1.2 รูปแบบการไหลภายในท่อ CEOHP โดยมีตัวชี้วัด คือ ชนิดของรูปแบบการไหล ความยาวฟองไอ สัดส่วนช่องว่าง

3.1.3 ปรากฏการณ์การไหลภายในท่อ CEOHP โดยมีตัวชี้วัด คือ ความเร็วของฟองไอ การขยายของฟองไอ ความถี่ของการเคลื่อนที่ของไอ และแอมป์จูด

3.1.4 จัดทำแผนภูมิรูปแบบการไหลภายในท่อ CEOHP (Flow patterns map) เพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบท่อ CEOHP

3.2 ตัวแปรในการทดสอบ

3.2.1 ชุดทดสอบ CEOHP ทำมาจากแท่งแก้วทนความร้อน เนื่องจากแท่งแก้วทนความร้อนสามารถสังเกตรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน และเมื่อทำการบันทึกภาพด้วยกล้องวีดีโอหรือกล้องถ่ายภาพนิ่งจะได้ภาพที่คมชัดอย่างมาก

3.2.2 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ภายในท่อมี 2 ค่า คือ 0.00074 และ 0.004 เนื่องจาก 2 ค่านี้สามารถเห็นผลกระทบของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานภายในท่อได้อย่างชัดเจน และข้อจำกัดในการสร้างท่อแก้วไม่สามารถทำให้ค่าความเสียดทานบนพื้นผิวภายในท่อได้มากกว่านี้

3.2.3 สารทำงานที่ใช้ในการทดสอบ คือ Refrigerant 123 (1,1-dichloro-2,2,2-trifluoroethane) ซึ่งเป็นสารทำงานที่จุดเดือดต่ำ ไม่ติดไฟ

3.2.4 ความยาวในส่วนทำระเหย (Evaporator section) , ส่วนฉนวน (Adiabatic section) และ ส่วนระบายความร้อน (Condenser section) ที่มีความยาวเท่ากัน คือ 50 มิลลิเมตรเพื่อทำให้พื้นที่ผิวของท่อในแต่ละส่วนมีค่าเท่ากัน

3.2.5 จำนวนโค้งเกลียวที่ใช้ในการทดสอบ คือ 28 โค้งเกลียว เนื่องจากที่จำนวนโค้งเกลียวปริมาณเท่านี้ก็สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจนและสามารถให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดี

3.2.6 อัตราส่วนการเติมสารทำงานประมาณ 50% โดยปริมาตรทั้งหมด เนื่องจากว่าอัตราการเติมค่านี้น่าจะสามารถให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด

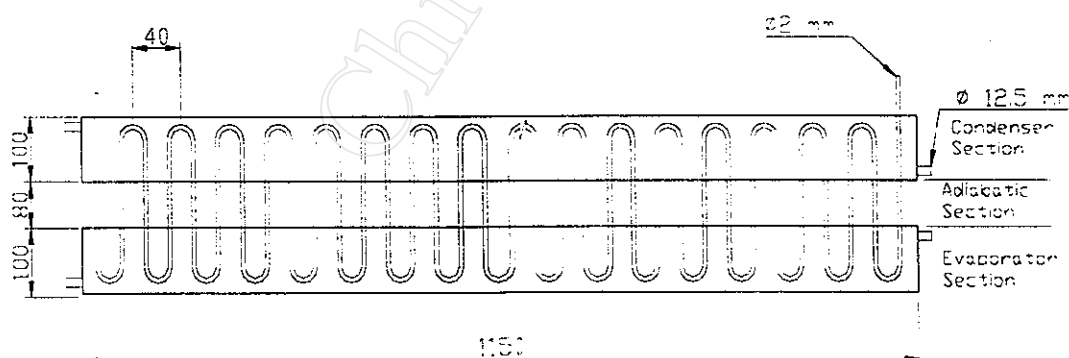
3.2.7 อุณหภูมิที่ส่วนให้ความร้อนที่ใช้ในการทดสอบคือ 60°C , 70°C และ 80°C

3.2.8 สารรับความร้อนที่ใช้ คือ น้ำกลั่น มีอุณหภูมิเข้ากล่องความเย็น 20°C และมีอัตราการไหล 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที

3.2.9 มุมเอียงการทดสอบกำหนดอยู่ระหว่าง 0 – 180 องศา จากแนวดิ่ง คือ 0, 30, 50, 70 และ 90 องศา เนื่องจากที่มุมเอียงมากกว่า 90 องศา ท่อความร้อน CEOHP สามารถถ่ายเทความร้อนได้ต่ำและรูปแบบการไหลไม่ชัดเจนดังนั้นจึงไม่พิจารณาในส่วนนี้

3.3 ชุดทดสอบ

3.3.1 ชุดทดสอบท่อความร้อนแบบส้นปลายปิดที่ทำมาจากแท่งแก้วทนความร้อน (Pyrex tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร ที่ขุดไปมา ซึ่งชุดทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนรับความร้อน (Evaporator section) ส่วนฉนวน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ซึ่งทั้งสามส่วนมีความยาวเท่ากัน ปลายทั้งสองข้างของท่อเป็นปลายปิด ดังแสดงในรูป 3.1



รูป 3.1 ชุดทดสอบท่อความร้อนแบบส้นปลายปิด

3.3.2 ถังให้ความร้อน (Heating Jacket) ทำจากกระจกหนา 6 มิลลิเมตร ใช้บรรจุน้ำมันซิลิโคน ซึ่งเป็นของไหลที่ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูป 3.2



รูป 3.2 ถังให้ความร้อน

3.3.3 ถังความเย็น (Cooling Jacket) ทำจากกระจกหนา 6 มิลลิเมตร ใช้บรรจุของไหลที่รับความร้อนจากส่วนควบแน่นคือ น้ำกลั่น ดังแสดงในรูป 3.3



รูป 3.3 ถังความเย็น

3.3.4 น้ำกลั่น ซึ่งใช้เป็นของไหลรับความร้อนจากส่วนควบแน่นไปยังอ่างทำเย็น (Cold bath)
 ดังแสดงในรูป 3.4



รูป 3.4 น้ำกลั่น

3.3.5 น้ำมันซิลิโคน ซึ่งใช้เป็นของไหลให้ความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังอ่างทำความร้อน (Hot bath) ดังแสดงในรูป 3.5



รูป 3.5 น้ำมันซิลิโคน

3.3.6 แท่นติดตั้งและทดสอบท่อความร้อน เป็นแท่นทดสอบที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ โดยสามารถปรับค่ามุมเอียงในการทดสอบได้จาก 0 ถึง 180 องศาจากแนวดิ่ง ซึ่งจะทำให้ท่อความร้อนที่ใช้ทดสอบสามารถปรับค่ามุมเอียงการทดสอบได้ตามการเอียงของแท่นทดสอบ และมีลักษณะดังแสดงในรูป 3.6



รูป 3.6 แท่นติดตั้งและชุดทดสอบท่อความร้อน

3.3.7 สารทำงาน R123 (1,1dichloro-2,2,2-trifluoroethane) ซึ่งจัดจำหน่ายโดย บริษัทนอร์ทเทอรันเคมีคัลแอนดักกลาสแวร์ มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 27.84°C มีค่าความหนืด $408.1 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ค่าการนำความร้อนของเหลว $75.8 \text{ mW/m}\cdot\text{K}$ ค่าการนำความร้อนของไอ $10.35 \text{ mW/m}\cdot\text{K}$ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ 170.44 kJ/kg ความตึงผิว 15.06 mN/m ดังแสดงไว้ตามรูป 3.7



รูป 3.7 สารทำงาน R123

3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

3.4.1 อ่างทำความเย็น ซีลี่ห้อ Bitzer รุ่น D7032 มีช่วงการควบคุม -40°C ถึง 150°C มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ใช้ควบคุมอุณหภูมิในถังที่ไหลเข้าห้องของส่วนควบแน่นดังแสดงในรูป 3.8



รูป 3.8 อ่างทำความเย็น

3.4.2 มาตรวัดอัตราการไหล ซีอีโอ Platon รุ่น PGB411 แบบ Rotameter ที่มีช่วงการวัด 0.4 ถึง 4.4 ลิตรต่อนาที มีความละเอียด 0.2 ลิตรต่อนาที ใช้ในการวัดอัตราการไหลของสารรับความร้อนที่เข้ากล่องส่วนควบแน่นของท่อความร้อนดังแสดงในรูป 3.9



รูป 3.9 มาตรวัดอัตราการไหล

3.4.3 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ซีอีโอ Yokogawa รุ่น HR 1300 ขนาด 20 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -100°C ถึง 1300°C มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูป 3.10



รูป 3.10 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.4.4 เครื่องบันทึกข้อมูล (Chart recorder) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น 4152 2 - pen มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -200°C ถึง 1370°C มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ใช้วัดอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงในส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อนดังแสดงในรูป 3.11



รูป 3.11 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.4.5 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชื่อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.4.3 และ 3.4.4 ใช้วัดอุณหภูมิสารรับความร้อนเข้าและออกจากกล่องส่วนควบแน่นและสารให้ความร้อนจากกล่องส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูป 3.12



รูป 3.12 เทอร์โมคัปเปิล

3.4.6 วาล์วควบคุมการไหลแบบ Globe valve ขนาด 15 มิลลิเมตร ที่ใช้กับความดันได้สูงถึง 850 kPa (125 psi) ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของสารรับความร้อนเข้าจากกล่องส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูป 3.13



รูป 3.13 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

3.4.7 อ่างทำความร้อน ซีท้อ Haake รุ่น HS891000 มีช่วงอุณหภูมิควบคุม 5 °C ถึง 300 °C มีความแม่นยำ ± 0.03 °C ใช้ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันซิลิโคนที่ไหลเข้ากล่องของส่วนทำระเหยดังแสดงในรูป 3.14



รูป 3.14 อ่างทำความร้อน

3.4.8 เครื่องมือบรรจุสารทำงาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุ R123 เข้าสู่ชุดทดสอบ CEOHP ประกอบด้วย Vacuum pump, Valve, Working fluid container และมีท่อสแตนเลสทำหน้าที่เชื่อมต่อทั้งดังแสดงไว้ตามรูป 3.15 โดยจะนำ CEOHP มาต่อเข้าเมื่อจะทำการบรรจุสารทำงาน



รูป 3.15 เครื่องมือบรรจุสารทำงาน

3.4.9 กล้องถ่ายภาพนิ่งดิจิทัล โซนีสองซอท์ ซีรีส์ Sony DSC – S75 ความละเอียด CCD 3.3 ล้านพิกเซล เลนส์โฟกัส 6 เท่า แบบดิจิทัล หรือ 3 เท่าออฟดีคอลล ใช้ในการถ่ายภาพรูปแบบการไหลของ CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.16



รูป 3.16 กล้องถ่ายภาพนิ่งดิจิทัล

3.4.10 กล้องวิดีโอ ซีรีส์ Sony Handycam รุ่น CCD-TR618E เลนส์โฟกัส 450 เท่า แบบดิจิทัล หรือ 20 เท่าออฟดีคอลล จำนวน 2 ตัว ใช้ในการบันทึกรูปแบบการไหลของส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นของ CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.17



รูป 3.17 กล้องวิดีโอใช้ในการถ่ายภาพรูปแบบการไหลของ CEOHP

3.4.11 กล้องวิดีโอซีดีชื่อ Sony Handycam รุ่น CCD-TR618E เลนส์โฟกัส 560 เท่า แบบดิจิทัล หรือ 20 เท่าออฟดีคอล จำนวน 1 ตัว ใช้ในการบันทึกรูปแบบการไหลทั้ง 3 ส่วนคือ ส่วนทาระเหย ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน และส่วนควบแน่นของ CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.18



รูป 3.18 กล้องวิดีโอใช้ในการถ่ายภาพรูปแบบการไหลของ CEOHP

3.4.12 เครื่องเล่นและบันทึกวิดีทัศน์ชื่อ Sony รุ่น SLV-X810 4 หัวเทป ปรับความคมชัดอัตโนมัติ ใช้ในการเล่นเทปบันทึกรูปแบบการไหลทั้ง 3 ส่วนคือ ส่วนทาระเหย ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน และส่วนควบแน่นของ CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.19



รูป 3.19 เครื่องเล่นและบันทึกวิดีทัศน์

3.4.13 เครื่องเล่นและบันทึกวีดิทัศน์สี ยี่ห้อ Panasonic รุ่น NV-FJ720 6 หัวเทป ปรับความคมชัดอัตโนมัติ ใช้ในการเล่นเทปบันทึกรูปแบบการไหลของส่วนทำระเหยของ CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.20



รูป 3.20 เครื่องเล่นและบันทึกวีดิทัศน์

3.4.14 เครื่องเล่นและบันทึกวีดิทัศน์สี ยี่ห้อ Samsung รุ่น SV-66HK 1 หัวเทป ปรับความคมชัดอัตโนมัติ ใช้ในการเล่นเทปบันทึกรูปแบบการไหลของส่วนควบแน่นของ CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.21



รูป 3.21 เครื่องเล่นและบันทึกวีดิทัศน์

3.4.15 โทรทัศน์สี ยี่ห้อ Sony ขนาด 14 นิ้ว Trinitron 2 เครื่อง ใช้ในการศึกษารูปแบบการไหลที่บันทึกรูปแบบการไหล ตามรูป 3.22



รูป 3.22 โทรทัศน์สี

3.4.16 โทรทัศน์สี ยี่ห้อ NEC ขนาด 29 นิ้ว ใช้ในการศึกษารูปแบบการไหลที่บันทึกรูปแบบการไหล ตามรูป 3.23



รูป 3.23 โทรทัศน์สี

3.4.17 เทปวีดิทัศน์ ขนาด 120 นาที ใช้ในการบันทึกรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นใน CEOHP ดังแสดงไว้ตามรูป 3.24



รูป 3.24 เทปวีดิทัศน์

3.4.18 หลอดไฟ ขั้วต่อ PHILIPS ขนาด 100 watt (Daylight blue) จำนวน 21 หลอด ใช้ในการเพิ่มแสงให้กับชุดทดสอบในการบันทึกภาพ ดังแสดงไว้ตามรูป 3.25



รูป 3.25 หลอดไฟ

3.4.19 เครื่องวัดความเร็วของอากาศ ยี่ห้อ Testo435 มีช่วงการควบคุม 0.2 ถึง 40 m/s ที่อุณหภูมิการวัด -50 ถึง 150 °C ความแม่นยำ ± 1 digit ใช้ในการวัดความเร็วของการอากาศภายในท่อทดสอบ ดังแสดงไว้ตามรูป 3.26



รูป 3.26 เครื่องวัดความเร็วอากาศ

3.4.20 เครื่องวัดความดันภายในท่อชุดทดสอบ ยี่ห้อ Testo 454 ใช้สำหรับวัดความดันตกคร่อมภายในท่อทดสอบ ดังแสดงไว้ตามรูป 3.27



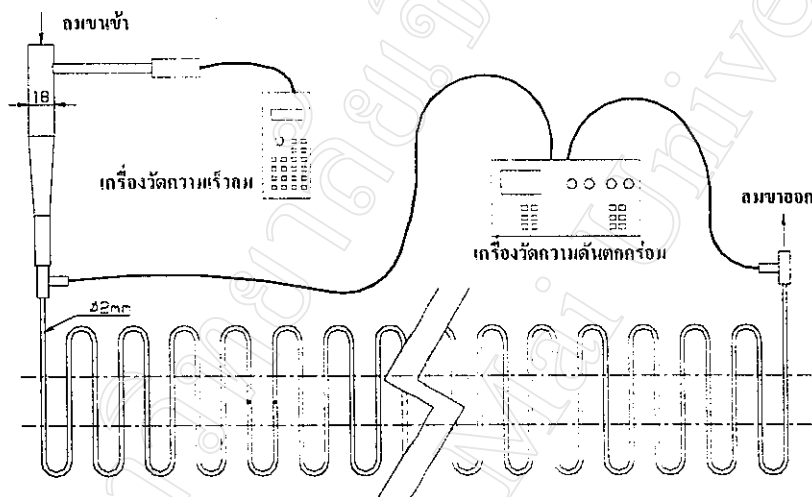
รูป 3.27 เครื่องวัดความดันภายในท่อ

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.1 ประกอบชุดทดสอบตามรูป 3.1

3.5.2 ทำการหาสัมประสิทธิ์ความเสียหายโดยการวัดความเร็วลม ความแตกต่างความดันภายในท่อชุดทดสอบตามรูป 3.28

3.5.3 เดินเครื่องสุญญากาศ เพื่อทำสุญญากาศให้กับ CEOHP และเดินสารทำงานเข้าไปใน CEOHP ตามชนิดและปริมาณที่ต้องการ



รูป 3.28 แสดงการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

3.5.4 ติดตั้ง CEOHP ที่เดินสารทำงานแล้วบนแท่นทดสอบ

3.5.5 ติดตั้งสายยางชุดรับความร้อนต่อกับทางเข้า-ออกของถังระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่น เพื่อให้มีการไหลเวียนของน้ำ ที่จะมารับความร้อนจากส่วนควบแน่นของ CEOHP ในขณะที่ติดตั้งสายยางนั้น จะมีการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิของสารที่มารับความร้อนจากส่วนควบแน่นด้วย

3.5.6 ติดตั้งสายยางของชุดรับความร้อนเข้ากับกล่องความเย็น (Cooling jacket) ของชุดทดสอบ เพื่อให้สารรับความร้อนสามารถหมุนเวียนมารับความร้อนจากชุดทดสอบได้

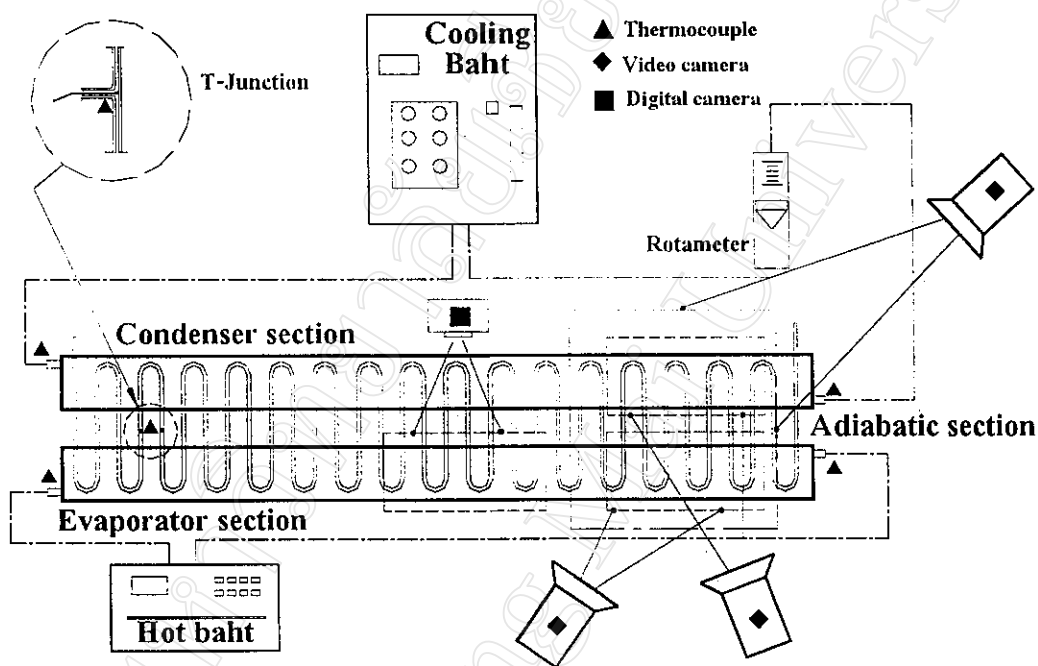
3.5.7 เติมน้ำกลั่นในชุดให้ความเย็น และเติมน้ำมันซิลิโคนในชุดให้ความร้อน และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

3.5.8 ติดตั้งกล้องถ่ายภาพวิดีโอติดเข้ากับแท่นทดสอบ และต่อสายสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอเข้ากับเครื่องเล่นและบันทึกวิดีโอเพื่อทำการบันทึกภาพรูปแบบการไหลของสารทำงาน

และต่อสายสัญญาณภาพจากเครื่องเล่นและบันทึกวีดิทัศน์สีมายังทีวีสีเพื่อการทำงานไปด้วยจะเริ่มบันทึกภาพและผลของอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงตัว พร้อมทั้งวัดอัตราการไหลของสารที่ถ่ายเทความร้อนจากส่วนควบแน่น

3.5.9 ปรับมุมเอียงแผ่นทดสอบให้ทำมุมเอียงต่างๆ จนครบตามที่ต้องการ

3.5.10 ทำการทดสอบซ้ำจากขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายอีก แต่เปลี่ยนชุดทดสอบ ให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานตามที่ตั้งไว้จนครบทั้งหมด



รูป 3.29 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

แยกออกเป็น 2 ขั้นตอน

3.6.1 นำผลการทดลองที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีของการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อน และงานวิจัยที่มีผู้ทำเอาไว้ เพื่อที่จะสรุปผลถึงรูปแบบปรากฏการณ์ของการไหลที่เกิดขึ้นภายใน CEOHP ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ CEOHP

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การไหลภายในของ CEOHP จะถือว่าเป็นผลของรูปแบบของการไหลแบบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ CEOHP

3.6.2 ขั้นตอนจัดทำ Flow pattern map เบื้องต้นในแต่ละช่วงการทำงานของ CEOHP ซึ่งจะ
เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับตัวเลขเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re)
หรือค่าตัวแปรไร้มิติ เช่น Kutatelaze number (Ku) ตัวแปรมาทินแนลลี เป็นต้น ซึ่งตัวแปรไร้มิติจะ
ต้องดูจากการทดลองอีกครั้งว่าตัวใดมีความสัมพันธ์กับข้อมูลการทดลอง