บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

เพื่อให้การทดลองดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบความสำเร็จจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงแผนการดำเนินการ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจะอธิบายในรายระเอียดดังนี้

3.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

3.1.1 เพื่อศึกษาผลของ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยว และสารทำงานที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

3.1.2 เพื่อทำนายแนวโน้มของการทำงานเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ

3.2 ตัวแปรในการทดลอง

3.2.1 กรณีที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา (วางตัวอยู่ในแนวระนาบ)

1. วัสดุที่ใช้สำหรับทำชุดทดลองท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ เป็นท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 และ 2.03 mm
2. สารทำงานที่ใช้คือ R123 อาซี-โทน และ น้ำ
3. มีความยาวของส่วนทำระเหยเป็น 50 100 และ 150 mm
4. มีจำนวน 5 10 และ 15 โค้งเลี้ยว

3.2.2 กรณีที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา (วางตัวอยู่ในแนวดิ่ง)

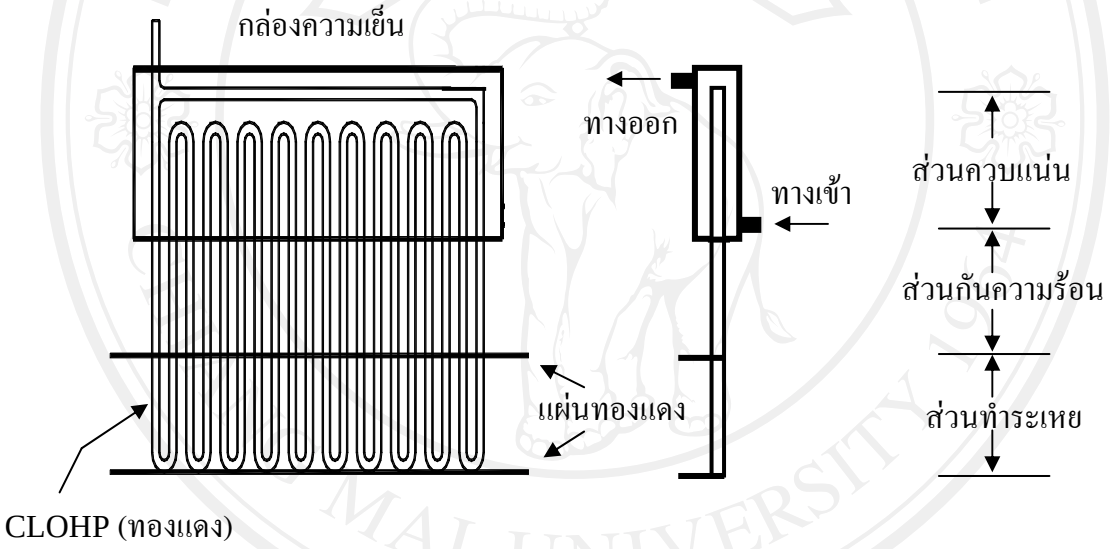
1. วัสดุที่ใช้สำหรับทำชุดทดลองท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ เป็นท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 mm
2. สารทำงานที่ใช้คือ น้ำ
3. มีความยาวของส่วนทำระเหยเป็น 50 mm
4. มีจำนวน 10 โค้งเลี้ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3 ที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา และ 90 องศา มีอัตราส่วนการเติมสารทำงานประมาณ 50 % ของปริมาตรรวมทั้งหมดของท่อ และมีความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น มีขนาดที่เท่ากัน

3.3 ชุดทดลอง

3.3.1 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ ทำมาจากท่อทองแดง แบบท่อคาปิลลารี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 2.03 และ 3.4 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น ซึ่งทั้งสามส่วนมีความยาวเท่ากัน ปลายทั้งสองข้างของท่อจะเชื่อมต่อเข้าหากัน และทำการเชื่อมแผ่นทองแดงที่ปลายด้านล่าง และด้านบนส่วนทำระเหย เพื่อใช้ในการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.2 กล่องความเย็น ทำจากแผ่นสังกะสีใช้บรรจุของไหลระบายความร้อนจากส่วนควบแน่น โดยขนาดของกล่องขึ้นอยู่กับความยาวของส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ชุดท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่ติดกล่องความเย็น

3.3.3 น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล สัดส่วนผสม 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งใช้เป็นของไหลระบายความร้อนจากส่วนควบแน่นไปยังอ่างทำเย็น เป็นสารผสมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำถึง -35 ^{o}C ดังแสดงในรูป

รูปที่ 3.3 น้ำกลั่นผสมเอทธิลีนไกลคอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.4 แท่นติดตั้งและทดสอบท่อความร้อน เป็นแท่นทดสอบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยสามารถค่าปรับมุมเอียงในการทดสอบได้จาก 0 ถึง 90 องศาจากแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 แท่นติดตั้งและทดสอบท่อความร้อน

3.3.5 สารทำงาน ได้แก่ R123 ($CHCl_2CF_3$) อาซี-โทน (C_3H_6O) และ น้ำ (H_2O) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 สารทำงาน R123 อาซี-โทน และ น้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

3.4.1 อ่างทำความเย็นยี่ห้อ Bitzer ใช้ควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสำหรับส่วนควบแน่นของท่อความร้อนสามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ –10 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 อ่างทำความเย็น

3.4.2 เครื่องให้ความร้อน เป็นเครื่องมือให้ความร้อนที่ออกแบบและสร้างขึ้นเป็นพิเศษที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ โดยอาศัยหลักการของความต้านทานไฟฟ้า เครื่องมือที่ออกแบบนี้จะมีความดันไฟฟ้า 0.4 โวลต์ และมีกระแสไฟฟ้า 6,000 – 8,000 แอมป์ (ขึ้นอยู่กับภาระโหลด) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าสู่ท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหย ค่าความต้านทานความร้อนของท่อซึ่งมีค่าต่ำกว่าจะทำให้เกิดความร้อนที่ผิวท่อ ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถผลิตความร้อนให้แก่ท่อความร้อน คือ 30 – 470 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.3 ที่ปรับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องให้ความร้อน ในตัวปรับ Variac จะแสดงสเกลในการปรับแบบละเอียดที่ช่วง 0 – 150 Variac เพื่อที่จะใช้ในการปรับหาจุดที่ท่อความร้อนสามารถเริ่มต้นทำงานได้และในการปรับ 1 Variac จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 1- 2 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.8

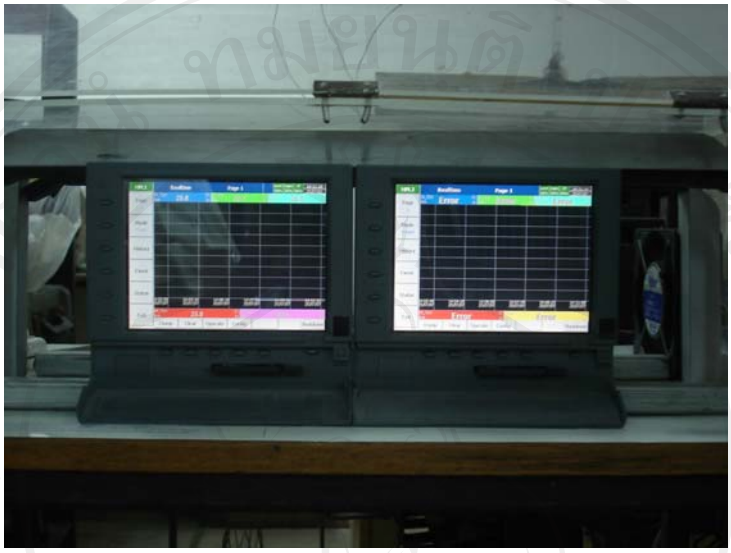
รูปที่ 3.8 ที่ปรับระดับความร้อนโดยผ่านการปรับที่ Variac

3.4.4 วาว์ลปรับอัตราการไหล ใช้ในการปรับอัตราการไหลของสารหล่อเย็นที่จะไหลเข้าไปยังกล่องทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 วาว์ลควบคุมอัตราการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.5 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Brainchild รุ่น VR18 ขนาด 18 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ –250 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.4.6 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.4.5 ใช้วัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าและออกจากส่วนควบแน่น ส่วนกันความร้อน และแผ่นทองแดงให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 เทอร์โมคัปเปิล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.7 ชุดเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงาน เข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย เกจวัดความดัน และสายเติมสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชุดเติมสารทำงาน

3.4.8 แท่นเติมสารทำงาน ใช้ในการวัดปริมาณสารทำงานและเติมสารทำงานที่อยู่ในสถานะของเหลวที่ความดันบรรยากาศลงในท่อความร้อน ประกอบไปด้วย Pressure gauge ยี่ห้อ SP รุ่น RG-250 สามารวัดสูญญากาศในช่วง 0 ถึง -76 cm-Hg โดยมีความละเอียด $\pm$ 0.1 kg/cm^2 และหลอดแก้วสำหรับวัดปริมาณสารทำงานยี่ห้อ HBG มีความละเอียด $\pm$ 0.1 ml มีช่วงในการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 23 ml ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แท่นเติมสารทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.9 ปั้มสูญญากาศ ยี่ห้อ J/B Industries Inc. รุ่น DV-142N-250 แบบ 2 stage ทำงานโดยอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 hp อัตราการไหลเชิงมวลสูงสุด 5 cfm ในการดูดอากาศออกจากท่อความร้อนและอุปกรณ์เติมสารทำงาน ดังแสดงในรูป 3.14

รูปที่ 3.14 ปั้มสูญญากาศ

3.4.10 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ยี่ห้อ Platon รุ่น PGB411 ความแม่นยำในการวัด ± 0.1 l/min ในช่วงการทำงาน 0.4 - 4.4 l/min ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของสารหล่อเย็นที่ป้อนให้กับกล่องเย็นที่ส่วนควบแน่น

รูปที่ 3.15 มิเตอร์วัดอัตราการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.11 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า Digicon รุ่น GL ใช้ในการชั่งน้ำหนักของสารหล่อเย็นเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของสารหล่อเย็น โดยมีความละเอียด ± 0.005 kg และมีช่วงในการวัดตั้งแต่ 0.005 ถึง 9.995 kg ดังแสดงในรูปที่ 3.16

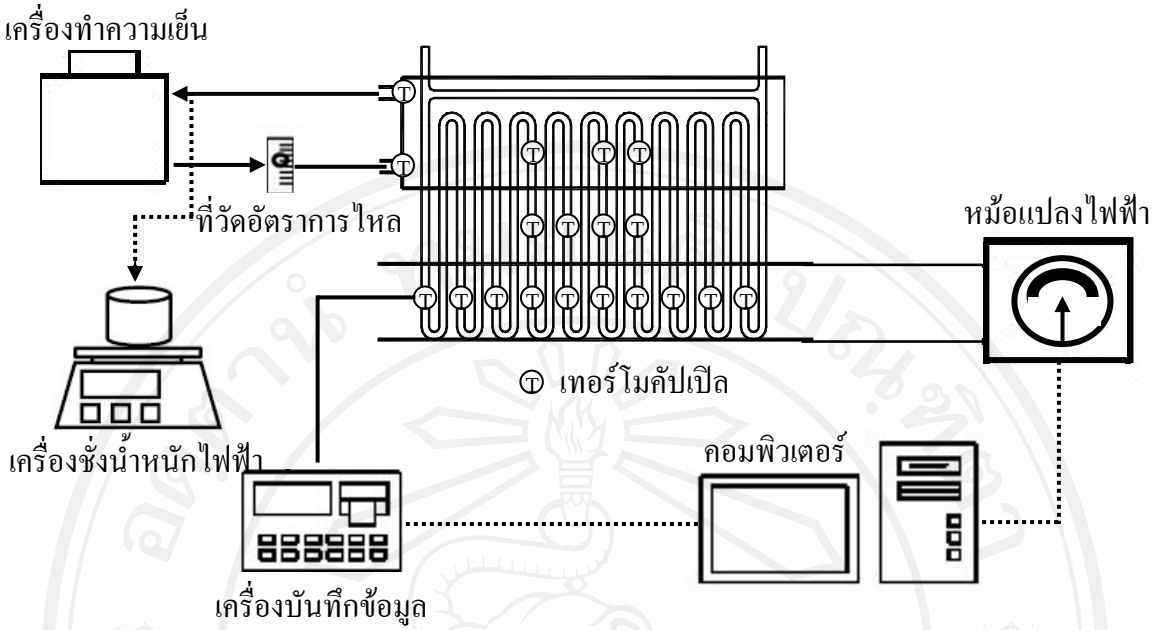
รูปที่ 3.16 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า

3.4.12 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับชุดเครื่องแปลงไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการติด Thermocouple ที่ส่วนทำระเหย 10 ตำแหน่ง ส่วนกันความร้อน 4 ตำแหน่ง ส่วนควบแน่น 3 ตำแหน่ง แล้วทำการหุ้มฉนวนที่ส่วนกันความร้อนเพื่อไม่เกิดการสูญเสียความร้อนขึ้นในส่วนนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.17 การติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับชุดเครื่องแปลงไฟฟ้า
ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล และสายยาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดทดสอบและอุปกรณ์ต่าง ๆ

รูปที่ 3.18 แสดงการติดตั้งชุดทดสอบและอุปกรณ์ต่าง ๆ แหล่งความร้อนที่ใช้ในการทดลองได้มาจากเครื่องแปลงไฟฟ้า โดยแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ตามบ้าน 220 Vott มาเป็นไฟฟ้าความต่างศักย์ต่ำกระแสสูง จากนั้นทำการป้อนกระแสดังกล่าวให้กับแผ่นทองแดงทั้งสองแผ่นที่เชื่อมติดอยู่กับท่อความร้อน ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะไหลผ่านท่อทองแดงที่อยู่ระหว่างแผ่นทองแดงทั้งสองแผ่นนั่นหมาย ความว่าท่อทองแดงบริเวณส่วนทำระเหยทั้งหมด จะกลายเป็นตัวต้านทานทางไฟฟ้าของระบบด้วยตัวมันเอง ซึ่งเป็นผลให้ท่อความร้อนเกิดความร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดบริเวณส่วนทำระเหยทั้งหมด โดยที่ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมได้จากการปรับค่า Variac ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องแปลงไฟฟ้า สารหล่อเย็นที่ใช้ในการทำเย็นส่วนควบแน่นนั้นเป็นสารละลายระหว่างน้ำกลั่นและเอธิลีนไกลคอล ที่สัดส่วนการผสมเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร อัตราการไหลของสารหล่อเย็นปรับค่าโดยอาศัยบอลวาว์ล วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรจาก Rotameter และวัดอัตราการไหลเชิงมวลจากการตวงโดยใช้ตาชั่งไฟฟ้า เพื่อที่จะนำมาคำนวนหาค่าการถ่ายเทความร้อน โดยต่อสายยางที่หุ้มฉนวนกันความร้อนไว้เป็นอย่างดีจากปั๊มผ่านRotameter เข้าสู่กล่องสังกะสี และออกจากกล่องสังกะสีกลับเข้าสู่เครื่องทำเย็น วัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ของท่อความร้อนโดยใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด Chromel-Alumel ทั้งหมด 21 เส้น โดยแบ่งเป็นใช้วัดที่ส่วนทำระเหยทั้งหมด 10 ตำแหน่ง ส่วนกันความร้อน 4 ตำแหน่ง ส่วนควบแน่น 3 ตำแหน่ง ปากทางน้ำหล่อเย็นขาเข้า 2 ตำแหน่ง และปากทางน้ำหล่อเย็นขาออก 2 ตำแหน่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทอร์โมคัปเปิล ทั้งหมดต่อเข้ากับ Data logger ซึ่งบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาทีในทุกๆ จุดที่ทำการวัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่เครื่องบันทึกได้ไปวิเคราะห์ต่อในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันที

ขั้นตอนของการทดสอบ

- บรรจุสารทำงานเข้าในท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ โดยใช้ชุดเติมสาร
- ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับท่อความร้อน โดยติดตั้งที่ตำแหน่งตรงกลางของส่วนทำระเหย 10 ตำแหน่ง ส่วนฉนวน 4 ตำแหน่ง และที่ปลายสุดของส่วนควบแน่น 3 ตำแหน่ง แล้วติดตั้งท่อความร้อนที่หุ้มฉนวนแล้วเข้ากับแท่นทดสอบ พร้อมกับติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ
- จากนั้นทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกส่วนควบแน่นแล้วทำการต่อเชื่อมสัญญาณทุกตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องแสดงผล เพื่อเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์ต่อไป
- เปิดสวิตช์ชุดให้ความร้อนและสวิตช์ชุดทำความเย็น
- ปรับอุณหภูมิเครื่องทำความเย็นให้อยู่ที่ 27^{o}C และทำการปรับอัตราการไหลของสารหล่อเย็น โดยปรับค่าอัตราการไหลจาก Rota meter ให้อยู่ในช่วง 0.15 kg / min
- จากนั้นจะให้ความร้อนเพิ่มขึ้นแก่ส่วนทำระเหยโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าของเครื่องให้ความร้อนที่ค่าต่ำๆ (ทำการปรับทีละ 1 step ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส) พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิทุกตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้
- ระหว่างการบันทึกค่าจากการทดลองจะทำการสังเกตดูอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นว่าเกิดการสั่นของสารทำงานภายในท่อความร้อนหรือไม่(ท่อความร้อนทำงานได้หรือไม่) เมื่อท่อความร้อนเริ่มต้นทำงานแล้วให้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าเข้าไปอีก เพื่อยืนยันว่าที่ความร้อนนั้นทำงานอยู่ในสภาวะปกติ แล้วให้หยุดการทดลอง
- กรณีที่ท่อยังไม่ทำงานรอจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ จากนั้นเพิ่มกระแสไฟฟ้าอีกหนึ่งขั้น แล้วทำซ้ำจนกว่าจะสังเกตเห็นการสั่นของอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นพร้อมๆ กัน
- ปิดสวิตช์ชุดให้ความร้อนหยุดการทดลองประมาณ 45 นาที เพื่อที่จะให้อุณหภูมิของท่อความร้อนที่ใช้ในการทดลองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ แล้วจึงทำการทดลองอีกครั้ง นำค่าอุณหภูมิความแตกต่างของสารระบายความร้อนที่ขาเข้า และขาออก ที่ส่วนควบแน่นที่ได้จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิ และ อัตราการไหล มาคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขณะเริ่มการทำงานของแต่ละชุดการทดสอบ
- ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งเพื่อยืนยันผลการทดสอบ ของแต่ละชุดการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6 ขั้นตอนการคำนวนของแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายสภาวะการเริ่มต้นทำงานสามารถ - ทำได้โดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งสารทำงานที่อยู่ในส่วนทำระเหยจะมีมวลไอจากการระเหยเพิ่มขึ้น เมื่อท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบอยู่ในแหล่งอุณหภูมิให้ความร้อน และสารทำงานที่อยู่ในส่วนควบแน่นจะมีมวลไอลดลง เมื่อท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบอยู่ในแหล่งรับ-ความร้อน แต่เนื่องจากส่วนขยายตัวและหดตัวอยู่ภายในท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบอันเดียวกัน ดังนั้นมวลไอที่เปลี่ยนแปลงจะหมายถึงปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงด้วย และเมื่อการลดลงของมวลในส่วน-ควบแน่นเทียบกับค่าเริ่มต้น มีค่ามากกว่าการเพิ่มขึ้นในส่วนทำระเหยเทียบกับค่าเริ่มต้น ก็จะหมายความว่าการควบแน่นสุทธิมากกว่าการขยายตัวสุทธิ และ ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบก็จะเริ่มต้นทำงานได้ รายละเอียดการคำนวณตามหลักการข้างต้นเป็นดังนี้

พิจารณาท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่อยู่ในแหล่งอุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) และมีมวลสารทำงาน (m_{fill}) บรรจุอยู่ภายใน การหาค่าคุณภาพไอที่อุณหภูมิเริ่มต้น (x_0) สามารถหาได้โดย

$$x_0 = \frac{(v_{tube} - v_{f,0})}{v_{fg,0}} \tag{3.1}$$

โดยปริมาตรจำเพาะของสารทำงานที่อยู่ในท่อ (v_{tube}) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของปริมาตรรวมภายในท่อความร้อน (V_{tube}) ความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของเหลวขณะเติมสาร (ρ_{fill}) และอัตราส่วนการเติมสารทำงานเทียบกับปริมาตรท่อรวม (V^*) โดย

$$v_{tube} = \frac{V_{tube}}{m_{fill}} = \frac{1}{\rho_{fill} V^*} \tag{3.2}$$

เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเป็นไปตามเกณฑ์ของ Maezawa แล้ว ของเหลวจะไม่แยกออกจากไอและอาจกล่าวได้ว่าสารทำงานกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายใน CLOHP ดังนั้นหากกำหนดให้ ψ_e คือ อัตราส่วนของปริมาตรส่วนทำระเหยต่อปริมาตรรวมภายใน CLOHP และ ψ_c คือ อัตราส่วนของปริมาตรส่วนควบแน่นต่อปริมาตรรวมภายใน จะได้ว่า

$$\psi_e = \frac{V_{evaporator}}{V_{tube}} \tag{3.3}$$

$$\psi_c = \frac{V_{condensor}}{V_{tube}} \tag{3.4}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นมวลในส่วนทำระเหย และมวลในส่วนควบแน่น สามารถหาได้จาก

$$m_e = m_{fill}\psi_e \tag{3.5}$$

$$m_c = m_{fill}\psi_c \tag{3.6}$$

ดังนั้นมวลไอที่อยู่ในส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ที่อุณหภูมิเริ่มต้นสามารถหาได้จาก

$$m_{e,go} = m_e x_o \tag{3.7}$$

$$m_{c,go} = m_c x_o \tag{3.8}$$

พิจารณาท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่เริ่มต้นทำงาน ส่วนทำระเหยจะอยู่ในแหล่งอุณหภูมิทำระเหย (T_e) และส่วนควบแน่นจะอยู่ในแหล่งอุณหภูมิควบแน่น (T_c) ดังนั้นการหาค่าคุณภาพไอที่อุณหภูมิทำระเหย (x_e) และคุณภาพไอที่อุณหภูมิควบแน่น (x_c) สามารถหาได้โดย

$$x_e = \frac{(v_{tube} - v_{f,e})}{v_{fg,e}} \tag{3.9}$$

$$x_c = \frac{(v_{tube} - v_{f,c})}{v_{fg,c}} \tag{3.10}$$

ดังนั้นมวลไอที่อยู่ในส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ที่อุณหภูมิทำระเหย และอุณหภูมิควบแน่น สามารถหาได้จาก

$$m_{e,ge} = m_e x_e \tag{3.11}$$

$$m_{c,gc} = m_c x_c \tag{3.12}$$

มวลไอที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปยังอุณหภูมิทำระเหยหาได้จาก

$$\Delta m_{e,g} = m_e(x_e - x_o) \tag{3.13}$$

มวลไอที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปยังอุณหภูมิควบแน่นหาได้จาก

$$\Delta m_{c,g} = m_c(x_c - x_0) \tag{3.14}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการคำนวณข้างต้นคำนวณโดยพิจารณาให้แต่ละส่วนของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบเป็นระบบอิ่มตัวแบบปิดดังนั้นความดันในส่วนทำระเหยจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันในส่วนควบแน่นจะลดลง แต่ในความเป็นจริงแล้วส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีการเชื่อมต่อถึงกัน ดังนั้นในระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระบบจะขยายตัวและหดตัวโดยปรับตัวให้มีความดันเดียวกันตลอดทั้งท่อ และการขยายตัวและหดตัวจะเกิดจากมวลไอที่เพิ่มขึ้นและลดลงในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นตามลำดับ จากสมมติฐานข้างต้นเราสามารถกำหนดเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ดังนี้

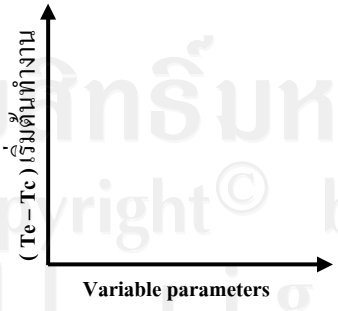
$$\Delta m_{c,g} - \Delta m_{e,g} > 0 \tag{3.15}$$

ในการคำนวณเงื่อนไขอุณหภูมิที่ทำให้ท่อความร้อนสามารถทำงานได้ จะทำโดยกำหนดระดับอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน และคำนวณหาค่าอุณหภูมิแหล่งรับความร้อนที่มากที่สุดที่จะทำให้ท่อความร้อนทำงานได้ ซึ่งค่าอุณหภูมินี้จะหาได้โดยกำหนดให้

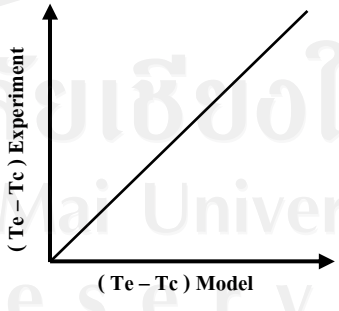
$$\Delta m_{c,g} = \Delta m_{e,g} \tag{3.16}$$

3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ของท่อความร้อน-แบบสั่นชนิดวงรอบแต่ละชุดการทดสอบ เพื่อที่จะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Soponpongpipat et al. (2008) ที่ใช้ในการทำนายเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงกับ ΔT ที่ท่อเริ่มต้นทำงาน



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT จาก แบบจำลองกับ ΔT จากการทดลองที่ท่อเริ่มทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved