

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบดำเนินการไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึง แผนการดำเนินการ ตัวแปรสำหรับการทดสอบ วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

3.1.1 ศึกษารูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบตั้งแต่สภาวะปกติถึงหลังสภาวะวิกฤต

3.1.2 ศึกษาถึงผลของสารทำงานผสมและจำนวนโค้งเลี้ยวที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ ที่สภาวะวิกฤต

3.1.3 ศึกษาถึงผลของสัดส่วนผสมโดยปริมาตรของสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ ที่สภาวะวิกฤต

#### 3.2 ตัวแปรในการทดลอง

3.2.1 ตัวแปรควบคุมในการทดลองมีดังต่อไปนี้

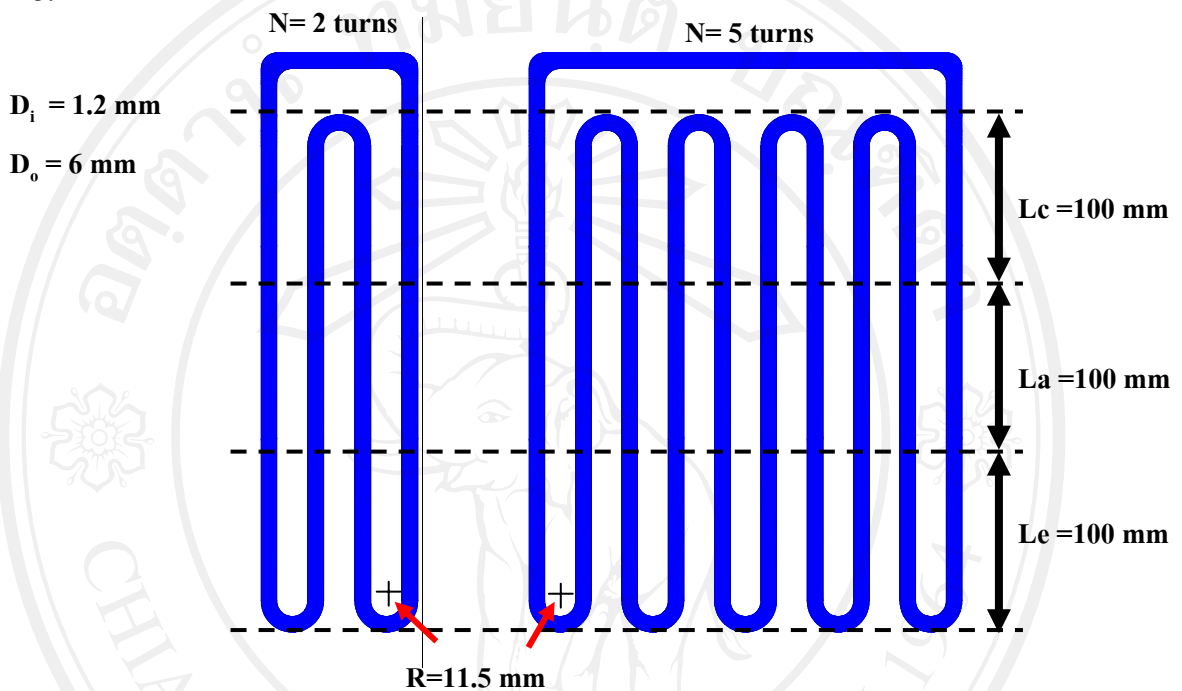
- ท่อความร้อนแบบสันฉนวนวงรอบทำมาจากท่อแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.2 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm
- อัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ในช่วง 50 % โดยปริมาตรทั้งหมดของท่อ
- ตำแหน่งมุมเอียงการทำงานที่  $90^\circ$  จากแนวระดับ
- ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นมีค่าเท่ากัน คือ 100 mm

3.2.2 ตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองมีดังต่อไปนี้

- สารทำงานที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยสารทำงานผสมชนิด Azeotropic blend คือ สารทำงาน MP39 และชนิด Non-azeotropic blend คือ สารทำงานผสมระหว่าง R123 และ R141b
- สัดส่วนผสมโดยปริมาตรของสารทำงานผสมชนิด Non-azeotropic blend ซึ่งในการทดลองเลือกใช้สารทำงานผสมระหว่าง R123 และ R141b จำนวนสามค่า คือ 1:1, 1:3 และ 3:1
- จำนวนโค้งเลี้ยวของชุดทดลองมี 2 ค่า คือ 2 และ 5 โค้งเลี้ยว

### 3.3 ชุดทดลอง

3.3.1 ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ใช้ในการทดลองทำมาจากท่อแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.2 mm ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนทำระเหย ส่วนกักความร้อนและส่วนควบแน่น โดยทั้ง 3 ส่วน มีความยาวเท่ากัน คือ 100 mm ซึ่งปลายท่อทั้ง 2 ข้างเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบ ดังรูปที่ 3.1



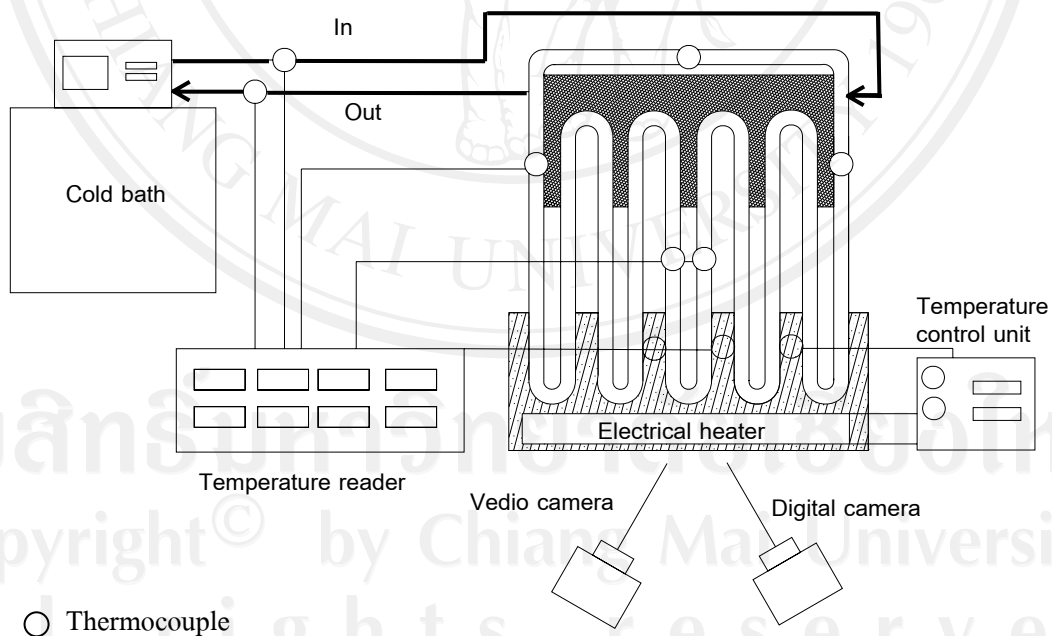
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย โดยอาศัยความร้อนจาก Heater ไฟฟ้าแบบแผ่นซึ่งประกอบอยู่กับแผ่นทองแดง โดยแผ่นทองแดงตัดเป็นรูปตัวยู เพื่อให้สามารถประกอบเข้ากับส่วนโค้งของท่อแก้วที่เป็นส่วนทำระเหยและรับความร้อนจาก Heater ไฟฟ้าแบบแผ่น

3.3.3 ชุดระบายความร้อนทำมาจากทองแดงที่นำมาประกอบกันทำเป็นกระเปาะระบายความร้อน ติดตั้งท่อทางเข้าและออกที่ด้านหลังกระเปาะระบายความร้อนสำหรับสารหล่อเย็นในส่วนควบแน่น

3.3.4 สารทำงานที่เติมในท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่ใช้ในการทดลอง คือ สารทำงาน MP39 ซึ่งเป็นสารทำงานมีคุณสมบัติเด่น คือ เป็นสารทำงานที่ไม่ติดไฟและไม่เป็นอันตรายแก่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นสารทำงานประเภท Azeotropic blend และสารทำงานที่ผสมกันระหว่าง R123 และ R141b ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงสารประเภท Non-azeotropic blend

3.3.5 ชุดการทดลองนั้นแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 3.2 ซึ่งแหล่งให้ความร้อนที่ใช้ในการทดลองได้มาจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบแผ่นซึ่งประกอบอยู่กับแผ่นทองแดงให้ความร้อน โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่นทองแดงให้คงที่ตามต้องการได้ด้วยเครื่องตัดกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ (Digicon, DD-7,  $\pm 1$  °C) สารหล่อเย็นที่ใช้ในการทำเย็นส่วนควบแน่นนั้นคือน้ำกลั่น ควบคุมอุณหภูมิและอัตราการไหลเวียนของน้ำหล่อเย็นด้วยเครื่องทำเย็น (Haake thermostat, N6-C41,  $\pm 0.01$  °C) และวัดอัตราการไหลเชิงมวลจากการตวงโดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า (Computer electronic scale,  $\pm 0.005$  kg) ต่อสายยางที่หุ้มฉนวนกันความร้อนไว้เป็นอย่างดีระหว่างเครื่องทำเย็นและกล่องระบายความร้อน วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของท่อความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Chromel-Alumel (Omega, Type K,  $\pm 0.5$  °C) ทั้งหมด 12 เส้น โดยแบ่งเป็นใช้วัดที่ส่วนทำระเหยทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ส่วนกันความร้อน 2 ตำแหน่ง ส่วนควบแน่น 3 ตำแหน่ง ปากทางน้ำหล่อเย็นขาเข้า 2 ตำแหน่ง ปากทางน้ำหล่อเย็นขาออก 2 ตำแหน่ง และวัดอุณหภูมิบรรยากาศอีก 1 ตำแหน่ง เทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดต่อเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิ (Digicon, DP-71,  $\pm 0.1$  °C และ Digicon, ID-8,  $\pm 1$  °C) บันทึกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อนเป็นภาพนิ่งโดยใช้กล้องถ่ายภาพนิ่งแบบดิจิตอล (Olympus, E-510) และกล้องถ่ายภาพต่างๆ จะติดตั้งอยู่บนแท่นทดลองที่สามารถปรับมุมเอียงได้ โดยในการทดลองได้ทำการศึกษาที่มุมเอียง  $90^{\circ}$



รูปที่ 3.2 แผนภาพชุดการทดลองเชิงคุณภาพ

### 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.4.1 เครื่องทำเย็นน้ำหล่อเย็น ยี่ห้อ Haake thermostat รุ่น N6-C41 ใช้ควบคุมน้ำหล่อเย็น สำหรับ ส่วนความแน่นของท่อความร้อนซึ่งมีค่าความแม่นยำ  $\pm 0.01$  °C ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องทำเย็นน้ำหล่อเย็น

3.4.2 เครื่องตัดกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ ยี่ห้อ Digicon รุ่น DD-7 ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของแผ่นทองแดงให้คงที่ตามต้องการ สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ที่ 0°C ถึง 399°C ซึ่งมีค่าความแม่นยำ  $\pm 1$  °C ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องตัดกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ

3.4.3 ตัวปรับความสว่างของแสงอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ Siam Neoline รุ่น LM5000 ใช้ในการปรับความสว่างของแสงจากหลังที่ประกอบด้วย Halogen Lamps 6 อัน โดยมีค่า voltage ขาเข้า 220 VAC และสามารถปรับค่า voltage ขาออกได้ตั้งแต่ 0 VAC ถึง 215 VAC ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวปรับความสว่างของแสงอิเล็กทรอนิกส์

3.4.4 สายเทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ Omega Type K ชนิด Chromel-Alumel ที่มีความแม่นยำ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่  $-200^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1,250^{\circ}\text{C}$  ที่เชื่อมต่อกับเครื่องอ่านอุณหภูมิ โดยวัดที่ตำแหน่งส่วนทำระเหย 2 ตำแหน่ง ส่วนควบแน่น 3 ตำแหน่ง ส่วนกันความร้อน 2 ตำแหน่ง กระจาปะน้ำหล่อเย็นที่บริเวณปากทางเข้าส่วนควบแน่น 2 ตำแหน่ง และทางออก 2 ตำแหน่ง ซึ่งสายเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สายเทอร์โมคัปเปิล

3.4.5 เครื่องอ่านอุณหภูมิแบบตั้งโต๊ะ ยี่ห้อ Digicon รุ่น ID-8 ที่มีความสามารถในการอ่านค่าได้ตั้งแต่  $0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $400^{\circ}\text{C}$  ที่มีความแม่นยำ  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน ส่วนควบแน่น และบรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องอ่านอุณหภูมิแบบตั้งโต๊ะ

3.4.6 เครื่องอ่านอุณหภูมิแบบมือถือ ยี่ห้อ Digicon รุ่น DP-71 ที่สามารถในการอ่านค่าได้ตั้งแต่  $0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $400^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่าความแม่นยำ  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิของสารหล่อเย็นที่บริเวณปากทางออกและปากทางเข้าส่วนควบแน่น อย่างละ 2 ตำแหน่ง

3.4.7 โทรทัศน์ยี่ห้อ JVC ขนาด 21 นิ้ว ใช้ในการศึกษารูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อน CLOHP

3.4.8 กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Sony รุ่น DCR-DVD210E ความละเอียด  $704 \times 576$  พิกเซลโดยใช้บันทึกภาพเคลื่อนไหวของปรากฏการณ์ภายในที่เกิดขึ้นภายในท่อ CLOHP ที่มีความเร็ว 25 เฟรมต่อวินาที ซึ่งข้อมูลภาพเคลื่อนไหวได้ทำการบันทึกลงในแผ่น Mini-DVDs ขนาด 1.4GB เพื่อนำข้อมูลที่บันทึกแล้วดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์

3.4.9 กล้องถ่ายภาพนิ่งแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Olympus รุ่น E-510 ความละเอียด CCD 5 ล้านพิกเซล ใช้บันทึกภาพนิ่งของปรากฏการณ์ภายในของ CLOHP เพื่อนำข้อมูลภาพนิ่งที่บันทึกแล้วไปวิเคราะห์ต่อไป โดยกล้องถ่ายภาพนิ่งแบบดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กล้องถ่ายภาพนิ่งแบบดิจิทัล

3.4.10 ชุดเดิมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดิมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump), วาล์ว, เกจวัดความดัน (Pressure gauge) และสายเดิมสารทำงาน

### 3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 ดูดอากาศออกจากตัวท่อความร้อนที่จะทำการทดลองให้ภายในเป็นสุญญากาศ จากนั้นจึงเดิมสารทำงานในปริมาณเท่ากับ 50% ของปริมาตรภายในของท่อทั้งหมด

3.5.2 ทำความสะอาดแผ่นทองแดงให้ความร้อนและกล่องทองแดงของส่วนควบแน่นให้สะอาดแล้วทำการติดตั้งท่อแก้วกับทั้งสองส่วน จากนั้นใช้ซิลิโคนนำความร้อนอุดบริเวณช่องว่างระหว่างทองแดงและท่อแก้วเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำความร้อน

3.5.3 ติดตั้งชุดทดลองเข้ากับแท่นทดลองพร้อมทั้งปรับมุมเอียงไว้ที่  $90^{\circ}$

3.5.4 ติดตั้งสายนำสารหล่อเย็นทั้งขาเข้าและขาออกของส่วนควบแน่น

3.5.5 ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลที่ได้ติดตั้งไปแล้วในบริเวณทางเข้า และทางออกของส่วนควบแน่น ตำแหน่งละ 2 ตำแหน่ง เข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิแบบมือถือ

3.5.6 ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบริเวณแผ่นทองแดงให้ความร้อน 2 ตำแหน่ง กึ่งกลางของส่วนกันความร้อน 2 ตำแหน่ง และท่อแก้วส่วนควบแน่น 3 ตำแหน่ง แล้วต่อเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิแบบตั้งโต๊ะ

3.5.7 ติดตั้งกล้องถ่ายภาพนิ่งและกล้องถ่ายภาพวิดีโอเข้ากับตัวยึดกล้องที่ติดอยู่บนแท่นทดลองปรับระยะกล้องและโฟกัสให้เหมาะสม

3.5.8 เริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศแล้วจึงเริ่มเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละ  $10^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

3.5.9 เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว วัดอัตราการไหลเชิงมวลของสารหล่อเย็นและอุณหภูมิทุกจุดเพื่อนำไปคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยวิธี Calorific method

3.5.10 ทำการบันทึกปรากฏการณ์ภายในท่อความร้อนโดยใช้กล้องถ่ายภาพนิ่งและกล้องถ่ายภาพวิดีโอ โดยที่ทั้งสองกล้องจะถ่ายทั้งแบบเห็นท่อความร้อนทุกส่วนและแบบเห็นเฉพาะส่วนหรือเฉพาะส่วนควบแน่น

3.5.11 จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยครั้งละ  $10^{\circ}\text{C}$  เมื่อพบปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนไปอย่างเห็นได้ชัด จึงทำการทดลองซ้ำข้อ 3.5.9 จนกระทั่งสังเกตเห็นปรากฏการณ์ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะวิกฤต

3.5.12 เพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยให้มากกว่าช่วงอุณหภูมิที่เกิดสภาวะวิกฤต เพื่อสังเกตปรากฏการณ์หลังวิกฤต

3.5.13 นำภาพที่บันทึกได้จากกล้องทั้งสองตัวมาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดสภาวะวิกฤตรวมทั้งลักษณะของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงการทำงานปกติ ช่วงก่อนสภาวะวิกฤต และช่วงหลังสภาวะวิกฤต

3.5.14 วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายใน วิเคราะห์จากภาพนิ่งซึ่งประกอบด้วย รูปแบบการไหลภายในแบบฟอง แบบก้อนและแบบวงแหวน โดยคิดเป็น % เทียบจากโค้งเดี่ยวหนึ่งที่สนใจในส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ (หนึ่งโค้งเดี่ยวประกอบด้วยท่อ 2 ท่อที่มีความยาวรวม 200 mm)

3.5.15 ส่วนการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพิ่มเติม ข้อมูลส่วนใหญ่วิเคราะห์จากภาพที่บันทึกมาจากภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวในส่วนทำระเหย เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดปรากฏการณ์วิกฤตของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ สำหรับการโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหว คือ Adobe Premiere 6.5 โดยทำการวิเคราะห์เฟรมต่อเฟรม (กล้องวิดีโอที่ใช้มีความสามารถในการบันทึกภาพเคลื่อนไหวได้ 25 เฟรม ใน 1 s) สำหรับค่าเชิงปริมาณทำการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้ คือ คาบการเคลื่อนที่ของสารทำงาน คาบการเกิดแถบการแห้ง ความยาวของการเกิดแถบการแห้งและความถี่ของการเกิดแถบการแห้ง

3.5.15.1 คาบการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ เป็นการวิเคราะห์ระยะเวลาของการเคลื่อนที่ในเวลา 1 s ซึ่งในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย ทิศทางการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา (ทิศทางที่สารทำงานในสถานะไอและของเหลวส่วนใหญ่เคลื่อนที่ทางซ้ายมือ) และทวนเข็มนาฬิกา (ทิศทางที่สารทำงานในสถานะไอและของเหลวส่วนใหญ่เคลื่อนที่ทางขวามือ) โดยทำการวิเคราะห์จากการบันทึกภาพเคลื่อนไหว



3.5.15.2 ความยาวของแถบการแห้งที่เกิดขึ้นในส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ เป็นการวิเคราะห์โดยใช้แถบวัดระยะที่มีความยาว 30 cm (เนื่องจากเป็นค่าความยาวรวมของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนควมแน่น ส่วนกันความร้อนและส่วนทำระเหยที่มีค่าเท่ากัน คือ 100 cm) โดยวิเคราะห์ภาพที่บันทึกจากกล้องถ่ายภาพนิ่ง

3.5.15.3 ความถี่ของการเกิดแถบการแห้งของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ เป็นการวิเคราะห์จำนวนครั้งของการเกิดแถบการแห้งในส่วนทำระเหยที่ช่วงเวลา 1 s ทำการวิเคราะห์จากการบันทึกภาพเคลื่อนไหว