

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดสอบ

3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบ

3.1.1 เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบหมุนตามแนวรัศมีที่ใช้สาร HP62 และ MP39 เป็นสารทำงาน

3.1.2 เพื่อศึกษาถึงผลของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อความร้อน อัตราส่วนสนทัด มุมเอียงและความเร็วรอบการหมุนซึ่งทำให้เกิดความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบหมุนตามแนวรัศมี

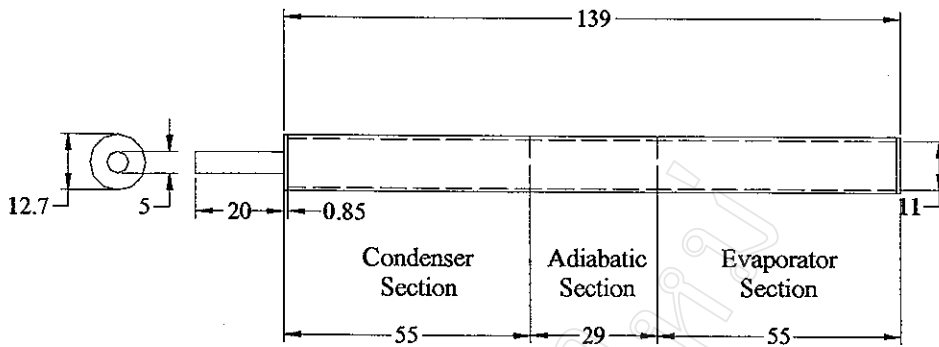
3.1.3 เพื่อศึกษาถึงผลของตัวแปร ไร้มิตที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบหมุนตามแนวรัศมี

3.2 ตัวแปรในการทดสอบ

- ท่อความร้อนเป็นท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 11, 26 และ 50.4 mm ตามลำดับ
- สารทำงานคือ HP62 และ MP39
- มุมเอียงในการทดสอบ คือ มุม 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 องศา ตามลำดับ
- อัตราส่วนการเติม 60 % ของปริมาตรส่วนทำระเหย
- อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 60°C
- ความเร็วรอบการหมุนซึ่งทำให้ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางเท่ากับ 0.2g, 1g, 3g และ 7g ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) ตามลำดับ
- ค่าอัตราส่วนสนทัดเท่ากับ 5, 10 และ 20 ตามลำดับ

3.3 อุปกรณ์ในการทดสอบ

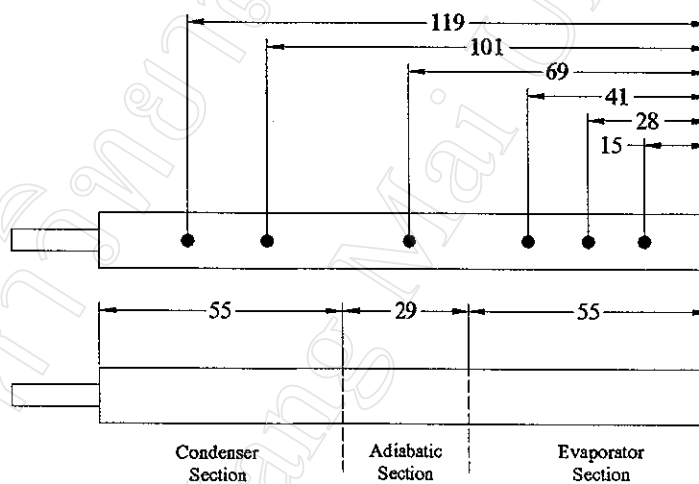
3.3.1 ท่อทดสอบ เป็นท่อที่ทำมาจากท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 11, 26 และ 50.4 mm ตามลำดับ โดยแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section), ส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ดังรูปที่ 3.1



Note : All dimensions are in millimeter.

รูปที่ 3.1 ท่อทดสอบ

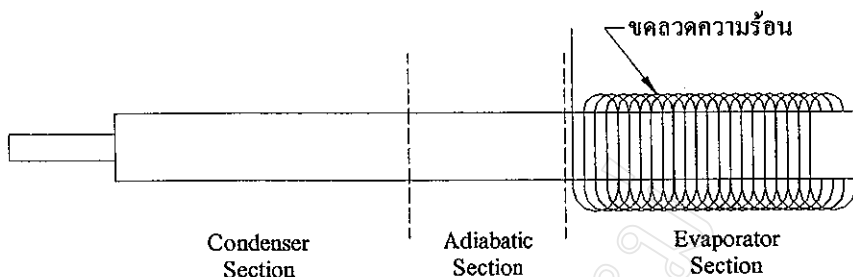
3.3.2 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล เพื่อวัดอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย 3 จุด ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน 1 จุด และส่วนควบแน่น 2 จุด ดังรูปที่ 3.2



Note: All dimensions are in millimeter.

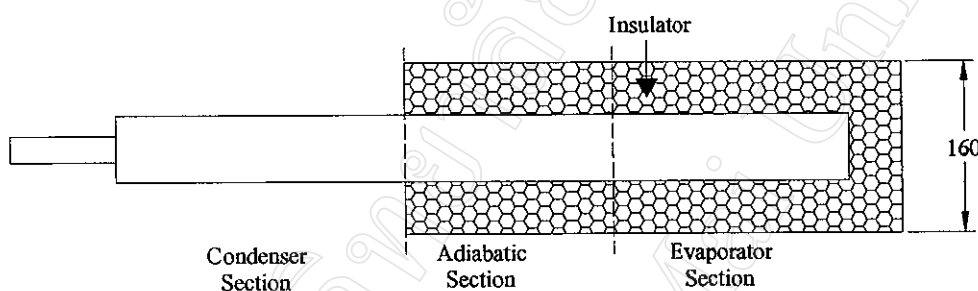
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

3.3.3 ขดลวดความร้อน ส่วนทำระเหยจะรับความร้อนจากขดลวดความร้อนซึ่งพันอยู่รอบส่วนทำระเหยซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังในการติดตั้งเพราะว่าถ้าลวดความร้อนสัมผัสกันระหว่างขดหรือสัมผัสกับท่อความร้อนซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการลัดวงจรจึงเคลือบท่อความร้อนด้วยปูนทนความร้อนซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าและทนความร้อนได้ดีและยังสามารถทำให้ลวดความร้อนคงตัวอยู่ได้ในขณะที่มีการหมุนดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การติดตั้งขดลวดความร้อนกับท่อความร้อน

3.3.4 ฉนวนความร้อน ใช้ฉนวนความร้อนหุ้มที่ส่วนทำระเหยและส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ฉนวนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำ การหุ้มฉนวนแสดงดังรูปที่ 3.4



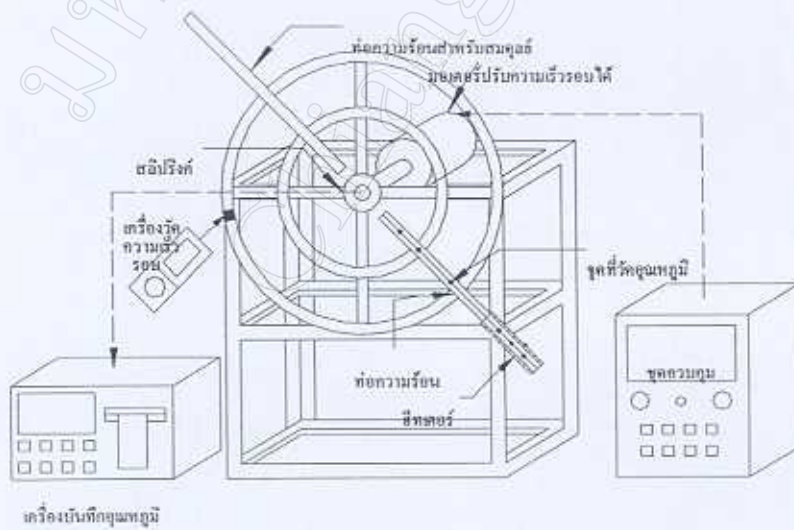
รูปที่ 3.4 การติดตั้งฉนวน

3.3.5 มัลติมิเตอร์ ใช้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC Voltage) และกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนซึ่งพันรอบส่วนทำระเหย โดยใช้มัลติมิเตอร์ยี่ห้อ Fluke รุ่น PN 690237 ซึ่งมีค่าความแม่นยำ $\pm 1.7\%$ สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า และมีค่าความแม่นยำ $\pm 0.3\%$ สำหรับการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 มัลติมิเตอร์

3.3.6 แทนทดสอบและการติดตั้งท่อทดสอบ แทนทดสอบประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าซีเอ็มดีซู บีซี 3 เฟส 3 แรงม้า งานหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตรและชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ดังรูป ที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แทนทดสอบและการติดตั้งท่อทดสอบ

3.3.7 ชุดปรับมุมเอียงของท่อความร้อน สามารถปรับมุมเอียงของท่อความร้อนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศา ดังรูปที่ 3.7 โดยมีจุดหมุนของการปรับมุมเอียงอยู่ที่กึ่งกลางของส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic)



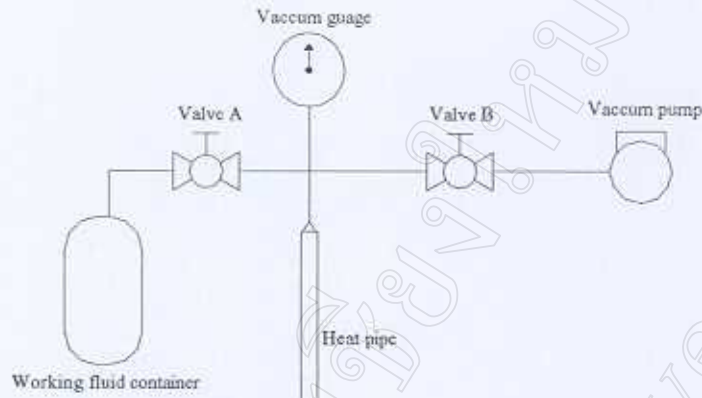
รูปที่ 3.7 ชุดปรับมุมเอียง

3.3.8 สารทำงาน เลือกใช้ HP62 และ MP 39 เป็นสารทำงานเพราะว่า HP62 หรือ R- 404 a เป็น Azeotropic blend ของ HFC125/HFC143a /HFC134a โดยมีอัตราส่วนโดยมวล 44 / 52 /4 % และ สาร MP39 หรือ R-401a เป็นสารผสมของ HPFC22 / HFC152a / HFC124 สารทำงานทั้งสองมีจุดเดือด -46.5 และ -33 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ดังรูปที่ 3.8



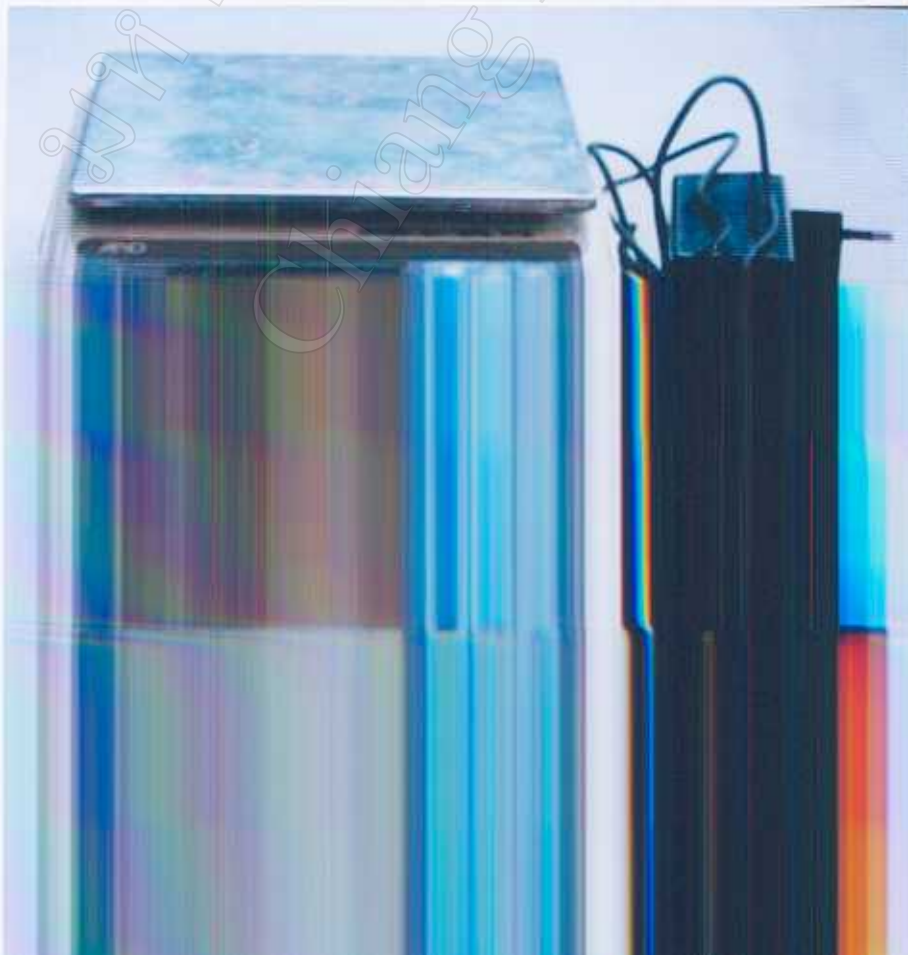
รูปที่ 3.8 สารทำงาน

3.3.9 ชุดเติมสารทำงาน อุปกรณ์ในการเติมสารทำงาน ประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ เกจวัดความดันสุญญากาศ แบบวาล์ว 2 ทางและถังบรรจุสารทำงาน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ชุดเติมสารทำงาน

3.3.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องชั่งน้ำหนักใช้ชั่งน้ำหนักของสารทำงานที่เติมเข้าไปในท่อความร้อนโดยใช้ชั่งหือ Digicon รุ่น GL มีช่วงของน้ำหนักที่จะชั่งอยู่ระหว่าง 0.005 g ถึง 9990 g แสดงในรูปที่ 3.10



3.3.11 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) รุ่น C8510 ขนาด 10 ช่องสัญญาณมีช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 100°C ถึง 1300°C มีความแม่นยำ $\pm 0.2\%$ ดังรูปที่ 3.11 โดยใช้ร่วมกับสายเทอร์โมคัปเปิล ชีท้อ OMEGA type K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิทั้งตามส่วนของท่อความร้อน ดังรูปที่ 3.12

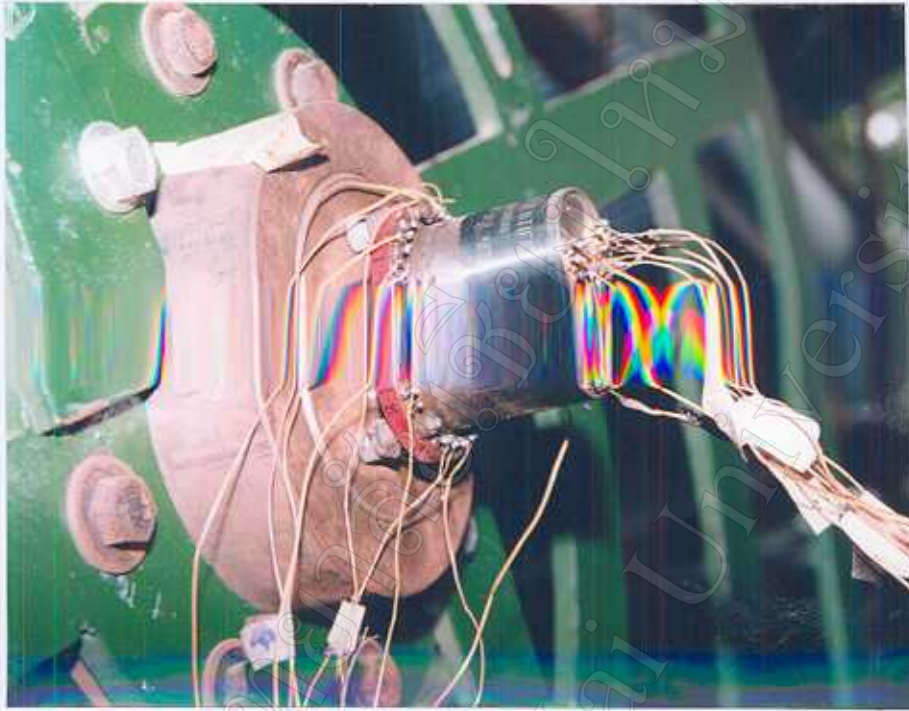


รูปที่ 3.11 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ



รูปที่ 3.12 สายเทอร์โมคัปเปิล

3.3.12 สลิปริงค์ (Slip Ring) เป็นจุดเชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าของสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งต่อระหว่างท่อความร้อนขณะหมุนกับ Data logger โดยใช้ สลิปริงค์ ยี่ห้อ Tosoku 10 Cannel รุ่น SR10M/E60 ค่าความแม่นยำ 0.003% ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 สลิปริงค์

3.3.13 เครื่องวัดความเร็วรอบระบบดิจิทัล ยี่ห้อ Digiton รุ่น DT-245P มีย่านการวัดตั้งแต่ 5 ถึง 99,999 รอบต่อนาที มีค่าความแม่นยำ $\pm 0.05\%$



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดความเร็วรอบ

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 ชั่งท่อความร้อนก่อนที่จะเริ่มการทำงาน แล้วทำการดูดอากาศออกจากท่อความร้อนโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ นำท่อความร้อนไปแช่ในถังน้ำแข็งเพื่อลดอุณหภูมิท่อความร้อนให้ต่ำลง หลังจากนั้นเปิดวาล์วเติมสารทำงาน สารทำงานจะไหลเข้าไปในท่อความร้อนเมื่อเสร็จแล้วนำท่อความร้อนไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้น้ำหนักตามที่คำนวณไว้ โดยมีปริมาณเติมของสารทำงานเท่ากับ 60 % ของปริมาตรของส่วนทำระเหย

3.4.2 นำท่อทดสอบไปติดตั้งกับแท่นทดสอบ ดังรูปที่ 3.6 แล้วทำการเชื่อมต่อสายเทอร์โมคัปเปิลระหว่างท่อทดสอบกับสลิปริงค์ (Slip ring) และเชื่อมต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเปิด ระหว่างสลิปริงค์กับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) เสร็จแล้วปรับท่อทดสอบให้อยู่ในมุม 90 องศา จากแนวระดับตั้งฉากกับรัศมีการหมุน

3.4.3 ป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้แก่ขดลวดความร้อนที่ส่วนทำระเหย

3.4.4 ปรับความเร็วรอบการหมุนให้ได้ตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ในหัวข้อ 3.3

3.4.5 ปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ให้ความร้อนกับส่วนทำระเหยจนได้อุณหภูมิไอที่ต้องการคือ 60°C หลังจากนั้นรอนจนกระทั่งสภาวะของการทำงานของท่อความร้อนเข้าสู่ภาวะคงตัว (Steady state)

3.4.6 เริ่มบันทึกอุณหภูมิทั้ง 3 ส่วนของท่อความร้อนจำนวน 6 ครั้งติดต่อกันในทุก ๆ รอบการหมุนที่กำหนดไว้

3.4.7 ปรับมุมเอียงจากมุม 90 องศาเป็น 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 0 องศาแล้วทำการทดสอบตามหัวข้อ 3.4.3 – 3.4.6

3.4.8 ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนสนทัด ขนาดท่อ แล้วทำการทดสอบตามหัวข้อที่ 3.4.1 – 3.4.7 อีกครั้งโดยใช้สารทำงานเป็น MP39

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

จากการทดลองนี้ได้กำหนดพื้นที่ของส่วนระเหยเท่ากับส่วนควบแน่น ดังนั้นเราจะหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ความร้อนที่เข้าที่ส่วนทำระเหย = ความร้อนที่ถ่ายเทออกที่ส่วนควบแน่น

$$Q_e = Q_c \quad (3.1)$$

โดยที่

$$Q_c = IV \frac{\Delta T}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) / 2\pi kL} \quad (3.2)$$

โดยที่	$I =$	กระแสไฟฟ้า DC (Amp)
	$V =$	แรงเคลื่อนไฟฟ้า DC (Volt)
	$k =$	ค่าการนำความร้อนของฉนวน(W/m K)
	$L =$	ความยาวของฉนวน(m)
	$\Delta T =$	ผลต่างของอุณหภูมิ (K)
	$D_o =$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฉนวน
	$D_i =$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

เพื่อให้ทราบถึงผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนจริงที่ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของท่อความร้อนจึงคำนวณในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ (q) ซึ่งจะคำนวณได้ดังนี้

$$q = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (3.3)$$

โดยที่	$q =$	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ (W/m^2)
	$Q =$	อัตราการถ่ายเทความร้อน(W)
	$D_o =$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของส่วนควบแน่น(m)
	$L_c =$	ความยาวส่วนควบแน่น (m)

ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดจะแสดงในลักษณะกราฟดังนี้

3.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงกับอัตราการถ่ายเทความร้อน (Heat flux, q)

3.5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสกัด (L_e/d) กับอัตราการถ่ายเทความร้อน

ร้อน

3.5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกับอัตราการถ่ายเทความร้อน

3.5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุน ซึ่งทำให้เกิดความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางกับค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อน

3.5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติกับอัตราการถ่ายเทความร้อน