บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การทดสอบดำเนินไปอย่างถูกต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จึงได้ลำดับวิธีดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนไว้ดังนี้

3.1 การออกแบบชุดทดลอง

3.2 การสร้างชุดทดลอง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.4 ออกแบบการทดลอง

3.5 วิธีการทดลอง

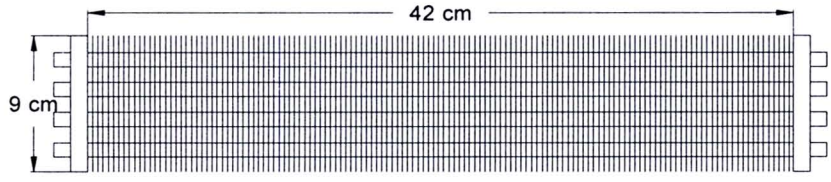
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.1 การออกแบบชุดทดลอง

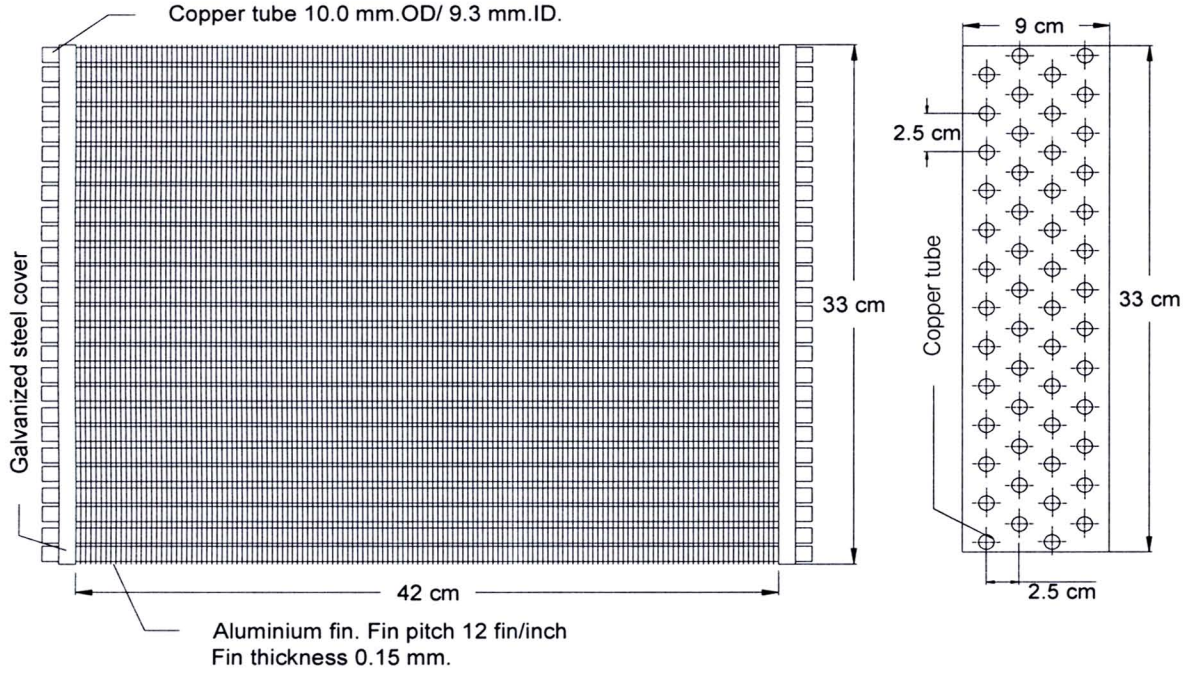
3.1.1 การออกแบบเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

การออกแบบเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสำหรับการวิจัยนี้ มีลักษณะทางกายภาพของคอยล์ที่จะนำมาสร้างเป็นเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบดังนี้คือ

1) เป็นคอยล์แบบท่อกลมและมีครีบชนิดคลื่นต่อเนื่อง (Circular tube-continuous wavy- fin)
2) ความยาวของครีบและความสูงของคอยล์ คือ 330 mm. และ 420 mm. ตามลำดับ
3) ท่อในคอยล์เป็นท่อทองแดงชนิดผิวในเรียบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากันคือ 10.0 mm. และมีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางท่อของคอยล์ในแนวตั้งฉากกับการไหลเท่ากันคือ 25.4 mm.
4) ครีบของคอยล์เป็นอลูมิเนียมมีความหนาเท่ากันคือ 0.15 mm. และมีระยะครีบเท่ากันคือ 12 ครีบต่อนิ้ว
5) การจัดเรียงท่อภายในคอยล์ เป็นแบบเหลื่อมกัน (Staggered alignment) แสดงดังรูป 3.1



TOP VIEW



FRONT VIEW SIDE VIEW

รูป 3.1 แสดงคอยล์ที่จะนำมาสร้างเป็นเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

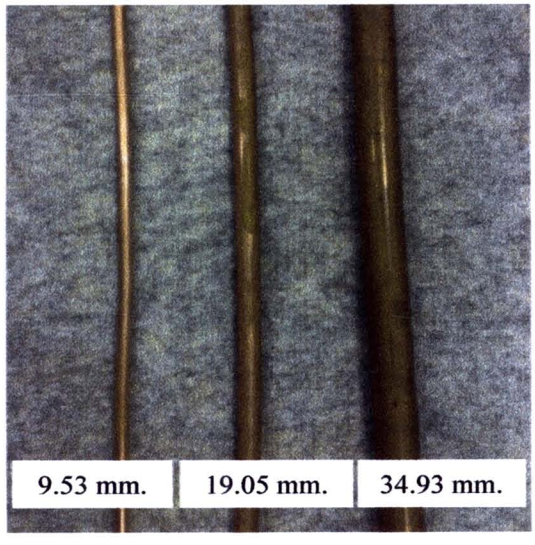
3.1.2 การออกแบบส่วนประกอบ

การออกแบบส่วนประกอบที่จะนำมาสร้างเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบต้องให้สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของคอยล์ที่มีอยู่ดังนี้

1) การสร้างชุดทดลองจะสร้างให้เป็นเทอร์โมไซฟอนที่มี Header โดยการสร้าง Header จะใช้เหล็กแผ่นหนา 3 mm. สร้างให้มีขนาด 50 mm.× 90 mm.× 330 mm. เพื่อให้ประกอบเข้ากับคอยล์ได้พอดี
2) ส่วนทำระเหย (Evaporator Section) และส่วนควบแน่น (Condenser Section) เป็นท่อทองแดงยาว 420 mm. จำนวน 52 ท่อ
3) ส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อไอและท่อของเหลวมีความยาวเท่ากันคือ 1,200 mm.
4) ลักษณะการไหลของอากาศ เป็นการไหลแบบตามกัน ซึ่งเป็นการพาความร้อนและไหลทิ้งไปโดยไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่

3.1.3 ท่อทดลอง

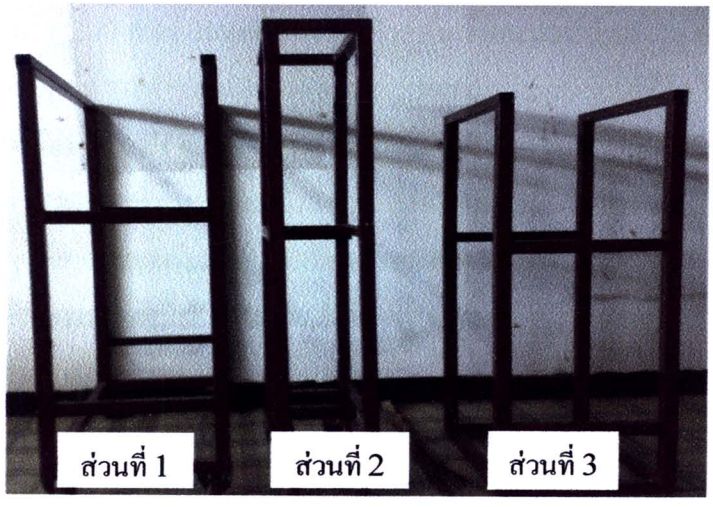
ท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลองในการวิจัยนี้ ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 mm. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9.3 mm. เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่วนกันความร้อน 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.53, 19.05 และ 34.93 mm. ตามลำดับ ท่อส่วนกันความร้อนที่เลือกใช้มีขนาดมาตรฐานตามท้องตลาด แสดงดังรูป 3.2



รูป 3.2 ท่อทดสอบ

3.1.4 แท่นวางชุดทดลอง

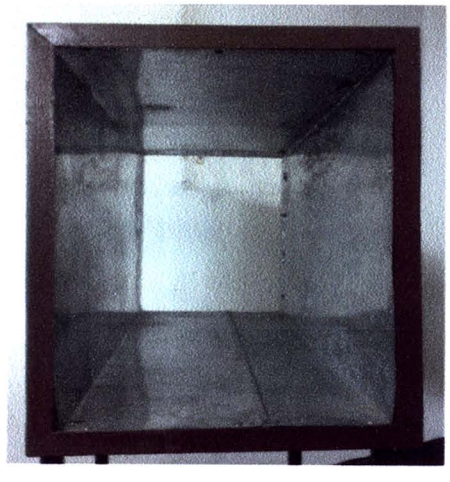
แท่นวางชุดทดลองประกอบด้วยโครงเหล็ก ทำจากเหล็กกล่องขนาด 35 mm.×35 mm. หนา 3 mm. และเหล็กฉากขนาด 35 mm.×35 mm. หนา 3 mm. ติดล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. โครงเหล็กส่วนที่ 1 ใช้รับท่อลมก่อนเข้าชุดทดสอบ โครงเหล็กส่วนที่ 2 ใช้รับชุดทดสอบ และโครงเหล็กส่วนที่ 3 ใช้รับท่อลมออกจากชุดทดสอบ แสดงดังรูป 3.3



รูป 3.3 แสดงแท่นวางชุดทดสอบ

3.1.4 ท่อลม

ท่อลมที่ใช้ในการทดลองทำจากสังกะสีแผ่นเรียบหนา 0.6 mm. หน้าตัดทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดหน้าตัด 330 mm.×420 mm. แสดงดังรูป 3.4



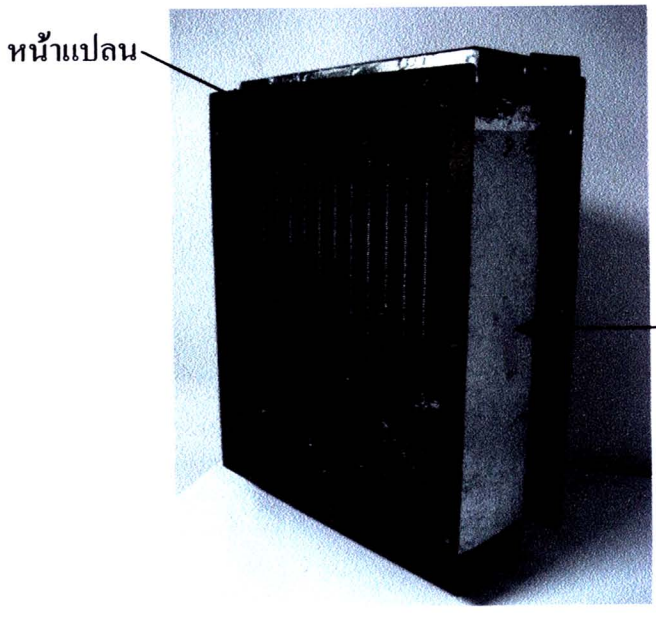
รูป 3.4 แสดงท่อลม

3.2 การสร้างชุดทดลอง

ขั้นตอนในการสร้างเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ มีดังนี้

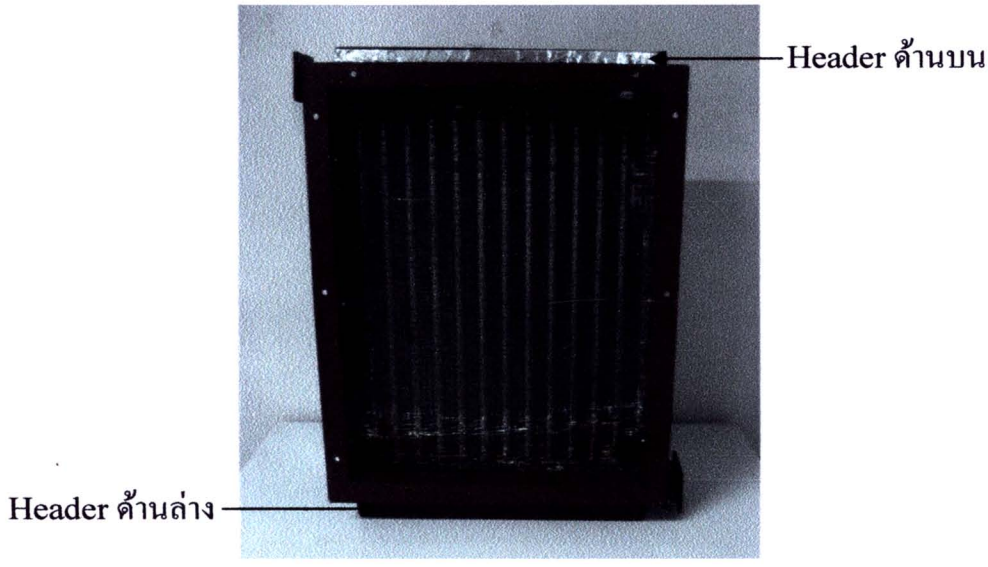
1) นำคอยล์ที่จะสร้างเป็นเทอร์โมไซฟอนมาทำกลองปิดด้านข้างและทำหน้าแปลนใส่ด้านหน้าและด้านหลัง เพื่อใช้ต่อกับท่อลม แสดงดังรูป 3.5
2) นำคอยล์มาเชื่อมติดกับ Header แสดงดังรูป 3.6
3) นำท่อทองแดง (Copper tube type L) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.53 mm. มาตัดให้มีความยาว 1,200 mm. และดัดเป็นรูปตัวยูหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อทำเป็นท่อที่ต่อระหว่างคอยล์ส่วนทำระเหยกับคอยล์ส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนหรือเรียกว่าส่วนกันความร้อน แสดงดังรูป 3.7
4) เชื่อมต่อวาล์วสามทางด้านบนและด้านล่างของคอยล์ส่วนควบแน่น เพื่อเป็นจุดวัดความดัน จุดดูดอากาศออก และจุดเติมน้ำยาเข้าในระบบ แสดงดังรูป 3.8
5) ต่อท่อส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อไอและท่อของเหลวเข้ากับคอยล์ส่วนทำระเหยและคอยล์ส่วนควบแน่น แสดงดังรูป 3.9
6) ดูดอากาศออกจากท่อหรือทำสุญญากาศภายในท่อ โดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ และเพื่อเป็นการตรวจสอบรอยรั่ว แสดงดังรูป 3.10

ซึ่งหลังจากนี้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบก็สามารถนำไปใช้งานได้



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

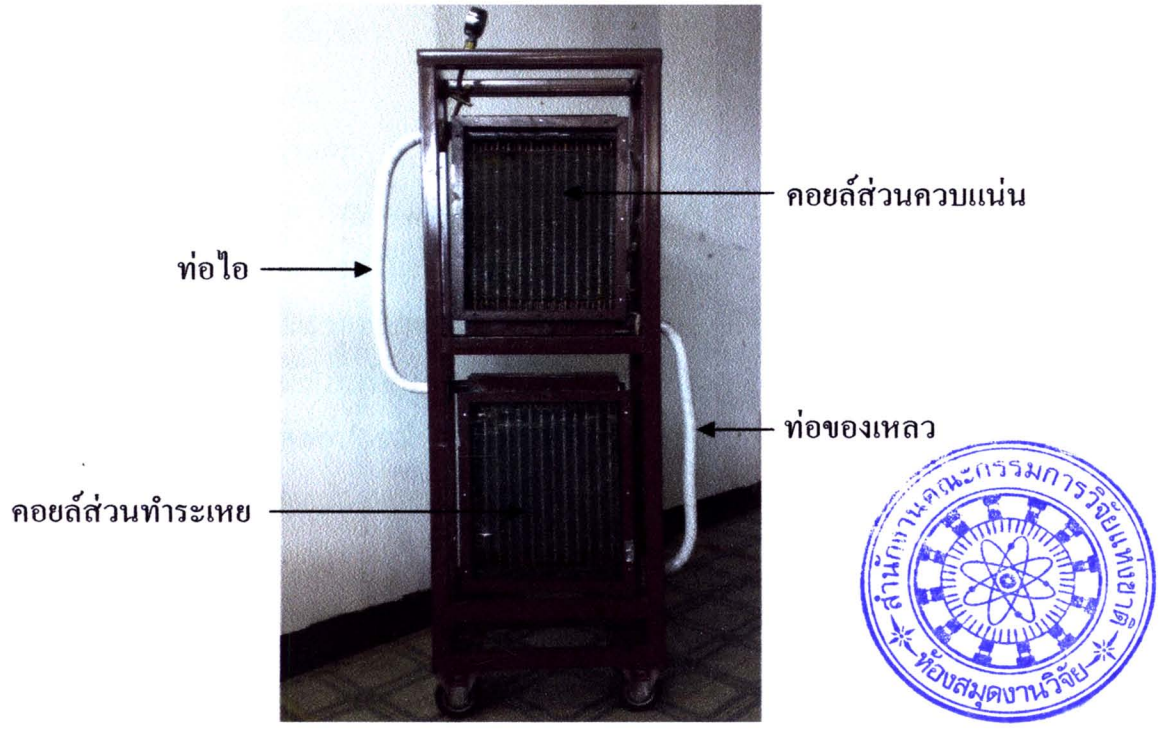
รูป 3.5 แสดงคอยล์ที่ติดหน้าแปลนและตีกล่องด้านข้าง



รูป 3.6 แสดงคอยล์ที่เชื่อมติด Header ทั้งด้านบนและด้านล่าง

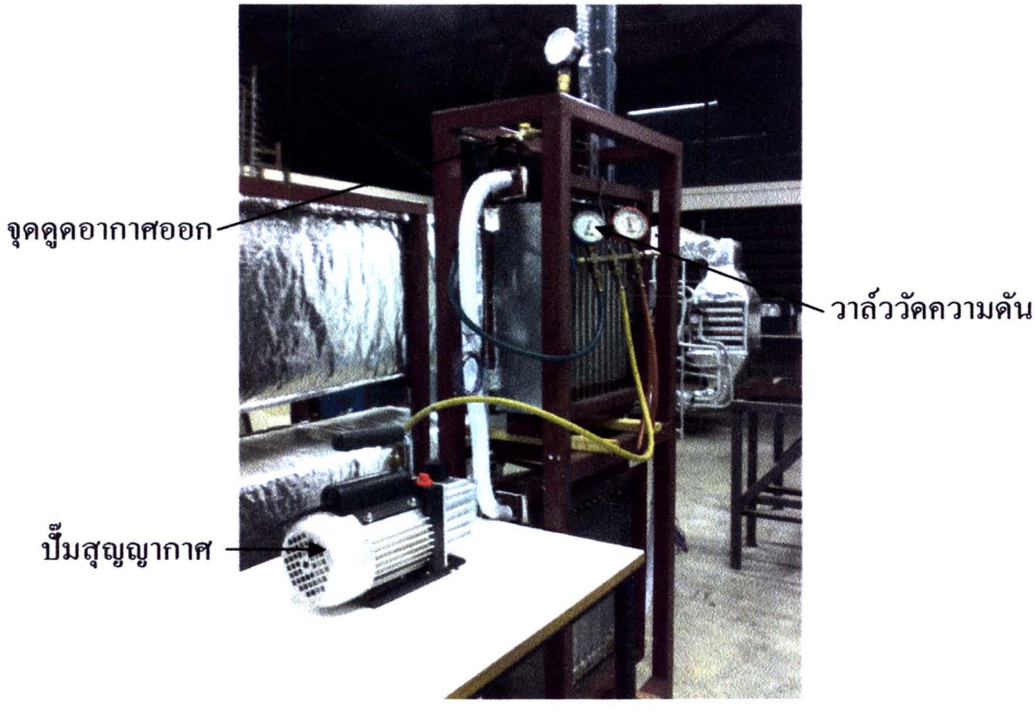
รูป 3.7 แสดงท่อส่วนกันความร้อน

รูป 3.8 แสดงวาล์วสามทาง



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูป 3.9 แสดงลักษณะการต่อคอยล์ส่วนทำระเหยเข้ากับคอยล์ส่วนควบแน่น



รูป 3.10 แสดงการทำสุญญากาศ

3.3 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด

1) เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

2) สารทำงานคือ น้ำ และเอธานอล

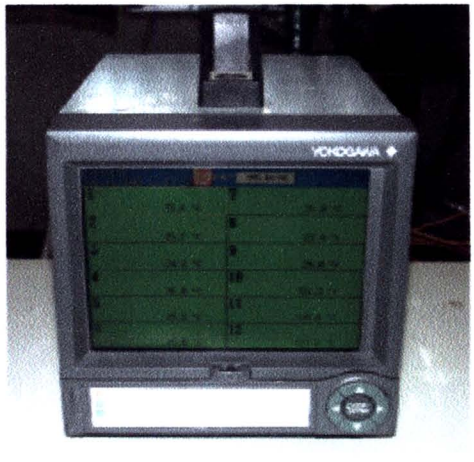
3) เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX112-1-2 ขนาด 12 ช่องสัญญาณ ใช้ร่วมกับเทอร์โมคับเปิ้ล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้วัดอุณหภูมิของอากาศในส่วนอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของส่วนทำระเหย อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของส่วนควบแน่น และอุณหภูมิของส่วนกันความร้อน แสดงดังรูป 3.11

4) ชุดเติมสารทำงาน เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่เทอร์โมไซฟอน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) และวาล์ววัดความดัน (Pressure gauge) แสดงดังรูป 3.12

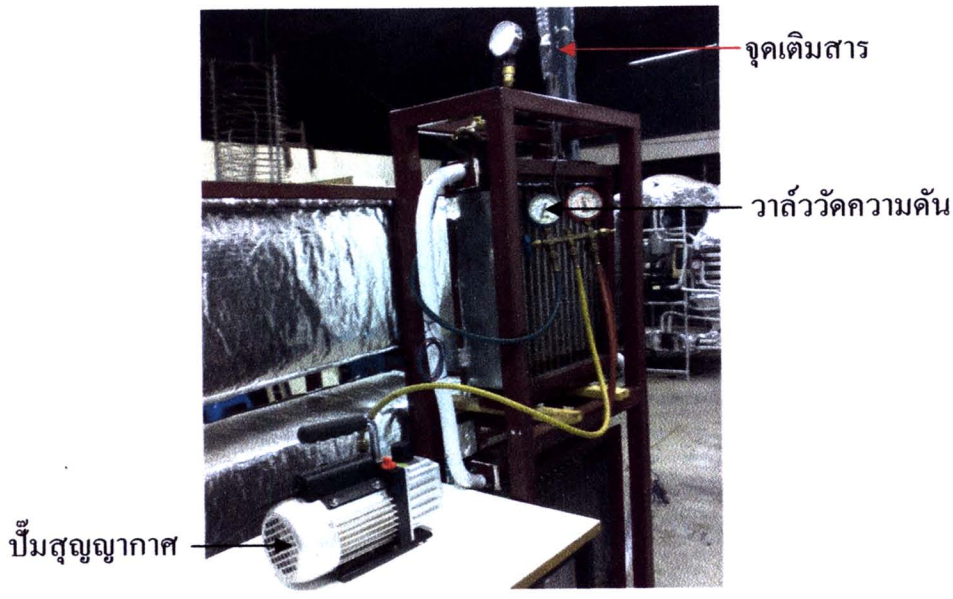
5) เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Anemometer Air Velocity Meter, Testo 435) ใช้สำหรับวัดความเร็วอากาศในท่อลม เพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งคำนวณจากความเร็วเฉลี่ยของอากาศคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อส่งอากาศบริเวณที่ใช้วัดความเร็วอากาศ แสดงดังรูป 3.13

6) ฮีทเตอร์ (Heater) ใช้ฮีทเตอร์ที่มีขนาด 1,500 วัตต์ จำนวน 3 ตัว ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับลมร้อนที่มาจากคอยล์ร้อน ใช้เทอร์มอสแตท (thermostat) เป็นตัวควบคุม แสดงดังรูป 3.14

7) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด 0.5 g พิกัด 15 kg (Digital Weighing, UNION LGCN- 7515) แสดงดังรูป 3.15

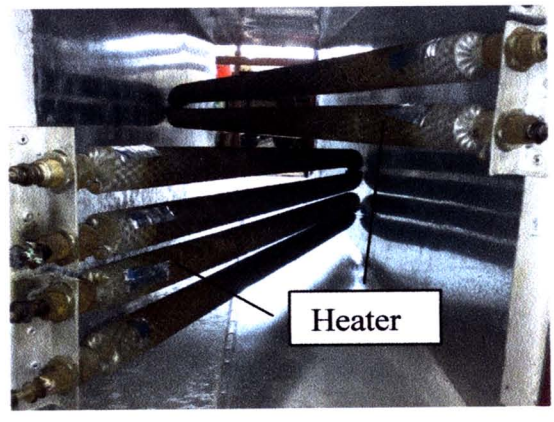


รูป 3.11 เครื่องบันทึกข้อมูลและเทอร์โมคับเปิ้ล



รูป 3.12 ชุดเติมสารทำงาน

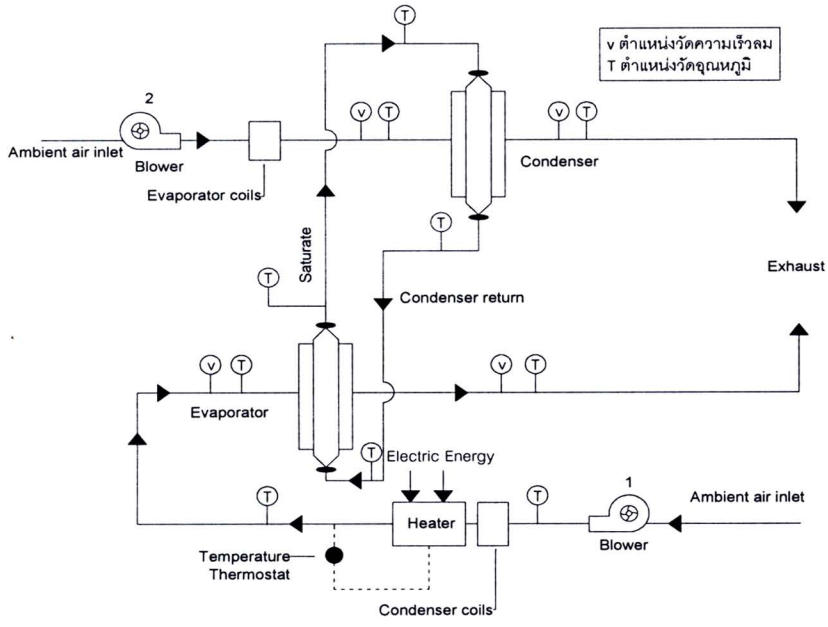
รูป 3.13 เครื่องวัดความเร็วอากาศ



รูป 3.14 ฮีทเตอร์ (Heater)

รูป 3.15 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3.4 ออกแบบการทดลอง



รูป 3.16 ระบบการทดลอง

3.4.1 หลักการทำงานของระบบ

1) พัดลมตัวที่ 1 ดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาในระบบ

2) Heater ร่วมกับคอยล์ร้อนของปั๊มความร้อน ถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ทำให้อากาศร้อนขึ้น

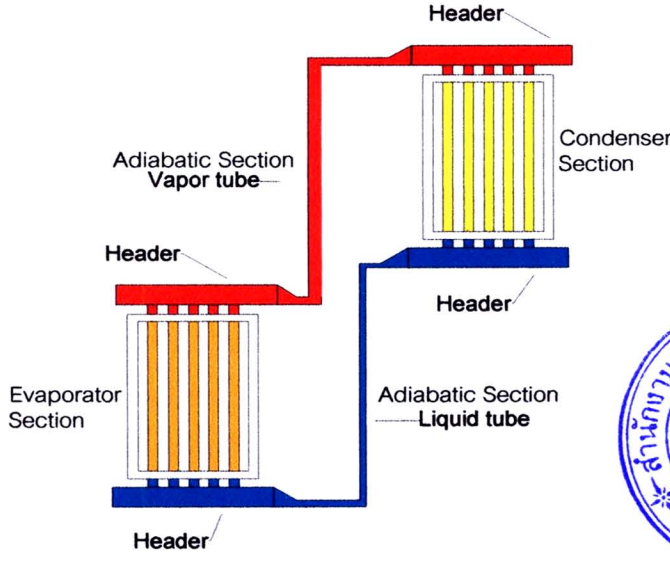
3) อากาศร้อนเคลื่อนที่ไปยังส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน

4) อากาศร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหย ทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง หลังจากนั้นอากาศจะเคลื่อนที่ออกไปข้างนอก

5) พัดลมตัวที่ 2 ดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาในระบบ ผ่านคอยล์เย็นของปั๊มความร้อน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง เพื่อนำอากาศเย็นไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอของสารทำงานในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอน

6) เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอน ระหว่างไอของสารทำงานกับอากาศจากภายนอก

7) อากาศเมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เคลื่อนที่ออกไปข้างนอกตามทิศทางที่พัดลมตัวที่ 2 เป่าออกไป



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูป 3.17 ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

3.4.2 หลักการทำงานของรูป 3.17

1) เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน ทำให้สารทำงานร้อนขึ้นกลายเป็นไอ

2) ไอสารทำงานเคลื่อนที่ไปตามท่อไอ ไปยังส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอน

3) เทอร์โมไซฟอนส่วนควบแน่นแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอสารทำงานกับอากาศ

4) ไอของสารทำงาน เมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแล้วทำให้อุณหภูมิลดลง ควบแน่นกลายเป็นของเหลวเคลื่อนที่กลับมายังส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน

3.5 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สัดส่วนการเติม และชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ มีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1) เลือกขนาดท่อที่ต้องการทดลอง

2) ติดตั้งชุดทดลองบนแท่นวาง โดยให้ชุดทำระเหยอยู่ด้านล่าง และชุดควบแน่นอยู่ด้านบน

3) ต่อท่อส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อไอและท่อของเหลวเข้ากับคอยล์ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น

4) ทำการดูดอากาศในส่วนของเทอร์โมไซฟอนออก เพื่อทำให้เป็นสุญญากาศ ใช้เวลาในการดูดอากาศออกประมาณ 30 นาที

5) เติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย โดยใช้หลักการแรงดึงดูดของโลกเติมจากด้านบนของระบบในแนวดิ่ง

6) ติดตั้งชุดเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบเข้ากับชุดทดลอง

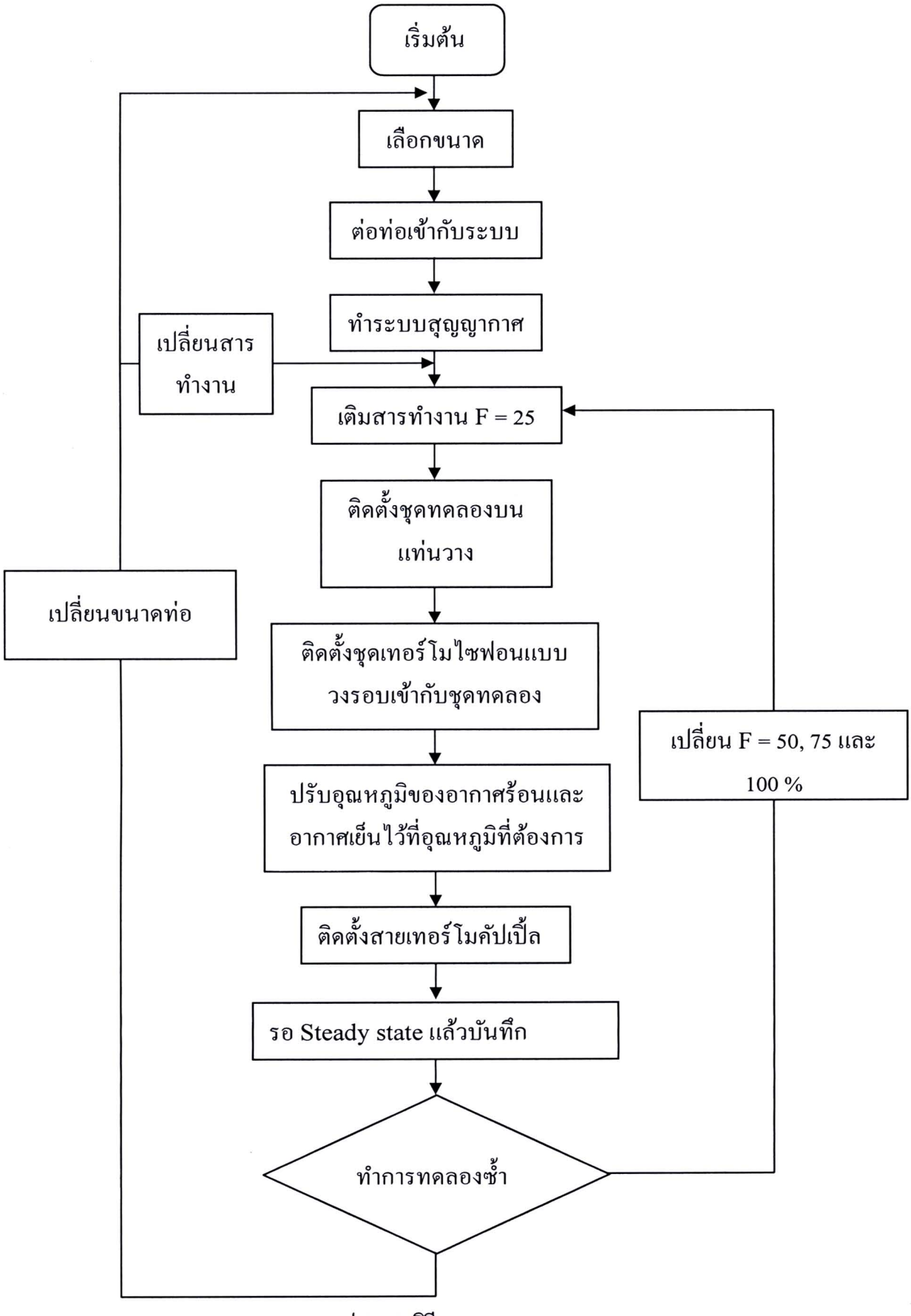
7) ปรับอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าส่วนทำระเหยไว้ที่ 80 °C และอุณหภูมิอากาศเย็นขาเข้าส่วนควบแน่นไว้ที่ 21°C

8) ปรับความเร็วของอากาศร้อนขาเข้าส่วนทำระเหยไว้ที่ 1.6 m/s และปรับความเร็วของอากาศเย็นขาเข้าส่วนควบแน่นไว้ที่ 1.5 m/s

9) ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิ เพื่อดูแนวโน้มของอุณหภูมิจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady state) จึงเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิทุกจุด 3 ครั้ง

10) ทำการทดลองซ้ำจากหัวข้อที่ 5 โดยเปลี่ยนปริมาตรการเติมสารทำงานเป็น 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

11) ทำการทดลองซ้ำจากหัวข้อที่ 1 ถึง 9 โดยเปลี่ยนขนาดท่อ และชนิดของสารทำงาน



รูป 3.18 วิธีการทดลอง

3.6 ขั้นตอนวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ ระหว่างอากาศกับอากาศ วัดอุณหภูมิเข้าและออกของแต่ละสาย วัดความเร็วลมอากาศเข้าของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น เพื่อหาค่าต่อไปนี้

1) คำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนส่วนทำระเหย ที่อุณหภูมิและความเร็วของอากาศเข้าและออกตามขอบเขตการวิจัยได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_e = (\dot{m}C_p)_e \Delta T_e$$

2) คำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนส่วนควบแน่น ที่อุณหภูมิและความเร็วของอากาศเข้าและออกตามขอบเขตการวิจัยได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_c = (\dot{m}C_p)_c \Delta T_c$$

3) คำนวณหาประสิทธิผล (Effectiveness) ของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบได้จากสมการต่อไปนี้

กรณีที่ 1

เมื่อ $(\dot{m}C_p)_c < (\dot{m}C_p)_e$

$$Eff = \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{e,in} - T_{c,in})}$$

กรณีที่ 2

เมื่อ $(\dot{m}C_p)_e < (\dot{m}C_p)_c$

$$Eff = \frac{(T_{e,in} - T_{e,out})}{(T_{e,in} - T_{c,in})}$$