บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ได้รับการวางแผนอย่างดี จะทำให้การศึกษาวิจัยถึงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซับร่วมกับท่อความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบมีความน่าเชื่อถือ โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัย อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์ทดสอบ การทดสอบเบื้องต้น และขั้นตอนการทดสอบโดยละเอียด รวมถึงแผนภูมิระเบียบวิธีวิจัย มีดังต่อไปนี้

3.1 วิธีดำเนินการศึกษา

ในการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดภายในห้องปฏิบัติการ กับส่วนของการสร้างแบบจำลองทางการทดลอง เพื่อทำนายสภาวะการทำงานของระบบแบบดูดซับขั้นต้น ดังนี้

(1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(2) ออกแบบ ประกอบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ ดังรูปที่ 3.1 และแสดงภาพถ่ายชุดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

- เครื่องดูดซับ (Adsorber) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาดูดซับระหว่างคู่สารทำงาน ภายในบรรจุสารดูดซับ (ถ่านกัมมันต์) และมีชุดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบติดตั้งอยู่
- เครื่องควบแน่น (Condenser)
- เครื่องทำระเหย (Evaporator) ซึ่งบรรจุสารทำงาน (เมทานอล)

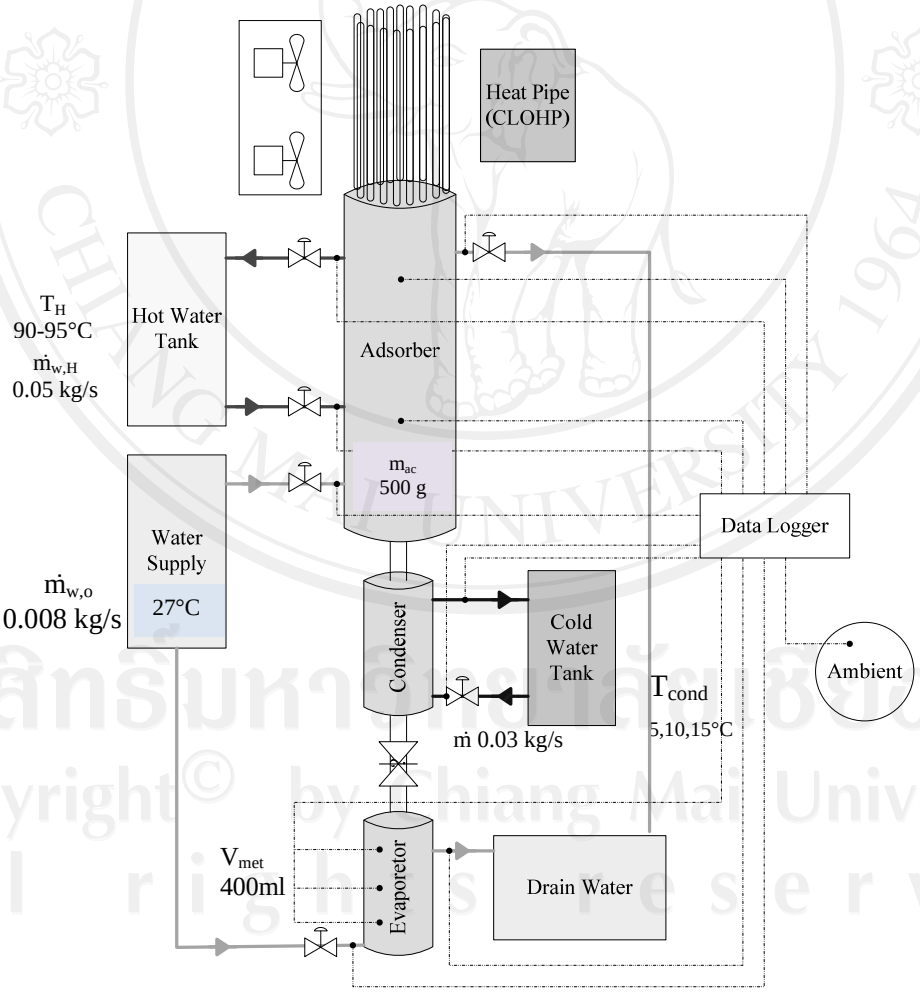
หลักการทำงาน คือ ในกระบวนการดูดซับ ไอเมทานอลถูกปล่อยให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับสารดูดซับในเครื่องดูดซับจนสิ้นสุดกระบวนการ จากนั้นเริ่มกระบวนการคายสารดูดซับ โดยให้ความร้อนแก่เครื่องดูดซับ เพื่อแยกไอเมทานอลออกจากสารดูดซับ ซึ่งอาศัยการส่งน้ำร้อนเข้าไปยังกระบอกน้ำรอบเครื่องดูดซับเพื่อให้ความร้อนแก่สารดูดซับ ไอเมทานอลไหลไปที่เครื่องควบแน่นที่มีน้ำมาหล่อเย็นเพื่อทำให้ไอเมทานอลควบแน่นกลายเป็นของเหลว และคอนเดนเสทที่ได้จะไหลไปสะสมไว้ที่เครื่องทำระเหย โดยวัดอุณหภูมิทั้งหมด 16 จุดด้วยสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังตารางที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) ออกแบบการทดลองโดยกำหนด

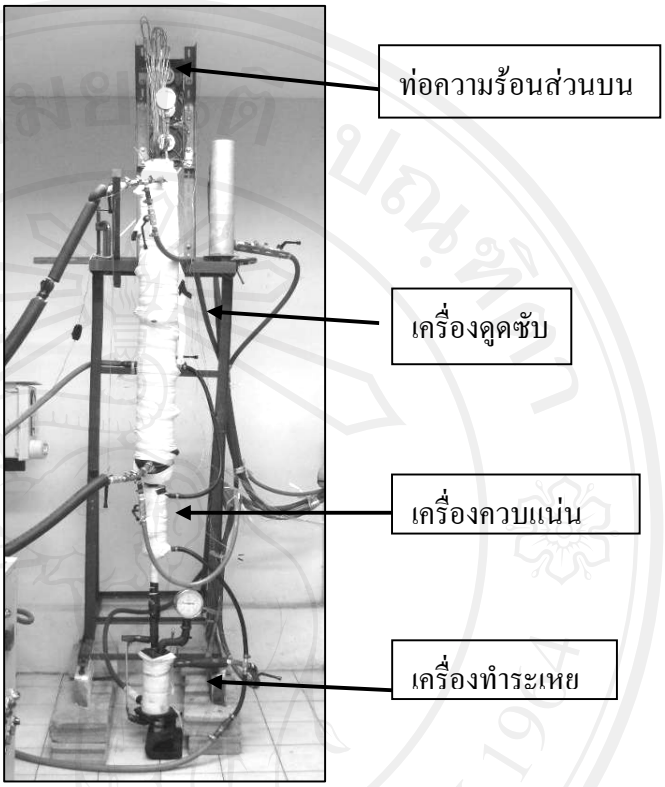
- แปรผันอุณหภูมิน้ำร้อนที่จ่ายให้เครื่องดูดซับ 70 °C, 80 °C และ 90 °C
- แปรผันอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่จ่ายให้เครื่องควบแน่น 5 °C, 10 °C และ 15 °C
- อัตราส่วนของสารทำงานในท่อความร้อน คือ 30%
- เก็บและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิน้ำถ่ายโอนความร้อนขาเข้าและขาออกส่วนทำระเหย และอุณหภูมิที่ตำแหล่งอื่น ๆ

(4) สร้างแบบจำลองทางการทดลอง เพื่อทำนายสภาวะการทำงานของระบบแบบดูดซับขั้นต้น โดยตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ แสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพชุดทดสอบระบบดูดซับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายชุดทดสอบระบบดูดซับ

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

No.	ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ	จำนวนที่ติดตั้ง
1	ภายในเครื่องดูดซับ	2
2	น้ำเข้า Water Jacket	2
3	น้ำออก Water Jacket	2
4	น้ำเข้า Condenser	1
5	น้ำออก Condenser	1
6	น้ำเข้า Evaporator	2
7	น้ำออก Evaporator	2
8	ผิว Evaporator	3
9	บรรยากาศ	1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ

No.	ตัวแปร	เงื่อนไข
1	มวลถ่านกัมมันต์	500 g
2	ปริมาตรเมทานอล	400 mL
3	อัตราการไหลของน้ำส่วนเครื่องดูดซับ	0.05 kg/s
4	อัตราการไหลของน้ำส่วนควบแน่น *	0.03 kg/s
5	อัตราการไหลของน้ำส่วนทำระเหย *	0.008 kg/s
6	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องดูดซับ*	90 - 95°C
7	อุณหภูมิสูงสุดของเครื่องดูดซับ	70°C, 80°C และ 90°C
8	อุณหภูมิน้ำส่วนควบแน่น *	5°C, 10°C และ15°C
9	อุณหภูมิน้ำเข้าส่วนทำระเหย*	27°C
10	ชนิดสารทำงานท่อความร้อน	เมทานอล
11	เวลาในการทดลอง	60 -90 นาที

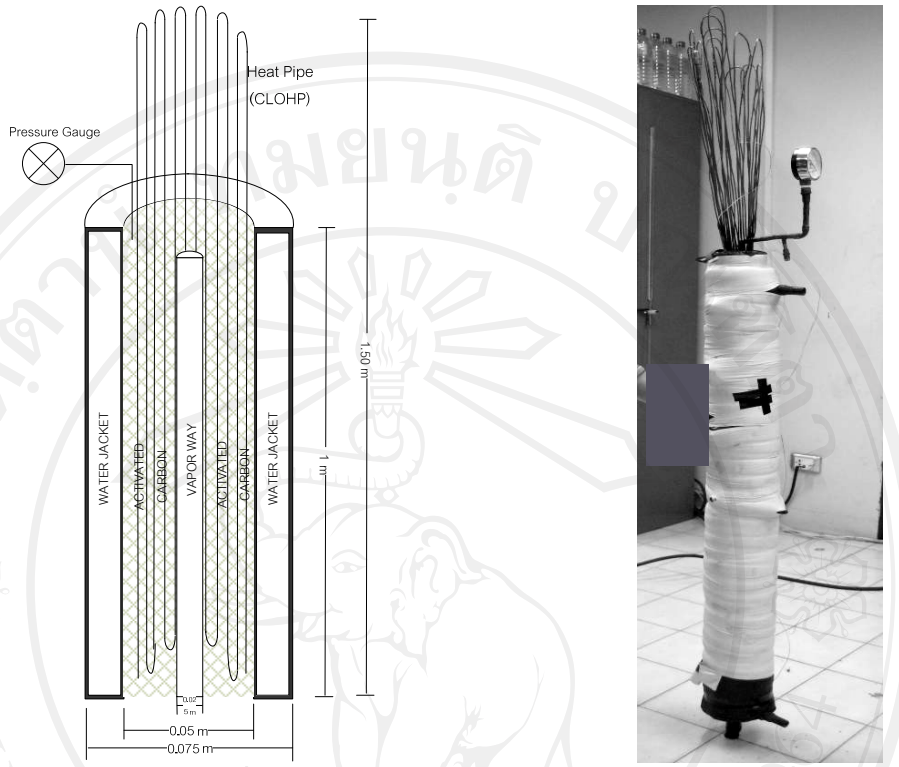
* หมายเหตุ ใช้น้ำเป็นสารถ่ายโอนความร้อน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องดูดซับ (Adsorber)

เครื่องดูดซับมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ทำจากท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว สูง 100 เซนติเมตร ภายในบรรจุสารดูดซับ รอบกระบอกมี Water Jacket ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 100 เซนติเมตรเพื่อให้น้ำร้อนถ่ายเทความร้อนแก่เครื่องดูดซับ ภายในกระบอกดูดซับมีท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบสั่นวงรอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขดขึ้นลง จำนวน 30 รอบ สูง 150 เซนติเมตร เชื่อมต่อจากในกระบอกขึ้นไปด้านบน เพื่อระบายความร้อน และทำการติดตั้ง Pressure Gauge สำหรับวัดความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศที่ส่วนบนของเครื่องดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ภาพตัดเครื่องดูดซับ (ข) ภาพถ่ายเครื่องดูดซับ

รูปที่ 3.3 เครื่องดูดซับ

3.2.2 เครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่นใช้สำหรับควบแน่นไอเมทานอลที่ถูกส่งมาจากเครื่องดูดซับ ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร สูง 23 เซนติเมตร ภายในมีท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ขดเป็นเกลียวรอบผิวด้านในกระบอก เพื่อเป็นทางเดินของน้ำหล่อเย็น ดังรูป 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องควบแน่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3 เครื่องทำระเหย (Evaporator)

เครื่องทำระเหยสร้างจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 25 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ภายในมีขดลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตรขดเป็นเกลียว ติดท่อใสสำหรับวัดปริมาณเมทานอลในกระบอก

รูปที่ 3.5 เครื่องทำระเหย

3.2.4 ชุดท่อความร้อนแบบสั่น

ชุดท่อความร้อน CLOHP ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารดูดซับ ทำจากท่อแคปปิลารี่ขนาด 2 มิลลิเมตร ขดไปมาจำนวน 30 รอบ สูง 150 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ภายในท่อเป็นสูญญากาศ บรรจุเมทานอลเป็นสารทำงาน ปริมาณการเติมสารคือ 30% ของปริมาตรภายในท่อความร้อน

รูปที่ 3.6 ชุดท่อความร้อนแบบ CLOHP

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.5 สารทำงาน

(1) สารดูดซับที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ ถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากถ่านหิน ปริมาณ 500 กรัม ความหนาแน่น 490 kg/m^3 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) 805 J/kg K แสดงดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 ถ่านกัมมันต์

(2) สารถูกดูดซับ ที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ เมทานอล แสดงดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 เมทานอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.6 อุปกรณ์วัดข้อมูล

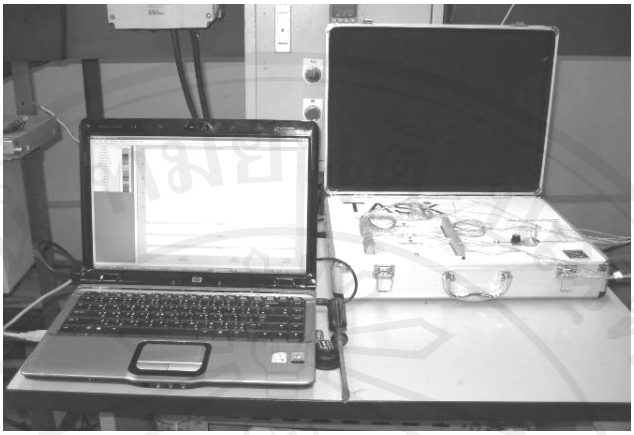
(1) **สายเซ็นเซอร์** สำหรับการวัดอุณหภูมิในระบบดังแสดงในรูปที่ 3.9 ทำจาก Thermocouple Type K ผลิตโดยบริษัท OMEGA ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด ได้แก่ Chromel และAlumel ใช้งานร่วมกับเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล (Data Logger) โดยวัดและบันทึกอุณหภูมิภายในท่อบริเวณภายในเครื่องดูดซับ อุณหภูมิบริเวณผิวเครื่องทำระเหย อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกจาก Water Jacket, เครื่องดูดซับ, เครื่องควบแน่น และเครื่องทำระเหย ตามลำดับ

(2) **เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)** ชนิด 16 Channal ทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.10 โดยใช้ร่วมกับสายวัดเทอร์โมคัปเปิล ผลิตจากบริษัท TASK ค่าความถูกต้อง ± 0.01^{o}C

(3) **เครื่องวัดความดัน (Pressure Gauge)** ดังแสดงในรูป 3.11 โดยมีตำแหน่งติดตั้งบริเวณด้านบนสุดของ Adsorber และ Evaporator และยังสามารถใช้ตรวจสอบการรั่วซึมของระบบ

รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายเครื่องเก็บข้อมูลทดสอบ

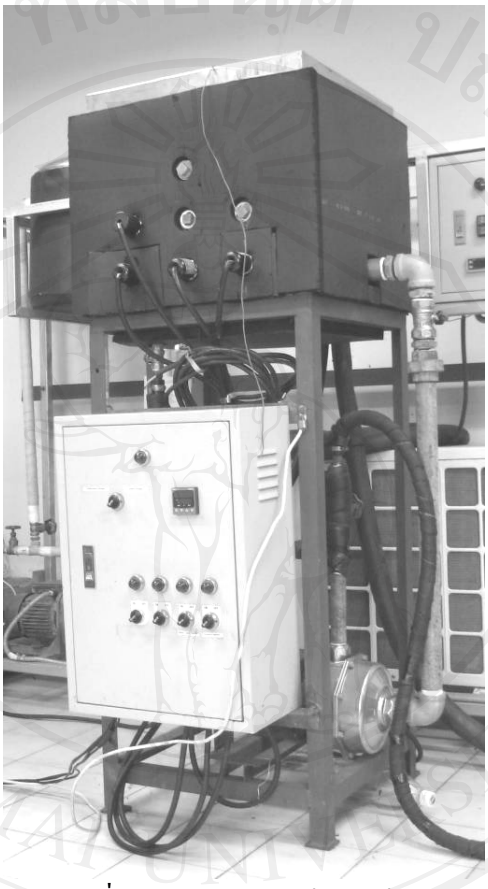
รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายอุปกรณ์วัดความดัน

3.2.7 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

(1) ชุดระบบให้ความร้อน สำหรับทำน้ำร้อนเพื่อถ่ายโอนความร้อนให้แก่ระบบ ประกอบด้วย อ่างให้ความร้อนทำจาก Stainless steel ขนาด 50 cm x 50 cm x 45 cm หรือ มีปริมาตร 112.5 L มีลวดไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อน (Electric Heater) ขนาด 1 kW จำนวน 3 ตัว เป็นตัวให้ความร้อน ตู้ควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนในอ่างซึ่งมีค่าความถูกต้อง ±

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.4^{o}C ใช้ปั๊มความเร็วรอบ 3,000 rpm ขนาดกระแสไฟฟ้า 5 Amp ในการหมุนเวียนน้ำจากอ่างน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.12 เพื่อให้ความร้อนกับเครื่องดูดซับ



รูปที่ 3.12 ชุดระบบให้ความร้อน

(2) ชุดระบบทำน้ำเย็น สำหรับทำน้ำเย็นเพื่อใช้ในการควบแน่นของไอเมทานอล ประกอบด้วยเครื่องทำความเย็น ปั๊ม และอ่าง โดยมีตู้ควบคุมอุณหภูมิน้ำเย็นในอ่าง โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm$ 2^{o}C อ่างความเย็นทำจาก Stainless steel มี ปริมาตร 98 L ซึ่งบรรจุคอยล์เย็นไว้ในอ่าง ปั๊มหมุนเวียนน้ำจากอ่างน้ำเย็นเพื่อรับความร้อนส่วนควบแน่น มีความเร็วรอบ 3,000 rpm ต้องการกระแสไฟฟ้า 5.5 Amp ดังแสดงในรูปที่ 3.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.13 ชุดระบบทำน้ำเย็น

3.2.8 ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)

ปั๊มสุญญากาศสำหรับทำระบบให้มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ยี่ห้อ MIZU ดังรูป 3.14

รูปที่ 3.14 ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 วิธีการทดสอบ

ขั้นตอนเตรียมระบบก่อนการทดสอบ มีดังนี้

1) ทำระบบให้เป็นสุญญากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ
2) ปิดเครื่องทำสุญญากาศ ตรวจเช็คการรั่วซึมของระบบ
3) ปิดวาล์วในระบบ เติมสารทำงานปริมาตร 400 mL ในเครื่องทำระเหย
4) ต่อท่อน้ำร้อนจากชุดให้ความร้อนและน้ำเย็นทั้งด้านป้อนและด้านส่งกลับสำหรับเครื่องดูดซับ
5) ต่อท่อน้ำเย็นจากระบบชุดทำน้ำเย็นทั้งด้านป้อนและด้านส่งกลับสำหรับเครื่องควบแน่น
6) ต่อท่อน้ำประปาทั้งด้านป้อนและด้านส่งกลับสำหรับเครื่องทำระเหย
7) ต่อสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลทุกจุดเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล
8) เปิดวาล์วระหว่างเครื่องดูดซับกับเครื่องทำระเหย ไอเมทานอลเข้าทำปฏิกิริยากับสารดูดซับภายในเครื่องดูดซับ อุณหภูมิ และความดันของระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งคงที่
9) ในขณะเดียวกันเปิดน้ำเย็นเข้า Water Jacket ของเครื่องดูดซับ และพัดลมระบายอากาศของท่อความร้อน เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการดูดซับสารภายในระบบ
10) เมื่อเครื่องทำระเหยมีค่าอุณหภูมิที่คงที่แล้ว ปิดวาล์ว บันทึกความดันก่อนและหลังทดสอบ และปริมาณเมทานอลที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยากับสารดูดซับ

เมื่อระบบพร้อมทำการทดสอบแล้ว ดำเนินการทดลองตามชุดทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ดังนี้

1) ป้อนน้ำร้อนจากชุดให้ความร้อนแก่เครื่องดูดซับ จนอุณหภูมิภายในเครื่องดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 70°C
2) ในขณะเดียวกันเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องดูดซับต่างจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในข้อ (1) 10°C เปิดวาล์วน้ำเย็นจากระบบชุดทำน้ำเย็นเข้าสู่เครื่องควบแน่น อุณหภูมิน้ำเย็น 5°C เพื่อควบแน่นไอเมทานอล
3) เปิดวาล์วของระบบ เพื่อให้เมทานอลกลับสู่เครื่องทำระเหย
4) เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องดูดซับเท่ากับ 70°C ตามที่กำหนดไว้ในข้อ (1) หยุดการให้น้ำร้อน และปิดวาล์วทางเดินสารในระบบ บันทึกปริมาตรเมทานอลในเครื่องทำระเหย และหยุดการให้น้ำเย็นแก่เครื่องควบแน่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5) เปลี่ยนการป้อนน้ำแก่เครื่องดูดซับเป็นน้ำเย็น เปิดพัดลมระบายความร้อนแก่ท่อความร้อน และป้อนน้ำอุณหภูมิ 27°C แก่เครื่องทำระเหย วัดอัตราการไหลของน้ำ
6) เปิดวาล์วระหว่างเครื่องดูดซับกับเครื่องทำระเหย ให้ไอเมทานอลเข้าทำปฏิกิริยากับสารดูดซับภายในเครื่องดูดซับ จนอุณหภูมิของเครื่องทำระเหยคงที่
7) ปิดวาล์วในระบบ หยุดการป้อนน้ำเย็นแก่เครื่องดูดซับ และปิดพัดลมระบายความร้อนแก่ท่อความร้อน บันทึกค่าปริมาตรเมทานอลที่เหลือ
8) ทำการทดลองในหัวข้อที่ (1) ถึง (7) โดยเปลี่ยนอุณหภูมิสูงสุดภายในเครื่องดูดซับเป็น 80°C และ 90°C
9) ทำการทดลองซ้ำในหัวข้อที่ (1) ถึง (8) โดยเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำเย็นที่ป้อนให้แก่เครื่องควบแน่นเป็น 10°C และ 15°C
10) ทดลองซ้ำ การทดลองละ 3 ครั้ง
11) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูล อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลของน้ำร้อน – เย็นในระบบ ปริมาณเมทานอล และเวลาในแต่ละการทดสอบ ได้รับการนำมาคำนวณ

- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องดูดซับและเครื่องทำระเหย
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบดูดซับเพื่อทำความเย็น (COP)
- สมรรถนะการทำความเย็นจำเพาะต่อมวลถ่านกัมมันต์ (SCP)
- ปริมาตรเครื่องดูดซับต่อกำลังการทำความเย็น (VCP) และใช้เพื่อ
- การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์จากผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved