

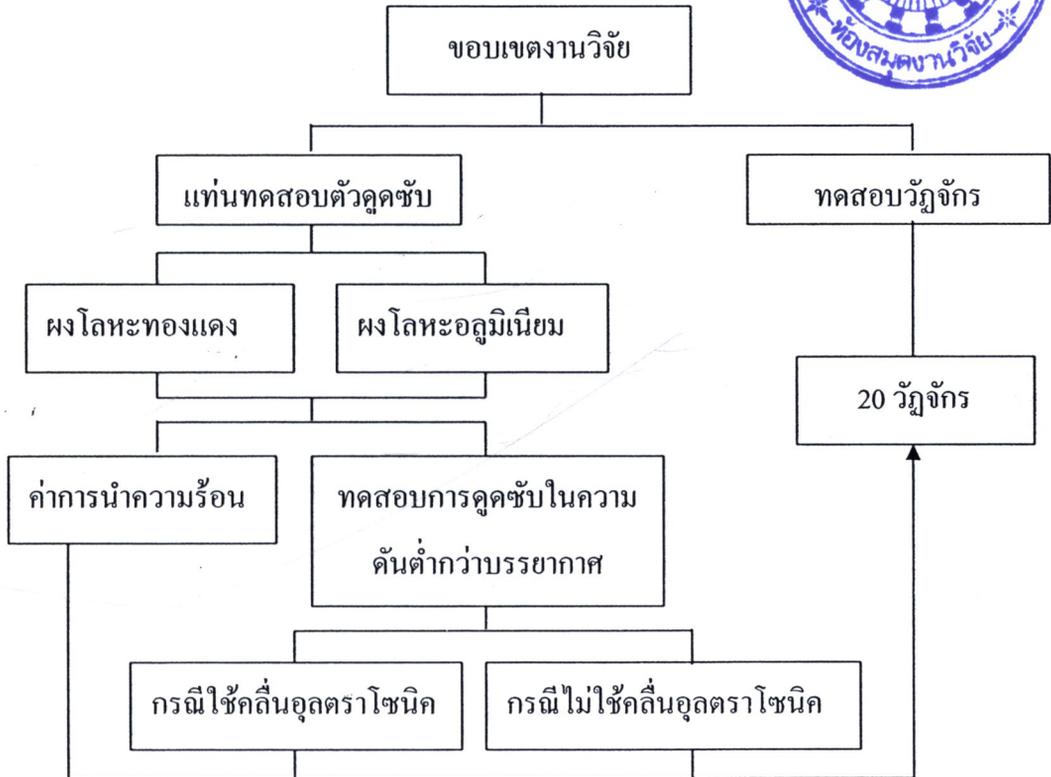
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยมุ่งเน้นการศึกษาผลของสารเติมแต่งผงโลหะต่อการเพิ่มค่าการนำความร้อนของตัว
ดูดซับจากถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปทดสอบกระบวนการดูดและคายสารดูดซับของเครื่องดูดซับ ที่มี
การใช้คลื่นอุตราโซนิกเสริมวัฏจักรการดูดซับ

บทนี้นำเสนอขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ระเบียบวิธีวิจัย รายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์
การติดตั้งระบบทดสอบ การออกแบบการทดลอง และระเบียบวิธีวิจัย ได้แก่

- (1) การเลือกชนิดและสัดส่วนของผงโลหะที่เป็นสารเติมแต่งตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์
- (2) ทดสอบหาค่าการนำความร้อน (k) ของตัวอย่างแทนตัวดูดซับ
- (3) คัดเลือกตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์ที่มีสัดส่วนการผสมสารเติมแต่งโลหะที่เหมาะสมที่สุด 2
อันดับแรก เพื่อนำไปทดสอบกับวัฏจักรการดูดซับ จากการเปรียบเทียบผลทดสอบค่าการ
นำความร้อน
- (4) การออกแบบการทดสอบระบบทำความเย็นแบบดูดซับ 2 กรณี คือ กรณีไม่ใช้คลื่นอุตรา
โซนิกเสริม และกรณีใช้คลื่นอุตราโซนิกเสริม
- (5) การทดสอบวัฏจักรทำงานของระบบดูดซับเพื่อทำความเย็น เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์
สมรรถนะของระบบ
- (6) วิเคราะห์ผลการทดสอบและ ผลการคำนวณ วิจัยผล และสรุปผลการวิจัย



รูปที่ 3.1 Flow chart ภาพโดยรวมของงานวิจัย

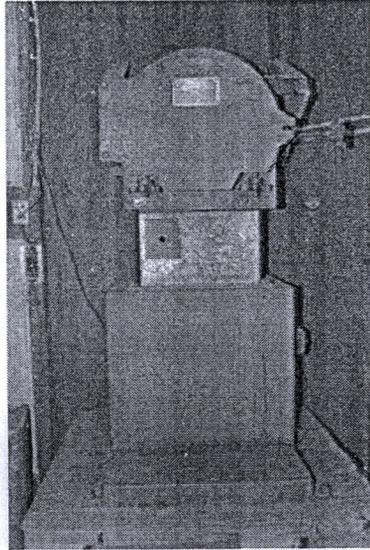
ระเบียบวิธีการวิจัย แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ (1) การทดสอบค่าการนำความร้อนของตัวคูดซ์บที่ผสมผงโลหะกับตัวคูดซ์บจากถ่านกัมมันต์ (2) การทดสอบอัตราการคูดซ์บและการคายสารคูดซ์บของตัวคูดซ์บ และ (3) การทดสอบวัฏจักรทำงานของระบบคูดซ์บเพื่อทำความเข้าใจ โดยมีส่วนและรายละเอียดดังนี้

3.1 การเตรียมตัวคูดซ์บ

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องบด

เครื่องบด ยี่ห้อ Thomas Willey รุ่น Laboratory Model 4 ดังรูปที่ 3.2 ทำหน้าที่บดถ่านกัมมันต์ โดยใช้ตะแกรงขนาดรูเปิด 1 mm เพื่อคัดกรองถ่านให้ได้ขนาดไม่เกิน 1 mm ลงสู่ภาชนะรองรับ

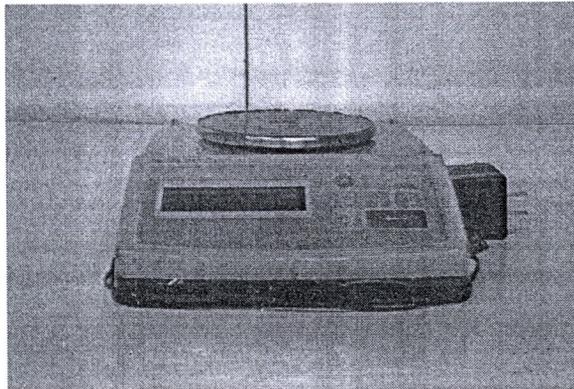


รูปที่ 3.2 เครื่องอบ ยี่ห้อ Thomas Willey

3.1.1.2 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งสารที่ใช้ในงานวิจัยมีความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ CST รุ่น

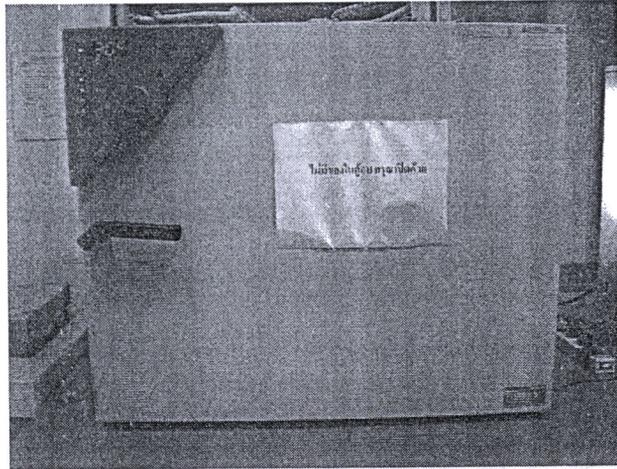
FEJ - SERIES



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่ง

3.1.1.3 ตู้อบ

ตู้อบความจุ 200 ลิตร ดังรูป 3.4 ทำอุณหภูมิสูงสุดในการอบได้ 300 °C ผลิตจากเยอรมัน ใช้สำหรับอบไล่ความชื้นของตัวคูดซับ โดยอุณหภูมิที่ใช้งานสำหรับไล่ความชื้นที่ระดับ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

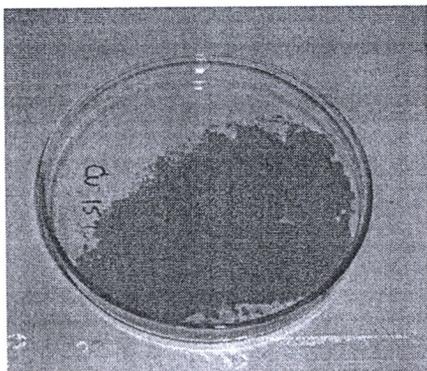


รูปที่ 3.4 ตู้อบสารเคมี WTB Binder อุณหภูมิบรรยากาศ ถึง 300 °C

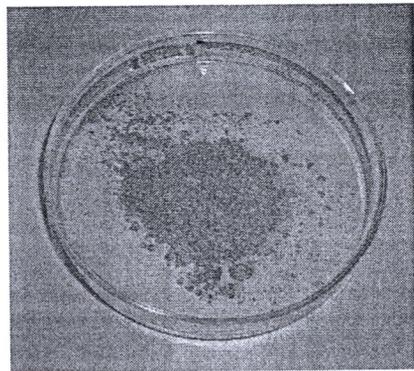
3.1.1.4 สารเคมีที่ใช้

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป ประกอบด้วย 2 กลุ่ม ได้แก่

- (1) สารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ในงานวิจัยนี้ใช้โพลีไวนิลอะซิเตท (Polyvinylacetate, PVA) 99.0% โดยบริษัท พี ไอ อินดัสทรี จำกัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณตัวประสานร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักถ่านกัมมันต์
- (2) สารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่ง ได้แก่ ผงทองแดง 99.5% ขนาด 0.04 mm โดยบริษัท Aldrich Chemistry และผงอลูมิเนียม 99.7% ขนาด 0.05 mm โดยบริษัท แกมมาโก้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) ผงทองแดง และ (ข) ผงอลูมิเนียม

3.2 การทดสอบการนำความร้อน

ทดสอบค่าการนำความร้อนของตัวคู่ชั้บ ด้วยวิธี Hot wire (มาตรฐาน ISO 8894-2: Hot-wire method (Parallel)) ซึ่งเป็นวิธีหาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของแข็งที่ขึ้นรูปจากวัสดุพอรุน ค้งแนวทางปฏิบัติต่อไปนี้

- (1) ประจูลวดความต้านทานไว้ในตัวคู่ชั้บที่ต้องการหาสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
- (2) ผ่านกระแสไฟฟ้าไปในลวดต้านทาน
- (3) วัดอุณหภูมิ ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ที่เปลี่ยนไปกับระยะเวลา
- (4) นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าการนำความร้อน
- (5) คัดเลือกตัวคู่ชั้บที่มีค่าการนำความร้อนดี

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1.1 ภาชนะทดสอบค่าการนำความร้อน

ตัวคู่ชั้บที่ใช้ทดสอบค่าการนำความร้อนจะต้องมีขนาดตามระบุในมาตรฐานไอเอสโอ ภาชนะที่ใช้ทำจากโลหะสแตนเลสหนา 1 mm ขนาด 200 × 100 × 50 mm

3.2.1.2 ลวดความร้อน

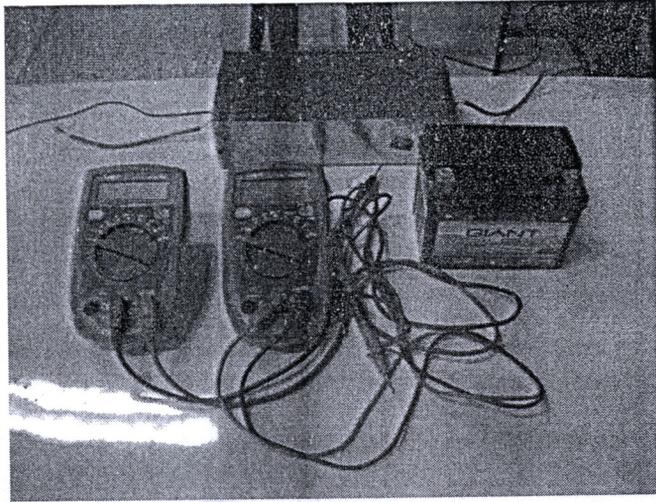
ลวดความร้อน ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ตัวคู่ชั้บ ทำจากโลหะนิกเกิล-โครเมียม เป็นชนิดเดียวกับสายเทอร์โมคัปเปิล มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm ยาว 20 mm ปลายของลวดทั้งสองถูกเชื่อมด้วยตะกั่วซึ่งต่อกับลวดทองแดง เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดความร้อนนี้ถูกฝังอยู่ภายในตัวคู่ชั้บลึกจากผิวหน้า 25 mm

3.4.1.3 แบตเตอรี่แห้ง

แบตเตอรี่แห้ง ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแก่ลวดความร้อน ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ยี่ห้อ Shogun ความต่างศักย์ประมาณ 12 โวลต์ จ่ายกระแสสูงสุด 5 A ขณะทดลองกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ลวดความร้อนประมาณ 3.0 - 4.0 A กรณีกระแสต่ำกว่านี้ต้องนำไปประจุไฟฟ้าใหม่

3.4.1.4 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital multimeter)

ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ผ่านลวดความร้อน โดยที่ตัวเครื่องมีค่าความแม่นยำอย่างน้อย ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่อ่านได้ที่เวลาต่างกันจะถูกนำไปหาค่าเฉลี่ย เพื่อคำนวณค่าการนำความร้อนของตัวคู่ชั้บ



รูปที่ 3.6 ชุดทดสอบค่าการนำความร้อน

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบค่าการนำความร้อน

3.2.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ

- ก. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการบดแล้ว 700 กรัม
- ข. ชั่งสารเติมแต่งโลหะตามอัตราส่วน โดยดังตารางที่ 3.1

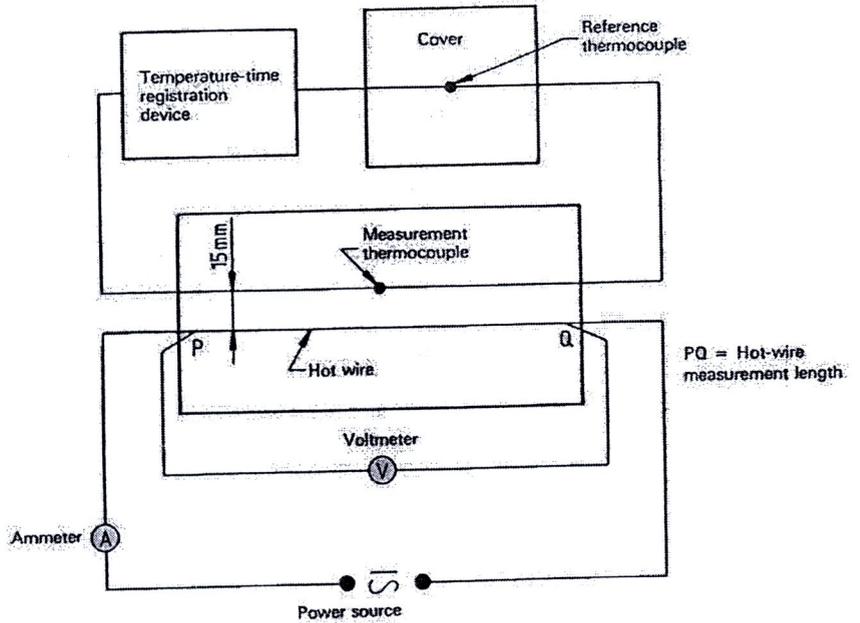
ตารางที่ 3.1 น้ำหนักสารผสมแต่ละชนิดในแท่งตัวดูดซับ

สารเติมแต่ง	ร้อยละการผสมโดยมวล (%)	ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	ปริมาณตัวประสาน (g)	ปริมาณผงโลหะ (g)
ผงทองแดง	2.5%	650	16.25	16.25
	7.5%	650	16.25	48.75
	12.5%	650	16.25	81.25
	17.5%	650	16.25	113.75
	22.5%	650	16.25	146.25

	2.5%	650	16.25	16.25
	7.5%	650	16.25	48.75
ผงอลูมิเนียม	12.5%	650	16.25	81.25
	17.5%	650	16.25	113.75
	22.5%	650	16.25	146.25

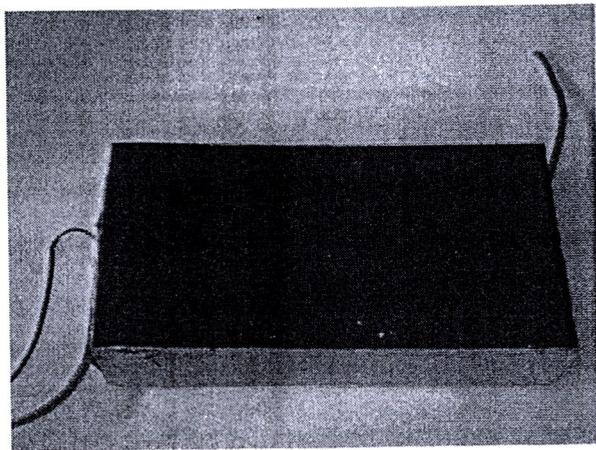
เหตุผลที่เลือกใช้สารเติมแต่งที่ร้อยละการผสมโดยมวล 2.5%, 7.5%, 12.5%, 17.5% และ 22.5% เนื่องจากต้องการศึกษาว่าแนวโน้มของค่าการนำความร้อน เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (โดย นายจิระวัฒน์ วัจวรรณนะ, 2553) ซึ่งใช้สารเติมแต่งร้อยละการผสมโดยมวล 5% , 10% , 15% และ 20% หรือไม่และอย่างไร

- ค. ผสมถ่านกัมมันต์กับสารเติมแต่งโลหะ คนให้เข้ากันให้ดีด้วยระยะเวลาสั้นเพียงพอ จนสังเกตได้ว่าผงโลหะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
- ง. เตรียมสารละลายตัวประสาน คือผสม PVA 2.5% ของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง คนให้เข้ากันประมาณ 1 ชั่วโมง จนกระทั่ง PVA ละลายจนหมด
- จ. เทสารละลาย PVA ใส่ในสารผสมถ่านกัมมันต์กับสารเติมแต่งโลหะ แล้วคนให้เข้ากันด้วยเวลาประมาณ 1/2 ชั่วโมง จนสารผสมมีลักษณะเป็นสารข้นเหนียวลักษณะคล้ายดินเหนียว (Paste)
- ฉ. ตัดตั้งหลอดความร้อน และ สายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ลงไปที่บริเวณกึ่งกลางของสารผสมที่ความสูง 25 mm จากด้านล่าง
- ช. ซึ่งปลายสายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิลนี้จะอยู่กึ่งกลางของด้านความยาวของภาชนะทดสอบที่ระยะ 100 mm และห่างจากหลอดความร้อน 15 mm ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นจึงอัดสารผสมลงไปอีกจนถึงขอบบนสุดของภาชนะทดสอบ



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งที่ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล

ซ. อบสารผสมที่ได้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น จะได้ตัวคูดชับดังรูป 3.8 หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปทดสอบค่าการนำความร้อน



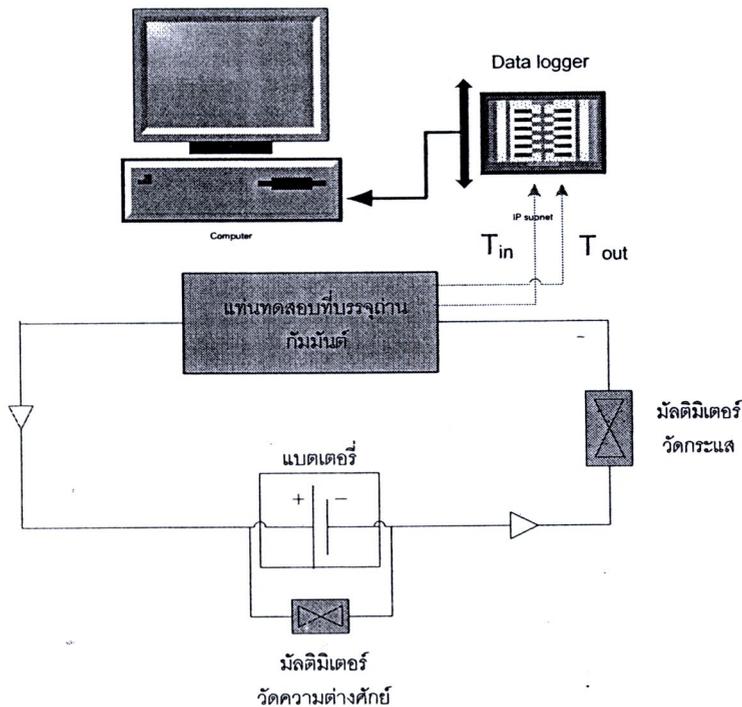
รูปที่ 3.8 แทนตัวคูดชับที่ใช้ในการทดสอบค่าการนำความร้อน

ณ. อัคขึ้นรูปตัวคูดชับใหม่ โดยเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนผสมของสารเดิมแต่ง ดังระบุในตารางที่ 3.1 แล้วจึงนำไปทดสอบค่าการนำความร้อนต่อไป

3.2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบค่าการนำความร้อน

การต่อชุดอุปกรณ์เข้ากับแท่นตัวดูดซับเพื่อทดสอบค่าการนำความร้อน เริ่มจากนำปลายข้างใดข้างหนึ่งของลวดตัวนำความร้อนต่ออนุกรมกับมัลติมิเตอร์ (เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า) และแหล่งจ่ายกระแสไฟ (แบตเตอรี่แห้ง) ตามลำดับ ในขณะที่ต่อมัลติมิเตอร์อีกตัวให้ต่อขนานกับแบตเตอรี่ (เพื่อวัดความต่างศักย์) หลังจากนั้นนำปลายเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 2 ต่อเข้ากับ Data logger เพื่อบันทึกอุณหภูมิ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

- ก. เก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ทุกช่วงเวลา 60 วินาที และบันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุกช่วงเวลา 2 วินาที ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบจนครบ 900 วินาที
- ข. รอจนแท่นทดสอบมีอุณหภูมิลดลง ทดสอบซ้ำอีก 1 ครั้ง จำนวนค่าการนำความร้อน
- ค. ทำการทดสอบใหม่โดยเปลี่ยนตัวดูดซับที่ใช้สารเดิมแต่ในอัตราส่วนอื่น และเปลี่ยนชนิดสารเดิมแต่ต่างโลหะ



รูปที่ 3.9 การต่อชุดอุปกรณ์เข้ากับแท่นตัวดูดซับเพื่อทดสอบค่าการนำความร้อน

3.3 การทดสอบการดูดซับในความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

การทดสอบตัวดูดซับในความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เพื่อหาสมรรถนะที่เหมาะสมต่อการใช้งานในวัฏจักรทำความเย็นแบบดูดซับ รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1.1 ชุดทดสอบอัตราการดูดซับและการคายสารดูดซับ

อุปกรณ์ทดสอบการดูดซับของแท่นตัวดูดซับที่ได้รับการปรับปรุงโดยสารเติมแต่งโลหะ ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (หรือ สุญญากาศ) ประกอบด้วย

- (1) ตัวดูดซับ (Adsorber) ดังรูปที่ 3.10 (ก) ทำหน้าที่ดูดซับไอของเมทานอลที่ระเหยมาจากเครื่องทำระเหย (Evaporator)
- (2) เครื่องทำระเหย ดังรูปที่ 3.10 (ข) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องควบแน่นด้วยไอของเมทานอลที่ถูกคายออกจากตัวดูดซับ จะไหลมาควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น (Condenser)

รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องทดสอบการดูดซับของตัวดูดซับในความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ซึ่งทำด้วยโลหะสแตนเลส ความสูง 70 cm ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตัวดูดซับติดตั้งอยู่ด้านบนของเครื่องทดสอบ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 cm สูง 10 cm ล้อมรอบด้วยภาชนะทรงสี่เหลี่ยมขนาด 22 cm x 15 cm x 8 cm เพื่อให้น้ำไหลผ่านระบายความร้อนขณะที่คายความร้อนจากการดูดซับ และอีกส่วนคือ ส่วนควบรวมของ เครื่องทำระเหย กับเครื่องควบแน่น มีลักษณะทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 cm สูง 15 cm บรรจุเมทานอลไว้ภายใน โดยทั้งสองส่วนนี้เชื่อมต่อกันด้วยท่อและวาล์ว

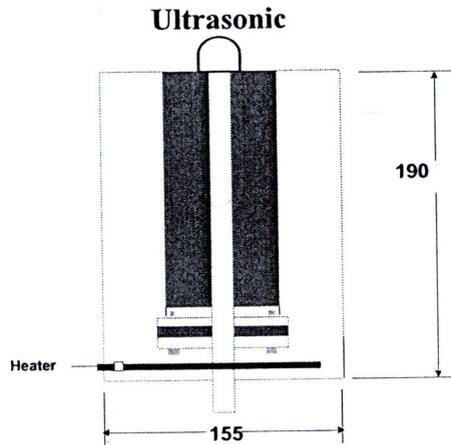
3.3.1.2 ชุดระบบอุลตราโซนิก

ก. อุปกรณ์แปลงสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic transducer)

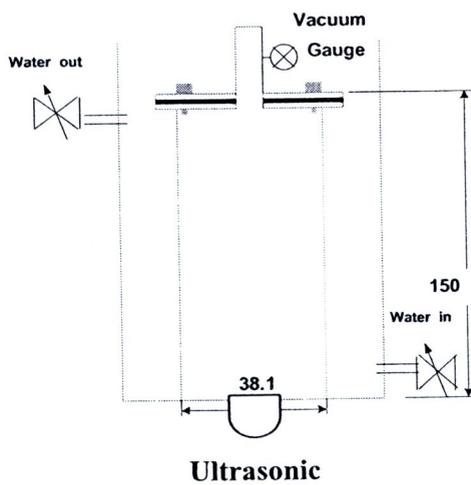
อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกให้มาเป็นพลังงานทางกล โดยการสั่นสะเทือนจนเกิดคลื่นอุลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้

อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม มี 2 แบบ ได้แก่ แมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive transducer) ทำจากนิเกิล (Nickel) หรือ อัลลอยด์ (Alloys) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่ง

ความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่ และ piezo-electric (Piezo-electric transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง (ชีวนันท์ อมรศรีสังจะ, 2551)

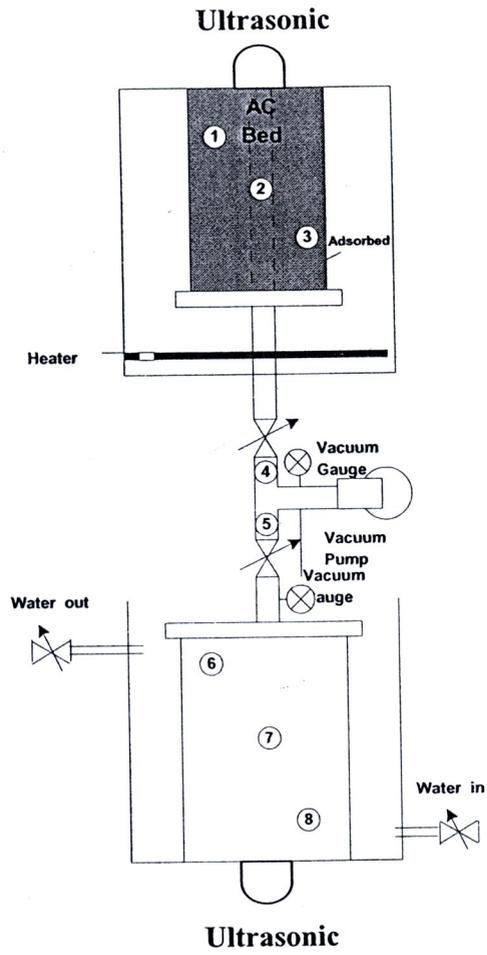


(ก.)

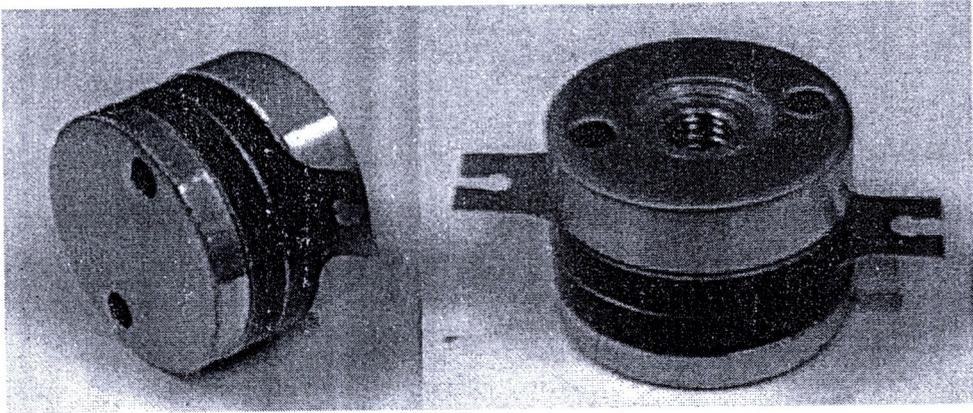


(ข.)

รูปที่ 3.10 (ก) ภาคตัดขวางของเครื่องดูดซับ (Adsorber) และ (ข) เครื่องทำระเหย (Evaporator)



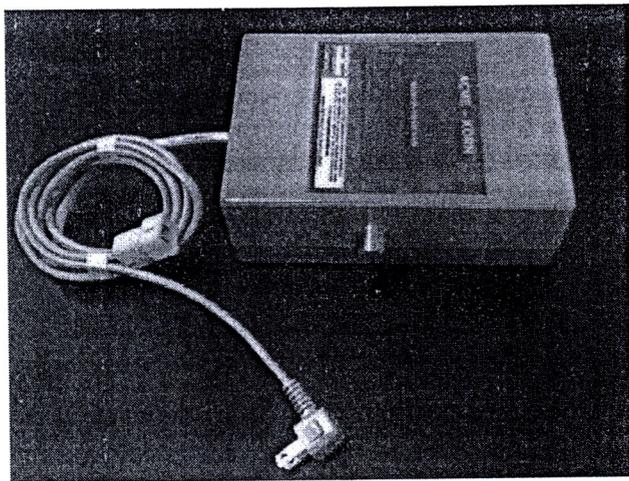
รูปที่ 3.11 แผนภาพเครื่องมือวัดอัตราการดูดซับและการคายสารดูดซับ
และหมายเลข 1-8 คือ ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์แปลงสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก ยี่ห้อ AK-5030-2Q

ข. แหล่งกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic Generator)

แหล่งกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกแบบ Piezoelectric generator ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าทั่วไปที่มีความถี่ 50 หรือ 60 Hz ให้เป็นคลื่นความถี่สูงซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีความถี่อยู่ในช่วง 20 – 80 kHz



รูปที่ 3.13 แหล่งกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิก ยี่ห้อ AKP-200HT

3.3.1.3 อุปกรณ์วัดข้อมูล

ก. สายวัดอุณหภูมิชนิด T

สายวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิลชนิด T นี้ เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,300 °C โดยอาศัยหลักการทำงานของความแตกต่างระหว่างค่า

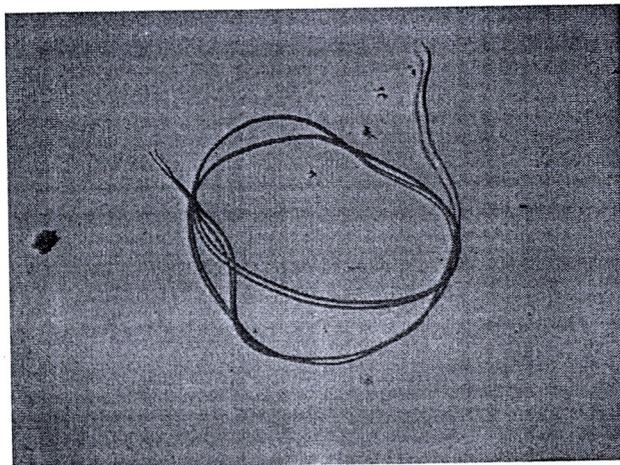
อุณหภูมิที่วัดได้ระหว่างขั้วทั้งสอง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิก็นจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าส่งมาจากเทอร์โมคัปเปิลเข้าสู่เครื่องขยายสัญญาณไฟฟ้า หากความต่างอุณหภูมิมากสัญญาณไฟฟ้าจะมากขึ้น โดยสัญญาณจะถูกขยายประมาณ 40 เท่า จากนั้นสัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะถูกส่งไปบันทึกไว้ในเครื่องเก็บข้อมูล (Data logger)

ข. เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)

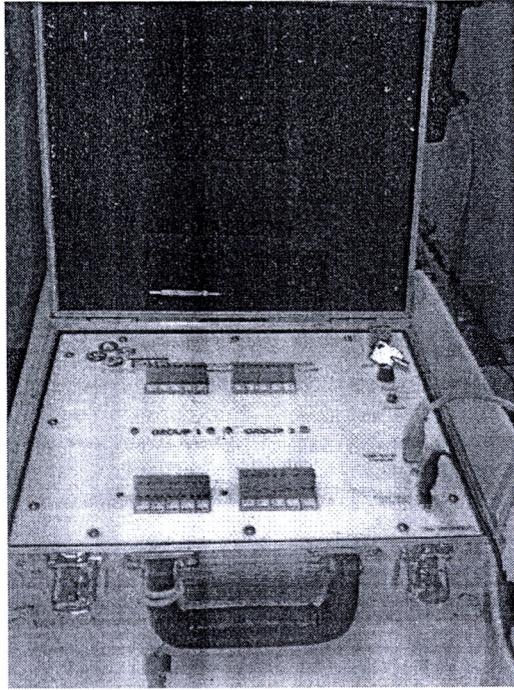
อุปกรณ์นี้ใช้เก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณต่างๆ โดยมีหน่วยความจำพอเพียงกับการเก็บค่าที่วัดได้ของสัญญาณ ตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนดให้ระบบเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ

3.3.1.4 อุปกรณ์ประกอบอื่น

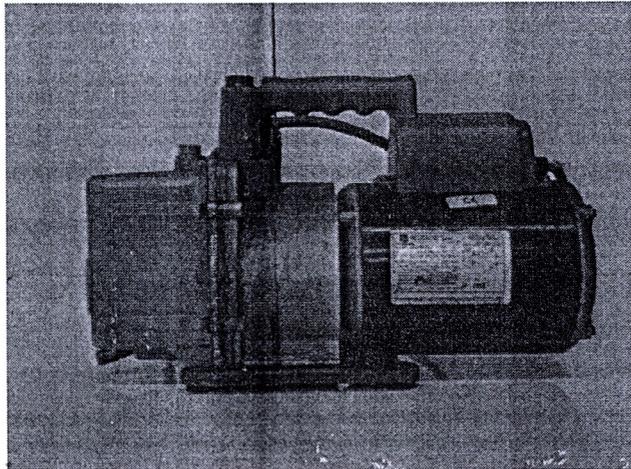
อุปกรณ์เสริมสำหรับการทดสอบระบบ ได้แก่ ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) สำหรับทำระบบให้มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ยี่ห้อ Rubinair Cool Tech ดังรูปที่ 3.19 และปั๊มน้ำขนาดเล็ก (Water Pump) สำหรับถ่ายโอนน้ำเพื่อใช้ในการระบายความร้อน ยี่ห้อ SONIC AP 1600 ดังรูป 3.20



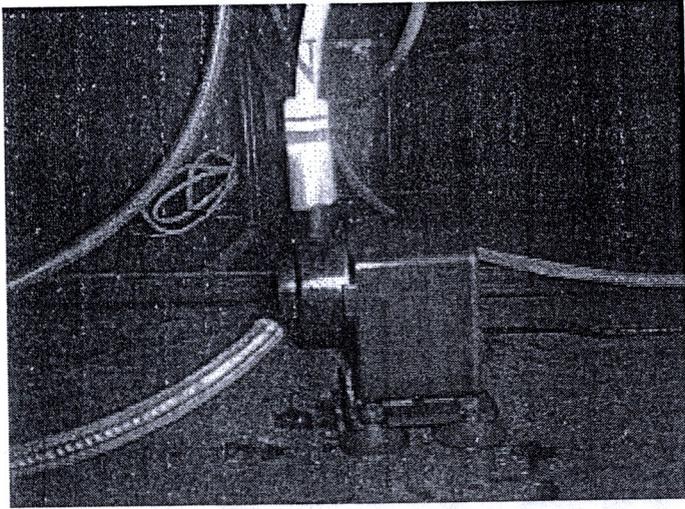
รูปที่ 3.14 เทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 3.15 เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ TSUS
ขนาด 16 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.16 ปุ่มสัญญาณอากาศ



รูปที่ 3.17 บั๊มน้ำขนาดเล็ก



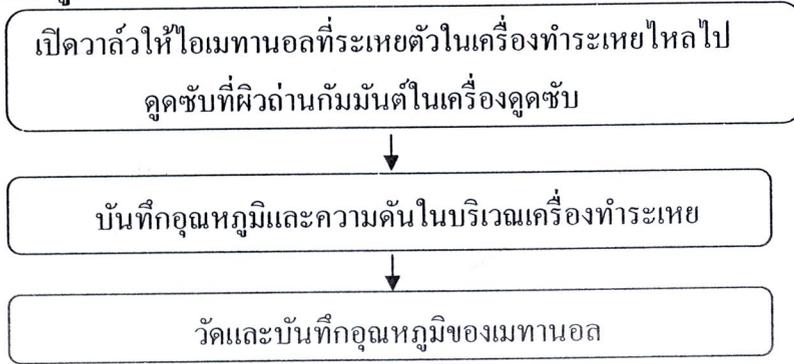
3.3.2 ขั้นตอนการทดสอบอัตราการดูดซับและการคายสารดูดซับของตัวดูดซับ

- ก. นำแท่งตัวดูดซับที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว บรรจุลงในเครื่องดูดซับรูปทรงกระบอก
- ข. บรรจุเมทานอลสำหรับเป็นสารทำงานในส่วนเครื่องควบแน่น/ระเหย (Condenser/Evaporator)
- ค. ทำระบบเครื่องดูดซับและเครื่องทำระเหยให้เป็นสุญญากาศ
- ง. ให้ความร้อนแก่เครื่องทำระเหยเพื่อระเหยสารทำงานเมทานอล และกำหนดอุณหภูมิทำระเหยไว้ที่ 30 °C
- จ. เปิดวาล์วขึ้นระหว่างปฏิกรณ์กับเครื่องทำระเหย เพื่อให้เมทานอลที่เกิดการระเหยกลายเป็นไอไปทำปฏิกิริยากับแท่งตัวดูดซับ
- ฉ. ขณะเกิดการดูดซับ และ/หรือ คายสารดูดซับ วางแผนการจ่ายคลื่นอุลตราโซนิกให้กับเครื่องดูดซับ และ/หรือ เครื่องทำระเหย
- ช. บันทึกความดันก่อนและหลังการทดสอบ และปริมาณเมทานอลก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาดูดซับทางกายภาพกับแท่งตัวดูดซับ
- ซ. ให้ความร้อนแก่น้ำที่แหล่งความร้อน โดยมีอุณหภูมิน้ำร้อนอยู่ที่ 80 °C ถ่ายโอนความร้อนให้แท่งตัวดูดซับเพื่อไล่ไอเมทานอลจากแท่งตัวดูดซับ ในการทดสอบแรกไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วย จากนั้นทำตามแผนการทดลองเพื่อให้คลื่นอุลตราโซนิกช่วย (ดังเงื่อนไขในตารางที่ 3.2) พร้อมทั้งบันทึกความดันและอุณหภูมิของแหล่งความร้อน
- ฌ. เปิดวาล์วให้ไอเมทานอลไปควบแน่นที่เครื่องควบแน่น พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิที่เครื่องดูดซับและอุณหภูมิของไอเมทานอลขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น
- ฎ. เปิดวาล์วให้เมทานอลเหลวไหลไปเก็บที่ถังเก็บ และบันทึกปริมาณเมทานอลที่ได้
- ฏ. สิ้นสุดการทดสอบ และทำการทดสอบขั้นต่อไปตามเงื่อนไขในตารางที่ 3.2

ขั้นตอนการทดสอบสามารถสรุปเป็นแผนภูมิอย่างง่ายดังนี้

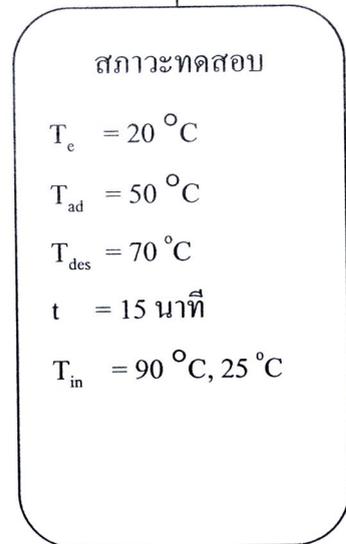
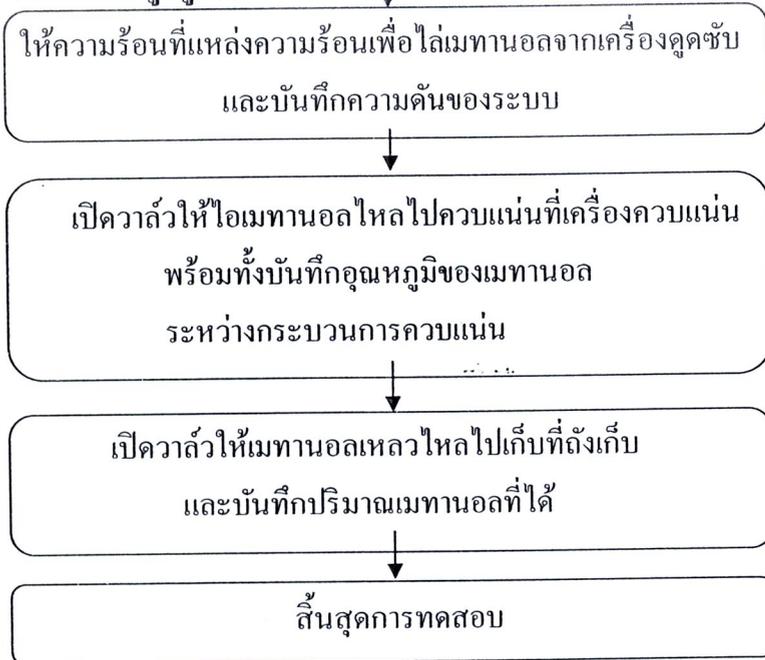
ช่วงที่ 1

กระบวนการดูดซับ



ช่วงที่ 2

กระบวนการคายสารถูกดูดซับ



รูปที่ 3.18 แผนผังแสดงลำดับการทดสอบระบบดูดซับในความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

หมายเหตุ : T_c	คือ	อุณหภูมิทำความเย็นที่เครื่องทำความเย็น
T_{ad} และ T_{des}	คือ	อุณหภูมิตัวดูดซับช่วงการดูดและการคายสารถูกดูดซับ
T_{in}	คือ	อุณหภูมิของตัวกลางถ่ายโอนความร้อนขาเข้า
t	คือ	ช่วงระยะเวลาที่ให้ความถี่คลื่นแก่แท่นตัวดูดซับ

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและเงื่อนไขในการทดลอง

ตัวแปรควบคุม	เงื่อนไข
อุณหภูมิของแท่นตัวดูดซับ <ul style="list-style-type: none"> - ช่วงปฏิบัติการการดูดซับสารเมทานอล - ช่วงปฏิบัติการคายสารเมทานอล 	20 °C 80 °C
อุณหภูมิของเครื่องระเหย <ul style="list-style-type: none"> - ช่วงปฏิบัติการการดูดซับสารเมทานอล - ช่วงปฏิบัติการคายสารเมทานอล 	30 °C 20 °C
ระยะเวลาที่ให้ความถี่คลื่นอุลตราโซนิค	10 นาที
ตำแหน่งอุปกรณ์ที่นำคลื่นอุลตราโซนิคมาใช้	เครื่องดูดซับ และ/หรือ เครื่องทำระเหย
รูปแบบการจ่ายคลื่นอุลตราโซนิค	ต่อเนื่อง (Continuous)
ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน	น้ำ
ความดันทำงาน	< 50 kPa
ตัวแปรผกผัน	เงื่อนไข
คลื่นอุลตราโซนิค	ใช่ และ ไม่ใช่
สารเติมแต่งผงโลหะที่ใช้ผสมในถ่านกัมมันต์	ทองแดง (Cu) และ อะลูมิเนียม (Al)
สัดส่วนปริมาณของผงโลหะ (5 อัตราส่วน)	2.5% , 7.5% , 12.5% , 17.5% , 22.5%

ช่วงการทดสอบ

รอบหรือวัฏจักรการทดลอง ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ

- ก. กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เริ่มจากปล่อยไอเมทานอลจากเครื่องระเหยที่อุณหภูมิที่กำหนด เข้าไปทำปฏิกิริยากับถ่านกัมมันต์ภายในเครื่องดูดซับ และใช้สารถ่ายโอนความร้อนดึงความร้อนออกจากระบบ โดยสมมติว่าปฏิกิริยาสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิเครื่องดูดซับค่อนข้างคงที่
- ข. กระบวนการคายสารดูดซับ (Desorption) หมุนเวียนสารถ่ายโอนความร้อนอุณหภูมิสูง เพื่อให้ความร้อนแก่แท่นตัวดูดซับ เมื่ออุณหภูมิถึงระดับการปลดปล่อยหรือคายสารดูดซับ ไอเมทานอลจะถูกไล่ออกจากถ่านกัมมันต์ ไปควบแน่นที่เครื่องควบแน่นและระบายความร้อนสู่น้ำหล่อเย็น

งานวิจัยนี้มีตัวแปรสำคัญ 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) ชนิดของผงโลหะ (2) สัดส่วนโดยมวลของการผสมผงโลหะต่อถ่านกัมมันต์ และ (3) อุปกรณ์ที่ถูกกระตุ้นโดยคลื่นอุตราโซนิก (เครื่องดูดซับและ/หรือ เครื่องทำระเหย) โดยกำหนดตัวแปรควบคุม เป็น รูปแบบการจ่ายคลื่นอุตราโซนิกในลักษณะต่อเนื่อง (Continuous) ด้วยคาบเวลาเท่ากัน คือ 10 นาที

เงื่อนไขการใช้คลื่นอุตราโซนิกที่เครื่องดูดซับและเครื่องทำระเหย สรุปดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขในการใช้คลื่นอุตราโซนิกที่เครื่องดูดซับและเครื่องทำระเหย

เงื่อนไขที่	1	2	3	4	5	6
กระบวนการ						
Adsorption						
- Adsorber	√					
- Evaporator	√	√	×	×	√	√
		√	√	√	×	×
Desorption						
- Adsorber	√					
- Condenser	×	×	√	×	√	×
		×	×	×	×	×

หมายเหตุ:

เครื่องหมายถูก “√” หมายถึงอุปกรณ์ขณะทำงานได้รับคลื่นอุตราโซนิก

เครื่องหมายผิด “X” หมายถึง อุปกรณ์ขณะทำงานไม่ได้รับคลื่นอุลตราโซนิค

ผลการออกแบบการทดลอง ตามตัวแปรควบคุมและเงื่อนไขในตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยการทดสอบค่าการนำความร้อนที่เปลี่ยนแปลงชนิดและอัตราส่วนผสมโลหะ คิดเป็นจำนวนชุดทดสอบ $5 \times 2 = 10$ การทดลอง

การทดสอบอัตราการดูดซับและการคายสารดูดซับของตัวดูดซับจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีใช้และไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิค กรณีไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิคเปลี่ยนสัดส่วนและชนิดของสารเติมแต่งด้วย คิดเป็น $5 \times 2 \times 3$ (ซ้ำ) = 30 การทดลอง ส่วนกรณีใช้คลื่นอุลตราโซนิคจะนำตัวดูดซับที่ให้ค่าการดูดซับและคายสารดูดซับที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดสอบ 6 เงื่อนไขดังกล่าวทั้งสิ้น 6×3 (ซ้ำ) = 18 การทดลอง

3.4 การทดสอบวัฏจักรทำงานของระบบดูดซับเพื่อทำความเย็น

อาศัยชุดทดสอบการดูดซับและคายสารดูดซับชุดเดิม แต่ควบคุมให้ระบบทำงานครบรอบวัฏจักรดูดและคายสารดูดซับ โดยกำหนดเงื่อนไขการทำงานของตัวดูดซับและสถานะการจ่ายคลื่นอุลตราโซนิคที่ดีที่สุด ที่ได้จากการทดสอบก่อนหน้านี้ ผลลัพธ์จากการทดสอบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพื่อการทำทำความเย็น (COP) เมื่อระบบทำงานต่อเนื่อง 20 รอบวัฏจักรเป็นอย่างน้อย ซึ่งจะทำให้ทราบความเสถียรและน่าเชื่อถือของระบบทำความเย็นแบบดูดซับ ซึ่งมีแทนตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยสารเติมแต่งโลหะ ประกอบกับได้รับคลื่นอุลตราโซนิคเพื่อช่วยกระบวนการคายสารดูดซับและการระเหยของเมทานอล