

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของวิทยานิพนธ์

ภาคอุตสาหกรรมมีการใช้ระบบทำความเย็นในกระบวนการผลิต การเก็บรักษาและจำหน่ายอาหาร และปรับอากาศมากที่สุด ระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแบบอัดไอที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง และสารทำความเย็นยังทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการนำระบบทำความเย็นแบบดูดซับ (Adsorption cooling system) มาใช้กันมากขึ้น และเริ่มมีการจัดจำหน่ายระบบดูดซับ (Adsorption cooling system) ในเชิงพาณิชย์แล้ว

ระบบทำความเย็นแบบดูดซับใช้สารทำงานที่เป็นของแข็งและก๊าซซึ่งสามารถดูดซับกันได้ คือ เรียกสารของแข็งที่เป็นตัวดูดซับว่า สารดูดซับ (Adsorbent) และเรียกสารที่ถูกดูดซับว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ข้อดีของระบบนี้ คือสามารถนำความร้อนทิ้งที่มีคุณภาพต่ำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานของระบบจึงลดการใช้พลังงานลง และไม่มีการใช้คอมเพรสเซอร์ จึงไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนไหว ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนน้อย

เครื่องทำความเย็นแบบดูดซับในปัจจุบันมีค่า COP (Coefficient of Performance) ต่ำ กรณีคู่สารทำงานระหว่างถ่านกัมมันต์และเมทานอลมีอัตราการดูดซับไม่คงที่ กล่าวคือ ในช่วงแรกมีอัตราการดูดซับรวดเร็วเนื่องจากพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีที่ว่างมากแต่เมื่อเริ่มเข้าใกล้จุดสมดุลพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เริ่มอิ่มตัว ส่งผลให้การแพร่กระจายของเมทานอลเข้าไปในชั้นของถ่านกัมมันต์ในส่วนที่ลึกเข้าไปได้ไม่ทัน ทำให้อัตราการดูดซับเริ่มช้าลง นอกจากการคายความร้อนจากกระบวนการดูดซับส่งผลให้ความดันในถ่านกัมมันต์มีค่าสูงขึ้น หากไม่ระบายความร้อนให้ดีการถ่ายเทมวลจะไม่สะดวก ทำให้อัตราการดูดซับลดลงอย่างรวดเร็ว

O. Hamdaoui et al. (2003) พบว่าการนำคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic wave) มาใช้ในกระบวนการคายสารดูดซับของคูสารทำงานอื่น จะช่วยเพิ่มสมรรถนะคายสารดูดซับได้ดี ในทางกลับกันในช่วงการดูดซับกลับไปปลดอัดการดูดซับ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยต้องการทราบผลที่เกิดกับคูสารถ่านกัมมันต์กับเมทานอล โดยเฉพาะในกรณีที่มีการจ่ายคลื่นอัลตราโซนิกต่อเนื่อง (Continuous) หรือเมื่อมีการนำผงโลหะมาผสมในสารดูดซับเพื่อให้การถ่ายโอนความร้อนดีขึ้น และสามารถระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิได้เร็ว อันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ต่อเมทานอลดีขึ้น ผลการวิจัยจะเป็นแนวทางในการนำไปสร้างตัวดูดซับในเครื่องดูดซับของระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงขึ้นได้

1.2 สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ตัวดูดซับ (Adsorbent bed)

การดูดซับเกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

- i. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เป็นการดูดซับโดยที่พันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับ (Adsorbent) และตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่จุดวิกฤตของตัวถูกดูดซับ โดยที่มีค่าพลังงานความร้อนสูง คูสารที่มีการดูดซับทางเคมี ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์-แอมโมเนีย ($\text{CaCl}_2\text{-NH}_3$) เป็นต้น
- ii. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ มีค่าความร้อนของการดูดซับค่าประมาณ 1,800 – 2,000 kJ/kg โดยไม่ทำให้โครงสร้างของผิวของตัวดูดซับเปลี่ยนไประหว่างการดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพนั้น สารถูกดูดซับสามารถเกาะรอบๆ ผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น คูสารที่มีการดูดซับทางกายภาพ ได้แก่ ซิลิกาเจล-น้ำ, ซีโอไลต์-น้ำ, ถ่านกัมมันต์-แอมโมเนีย, ถ่านกัมมันต์-เมทานอล และถ่านกัมมันต์-สารทำความเย็นชนิด R134A เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะการดูดซับทางกายภาพที่ใช้สารดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ เนื่องจากสารชนิดนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการคายสารดูดซับ (Desorption) และสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็ว

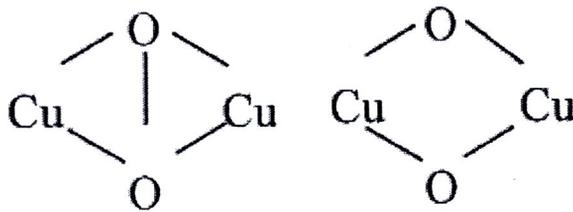
Bandosz (2005) ทำการทดสอบค่าความสามารถในการดูดซับภายใต้สภาวะบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ผสมกับผงโลหะสังกะสี เหล็ก และทองแดงในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้ตัวประสานเบนโทไนท์ 10% ของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ พบว่าทองแดงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับออกซิเจนของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบปริมาณของ H₂S ที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

(Bandosz ,2005)

Sample	Metal content [%]	Metal content [mmol/g]	H ₂ S adsorbed [mmol/g]
ZnBW	0.26	0.04	0.37
FeBW	0.06	0.001	0.28
CuBW	0.57	0.09	1.38
ZnW	4.32	0.66	0.91
FeW	1.32	0.24	1.16
CuW	2.39	0.38	14.61

เนื่องจากในการดูดซับทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชัน โดยทองแดงทำหน้าที่จับกับออกซิเจน(Cu^{II}) ดังแสดงที่รูปที่ 1.1 จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ผสมผงโลหะทองแดงสามารถดูดซับไอของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดี

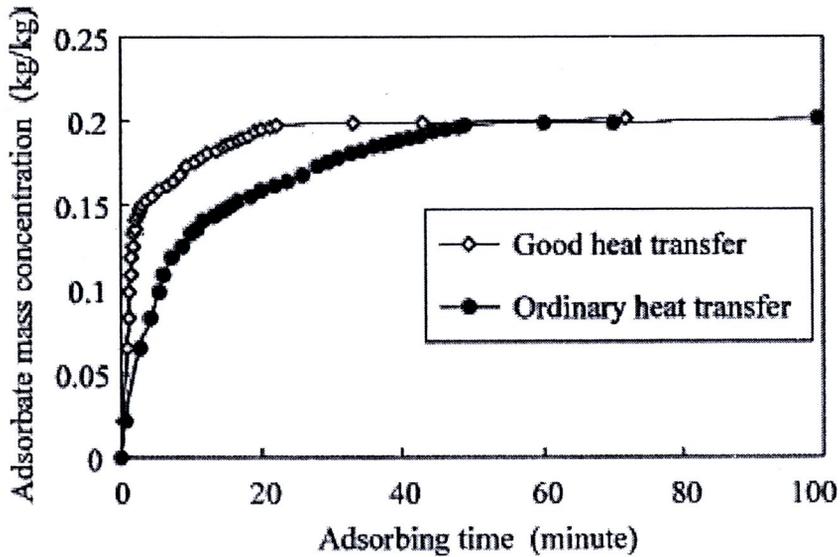


รูปที่ 1.1 การจับตัวของไอออนโลหะทองแดงกับออกซิเจน

(Bandosz ,2005)

ต่อมา R.Z. Wang (2005) ได้วิจัยและพัฒนาตัวดูดซับสำหรับระบบดูดซับถ่านกัมมันต์-เมทานอล โดยการเติมวัสดุที่มีคุณสมบัติถ่ายเทความร้อนเข้าไปในถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด และทำการขึ้นรูปแท่งสารดูดซับให้มีขนาด 280 x 210 x 11 มิลลิเมตร น้ำหนัก 0.275 กิโลกรัม ความหนาแน่น 551 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 22 องศาเซลเซียส ค่าการนำความ

ร้อนของตัวดูดซับขณะทดสอบอยู่ในช่วง 0.27-0.34 W/m.K และพบว่า อัตราการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่าการการถ่ายโอนความร้อนสูงกว่าสามารถดูดซับได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.2

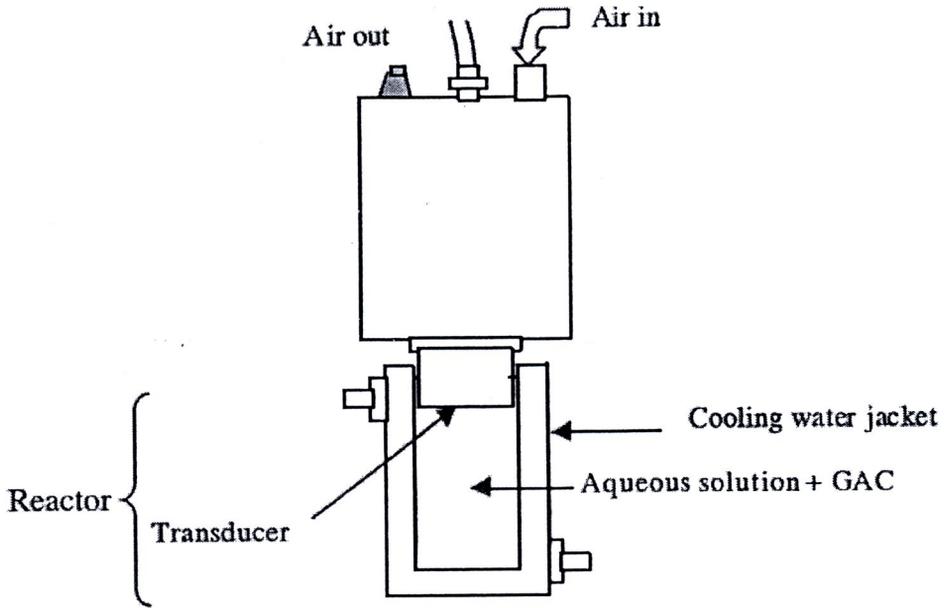


รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบอัตราการดูดซับระหว่างตัวดูดซับที่มีค่าการนำความร้อนแตกต่างกัน

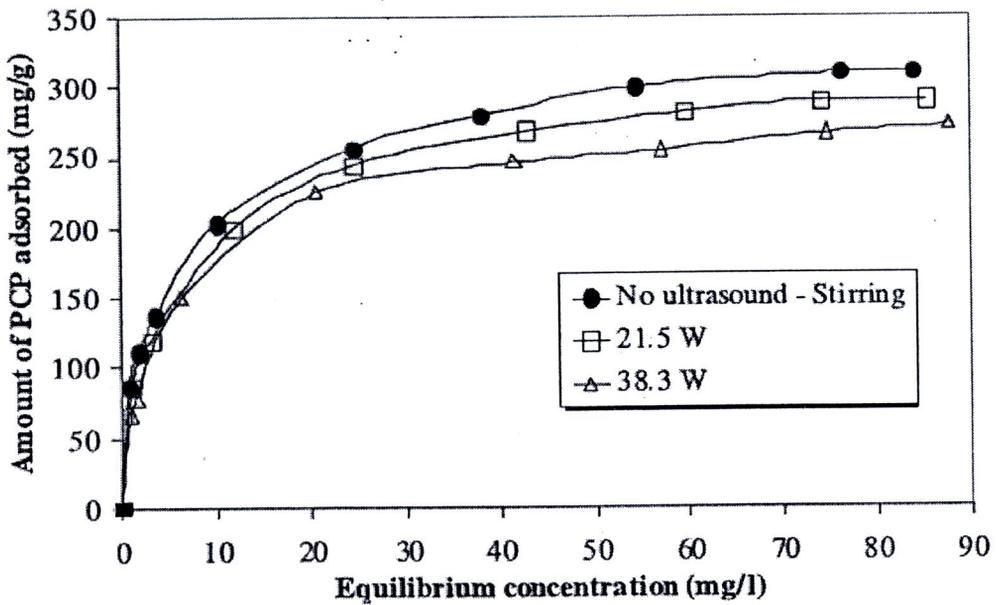
R.Z. Wang (2005)

O. Hamdaoui (2003) ได้ศึกษาช่วงการผลของคลื่นอุลตราโซนิกต่อการดูดและคายสารดูดซับระหว่างสาร p-chlorophenol กับถ่านกัมมันต์ โดยใช้ Ultrasonic transducer ที่ความถี่ 21 kHz ความเข้มของเครื่องอุลตราโซนิกด้วยกำลัง 21.5 W และ 38.5 W ที่ช่วงอุณหภูมิทดสอบ 21°C ในช่วงการดูดซับทำให้อัตราการการดูดสาร p-chlorophenol ลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มของคลื่นอุลตราโซนิกก็จะทำให้อัตราการดูดสาร p-chlorophenol ลดลงเช่นกัน

ในขณะที่ผลของความเข้มของคลื่นอุลตราโซนิกด้วยกำลัง 15.2-38.5 W ที่ช่วงอุณหภูมิทดสอบ 21 °C และ 63 °C ทำให้อัตราการคายสาร p-chlorophenol สูงขึ้นเมื่อความเข้มและอุณหภูมิสูงขึ้น

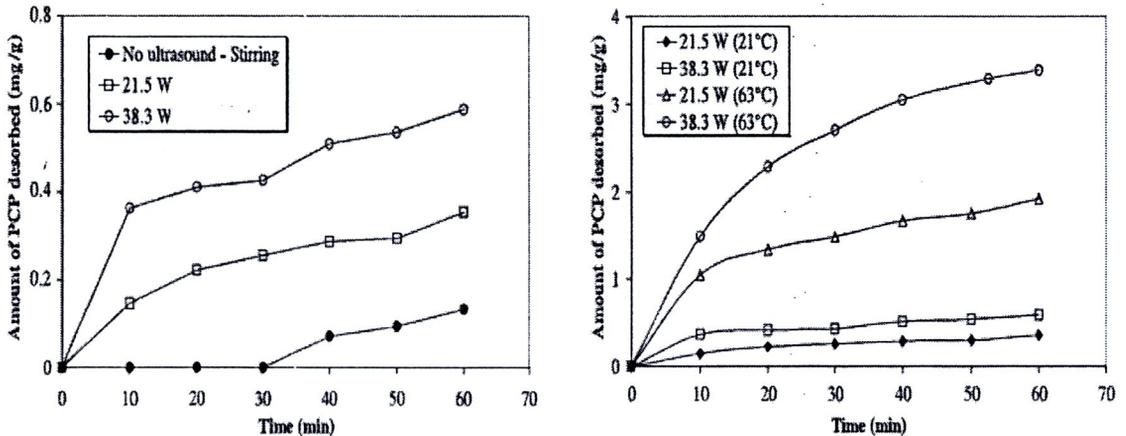


รูปที่ 1.3 แสดงชุดอุปกรณ์ทดลอง ที่ใช้ในงานวิจัยของ (O.Hamdaoui, 2003)



รูปที่ 1.4 กราฟแสดงผลการดูดซับสาร p-CP จากการใช้และไม่ใช้คลื่นอุลตราโซนิคความถี่ 21 kHz ที่ช่วงอุณหภูมิทำงาน 21 °C (O.Hamdaoui, 2003)

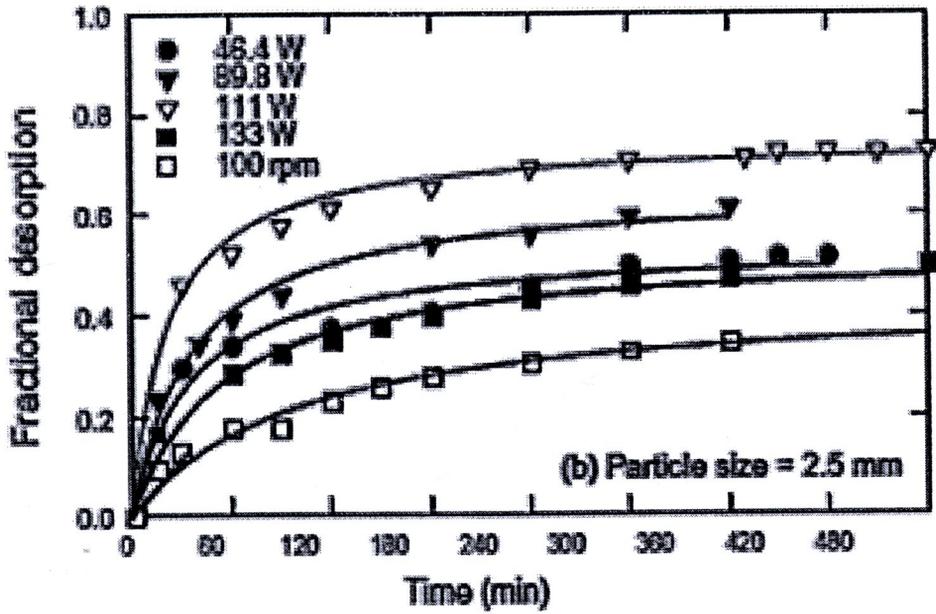
จากรูปที่ 1.4 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการใช้คลื่นอุลตราโซนิกในกระบวนการดูดซับ จะทำให้อัตราการดูดซับลดลง เนื่องจากคลื่นอุลตราโซนิกไปทำลายพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ฟองอากาศของสาร p-CP มีขนาดใหญ่ขึ้นและใหญ่กว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ จึงทำให้อัตราการดูดซับสาร p-CP บนถ่านกัมมันต์ลดลงตามไปด้วย



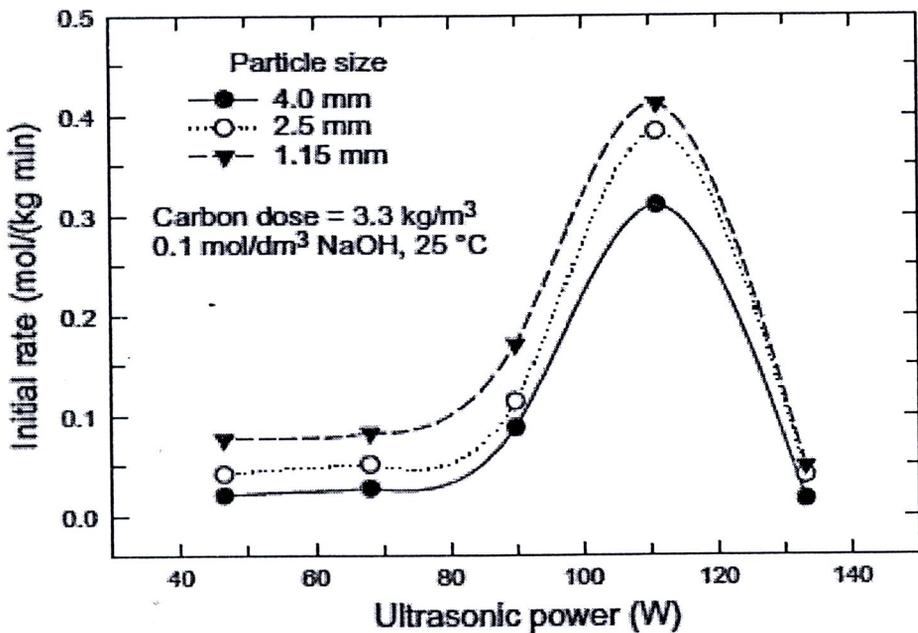
รูปที่ 1.5 กราฟแสดงผลของคลื่นอุลตราโซนิก ที่กำลัง 21.5 W และ 38.3 W ช่วงอุณหภูมิ 21°C และ 63°C ที่ส่งผลต่ออัตราการคายสาร p-CP จากถ่านกัมมันต์ (O. Hamdaoui, 2003)

แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 1.5 กลับพบว่าเมื่อมีการใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในกระบวนการคายสารดูดซับ จะทำให้อัตราการคายสารดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลื่นอุลตราโซนิกไปทำลายพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มและอุณหภูมิของคลื่นอุลตราโซนิก จะทำให้เกิดอัตราการคายสารดูดซับมากขึ้น เพราะโมเลกุลของสาร p-CP มีพลังงานมากขึ้น จึงมีแรงมากพอที่จะหลุดออกจากสารดูดซับดังกล่าวได้

Ruey-Shin Juang (2006) วิจัยการคายสารดูดซับในเฟสของเหลวของ phenol บนถ่านกัมมันต์ด้วยคลื่นอุลตราซาวด์ โดยใช้ Ultrasonic cleaner (NEY, Model 104X, Bloomfield, USA) มีขนาด 295 x 235 x 150 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 48 kHz ด้วยช่วงกำลัง 46-133 W ใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารถ่ายโอนความร้อนปริมาตร 110 มิลลิเมตร และช่วงอุณหภูมิทดสอบ 25°C และเติม NaOH 0.1 mol/dm³ มีผลทำให้อัตราการคายสารดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 8% เป็น 70% และอัตราการคายสารดูดซับจะลดลงเมื่อกำลังมากเกิน 110 W



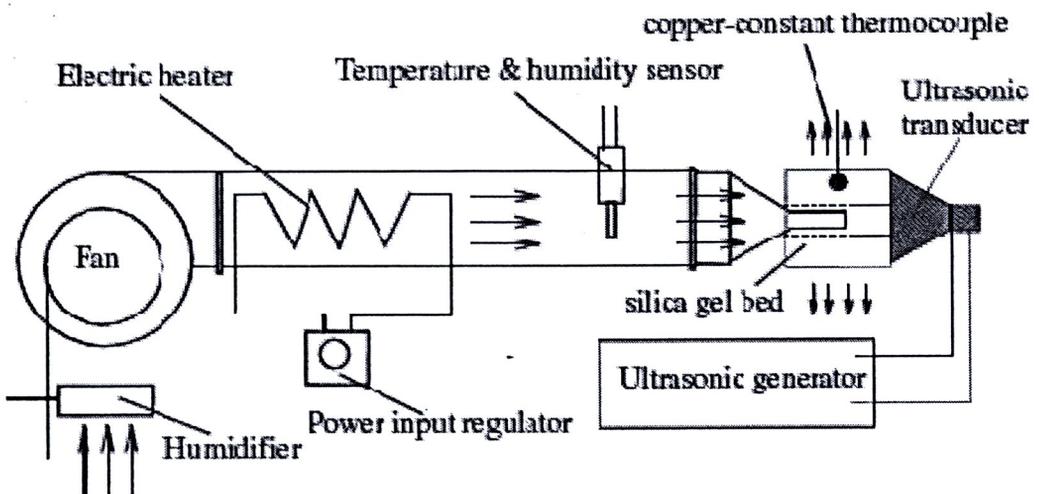
รูปที่ 1.6 กราฟแสดงอัตราการคายสาร phenol เทียบกับช่วงระยะเวลา (นาที) ณ ที่กำลังของคลื่น
 อุลตราโซนิกต่างๆ (Ruey-Shin Juang, 2006)



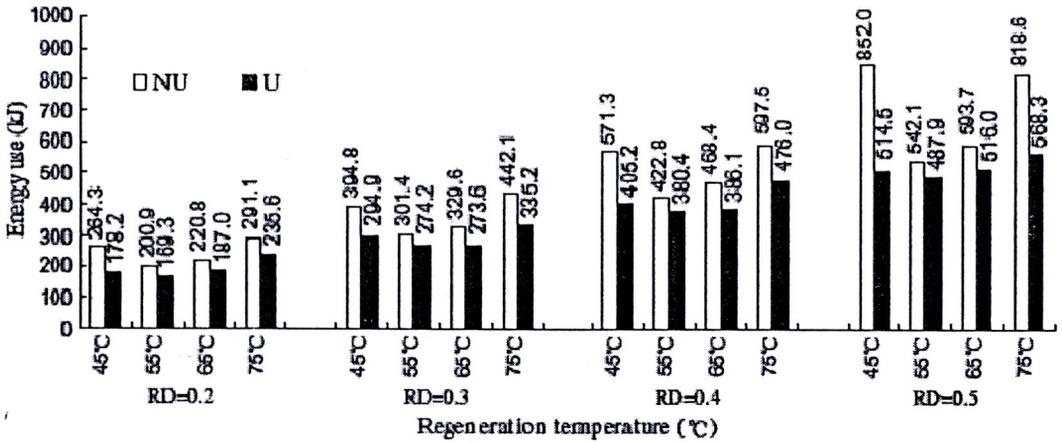
รูปที่ 1.7 กราฟแสดงผลของกำลังเครื่องอุลตราโซนิกและขนาดอนุภาคคาร์บอนต่างๆ ต่อ
 อัตราการคายสารของ phenol (Ruey-Shin Juang, 2006)

จากรูปที่ 1.6 และ 1.7 ที่แสดงผลของกำลังคลื่นอุลตราโซนิกต่ออัตราการคายสาร phenol พบว่าอัตราการคายสารเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังของคลื่น และเมื่อเติมสาร NaOH 0.1 mol/dm^3 เข้าไปในระบบ พบว่าอัตราการคายสารดูดซับเพิ่มมากขึ้นจาก 8% เป็น 70% โดยอนุภาคคาร์บอนที่เล็กกว่าจะได้รับผลกระทบจากคลื่นได้ดีกว่า และเมื่อเพิ่มกำลังเครื่องอุลตราโซนิกจนถึงกำลังที่ 111 W แต่ถ้าเกินกว่า 111 W อัตราการคายสารดูดซับจะลดลง เนื่องจากที่กำลัง 111 W เป็นกำลังที่มากพอสำหรับระบบทดสอบนี้

Ye Yao (2009) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยฟื้นฟูซิลิกาเจลโดยการคายสารดูดซับในระบบปรับอากาศ โดยในการทดลองใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่มีความถี่ 26 kHz ความเข้ม 40 W และที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้ 45°C , 55°C , 65°C และ 75°C ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้วัดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าเมื่อใช้คลื่นอุลตราโซนิกช่วยในการคายสารดูดซับในซิลิกาเจลทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศลดลง เท่ากับว่าสามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น



รูปที่ 1.8 แสดงชุดอุปกรณ์ทดลอง ที่ใช้ในงานวิจัยของ (Ye Yao, 2009)



รูปที่ 1.9 แสดงการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยใช้คลื่นอุตราโซนิกช่วยในการคายสาร
 คูดซ์ที่อุณหภูมิ 45 °C, 55 °C, 65 °C และ 75 °C ตามลำดับ (Ye Yao, 2009)

จากรูปที่ 1.9 จะเห็นว่าการใช้พลังงานจะลดลงเมื่อใช้คลื่นอุตราโซนิกช่วยในการคายสาร
 คูดซ์ แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ใช้คลื่นอุตราโซนิกที่
 อุณหภูมิ 45 °C และ 75 °C จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 55 °C และ 65 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 45 °C ใช้
 ระยะเวลาในการคายสารคูดซ์นานเกินไป ส่วนที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นจึงเกิด
 การสูญเสียพลังงานมากขึ้น

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าคลื่นอุตราโซนิกที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 20-50 kHz
 ความถี่ต่ำกว่า 20 kHz จะไม่ถือว่าเป็นคลื่นอุตราโซนิก และที่ความถี่สูงกว่า 50 kHz คลื่นจะเกิด
 การหักเห การใช้คลื่นอุตราโซนิกที่ความถี่ดังกล่าวทำให้อัตราการคายสารคูดซ์มากขึ้น อีกทั้งยัง
 ทำให้จุดสมดุลของอัตราการคายสารคูดซ์เกิดเร็วขึ้น ประกอบกับความเข้มและความถี่ของคลื่น
 รวมถึงอุณหภูมิทดสอบเพิ่มมากขึ้น ก็จะมีผลทำให้อัตราการคายสารคูดซ์เพิ่มมากขึ้นด้วย ในขณะที่
 ที่คลื่นอุตราโซนิกมีผลในทางตรงกันข้ามกับอัตราการคูดซ์สาร (ในระบบคูดซ์แบบของแข็ง)
 และได้พิสูจน์แล้วกับคู่สารทำงานอื่นที่ไม่ใช่ด้านกัมมันต์และเมทานอล งานวิจัยนี้จึงทดสอบ
 แนวคิดนี้กับคู่สารนี้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษากระบวนการดูดและคายสารดูดซับของเครื่องดูดซับ โดยใช้คลื่นอุลตราโซนิคเสริมในกระบวนการ
- 1.3.2 เพื่อศึกษาผลของพลังงานต่อค่าการนำความร้อนของตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์
- 1.3.3 เพื่อทดสอบวัฏจักรดูดซับของระบบดูดซับที่ใช้คู่สารทำงานจากถ่านกัมมันต์และเมทานอลเพื่อการทำความเย็น โดยใช้คลื่นอุลตราโซนิคเสริม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.4.1 เพิ่มสมรรถนะกระบวนการดูดและคายสารดูดซับเมทานอลกับตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์
- 1.4.2 สามารถเพิ่มค่าการนำความร้อนของตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์
- 1.4.3 เพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบดูดซับเพื่อการทำความเย็น

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.5.1 คู่สารดูดซับถ่านกัมมันต์-เมทานอล โดยสารดูดซับคือถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดรุ่น CGC-11A และสารถูกดูดซับคือเมทานอล
- 1.5.2 เครื่องดูดซับ (Adsorber) ออกแบบเป็นทรงกระบอกแบบมีท่อสารถ่ายโอนความร้อนภายใน
- 1.5.3 เครื่องทำระเหย (Evaporator) และเครื่องควบแน่น (Condenser) เป็นแบบทรงกระบอก สารถ่ายโอนความร้อนเป็น (Cooling/Heating water)
- 1.5.4 การขึ้นรูปแท่นสารดูดซับ (Adsorbent bed) เป็นแบบอัดแน่น (Consolidation)
- 1.5.5 หัวคลื่นอุลตราโซนิค สามารถกำเนิดคลื่นในช่วงความถี่ มากกว่า 20 kHz ติดตั้งที่เครื่องดูดซับ (Adsorber) และ/หรือ เครื่องทำระเหย (Evaporator)
- 1.5.6 ทดสอบระบบดูดซับเพื่อทำความเย็นแบบเบ็ดเตล็ด (Single effect adsorption system) จำนวน 1 ชุดทดสอบ โดยทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ
- 1.5.7 กำหนดตัวแปรต้นของการทดสอบ ได้แก่
 - a. ชนิดและอัตราส่วนผสมของพลังงาน (ทองแดงและอลูมิเนียม)
 - b. รูปแบบการจ่ายคลื่นอุลตราโซนิค แบ่งเป็น 6 กรณี (คูบทที่ 3) ได้แก่

- i. จำเฉพาะช่วงการดูดซับสาร จ่ายให้เครื่องดูดซับ และ/หรือ เครื่องทำระเหย
 - ii. จำเฉพาะช่วงการคายสารถูกดูดซับ โดยไม่จ่ายให้เครื่องควบแน่น
 - iii. จ่ายทั้งช่วยดูดซับสาร และ คายสารถูกดูดซับ โดยจ่ายให้เครื่องดูดซับ และ/หรือ เครื่องทำระเหย
- c. ลักษณะการจ่ายคลื่นอุลตราโซนิก จ่ายคลื่นอย่างต่อเนื่องตลอด 10 นาที

1.5.8 สภาวะของการทดลอง ในแต่ละวัฏจักรการดูดและคายสารดูดซับ ได้แก่

สภาวะการทำงาน	อุณหภูมิ
อุณหภูมิที่ผิวเครื่องดูดซับ	
- ช่วงการดูดซับ	20 °C
- ช่วงคายสารดูดซับ	80 °C
อุณหภูมิที่ผิวเครื่องทำระเหย	
- ช่วงการดูดซับ	30 °C
- ช่วงคายสารดูดซับ	20 °C

1.5.9 ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน คือ น้ำ

1.6 วิธีการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล รวมทั้งทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นอุลตราโซนิกและระบบดูดซับแบบของแข็งเพื่อทำความเข้าใจ
- 1.6.2 ศึกษาผลกระทบของคลื่นอุลตราโซนิกที่กระทำต่อวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็ง
- 1.6.3 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อกระบวนการดูดและคายสารดูดซับด้วยคลื่นอุลตราโซนิก เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย
- 1.6.4 ออกแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปตัวดูดซับที่เหมาะสม รวมถึงกระบวนการเติมผงโลหะในตัวดูดซับ
- 1.6.5 ขึ้นรูปตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์ และประกอบชุดอุลตราโซนิกกับเครื่องดูดซับ และ/หรือเครื่องทำระเหย

- 1.6.6 ทดสอบค่าการนำความร้อนของตัวดูดซับที่ผสมและไม่ผสมผงโลหะ
- 1.6.7 ทดสอบระบบการดูดและคายสารดูดซับ กรณีมีและไม่มีคลื่นอุลตราโซนิกช่วย (ในช่วงความถี่ 43-45 kHz) โดยจะเปลี่ยนตัวดูดซับทั้งแบบที่ผสมและไม่ผสมผงโลหะในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยกำหนดค่าคงที่ ได้แก่
 - a. ระดับค่าความถี่เหนือเสียงจากคลื่นอุลตราโซนิก (kHz) แก่ตัวดูดซับ
 - b. ชนิด อุณหภูมิเริ่มต้น และอัตราการไหลเข้าของตัวกลางถ่ายโอนความร้อน
 - c. ปริมาณและอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวดูดซับ
- 1.6.8 ทดสอบและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบดูดซับเพื่อการทำความเย็น
- 1.6.9 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล พร้อมทั้งสรุปผล
- 1.6.10 เขียนรายงานการวิจัยและเผยแพร่ข้อมูลวิจัยในรูปแบบบทความวิชาการในวารสารหรืองานสัมมนาวิชาการ