



ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ อัตราส่วนเถ้า ปูนขาวและยิปซัม อุณหภูมิในการดูดซึมก๊าซ ขนาดของสารดูดซึม และอัตราการไหลก๊าซ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสารดูดซึมให้มีความสามารถในการดูดซึมดีขึ้น จึงทำการกระตุ้นสารดูดซึมในขั้นตอนต่อมา ในการกระตุ้นมีการศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิในการป้อนไอน้ำ เวลาในการรับไอน้ำ ขนาดของสารดูดซึม และอัตราส่วนต่างๆ ของสารดูดซึม

สารดูดซึม

1. อัตราส่วนต่างๆ ของสารดูดซึม

ขั้นแรกทำการผลิตสารดูดซึม (absorbent) โดยมีการแปรค่าอัตราส่วนของเถ้า ปูนขาว และยิปซัม ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.1 พบว่าตัวอย่างที่ 1 สารดูดซึมเมื่อแห้งไม่สามารถจับเกาะกันเป็นรูปทรงดัง ที่ขึ้นรูปไว้ได้ ซึ่งเมื่อนำสารดูดซึมมาใช้งาน สารดูดซึมจะเปราะและแตกเป็นผงเถ้าตามเดิม เนื่องจากตัวอย่างที่ 1 มีเถ้าเป็นส่วนประกอบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปสารดูดซึมและทิ้งไว้นานมากกว่า 6 เดือน สารดูดซึมจะไม่สามารถยึดเกาะเป็นรูปทรงได้ เพราะไม่มีตัวประสานมาช่วยในการยึดเกาะจึงเกิดการแตก และพบว่าเมื่อสารดูดซึมมีส่วนประกอบของปูนขาว ซึ่งนอกจากจะทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้แก่สารดูดซึม ทำให้สารดูดซึมยึดเกาะกันดีและไม่แตกออกทั้งก่อนและขณะใช้ในการดูดซึม แต่ถ้าปริมาณปูนขาวมาก ดังเช่นตัวอย่างที่ 8 - 10 ที่มีปริมาณปูนขาว 7, 8, และ 9 ส่วนโดยน้ำหนัก ส่งผลให้สารดูดซึมยึดเกาะกันได้แต่ไม่แข็งแรง เนื่องจากปูนขาวจะมีโครงสร้างเป็นรูพรุนมากกว่าเถ้าลอย ดังนั้นเมื่อมีปริมาณมาก ความพรุนมาก การยึดเกาะกันของโครงสร้างจึงไม่ดี สอดคล้องกับผลการทดสอบความต้านทานการอัด (strength) จากตารางที่ 4.3 ถ้ามีปริมาณเถ้ามากในส่วนประกอบ สารดูดซึมจะแข็งแรงมากกว่าสารดูดซึมที่มีอัตราส่วนปูนขาวมาก

นอกจากนี้พบว่าสารดูดซึ่มที่มีส่วนประกอบของยิปซัม โครงสร้างของสารดูดซึ่มยอม แข็งแรงขึ้น เมื่อมีปริมาณมากความแข็งแรงก็มากด้วยดังแสดงได้จากผลการทดสอบความต้านทานการอัด ในตารางที่ 4.3 ถึงแม้ปริมาณยิปซัมมากส่งผลให้ความแข็งแรงมีค่ามาก แต่ความพรุนในการยึดเกาะกันของโครงสร้างของสารดูดซึ่มย่อมลดลง ดังผลการถ่ายภาพสารดูดซึ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในรูปที่ 4.24 ถึง 4.31 การยึดเกาะกันของโครงสร้างของสารดูดซึ่มที่มีปริมาณยิปซัมมากจะมีความพรุนน้อยกว่าสารดูดซึ่มที่มีปริมาณยิปซัมน้อย ซึ่งเป็นผลเสียใน ส่วนของการดูดซึ่ม เนื่องจากความพรุนเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้ค่าการดูดซึ่มเกิดได้ดี

2. ขนาดของสารดูดซึ่ม

ทำการขึ้นรูปสารดูดซึ่มเป็น 2 ขนาดคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 และ 0.57 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 1.5 - 2 เซนติเมตร พบว่าสารดูดซึ่มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าจะยึดเกาะกันด้วยความพรุนที่มากกว่าสารดูดซึ่มขนาดเล็ก ดูได้จากภาพถ่ายสารดูดซึ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในรูปที่ 4.24 และ 4.25 กับ 4.32 และ 4.33

3. การกระตุ้นสารดูดซึ่ม

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ในการกระตุ้นที่มีผลต่อการดูดซึ่ม ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้แก่ ขนาดสารดูดซึ่ม อุณหภูมิในการให้อินน้ำ เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น

3.1 อุณหภูมิในการให้อินน้ำ

งานวิจัยนี้ทำการต่อท่ออินน้ำจากหม้อกำเนิดอินน้ำ (boiler) จากโรงงานของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งให้พลังงานด้วยน้ำมันเตา โดยควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วและมาตรวัดความดัน มาตรวัดความดัน มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ในขั้นแรกใช้สารดูดซึ่มที่มีแก้วและปูนขาวเป็นองค์ประกอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร เป็นสารถูกกระตุ้น ทำการทดลองที่อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส เวลาในการรับอินน้ำ 3 นาที หลังการกระตุ้นผ่านอากาศที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นานประมาณ 12 ชั่วโมง พบว่าในช่วงอุณหภูมินี้มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องเนื่องจากอินน้ำที่ใช้ไม่เป็นอินน้ำทั้งหมด ดังนั้นสารดูดซึ่มเกิดการแตกและยุบตัวลง โครงสร้างของสารดูดซึ่มจึงเปลี่ยนแปลงไปจากที่ทำการขึ้นรูปในตอนต้น

ที่อุณหภูมิเริ่มให้อินน้ำ 200 องศาเซลเซียสที่สภาวะอื่นๆ ดังเดิม พบว่าที่อุณหภูมินี้ไม่มีผลต่อโครงสร้างของสารดูดซึ่ม ดังนั้นเมื่อผ่านอินน้ำจึงไม่เกิดการแตกและยุบตัวดังเช่นการทดลองที่ผ่านมา

ที่อุณหภูมิเริ่มให้อินน้ำ 300 และ 400 องศาเซลเซียสที่สภาวะอื่นๆ ดังเดิม พบว่าที่อุณหภูมิการให้อินน้ำทั้งสองนี้ความแรงของอินน้ำในการเข้าสัมผัสกับ

สารดูดซึ่มแรงมาก ทำให้สารดูดซึ่มที่ใช้ในสภาวะที่ไม่มียิปซัมเกิดการแตกและยุบตัว โครงสร้างของสารดูดซึ่มเปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้นที่ขึ้นรูปไว้

จากนั้นนำสารดูดซึ่มที่มีส่วนประกอบของยิปซัมไปทดสอบความสามารถในการรับไอน้ำ เนื่องจากสารดูดซึ่มที่มียิปซัมเป็นองค์ประกอบจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า โดยใช้สารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร กระตุ้นด้วยไอน้ำ ใช้เวลาในการรับไอน้ำ 3 นาที อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส พบว่าสารดูดซึ่มสามารถรักษารูปร่างได้เหมือนเมื่อขึ้นรูปในตอนเริ่มต้น จากนั้นนำสารดูดซึ่มไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อดูการเกาะกันของโครงสร้าง พบว่าสารดูดซึ่มที่มียิปซัมเป็นองค์ประกอบ และถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำความพรุนจะเพิ่มขึ้นมากกว่าสารดูดซึ่มที่ไม่ได้รับการ กระตุ้นด้วยไอน้ำดังรูปที่ 4.28 และ 4.29 กับ 4.34 และ 4.35

3.2 เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

เวลาที่ใช้ในการทดลองได้แก่ 3, 4, 5, 6, 9, และ 12 นาที สารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้สารดูดซึ่มที่มีส่วนประกอบของแก้วและปูนขาวเป็นองค์ประกอบ พบว่าที่เวลารับไอน้ำ 3, 4, 5, และ 6 นาที โครงสร้างภายนอกของสารดูดซึ่มคงสภาพเหมือนตอนเริ่มต้น แต่เมื่อเปลี่ยนเวลารับไอน้ำเป็น 9 และ 12 นาที พบว่าสารดูดซึ่มแตกและยุบตัวดังการทดลองที่ใช้อุณหภูมิการให้ไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการอุ่น (preheat) ปฏิกรณ์ก่อนเปิดให้ไอน้ำผ่านปฏิกรณ์เมื่อผ่านไอน้ำเป็นเวลานานขึ้นทำให้อุณหภูมิที่สะสมไว้ลดลง อุณหภูมิที่ตั้งไว้ไม่ได้ค่าตามที่กำหนดในตอนต้น มีผลให้น้ำเข้ามามีส่วนมาเกี่ยวข้อง ส่งผลให้สารดูดซึ่มที่ไม่มีส่วนประกอบของยิปซัมเกิดการแตกและยุบตัว

3.3 ขนาดของสารดูดซึ่ม

กระตุ้นสารดูดซึ่มที่มีส่วนประกอบของแก้วและปูนขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการรับไอน้ำ 3 นาที พบว่าหลังการกระตุ้นสารดูดซึ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายนอก แต่เมื่อนำสารดูดซึ่มไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อศึกษาความพรุนภายในโครงสร้าง ปรากฏว่าสารดูดซึ่มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร เมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำความพรุนเพิ่มขึ้นดังผลการทดลองในรูปที่ 4.32 ถึง 4.35

ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1. อิทธิพลขององค์ประกอบของสารดูดซึ่มที่มีอัตราส่วนของเถ้าและปูนขาวต่างๆ กัน

ผลของความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซึ่มแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อใช้สารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 2 ที่มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ($\text{CaO}_{\text{total}}$) 17.66% ความสามารถในการดูดซึ่มลดลงอย่างรวดเร็วจาก 80% ในตอนเริ่มต้นจนเข้าใกล้ 0% ในเวลา 75 นาที ต่อมาใช้สารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 3 ที่มีปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ 20.42% การดูดซึ่มมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับการทดลองในสารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 2 แต่ความสามารถในการดูดซึ่มสูงกว่า ซึ่งคล้ายกับการดูดซึ่มในสารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 4 ที่มีปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ 23.18% เมื่อสารดูดซึ่มมีปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ รวมมากกว่า 26% พบว่าช่วงแรกสารดูดซึ่มสามารถดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ค่อนข้างคงที่จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว มีแนวโน้มคล้ายการดูดซึ่มของสารดูดซึ่มในตัวอย่างที่ 2, 3, และ 4 แต่ค่าการดูดซึ่มมากกว่าในเวลาเดียวกัน การดูดซึ่มของสารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 5 ที่มีปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ 26% พบว่าในเวลา 120 นาทีแรกสามารถดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้มากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเป็น 90% จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วจาก 90% จนเข้าใกล้ 0% เมื่อเวลาผ่านไปจาก 120 - 240 นาที กรณีผลการดูดซึ่มของสารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 6, 7, และ 8 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับสารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 5 แต่ค่าการดูดซึ่มมากกว่าในเวลาเดียวกัน ผลทั้งหมดนี้อธิบายได้ว่า ตัวอย่างที่ 2, 3, และ 4 มีอัตราส่วนของเถ้าลอยในปริมาณที่สูง ดังนั้นทำให้มีปริมาณ Fe_2O_3 สูง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ปฏิกิริยาการดูดซึ่มเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากตัวอย่างที่ 2, 3, และ 4 มี $\text{CaO}_{\text{total}}$ อยู่ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้การดูดซึ่มลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากตัวอย่างที่ 6, 7, และ 8 ที่มีอัตราส่วนของเถ้าลอยลดลง ทำให้ปริมาณ Fe_2O_3 ต่ำลง แม้ว่าจะมีอัตราส่วน $\text{CaO}_{\text{total}}$ มากขึ้น แต่ปฏิกิริยาการดูดซึ่มจะช้าลงเนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยานี้ต่ำ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยายังคงดำเนินไปโดยการดูดซึ่มจะลดลงอย่างช้าๆ ถ้าพิจารณาแนวโน้มการลดลงของกราฟการดูดซึ่ม สรุปได้ว่าปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ ที่ลดลงมีผลต่อการดูดซึ่มที่ลดลงมากกว่าปริมาณ Fe_2O_3 ในเถ้าลอยที่ลดลง ในกรณีรูปที่ 4.5 เป็นผลการทดลองที่แสดงในส่วนกลับของรูปที่ 4.4 เมื่อสารดูดซึ่มมีปริมาณ CaO น้อยๆ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซึ่มในปฏิกรณ์ไม่สามารถดูดซึ่มให้ได้จะออกมาอย่างรวดเร็ว สารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 2 - 4 ที่มีปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ 17.66 - 23.18% ในเวลาน้อยกว่า 120 นาที สามารถปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 100 พีพีเอ็มในตอนเริ่มต้นเป็น 4500 พีพีเอ็มในท้ายสุด กรณีสารดูดซึ่มที่มีปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ มากกว่า 26% ในเวลาช่วงต้นๆ สามารถปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ค่อนข้างคงที่โดยน้อยกว่า 50 พีพีเอ็ม และจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ในที่สุดสารดูดซึ่มไม่สามารถดูด

ซิมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้อีกและปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาเท่ากับปริมาณที่เข้า จากผลการทดลองได้เลือกสารดูดซิมตัวอย่างที่ 5 เพื่อใช้เป็นสารอ้างอิงในการทดลองต่อไป

2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซิม

เพื่อให้อุณหภูมิในการทดลองอ้างอิงได้กับสภาวะจริงของฟลูเกียซ (Flue gas) ที่ปล่อยออกมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จึงเลือกอุณหภูมิในช่วง 150 - 300 องศาเซลเซียส ตามรายงานการวิเคราะห์สภาวะฟลูเกียซที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจ. ลำปาง ,1988 ดังตารางในภาคผนวก ค. ผลของความสามารถในการดูดซิมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซิมแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยนำสารดูดซิมตัวอย่างที่ 5 ที่มีถ้ำและปูนขาวในอัตราส่วน 6 ต่อ 4 โดยน้ำหนัก หรือมี ปริมาณ $\text{CaO}_{\text{total}}$ 26% สารดูดซิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร จากการทดลอง ในขั้นตอนแรกทำการดูดซิมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ต่อมาจึง เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าความสามารถในการดูดซิมก๊าซซัลเฟอร์ได ออกไซด์มากกว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลาเดียวกัน โดยการดูดซิมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที ความสามารถในการดูดซิมลดลงจากมากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นเป็น 93% ในขณะที่อุณหภูมิการดูดซิม 200 องศาเซลเซียส การดูดซิมลดลง จากมากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นเป็น 98% และเมื่อเวลาผ่านไปที่อุณหภูมิ 200 องศา เซลเซียส ความสามารถในการดูดซิมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่าการดูดซิมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลาเดียวกัน แต่มีแนวโน้มการดูดซิมลดลงเหมือนกัน

จากนั้นเปลี่ยนอุณหภูมิการดูดซิมเป็น 250 องศาเซลเซียส พบว่า ความสามารถในการดูดซิมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีแนวโน้มเดียวกันกับการดูดซิมที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณการดูดซิมน้อยกว่าเล็กน้อยที่เวลาเดียวกัน ต่อมาจึงเพิ่ม อุณหภูมิการดูดซิมเป็น 300 องศาเซลเซียส พบว่าใน 1 ชั่วโมงแรก ความสามารถในการดูด ซิมลดลงจาก 93% ในตอนเริ่มต้นเป็น 60% จากนั้นอีก 1 ชั่วโมงต่อมาการดูดซิมจึงค่อนข้าง คงที่ โดยลดจาก 60% เป็น 55% ในที่สุด เหตุที่เมื่ออุณหภูมิสูงค่าการดูดซิมลดลงเนื่องจากเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราเร็วของก๊าซที่ผ่านในเบดเร็วขึ้น ทำให้เวลาในการสัมผัสกัน (residence time) ระหว่างก๊าซ SO_2 กับสารดูดซิมมีค่าลดลงแต่ที่อุณหภูมิ 150 °C มีค่าการดูดซิมน้อยเป็น เพราะอิทธิพลจากผลของอุณหภูมิที่มากกว่า ถึงแม้จะมีเวลาสัมผัสที่มาก

ในกรณีรูปที่ 4.7 เป็นกราฟในส่วนกลับของการทดลองในรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซิมและปล่อยออกมาที่อุณหภูมิ 150 และ 300 องศาเซลเซียส มากกว่าการดูดซิมที่อุณหภูมิ 200 และ 250 มาก ซึ่งจากผลการทดลองดัง

กล่าว จึงเลือกอุณหภูมิเพื่อไปใช้ในการทดลองในขั้นต่อไปที่ 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากใกล้เคียงกับอุณหภูมิของฟลูก้าซมากกว่าและให้ผลการดูดซึมในแนวโน้มที่สูงกว่า

3. อิทธิพลของอัตราการไหลก๊าซผสมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอากาศ

การทดลองได้แปรเปลี่ยนอัตราการไหลก๊าซผสมเป็น 1.5 ลิตรต่อนาที จากนั้นเปลี่ยนเป็น 3.1 และ 4.1 ลิตรต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหลที่ต่ำกว่าความสามารถของสารดูดซึมในการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดีกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.8 และแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผ่านสารดูดซึมจะมีเวลาในการสัมผัสกันมากกว่า และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลให้มากขึ้นอัตราการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะลดลง เนื่องจากเวลาที่ก๊าซสัมผัสกับสารดูดซึมน้อยลง

4. อิทธิพลของปริมาณยิปซัมที่เป็นส่วนประกอบของสารดูดซึม

จากการทดลองที่ผ่านมาใช้สารดูดซึมตัวอย่างที่ 5 ที่มีปริมาณแฉ่ำปูนขาวและยิปซัม เท่ากับ 6 ต่อ 4 ต่อ 0 ตามลำดับ เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ได้นำสารดูดซึมตัวอย่างที่ 15, 25, และ 35 จากตารางที่ 3.1. มาใช้ในการทดลองต่อไปเนื่องจากสารดูดซึมทั้งสามมีปริมาณแฉ่ำและปูนขาวในอัตราส่วนที่เท่ากันโดยน้ำหนัก แต่แตกต่างกันที่ปริมาณยิปซัม ทำการทดลองโดยใช้ คืออุณหภูมิดูดซึมที่ 200 องศาเซลเซียส ผลความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซึ่มด้วยสารดูดซึมในปฏิกรณ์ แสดงได้ดังรูป 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ จากผลการทดลองรูปที่ 4.10 พบว่าสารดูดซึมที่มีปริมาณยิปซัม 1 ส่วนโดยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ 15 ผลการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำกว่าการดูดซึ่มของสารดูดซึมที่ไม่มีส่วนประกอบของยิปซัม แสดงจากผลการดูดซึ่มของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 5 ที่เริ่มต้นสามารถดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้มากกว่า 99% ในขณะที่สารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 สามารถดูดซึ่มไว้ได้ 92% และแนวโน้มการดูดซึ่มต่อไปดำเนินไปทางเดียวกันแต่น้อยกว่าที่เวลาเดียวกัน ที่เวลาผ่านไปถึง 140 นาที สารดูดซึมตัวอย่างที่ 5 สามารถดูดซึ่มก๊าซได้ 90% ขณะที่สารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 ดูดซึ่มได้ 83% สำหรับสารดูดซึมตัวอย่างที่ 25 และ 35 ที่มีปริมาณยิปซัม 2 และ 3 ส่วนโดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่าสารดูดซึมตัวอย่างที่ 25 และ 35 มีแนวโน้มการดูดซึ่มที่ใกล้เคียงกัน และความสามารถในการดูดซึ่มจะต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้างต้น โดยค่าการดูดซึ่มในหนึ่งชั่วโมงแรก สามารถดูดซึ่มก๊าซได้ 90% ในตอนต้นและลดลงเหลือ 63% จากนั้นหนึ่งชั่วโมงต่อมาความสามารถในการดูดซึ่มมีแนวโน้มคล้ายการดูดซึ่มของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 คือค่อนข้างคงที่แต่น้อยกว่าที่เวลาเดียวกัน กรณิรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนกลับของกราฟรูปที่ 4.10 พบว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยจะมีมากในกรณีของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 25 และ 35 คือภายในเวลา 2 ชั่วโมง ก๊าซซัลเฟอร์ได

ออกไซด์ถูกปล่อยออกมาได้มากกว่า 2000 พีพีเอ็ม เป็นผลเนื่องจากอิทธิพลของการเติมยิปซัมในสารดูดซึ่มซึ่งยิปซัมจะจับเกาะทำให้สารดูดซึ่มมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น ดูได้จากผลการทดสอบความต้านทานการอัดในตารางที่ 4.3 นอกจากความแข็งแรงที่มากขึ้นเมื่อสารดูดซึ่มมีปริมาณยิปซัมมากขึ้นแล้ว ส่งผลให้ความพรุนภายในโครงสร้างลดลง ดังผลการถ่ายภาพสารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 5, 15, 25, และ 35 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนดังรูปที่ 4.24 ถึง 4.31 และเนื่องจากความพรุนที่ลดลงและสาเหตุสุดท้ายปริมาณของ CaO จะเจือจางลงเมื่อมีการเติมยิปซัมเป็นผลให้ความสามารถในการดูดซึ่มลดลงเมื่อสารดูดซึ่มมีปริมาณยิปซัมมากขึ้น

5. อิทธิพลของขนาดสารดูดซึ่ม

จากผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของสารดูดซึ่ม จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เป็น 0.57 เซนติเมตร พบว่าความสามารถในการดูดซึ่มมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับการดูดซึ่มด้วยสารดูดซึ่มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร โดยสารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร สามารถดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายใน 2 ชั่วโมงได้มากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเหลือ 91% ในขณะที่สารดูดซึ่มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร สามารถดูดซึ่มก๊าซได้ 90% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเป็น 50% เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกปล่อย 2000 พีพีเอ็ม เนื่องจากความพรุนภายในของสารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร น้อยกว่าความพรุนของสารดูดซึ่มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร ดูได้จากผลการถ่ายภาพสารดูดซึ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในรูปที่ 4.24 และ 4.25 เทียบกับรูปที่ 4.32 และ 4.33 ผลจากการวิเคราะห์ค่าความพรุน(micropore volume) ด้วยวิธี B.E.T พบว่าสารดูดซึ่มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ซม. มีความพรุน 0.000120 cc/g และสารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 ซม. มีความพรุน 0.000326 cc/g ผลจากการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวด้วยวิธี B.E.T พบว่าสารดูดซึ่มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ซม. มีพื้นที่ผิว (micropore area) เท่ากับ 0.4256 m²/gm และสารดูดซึ่ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 ซม. มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.8217 m²/gm

6. อิทธิพลของสารดูดซึ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ

6.1 อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ

เนื่องจากต้องการที่จะทดลองให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เริ่มให้ไอน้ำ จึงให้ไอน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกันค่อนข้างมากช่วงประมาณ 100 องศาเซลเซียส ใช้สารดูดซึ่มตัวอย่างที่ 5 ที่มีปริมาณ CaO รวม 26% และไม่มียิปซัมเป็นส่วนประกอบ ใช้เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 3 นาที ผลการทดลองแสดงได้ดังรูป 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ที่อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส สารดูดซึมห
 หลังการรับไอน้ำจะแตกและยุบลง เป็นผลมาจากไอน้ำที่ให้ที่อุณหภูมินี้ไม่เป็นไอน้ำทั้งหมด ดั
 นั้นจึงมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความสามารถในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงเมื่อ
 เทียบกับสารดูดซึมที่ไม่ได้รับการกระตุ้น การดูดซึมของสารดูดซึมที่ไม่ได้รับการกระตุ้นดูดซึมก๊าซ
 ได้มากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเหลือ 93% ในเวลา 2 ชั่วโมง ขณะที่สารดูดซึมที่ได้
 รับการกระตุ้นดูดซึมได้ 99% ในตอนเริ่มต้นแต่ลดลงเหลือ 44% ในเวลา 2 ชั่วโมงเช่นกัน
 เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและรูปร่างภายนอกของสารดูดซึมทำให้ก๊าซซัลเฟอร์
 ไดออกไซด์ไม่สามารถผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับ CaO ที่อยู่ในๆ ได้ และนอกจากผลเสียต่อการดูด
 ซึมแล้วการที่สารดูดซึมแตกงายก็ยังเป็นผลเสียต่อการปฏิบัติงานจริงทั้งการขนส่งและความ
 สะดวกในการนำไปใช้งาน

ที่อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส ไม่พบว่ามี
 การแตกหรือยุบตัวของสารดูดซึม และพบว่าความสามารถในการดูดซึมมีค่าใกล้เคียงกับการดูด
 ซึมของสารดูดซึมที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ที่อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 300 องศาเซลเซียส พบว่า
 ความแรงของไอน้ำทำให้สารดูดซึมแตกและยุบตัวเหมือนกับการกระตุ้นสารดูดซึมที่อุณหภูมิ 100
 องศาเซลเซียส แต่แตกต่างกันที่อุณหภูมินี้ไม่มีผลของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากไอน้ำที่ให้
 กลายเป็นไอน้ำทั้งหมด ดังนั้นการยุบตัวของสารดูดซึมจึงเกิดขึ้นไม่มากเท่ากับการกระตุ้นที่
 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซึมต่ำ
 กว่ากรณีที่สารดูดซึมไม่ได้รับไอน้ำหรือรับไอน้ำที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แต่ค่าการดูดซึม
 จะมากกว่าในกรณีที่กระตุ้นสารดูดซึมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ที่อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 400 องศาเซลเซียส ผลการดูด
 ซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีแนวโน้มเหมือนการดูดซึมของสารดูดซึมที่กระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ
 300 องศาเซลเซียส คือพบการแตกและยุบตัวมากในส่วนของสารดูดซึม แต่ค่าการดูดซึมจะต่ำ
 กว่าที่เวลาเดียวกัน ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกอุณหภูมิการให้ไอน้ำที่ 200 องศา
 เซลเซียส ซึ่งไม่มีผลต่อรูปร่างของสารดูดซึม

6.2 เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17
 เวลาที่ใช้ในการทดลองได้แก่ 3, 4, 5, 6, 9, และ 12 นาที สารดูดซึมเส้นผ่านศูนย์กลาง
 0.95 เซนติเมตร อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำที่ 200 องศาเซลเซียส พบว่าการดูดซึมที่ไม่ได้รับการ
 กระตุ้นด้วยไอน้ำและการดูดซึมที่สารดูดซึมถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เวลารับไอน้ำ 3, 4, 5, และ 6

นาที่ ความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มการดูดซึมน้ำเหมือนกัน กรณีการกระตุ้นสารดูดซึมน้ำด้วยเวลาจับไอน้ำ 9 และ 12 นาที ความสามารถในการดูดซึมน้ำต่ำกว่ากลุ่มแรก ในเวลา 60 นาที ดูดซึมน้ำได้มากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเหลือ 98% ขณะที่การดูดซึมน้ำของสารดูดซึมน้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยเวลาจับไอน้ำ 9 และ 12 นาที ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลงจาก 92% เป็น 79% และมีแนวโน้มของการดูดซึมน้ำลดลงมากกว่า เมื่อสารดูดซึมน้ำไม่ได้รับการกระตุ้นหรือกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เวลาน้อยๆ สาเหตุเพราะอุณหภูมิของไอน้ำก่อนเข้าปฏิกรณ์มีไม่สูงพอจึงต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ ซึ่งจากการทดลองในตอนต้นได้ทำการอุ่น (preheat) ปฏิกรณ์ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ แต่กรณีนี้เนื่องจากเวลาในการกระตุ้นมีค่ามาก ทำให้อุณหภูมิของปฏิกรณ์ลดลงเมื่อไอน้ำถูกกระตุ้นเป็นเวลานานๆ มีผลให้สารดูดซึมน้ำแตกและยุบตัวโครงสร้างจึงเปลี่ยนไป ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ ดังนั้นเวลาการกระตุ้นด้วยไอน้ำ กรณีสารดูดซึมน้ำมีองค์ประกอบ CaO และ ปูนขาว ไม่มีผลมากนัก แต่ถ้าเวลาการกระตุ้นนานจะมีผลโดยตรงต่อรูปร่างสารดูดซึมน้ำ กรณีผลการทดลองในรูปที่ 4.17 พบว่ามีความแตกต่างมากระหว่างการดูดซึมน้ำในกลุ่มแรกๆของสารดูดซึมน้ำที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและสารดูดซึมน้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยเวลาจับไอน้ำ 3, 4, 5, และ 6 นาที กับการดูดซึมน้ำของสารดูดซึมน้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยเวลาจับไอน้ำ 9 และ 12 นาที คือในช่วงเวลา 200 - 250 นาที สารดูดซึมน้ำในกลุ่มแรกจะปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซึมน้ำด้วยสารดูดซึมน้ำในปฏิกรณ์มีค่า 1200 - 1300 พีพีเอ็ม ขณะที่สารดูดซึมน้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยเวลาจับไอน้ำ 9 และ 12 นาที สามารถปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 1800 - 1900 พีพีเอ็ม

6.3 ขนาดสารดูดซึมน้ำ

ผลของการดูดซึมน้ำก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซึมน้ำที่ถูกกระตุ้นด้วยเวลาจับไอน้ำ 3 นาที แสดงดังรูป 4.18 และ 4.19 สารดูดซึมน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร เปรียบเทียบผลการทดลองกับการดูดซึมน้ำด้วยสารดูดซึมน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร ทั้งถูกกระตุ้นและไม่ถูกกระตุ้น พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นโดยมีค่าใกล้เคียงกับผลการดูดซึมน้ำของสารดูดซึมน้ำที่นำมาเปรียบเทียบ สามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่า 99% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเหลือ 89% ภายในเวลา 120 นาที ขณะที่สารดูดซึมน้ำที่ไม่ได้รับการกระตุ้นดูดซึมน้ำได้ 90% ในตอนเริ่มต้นจากนั้นลดลงเหลือ 50% ภายในเวลา 120 นาที เนื่องจากการกระตุ้นสารดูดซึมน้ำที่มีความพรุนน้อยของสารดูดซึมน้ำเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ซม. ส่งผลให้การกระตุ้นด้วยไอน้ำมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลของไอน้ำทำให้โครงสร้างของสารดูดซึมน้ำเปลี่ยนแปลงเกิดความพรุนมากขึ้นสามารถดูดซึมน้ำก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้มากขึ้น ผลการถ่ายภาพสารดูดซึมน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร เพื่อพิจารณาความพรุนทั้งก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 ถึง 4.35 แต่อย่างไรก็ตาม

ตามความสามารถของการดูดซึมของสารดูดซึมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยน้ำยังมีค่าต่ำกว่าการดูดซึมของสารดูดซึมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร เมื่อเทียบในเวลาที่เท่ากัน ซึ่งจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าโครงสร้างของสารดูดซึมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร มีความพรุนมากกว่าความพรุนของสารดูดซึมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 เซนติเมตร

6.4 สารดูดซึมที่มีลิปซิมเป็นองค์ประกอบ

จากผลการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นของสารดูดซึมที่ได้รับการกระตุ้นตามหัวข้อ 6.3 ต่อมาจึงนำสารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 ที่มีปริมาณเถ้าปูนขาวและลิปซิม ในอัตราส่วน 6 ต่อ 4 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาโดยมีอุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการรับไอน้ำ 3 นาที พบว่าค่าการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกับการดูดซึมของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 ที่ไม่ได้รับการกระตุ้น แสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นผลเนื่องมาจากความพรุนของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 มีค่าใกล้เคียงกับความพรุนของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 5 เนื่องจากองค์ประกอบใกล้เคียงกันและจากภาพถ่ายสารดูดซึมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในรูปที่ 4.24 ถึง 4.27 ไม่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

6.4.1 อิทธิพลของไอน้ำเมื่อสารดูดซึมมีปริมาณลิปซิมเพิ่มขึ้น

จากผลการดูดซึมในรูปที่ 4.22 และ 4.23 ของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 25 ที่มีปริมาณเถ้าปูนขาวและลิปซิมในอัตราส่วน 6 ต่อ 4 ต่อ 2 โดยน้ำหนัก ที่มีอุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส เวลาในการรับไอน้ำ 3 นาที พบว่าค่าการดูดซึมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการดูดซึมด้วยสารดูดซึมที่ไม่ได้รับการกระตุ้น โดยผลการดูดซึมของสารดูดซึมที่ได้รับการกระตุ้นใน 2 ชั่วโมงแรก สามารถดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 90% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเหลือ 85% ขณะที่การดูดซึมของสารดูดซึมที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยไอน้ำดูดซึมได้ 90% ในตอนเริ่มต้นและลดลงเหลือ 63% เมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งชั่วโมง และลดลงเหลือ 57% เมื่อถึงชั่วโมงที่ 2 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากไอน้ำที่ทำการกระตุ้นส่งผลให้โครงสร้างของสารดูดซึมมีความพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ผลการถ่ายภาพสารดูดซึมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 25 ทั้งสารดูดซึมที่ได้รับการกระตุ้นและไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 เทียบกับรูปที่ 4.36 และ 4.37 ซึ่งเห็นว่าขนาดของรูพรุนเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการดูดซึมของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 25 ที่ได้รับการกระตุ้นมีแนวโน้มเท่ากับการดูดซึมของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 15 ที่มีปริมาณลิปซิม 1 ส่วน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณการดูดซึมของสารดูดซึมตัวอย่างที่ 5 ที่ไม่มีลิปซิม