บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

การทดลองดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดของเถ้าลอยอัดเม็ด มีอุปกรณ์หลายอย่างประกอบกันได้แก่

ก. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด

ข. เครื่องวัดและควบคุมอัตราการป้อนแก๊สเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ประกอบด้วย เรกูเลเตอร์ (regulator) และโรตามิเตอร์ (rotameter)

ค. มานอมิเตอร์ (manometer)

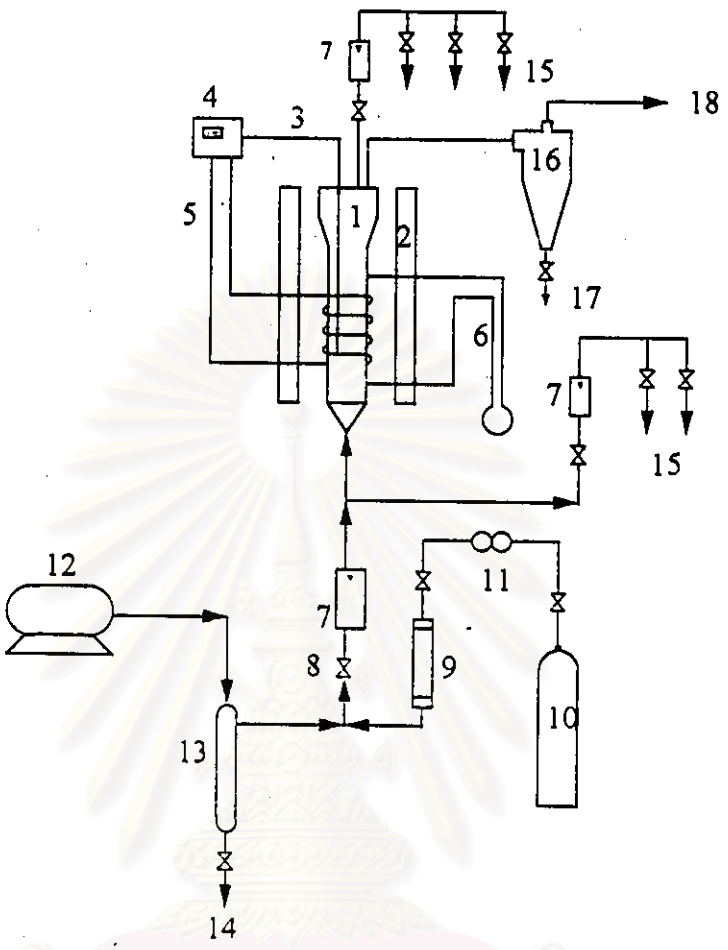
ง. อุปกรณ์ชักตัวอย่างแก๊ส (impinger)

ซึ่งทำงานร่วมกันดังรูปที่ 3.1

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized bed)

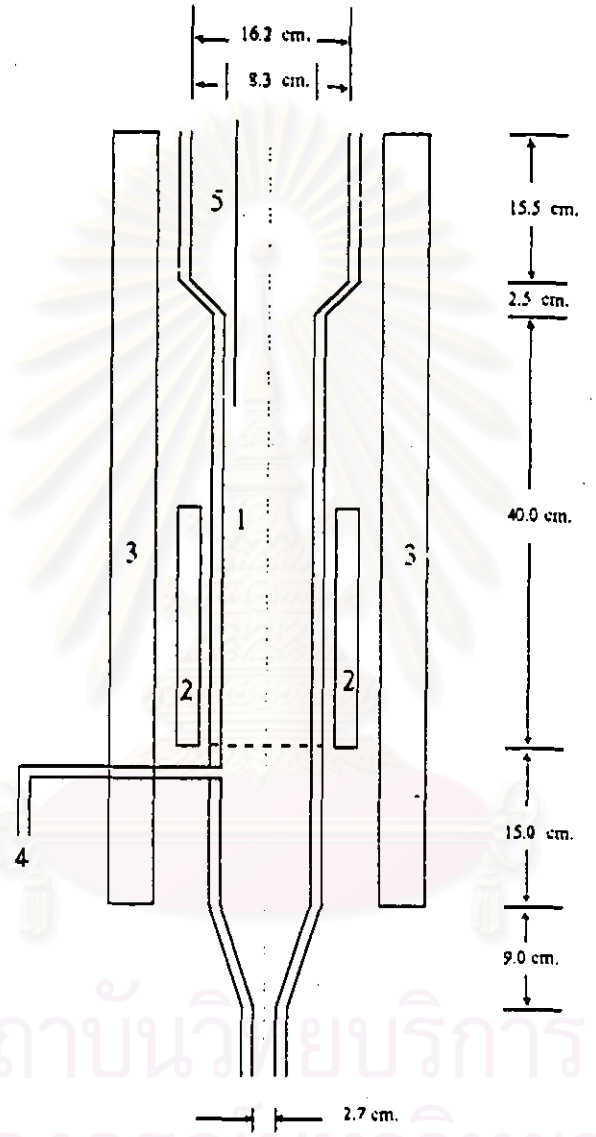
เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ป้อนสารดูดซึมทางด้านบนลงสู่ตะแกรงด้านล่าง จากตะแกรงด้านล่างสูงขึ้นไป 30 เซนติเมตร มีเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.2

อุปกรณ์ให้ความร้อน ประกอบด้วยขดลวดให้ความร้อนหุ้มด้วยกระเบื้องทนความร้อน ภายนอกหุ้มด้วยใยเซรามิกทนความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียทางความร้อน ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมแบบอัตโนมัติแบบหน้าปัดตัวเลข ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าที่มีสวิตช์แม่เหล็ก (magnetic contactor) ควบคุมการป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดความร้อนโดยมีเทอร์โมคัปเปิล ชนิดโครเมล อลูเมล หรือเทอร์โมคัปเปิลแบบเค (type K chromel vs alumel thermocouple) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0-1200 องศาเซลเซียส โดยสอดผ่านเข้าทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์



1. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด
2. ฉนวนกันความร้อนหุ้มเครื่องปฏิกรณ์
3. เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์
4. เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบหน้าปัดตัวเลข
5. ขดลวดให้ความร้อน
6. มานอมิเตอร์สำหรับวัดความดันลดในเบด
7. โรตามิเตอร์
8. วาล์วปรับ
9. เบดบรรจุ
10. ถังบรรจุแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์
11. เรกูเลเตอร์ควบคุมอัตราการป้อนแก๊ส
12. เครื่องอัดอากาศ
13. เครื่องแยกน้ำออกจากอากาศอัด
14. ท่อทางออกของน้ำที่แยกออก
15. ที่เก็บตัวอย่างแก๊สไปวิเคราะห์
16. ไซโคลน
17. ท่อทางออกของฝุ่นที่ดักจากไซโคลน
18. สู่แหล่งกำจัด

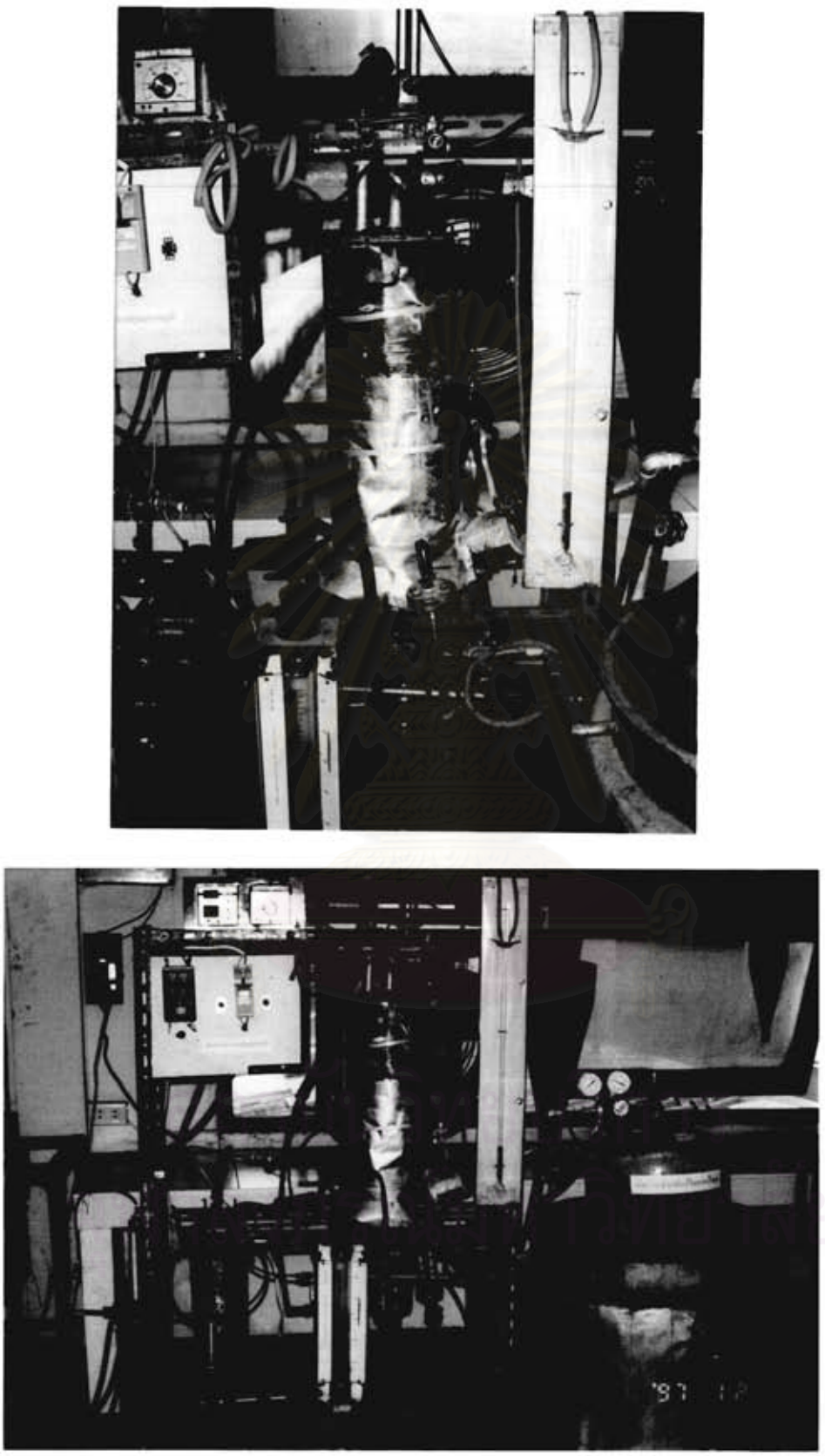
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเถ้าลอยอัดเม็ดในฟลูอิไดซ์เบด



1. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด
2. ขดลวดให้ความร้อน
3. ฉนวนกันความร้อน
4. ท่อวัดความดันลดในเบด
5. เทอร์โมคัปเปิล

รูปที่ 3.2 สัดส่วนเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 เครื่องดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2. เครื่องวัดและควบคุมอัตราการป้อนแก๊สเข้าเครื่องปฏิกรณ์

แก๊สที่ใช้ในการทดลองได้แก่ อากาศและแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์บรรจุอยู่ในถังเก็บแก๊สรูปทรงกระบอก ที่ทางออกของถังเก็บแก๊สจะติดตั้งเรกูเลเตอร์ (regulator) ไว้เพื่อปรับความดันของแก๊สที่ออกจากถัง แก๊สที่ผ่านเรกูเลเตอร์จะไหลผ่านท่อที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด $^1/_2$ นิ้ว เข้าผสมกับอากาศเพื่อลดความเข้มข้นให้ได้ตามที่ต้องการ จากนั้นเข้าโรตามิเตอร์ (rotameter) ซึ่งสามารถปรับและวัดปริมาณแก๊สที่ผ่านโรตามิเตอร์ก่อนที่จะเข้าเครื่องปฏิกรณ์ได้ ลักษณะและรูปร่างถังเก็บแก๊สและโรตามิเตอร์แสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5

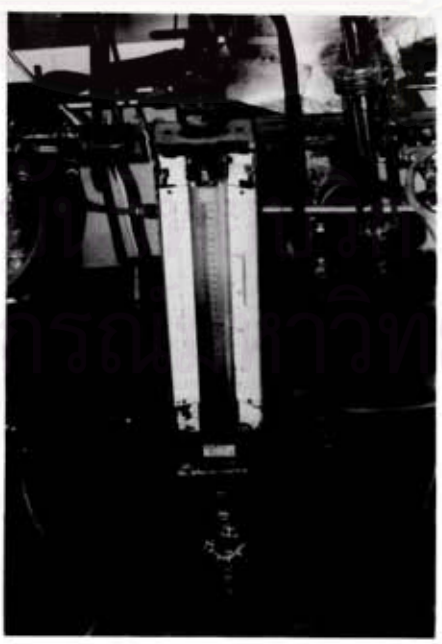
3. มานอมิเตอร์ (manometer)

มานอมิเตอร์ใช้สำหรับวัดความดันลดภายในเครื่องปฏิกรณ์ หน่วยที่วัดเป็นความสูงของระดับปรอท (Δh) มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัวยูภายในบรรจุปรอท ปลายข้างหนึ่งต่อกับท่อเล็กๆ ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ในตำแหน่งต่ำกว่าตะแกรงล่างเล็กน้อย ปลายอีกข้างหนึ่งต่อกับท่อเล็กๆ ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ในตำแหน่งสูงกว่าเบด ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.6

4. อุปกรณ์ชักตัวอย่างแก๊ส (impinger)

อุปกรณ์การชักตัวอย่างแก๊ส มีลักษณะเป็นหลอดแก้ว ภายในบรรจุสารละลาย 6 % ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซึมจะถูกชักเก็บลงมาในหลอดแก้วชักตัวอย่าง จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สที่ได้ต่อไป ลักษณะและรูปร่างของอุปกรณ์ชักตัวอย่างแก๊สแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.4 ถังเก็บแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

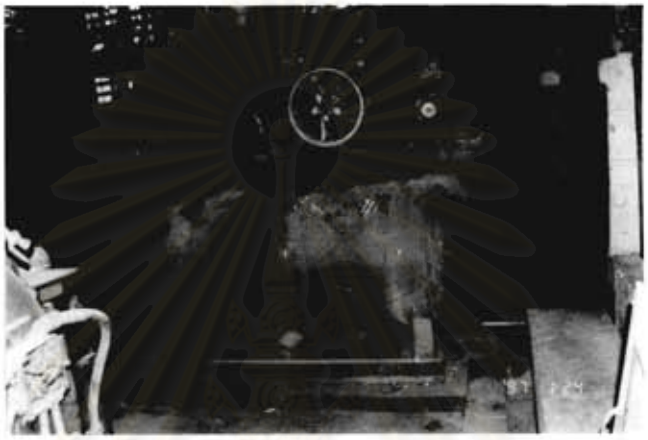


รูปที่ 3.5 โรตามิเตอร์

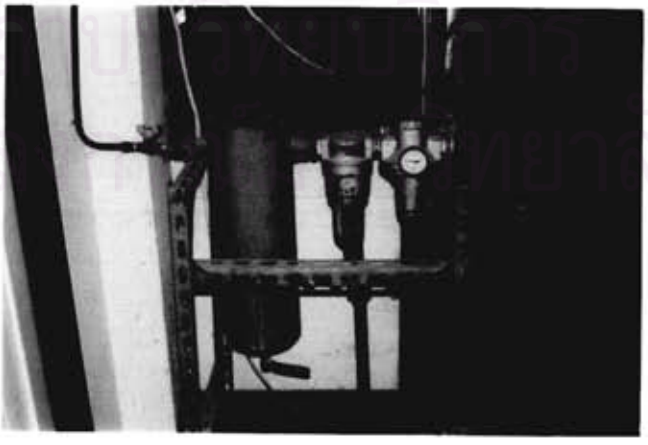
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.6 มานอมิเตอร์

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ชักตัวอย่างแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์



รูปที่ 3.8 เครื่องผลิตอากาศอัด



รูปที่ 3.9 เครื่องควบแน่นไอน้ำจากอากาศอัด

วิธีการทดลอง

ได้แบ่งขั้นตอนการทดลองไว้ดังนี้

1. การเตรียมสารดูดซึม (เถ้าลอยอัดเม็ด)

ก. ชั่งเถ้าลอย ปูนขาว และยิปซัม ตามอัตราส่วน 6:0:2, 6:0:4, 6:2:4, 6:3:4 โดยน้ำหนัก

ข. ผสมสารที่ชั่งได้จนเข้ากันดี

ค. นำสารที่ผสมเรียบร้อยมาเติมน้ำคลุกจนทั่วแล้วนำไปอัดเม็ด

ง. นำสารดูดซึมที่อัดเม็ดเรียบร้อยแล้วไปผึ่งลม 2-3 วัน บรรจุภาชนะเพื่อเก็บไว้ใช้ต่อไป

2. การทดลองหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของเถ้าลอยอัดเม็ด

ทำการทดลองหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของเถ้าลอยอัดเม็ดขนาดอนุภาค Mesh no. -4+8 ปริมาณ 500 กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 25, 150, 200 และ 250 องศาเซลเซียส

ใส่เถ้าลอยอัดเม็ดลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดเพื่อใช้เป็นเบด จากนั้นป้อนอากาศเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ในกรณีทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องไม่ต้องให้ความร้อนแก่เบด สำหรับที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องต้องให้ความร้อนแก่เบดด้วยขดลวดให้ความร้อน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิล ควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิคงที่ทำการเก็บข้อมูลระหว่างอัตราการไหลของอากาศจากระดับโรตามิเตอร์ และความดันลดของเบดจากความสูงของมานอมิเตอร์ นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศที่ผ่านเบดกับความดันลดของเบด สามารถหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันได้จากกราฟ ซึ่งเป็นจุดที่ความดันลดของเบดมีค่าคงที่ ดังภาคผนวก ก. จากนั้นทำการทดลองซ้ำที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียส

3. ขั้นตอนการทดลอง

ก. ศึกษาองค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์ด้วยเครื่อง EDX (Energy Dispersive X-ray fluorescence Spectrometer)

ข. ขั้นตอนปรับความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เปิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์พร้อมเจือจางด้วยอากาศจากถังอัดอากาศ (air compressor) ให้อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 320 ลิตรต่อนาที (0.32 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) ไหลผ่านเครื่องปฏิกรณ์ลงสู่หลอดแก้วชักตัวอย่างซึ่งบรรจุสารละลาย 6% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยอัตราการไหล 1-1.5 ลิตรต่อนาที จับเวลา 10 นาที เมื่อครบกำหนดปิดวาล์วแก๊สขาเข้าหลอดแก้วชักตัวอย่าง และนำสารละลาย 6% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สต่อไป ปรับวาล์วแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จนได้ความเข้มข้นประมาณ 2000-2500 พีพีเอ็ม (ppm) จากนั้นปิดวาล์วแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์

ค. ชั่งเถ้าลอยอัดเม็ด จำนวน 500 กรัม บรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์ ปิดเครื่องแล้วตั้งอุณหภูมิเพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์

ง. เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ที่ 200 องศาเซลเซียส เปิดวาล์วแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเปิดวาล์วแก๊สขาเข้าหลอดแก้วชักตัวอย่างชุดที่ 1 จับเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาให้ปิดวาล์วแก๊สขาเข้าหลอดแก้วชักตัวอย่างชุดที่ 1 และเปิดวาล์วแก๊สขาเข้าหลอดแก้วชักตัวอย่างชุดที่ 2 จากนั้นนำสารละลาย 6% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซึม

จ. เปลี่ยนสารละลาย 6% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใหม่ จัดอุปกรณ์ให้พร้อมในการดูดซึม เป็นอุปกรณ์การดูดซึมแก๊สชุดที่ 3

ฉ. เมื่อครบ 10 นาทีต่อมา ปิดวาล์วแก๊สขาเข้าหลอดแก้วชักตัวอย่างชุดที่ 2 และเปิดวาล์วแก๊สขาเข้าหลอดแก้วชักตัวอย่างชุดที่ 3 จากนั้นนำสารละลาย 6% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอุปกรณ์การดูดซึมแก๊สชุดที่ 2 ไปวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซึม

ช. ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบ 150 นาที

ซ. ปิดวาล์วแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปิดเครื่องอุปกรณ์ให้ความร้อน และปิดวาล์วแก๊สขาเข้าโรตามิเตอร์

ฌ. รอจนเครื่องปฏิกรณ์เย็น เปิดและนำเถ้าลอยที่ผ่านการดูดซึมแล้วออกมาเก็บไว้วิเคราะห์หาปริมาณยิปซัมต่อไป

ญ. ทำซ้ำกับตัวแปรอื่นๆ โดยวิธีเดียวกัน

4. <u>ขั้นการทดลองต่อไป</u>

ก. นำเถ้าลอยอัดเม็ดไปหาค่าความต้านทานการกดอัด (strength)

ข. นำเถ้าลอยอัดเม็ดภายหลังการดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปวิเคราะห์หาปริมาณยิปซัมด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer Model EDXRF XR-200

<u>ตัวแปรที่ทำการศึกษา</u>

ก. อุณหภูมิในการดูดซึม 180, 200, 220 และ 240 องศาเซลเซียส

ข. อัตราส่วนต่างๆ กันโดยน้ำหนักของเถ้าลอย ปูนขาวและยิปซัม คือ 6:0:2, 6:0:4, 6:2:4 และ 6:3:4

ค. ขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอัดเม็ด Mesh no. -4+8 , -8+16 และ -16+30

ง. ปริมาณเถ้าลอยอัดเม็ด 400, 500, 600 และ 700 กรัม

จ. U/U_{mf} เท่ากับ 1.23, 1.31, 1.38, 1.5 และ 1.75

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย