

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนแนะ

1. ผลการทดลองอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุดและผลของอัตราการไหลต่อการเกิดปฏิกิริยา
  - 1.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุด
 

อัตราส่วนที่ใช้ศึกษาคือ 2% , 4% , 6% , 7% , 8% , 9% และ 10%  $Fe_2O_3$  ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สผสม 2000 ppm อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง  $400^{\circ}C$  พบว่าความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นจนมากที่สุดที่ 8%  $Fe_2O_3$  หลังจากนั้นเพิ่มอัตราส่วนขึ้นจะไม่มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นไปอีก ดังนั้นในงานวิจัยนี้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุดคือ 8%  $Fe_2O_3$
  - 1.2 ผลของอัตราการไหลต่อผลเกิดปฏิกิริยา
 

การทดลองแปรเปลี่ยนอัตราการไหลเป็นค่าต่างๆ คือ 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.2 ลิตรต่อนาที ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สผสม 2000 ppm และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง  $400^{\circ}C$  พบว่าอัตราการไหลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหมาะสมคือ 0.4 ลิตรต่อนาที เพราะยังเพิ่มอัตราการไหลจะทำให้สามารถในการเกิดปฏิกิริยาลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลเพิ่มจะทำให้เวลาที่อาศัยภายในของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงลดต่ำลงตามไปด้วย
2. การศึกษาปฏิกิริยาเคมี
  - 2.1 การศึกษาปฏิกิริยาเคมีของแคลเซียมออกไซด์
 

นักวิทยาศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาของเหล็ก(III)ออกไซด์ พบว่าความดันทานที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์มีเฉพาะความปฏิกิริยาเคมี(chemical reaction)เท่านั้น ไม่มีผลจากการแพร่ภายนอก(external

diffusion) และ การแพร่ภายใน(internal diffusion) ดังนั้นตัวควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของปฏิกิริยาคือขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมี ไม่มีผลเนื่องมาจากการแพร่(diffusion control) การทดลองที่ทำที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น $(-r_{SO_2})_0$  จากนั้นใช้วิธี multiple linear regression กำหนดหาสมการอัตราเร็ว จะได้ว่าสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์มีอันดับของปฏิกิริยาเป็น 0.84 , พลังงานกระตุ้น 6.35 กิโลจูล/โมล และแฟกเตอร์ความถี่  $9.49 \times 10^{-4}$  (โมล/ลิตร)<sup>0.16</sup>/วินาที สำหรับค่าคงที่ของปฏิกิริยาเริ่มต้นพิจารณาในรูปความสัมพันธ์ของ Arrhenius และสมการอัตราเร็วเริ่มต้นแสดงได้ดังนี้

$$k = 9.49 \times 10^{-4} \cdot e^{-763.5/T}$$

$$-r_{(SO_2)_0} = 9.49 \times 10^{-4} \cdot e^{-763.5/T} \cdot [C_{SO_2}]_0^{0.84}$$

โดย

$-r_{(SO_2)_0}$  = อัตราการเข้าทำปฏิกิริยาของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งนิยามโดยจำนวนโมลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เข้าทำปฏิกิริยาต่อหน่วยเวลา (โมลต่อลิตร.วินาที)

$[C_{SO_2}]_0$  = ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งนิยามโดยจำนวนโมลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (โมลต่อลิตร)

T = อุณหภูมิการทดลอง (เคลวิน)

จากอันดับปฏิกิริยาที่ขึ้นกับความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.84 ใกล้เคียงอันดับ 1 มาก และจากงานวิจัยในอดีตหลายงาน เช่น Robert H. Borgwardt (1980) พบว่าสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีอันดับปฏิกิริยาเท่ากับ 1 เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการนำมาใช้งาน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการรายงานผลเป็นอันดับ 1 โดยค่าคงที่ของปฏิกิริยาเริ่มต้นพิจารณาในรูปความสัมพันธ์ของ Arrhenius และสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่มีอันดับปฏิกิริยาเท่ากับ 1 เทียบกับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สำหรับงานวิจัยนี้ คือ

$$k = 8.38 \times 10^{-6} \cdot e^{-1081.3/T}$$

$$-r_{(SO_2)_0} = 8.38 \times 10^{-6} \cdot e^{-1081.3/T} \cdot [C_{SO_2}]_0$$

3. สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้นของปฏิกิริยาของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์ที่ได้จากงานวิจัย นำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของวัชรศักดิ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์ ซึ่งศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และงานวิจัยที่ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างหินปูน(lime)ที่มีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของ Yang S.T,et al ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาและค่าพลังงานกระตุ้นของงานวิจัยต่าง ๆ

ผู้วิจัย	สมการอัตราเร็วเริ่มต้น	ค่าพลังงานกระตุ้น (กิโลจูล/กรัมโมล)
วัชรศักดิ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์ (1995)	$-r_{(SO_2)_0} = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \cdot [C_{SO_2}]_0^{0.50}$	16.38
Yang S.T,et al (1975)	$-r_{(SO_2)_0} = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \cdot [C_{SO_2}]_0^{0.79}$	30.66
งานวิจัยนี้	$-r_{(SO_2)_0} = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \cdot [C_{SO_2}]_0^{0.84}$	6.35

จากตารางที่ 6.1 พบว่าอันดับของปฏิกิริยาที่เทียบกับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงอันดับ 1 และพิจารณาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าของงานวิจัยในอดีต เนื่องจากปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้มีเหล็ก(III)ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นตัวช่วยให้พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลดต่ำลง สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ

### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นที่สามารถนำมาใช้แทน  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  เช่น  $\text{V}_2\text{O}_5$  (Gioin and mura, 1980) เพื่อสามารถลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในสารตั้งต้นให้ต่ำลงได้ เพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นสารเคมีที่มีราคาค่อนข้างแพงหรือศึกษาเพื่อหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้
2. เนื่องจากปฏิกิริยาที่สนใจเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ จึงมีตัวแปรหลายชนิดที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงควรศึกษาถึงตัวแปรชนิดอื่นๆ เช่น เปลี่ยนแปลงขนาดของรูพรุนของแคลเซียมออกไซด์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพิ่มเติมในการนำไปใช้ประโยชน์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย