บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาถึงจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุดและผลของอัตราเร็วที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ส่วนที่สองศึกษาถึงจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์</u>

แคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ที่ใช้ในปฏิกิริยาใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory grade) แต่ยังคงมีสารเจือปน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทั้งหมดการวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณโดยอาศัยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry ด้วยเครื่อง Energy dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer Model EDXRF XR-200 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์ของCaO(lab. grade) และ Fe_2O_3(lab. grade)

สาร	CaO(lab. grade)	Fe_2O_3(lab. grade)
CaO	90.66	
Fe_2O_3		94.82
TiO_2	0.08	
SO_2	0.18	0.36
Al_2O_3		2.91
SiO_2		1.90

จากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 พบว่าในแคลเซียมออกไซด์นอกจาก CaO ร้อยละ 71.22 แล้วยังประกอบด้วยสารชนิดอื่น คือ TiO_2 ร้อยละ 0.061 และ SO_2 ร้อยละ 0.092 ส่วนเหล็ก(III)ออกไซด์นอกจาก Fe_2O_3 ร้อยละ 94.82 ยังประกอบด้วย SO_2 ร้อยละ 0.36, Al_2O_3 ร้อยละ 2.91 และ SiO_2 ร้อยละ 1.90

นอกจากวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ยังวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดของรูพรุนของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ โดยเทคนิค BET Surface Area Analysis ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของCaO(lab.grade)และFe_2O_3 (lab.grade)

สาร	พื้นที่ผิวสัมผัส(m^2/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย(A)
CaO(lab. grade)	2.2	1170.9
Fe_2O_3 (lab.grade)	8.8	236.3

โดยผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดรูพรุนของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ พบว่า CaO มีพื้นที่ผิวสัมผัส 2.2 m^2/g และขนาดรูพรุน 1170.9 A ส่วน Fe_2O_3 มีพื้นที่ผิวสัมผัส 8.8 m^2/g และขนาดรูพรุน 236.3 A

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุดและผลของอัตราการไหลที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

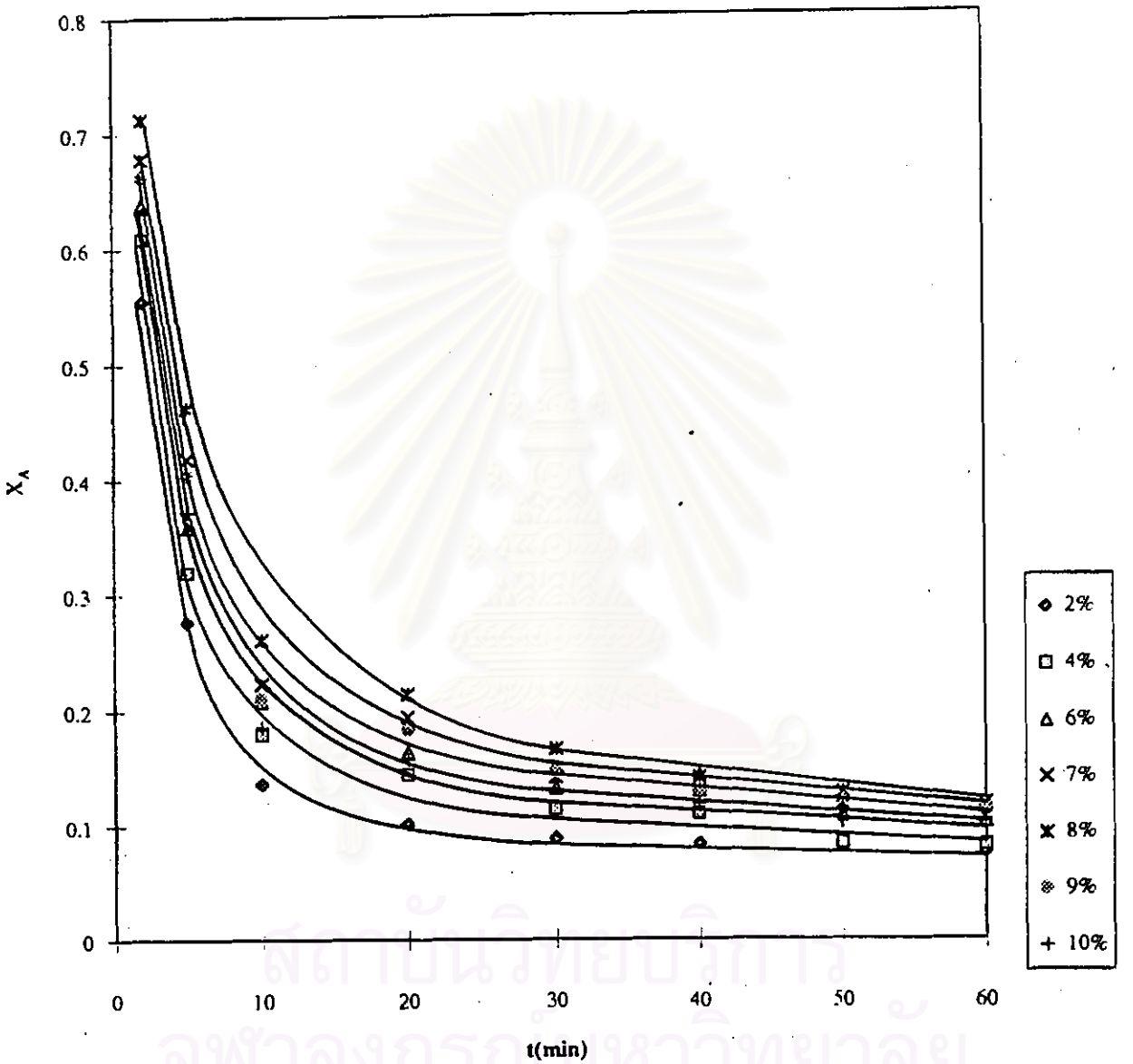
ก. อัตราส่วนที่เหมาะสมของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุด

ผลการวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆกัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm ปริมาณสารผสมที่ใช้ในแต่ละการทดลองเท่ากันคือ 200 มิลลิกรัม อัตราการไหลของแก๊สผสมเท่ากับ 0.4 ลิตรต่อนาที ผลการทดลองแสดงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของอัตราส่วนต่างๆแสดงในรูปเศษส่วนการเปลี่ยน(fractional conversion) ของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาไปกับเวลาดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

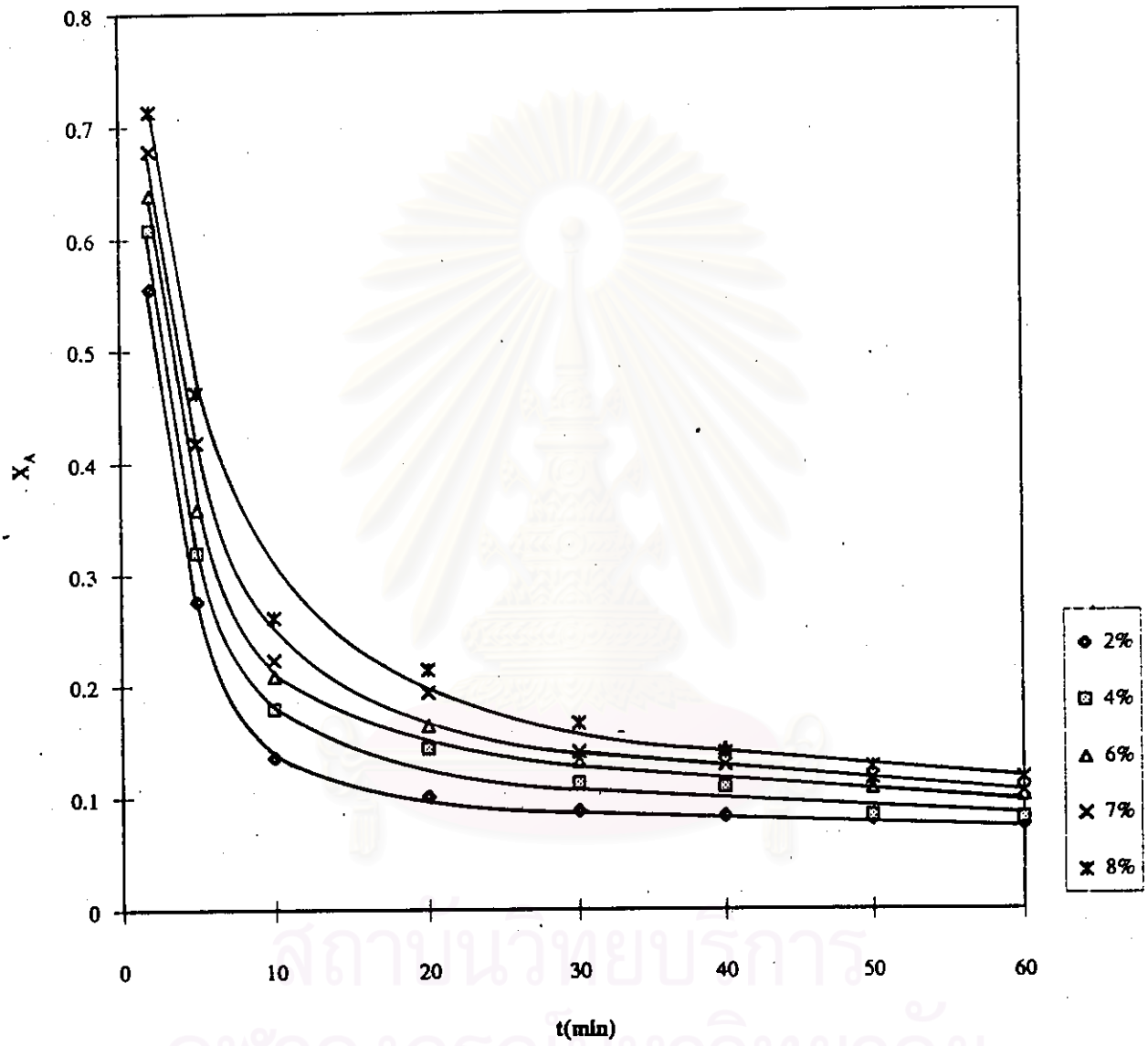
ตารางที่ 4.3 แสดงเศษส่วนการเปลี่ยนของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาไปกับเวลาที่อัตราส่วนต่างๆของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊สผสม 0.4 l/min และปริมาณสารผสมที่ใช้ในแต่ละการทดลอง 200 mg

เวลา (นาที)	เศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยา						
	2%Fe_2O_3	4%Fe_2O_3	6%Fe_2O_3	7%Fe_2O_3	8%Fe_2O_3	9%Fe_2O_3	10%Fe_2O_3
2	0.555	0.608	0.639	0.678	0.713	0.663	0.631
5	0.276	0.319	0.358	0.418	0.462	0.404	0.371
10	0.136	0.179	0.208	0.223	0.261	0.210	0.186
20	0.101	0.144	0.164	0.194	0.214	0.184	0.157
30	0.088	0.113	0.132	0.141	0.166	0.146	0.126
40	0.083	0.109	0.113	0.129	0.140	0.128	0.117
50	0.080	0.083	0.108	0.117	0.127	0.120	0.112
60	0.075	0.081	0.101	0.105	0.117	0.114	0.103

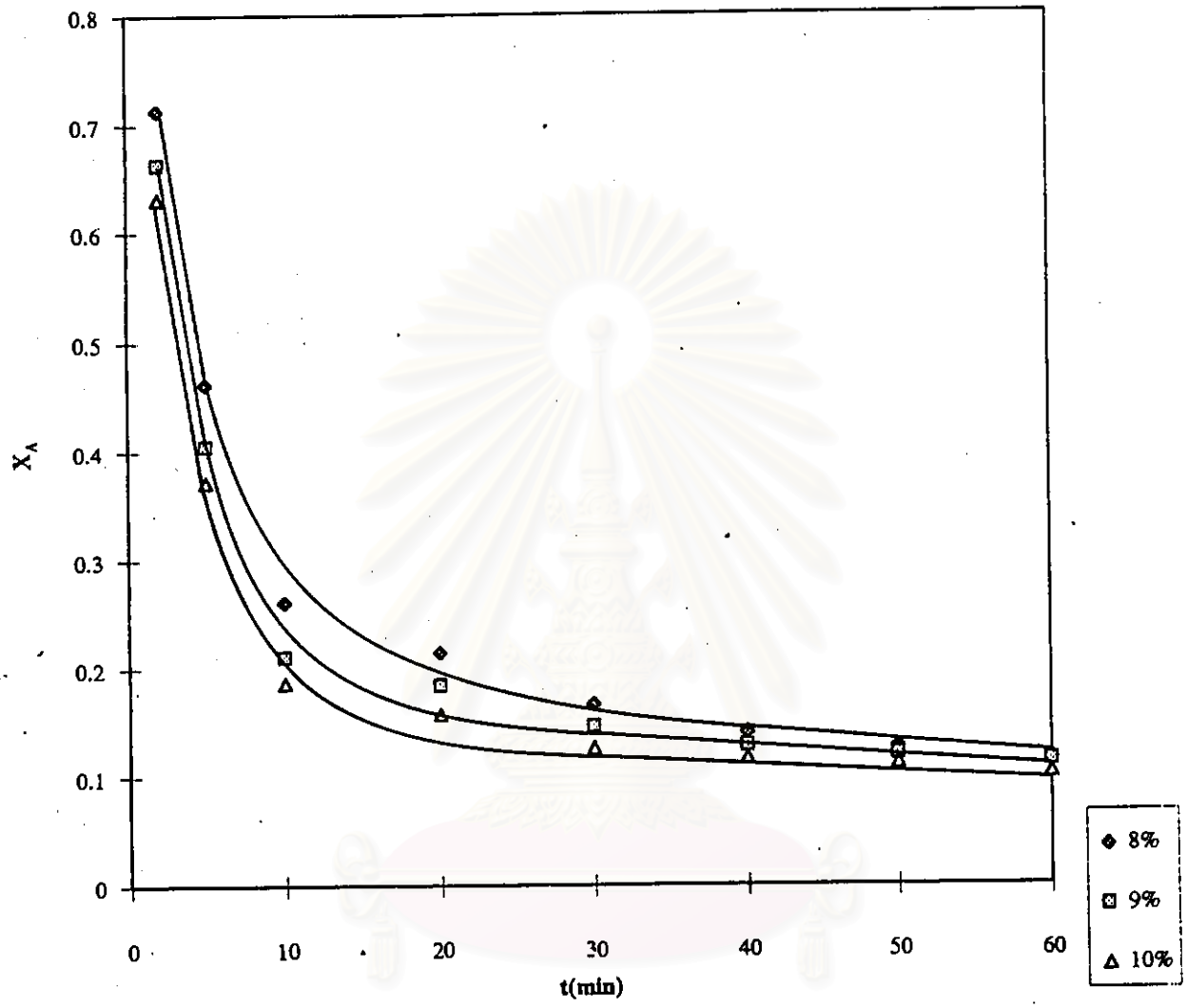
I17151120



รูปที่ 4.1(ก) เปรียบเทียบเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับเวลาที่แต่ละอัตราส่วนของแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊สผสม 0.4 l/min ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละการทดลอง 200 mg



รูปที่ 4.1(ข) เปรียบเทียบเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับเวลาที่อัตราส่วน 2%, 4%, 6%, 7% และ 8%Fe_2O_3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊สผสม 0.4 l/min ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละการทดลอง 200 mg



รูปที่ 4.1(ค) เปรียบเทียบเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับเวลาที่อัตราส่วน 8%, 9% และ 10%Fe_2O_3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊สผสม 0.4 l/min ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละการทดลอง 200 mg

ผลการทดลองที่แสดงถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโดยในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบในรูปเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดปฏิกิริยากับสารผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์และเหล็ก(III)ออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆกับเวลา แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 จากรูป

ที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของแต่ละอัตราส่วน พบว่ามีความสัมพันธ์กับเวลา คือความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาค่อยๆลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น และค่อนข้างคงที่ในช่วง 50-60 นาที และแนวโน้มการดูดซับคล้ายคลึงกัน คือสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีมากในช่วง 10 นาทีแรกของการทำปฏิกิริยา จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่ในที่สุด

พิจารณาแต่ละอัตราส่วน พบว่าเมื่อใช้ 2%Fe_2O_3 เป็นอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยา เมื่อเกิดปฏิกิริยาไป 2 นาที จะมีเศษส่วนการเปลี่ยน 0.555 จากนั้นลดลงเรื่อยๆตามเวลาและคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที โดยเศษส่วนการเปลี่ยนลดต่ำลงเหลือ 0.075 เมื่อใช้อัตราส่วน 4%Fe_2O_3 เศษส่วนการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเป็น 0.608 และค่อยๆลดลงกับเวลา จากนั้นทดลองเพิ่มปริมาณเหล็ก(IIIออกไซด์ในสารผสมเป็น 6% และ 7% พบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาผ่านไป 2 นาที เศษส่วนการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นจาก 0.608 เป็น 0.639 และ0.678 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณเหล็ก(III)ออกไซด์ในสารดูดซับเป็น 8% พบว่าเศษส่วนการเปลี่ยนเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.713 ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วนนี้มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุดเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณเหล็ก(III)ออกไซด์ในสารดูดซับขึ้นไปอีกเป็น 9% และ 10% จะไม่มีผลทำให้เศษส่วนการเปลี่ยนเพิ่มมากขึ้นแต่กลับลดลงเหลือ 0.663 และ 0.631 ตามลำดับ

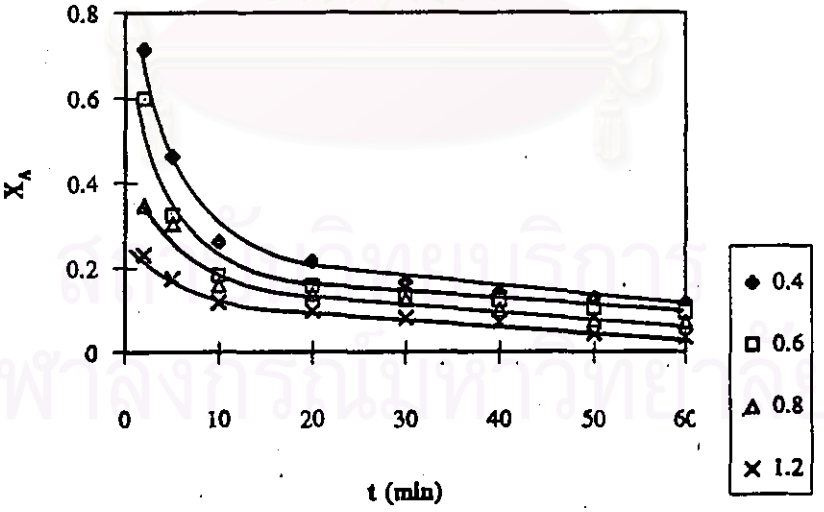
จากผลดังกล่าวข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าเมื่ออัตราส่วนของเหล็ก(III)ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งที่อัตราส่วน 8% Fe_2O_3ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่ามากที่สุด ต่อเมื่อเพิ่มปริมาณเหล็ก(III)ออกไซด์ขึ้นไปอีกจะทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาลดต่ำลงกว่าที่ 8%Fe_2O_3 ดังนั้นที่ 8%Fe_2O_3 เป็นอัตราส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดีที่สุด

ข. ผลของอัตราการไหลต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ผลของอัตราการไหลต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโดยแสดงในรูปเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดปฏิกิริยากับสารผสมที่เวลาต่างๆอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm ใช้สารผสมคือ 8%Fe_2O_3 และใช้ปริมาณสารในแต่ละการทดลองเท่ากันคือ 200 มิลลิกรัม อัตราการไหลของแก๊สผสมที่ศึกษาคือ 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.2 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 แสดงเศษส่วนการเปลี่ยนของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาไปกับเวลาที่อัตราการไหลของแก๊สต่างๆ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราส่วนสารผสมที่ใช้ในการทดลองคือ 8%Fe_2O_3 และปริมาณสารผสมที่ใช้ในแต่ละการทดลอง 200 mg

เวลา (นาที)	เศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์			
	0.4 (l/min)	0.6 (l/min)	0.8 (l/min)	1.2 (l/min)
2	0.713	0.598	0.346	0.230
5	0.462	0.323	0.302	0.175
10	0.261	0.181	0.158	0.118
20	0.214	0.156	0.136	0.098
30	0.166	0.135	0.123	0.081
40	0.140	0.122	0.121	0.073
50	0.127	0.104	0.075	0.044
60	0.117	0.101	0.071	0.035



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลาที่อัตราการไหลต่างๆ อุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลอง 400 °c ความเข้นข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราส่วนสารดูดซับคือ 8%Fe_2O_3 และปริมาณสารที่ใช้ 200 mg

ผลการทดลองที่แสดงถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 8%Fe_2O_3 กับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อัตราการไหลของแก๊สผสมต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 จากรูปที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาในรูปเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของแต่ละอัตราการไหล พบว่ามีความสัมพันธ์กับเวลา คือเศษส่วนการเปลี่ยนค่อยๆลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น และคงที่ในช่วง50-60 นาที

พิจารณาในแต่ละอัตราการไหลพบว่าอัตราการไหลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็น 0.4 ลิตรต่อนาที เศษส่วนการเปลี่ยนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที เป็น 0.713 เพิ่มอัตราการไหลเป็น 0.6 ลิตรต่อนาที พบว่าเศษส่วนการเปลี่ยนลดลงเหลือ 0.598 และเพิ่มอัตราการไหลให้มากขึ้นเป็น 0.8 และ 1.2 ลิตรต่อนาที เศษส่วนการเปลี่ยนลดลงอย่างมากเหลือเพียง 0.346 และ 0.230 ตามลำดับ นั่นคือเมื่อพิจารณาอัตราการไหลของแก๊สผสมทั้ง 4 ค่าพบว่าที่ดีที่สุดคือที่ 0.4 ลิตรต่อนาที

<u>การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์กับซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์ กับความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์</u>

กำหนดให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับอันดับของความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เป็น

$$-r_{SO2,o} = k[C_{SO2}]_o^n \qquad (4.1)$$

โดยที่ $-r_{SO2,o}$ = อัตราการเข้าทำปฏิกิริยาเริ่มต้น(initial rate) ของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งนิยามโดยจำนวนโมลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เข้าทำปฏิกิริยาต่อหน่วยเวลา

$[C_{SO2}]_o$ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งนิยามโดยจำนวนโมลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

n = อันดับของปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การทดลองให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์ จะใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์คงที่ที่ 200 มิลลิกรัมทุกชุดการทดลอง อุณหภูมิในการทดลองที่ 400 , 450 , 500 และ550 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์แตกต่างกันไป คือการทดลองชุด A , B ,...., P ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 ถึง 4.20 และจากผลการทดลองแต่ละชุดนำมาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา เพื่อหาอันดับการทำปฏิกิริยาของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.3 ถึง 4.18

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ A (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 400 ^{o}C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
A	2	0.30	2.37	0.713
	5	0.84	4.44	0.462
	10	1.94	6.11	0.261
	20	4.17	6.57	0.204
	30	4.37	6.89	0.162
	40	4.51	7.10	0.140
	50	4.61	7.27	0.120
	60	4.63	7.30	0.117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ B (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 400 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
B	2	0.44	3.44	0.726
	5	1.22	6.43	0.475
	10	2.85	8.98	0.273
	20	6.11	9.63	0.213
	30	6.45	10.20	0.177
	40	6.66	10.50	0.143
	50	6.75	10.60	0.131
	60	6.83	10.80	0.122

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ C (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 400 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
C	2	0.55	4.34	0.734
	5	1.58	8.33	0.490
	10	3.72	11.70	0.283
	20	7.92	12.50	0.235
	30	8.42	12.70	0.202
	40	8.66	13.70	0.164
	50	8.81	13.90	0.149
	60	8.93	14.10	0.138

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ D (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 400 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5}(mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
D	2	0.65	5.16	0.747
	5	1.91	10.00	0.508
	10	4.50	14.20	0.306
	20	9.81	15.50	0.242
	30	10.34	16.30	0.221
	40	10.71	16.90	0.173
	50	10.95	17.30	0.154
	60	11.00	17.40	0.151

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ E (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 450 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5}(mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
E	2	0.23	1.80	0.782
	5	0.69	3.61	0.563
	10	1.73	5.46	0.339
	20	3.82	6.02	0.271
	30	4.10	6.46	0.218
	40	4.25	6.70	0.189
	50	4.37	6.90	0.166
	60	4.41	6.95	0.159

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ F (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 450 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (min)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
F	2	0.32	2.54	0.793
	5	0.96	5.05	0.587
	10	2.50	8.30	0.323
	20	5.60	8.83	0.279
	30	6.05	9.55	0.220
	40	6.32	9.97	0.185
	50	6.53	10.30	0.159
	60	6.60	10.40	0.152

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ G (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 450 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (min)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
G	2	0.40	3.22	0.803
	5	1.24	6.52	0.600
	10	3.27	10.00	0.387
	20	7.42	11.70	0.284
	30	7.82	12.30	0.245
	40	8.10	12.80	0.218
	50	8.42	13.30	0.187
	60	8.48	13.40	0.181

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ H (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 450 $^{\circ}$ ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
H	2	0.46	3.65	0.821
	5	1.44	7.58	0.629
	10	4.00	12.60	0.381
	20	9.20	14.50	0.289
	30	9.57	15.10	0.261
	40	10.06	15.90	0.223
	50	10.30	16.20	0.206
	60	10.33	16.30	0.204

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ I (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 500 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
I	2	0.16	1.27	0.845
	5	0.55	2.90	0.649
	10	1.27	4.01	0.514
	20	3.30	5.17	0.374
	30	3.63	5.73	0.307
	40	3.95	6.24	0.245
	50	4.11	6.48	0.215
	60	4.20	6.60	0.201

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ J (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 500 °C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
J	2	0.21	1.68	0.863
	5	0.70	3.63	0.703
	10	1.85	5.83	0.524
	20	4.86	7.67	0.374
	30	5.38	8.50	0.307
	40	5.90	9.27	0.243
	50	6.05	9.53	0.221
	60	6.10	9.54	0.220

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ K (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 500 °C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
K	2	0.25	2.00	0.878
	5	0.84	4.39	0.731
	10	2.36	7.46	0.543
	20	6.43	10.10	0.379
	30	7.15	11.30	0.310
	40	7.62	12.00	0.264
	50	7.78	12.30	0.249
	60	7.80	12.40	0.251

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ L (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 500 ^{o}C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO_2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
L	2	0.27	2.14	0.895
	5	1.00	5.32	0.739
	10	2.90	9.18	0.550
	20	7.95	12.50	0.386
	30	8.77	13.80	0.323
	40	9.12	14.40	0.295
	50	9.47	14.90	0.260
	60	9.55	15.10	0.268

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ M (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 550 ^{o}C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO_2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
M	2	0.11	1.05	0.891
	5	0.40	2.08	0.748
	10	1.00	3.13	0.621
	20	2.97	4.68	0.434
	30	3.25	5.13	0.379
	40	3.82	6.03	0.270
	50	3.90	6.15	0.255
	60	3.95	6.18	0.251

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ N (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 550 °C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm)

การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO_2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
N	2	0.15	1.13	0.907
	5	0.55	2.89	0.764
	10	1.44	4.53	0.630
	20	4.36	6.88	0.438
	30	4.80	7.57	0.382
	40	5.65	8.90	0.272
	50	5.83	9.20	0.249
	60	5.87	9.25	0.242

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ O (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 550 °C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm)

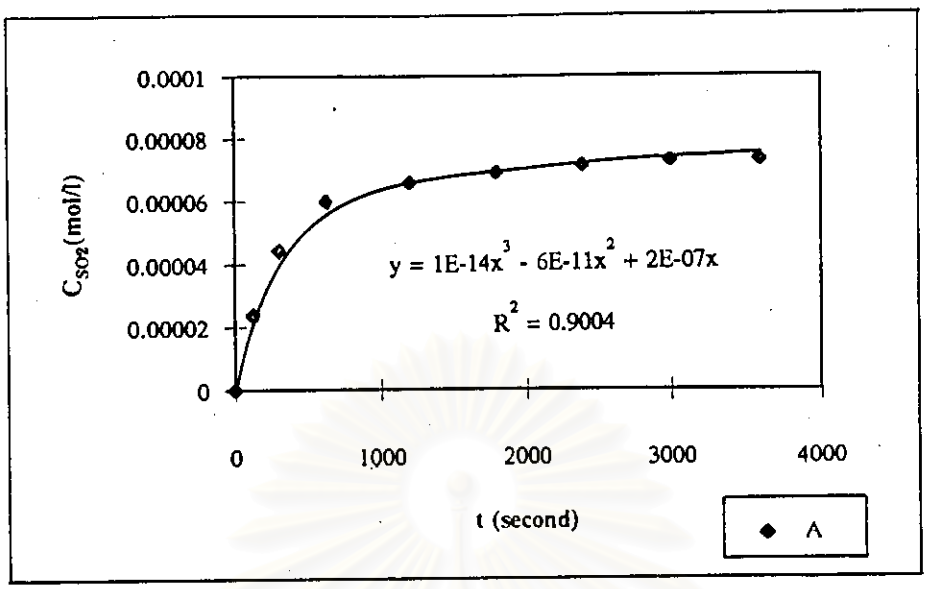
การทดลองที่	เวลา (seocnd)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO_2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
O	2	0.16	1.27	0.924
	5	0.68	3.60	0.779
	10	1.80	5.69	0.651
	20	5.72	9.03	0.447
	30	6.30	9.94	0.391
	40	7.36	11.60	0.289
	50	7.65	12.10	0.260
	60	7.69	12.30	0.257

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองแสดงค่าความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่ถูกดูดซับที่เวลาใด ๆ จากการทดลองที่ P (อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 550 $^{\circ}$C ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm)

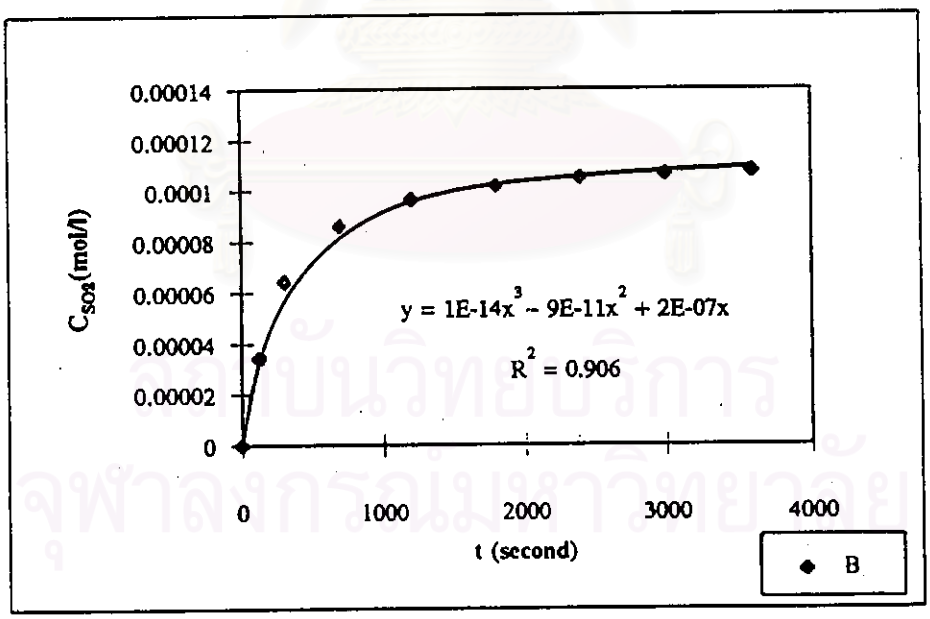
การทดลองที่	เวลา (second)	ปริมาณ $BaCl_2$ ที่ใช้ (ml)	C_{SO2} ที่เวลาใดๆ * 10^{-5} (mol/l)	เศษส่วนการเปลี่ยน (X_A)
P	2	0.18	1.31	0.936
	5	0.84	4.43	0.783
	10	2.15	6.77	0.668
	20	7.10	11.20	0.453
	30	7.80	12.30	0.396
	40	8.92	14.10	0.311
	50	9.40	14.80	0.271
	60	9.44	15.00	0.270

นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.5 ถึง 4.20 ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา(mol/l)กับเวลา(second) จากนั้นอาศัยโปรแกรม Polynomial regression ใน Microsoft excel เพื่อ fit curve จากกราฟจะได้สมการความสัมพันธ์ดังกล่าว แล้วหาค่าความชันที่ t=0 ของกราฟ โดยการดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ได้ที่ t=0 ค่าที่ได้คือค่าอัตราการเข้าทำปฏิกิริยาเริ่มต้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์($-r_{SO2}$)$_o$ นั่นเอง ซึ่งนำไปเป็นข้อมูลหาสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อไปและแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.3 ถึง 4.18

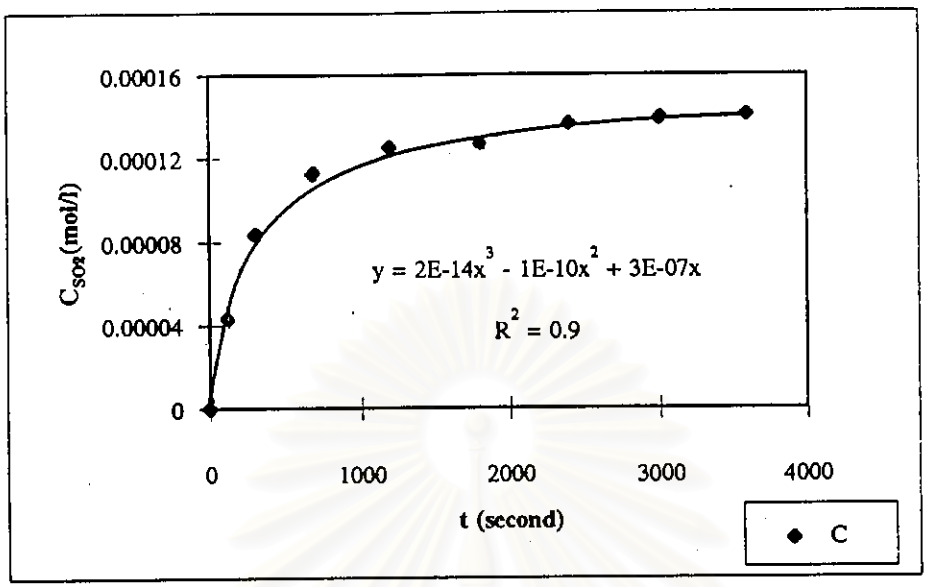
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



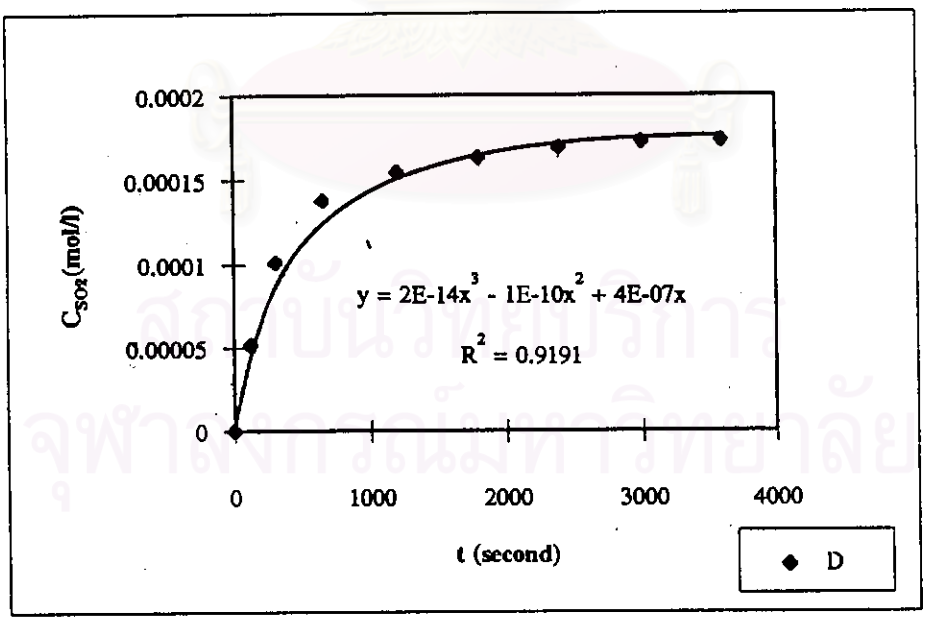
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



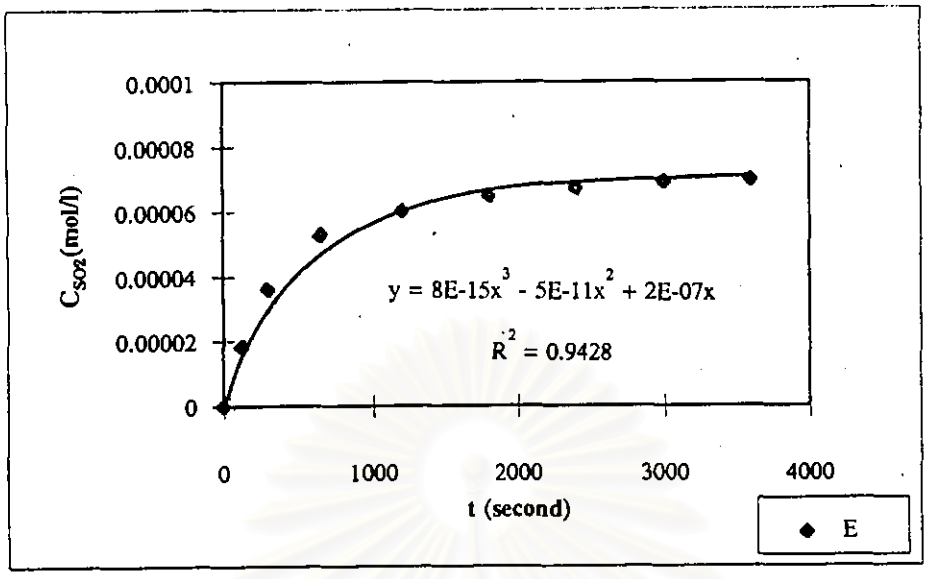
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



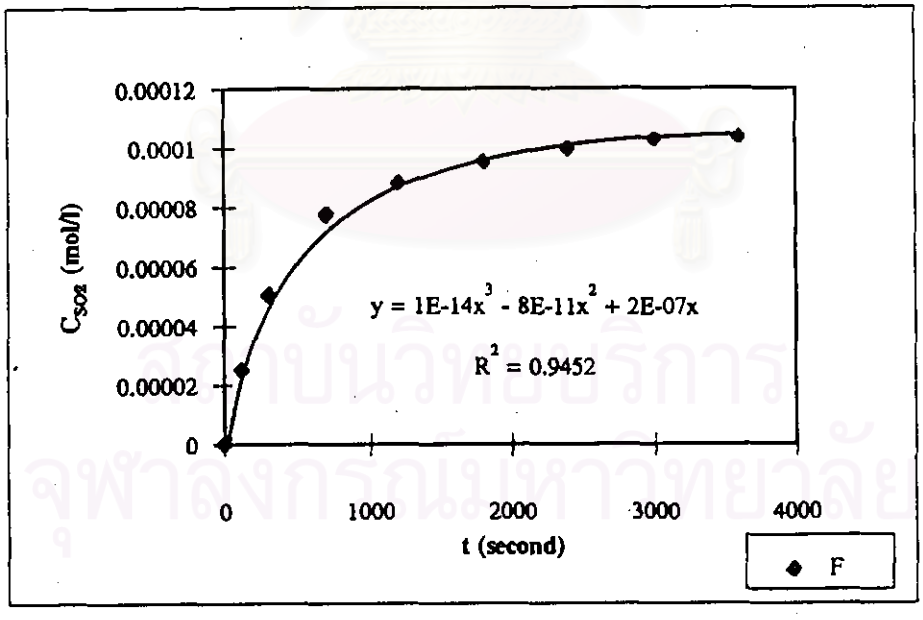
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



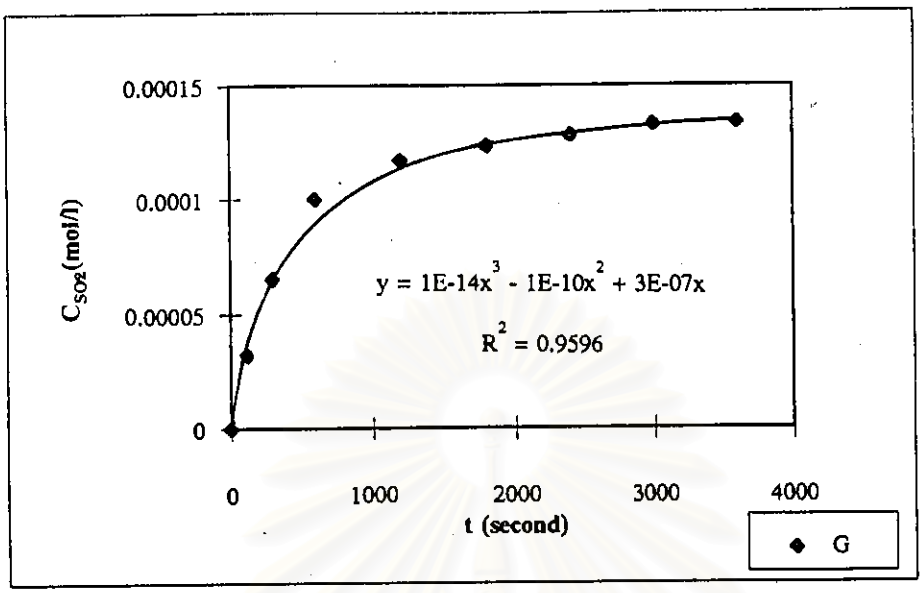
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



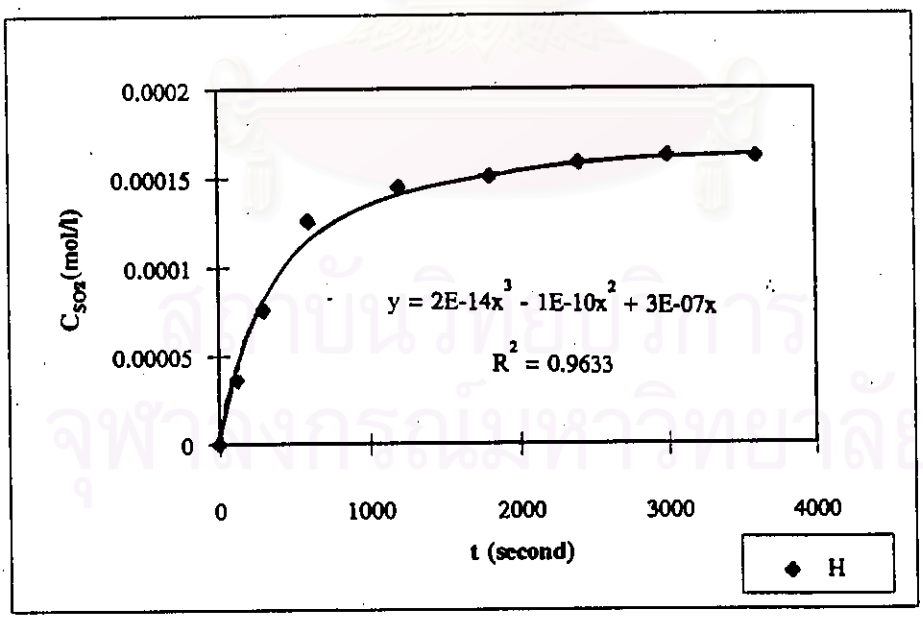
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 450 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



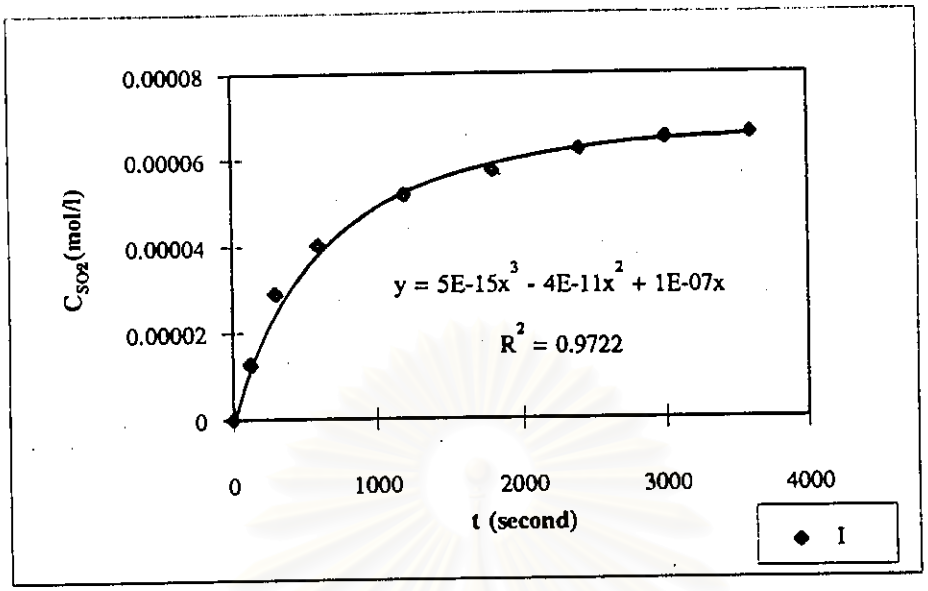
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 450 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



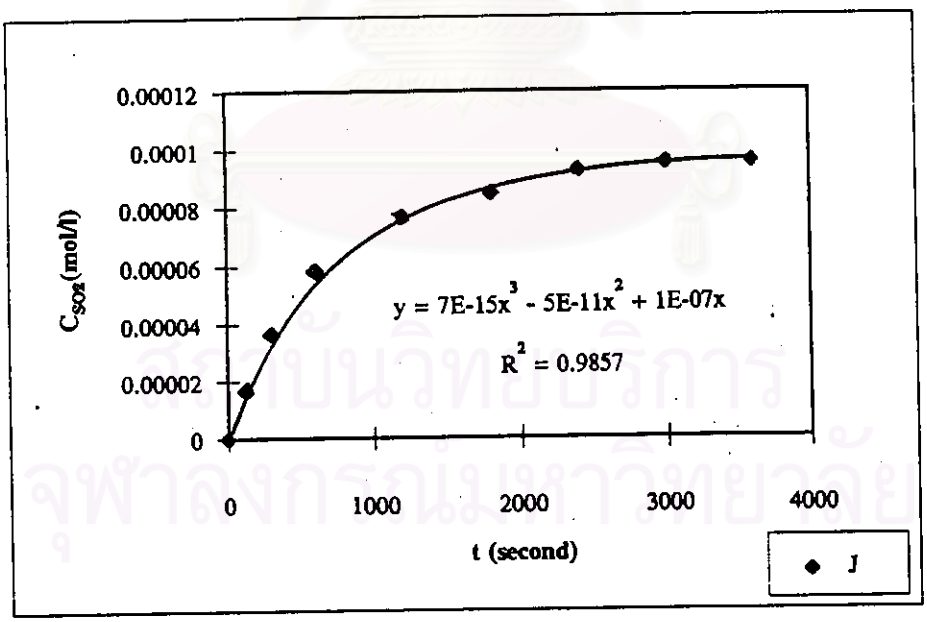
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 450 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



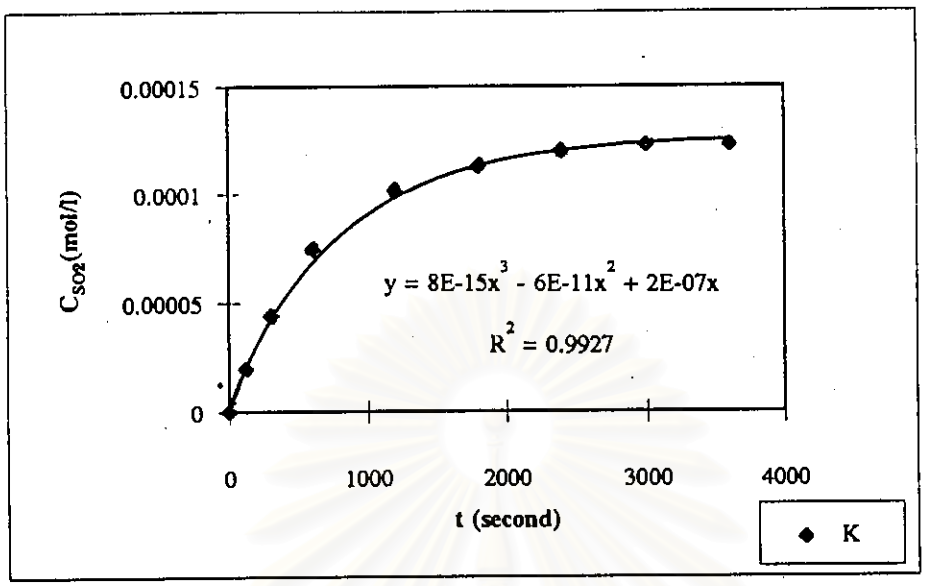
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 450 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



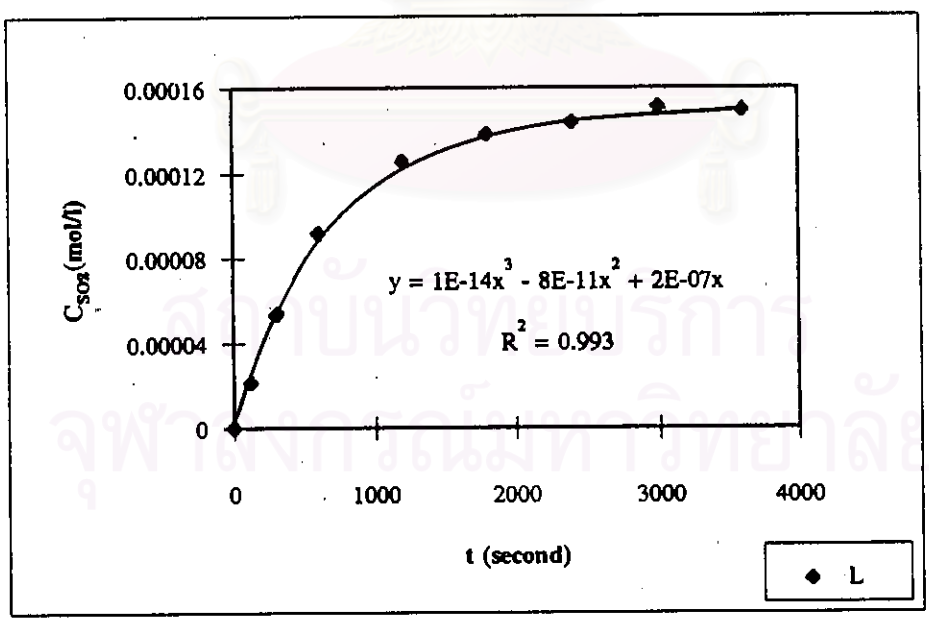
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 500 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



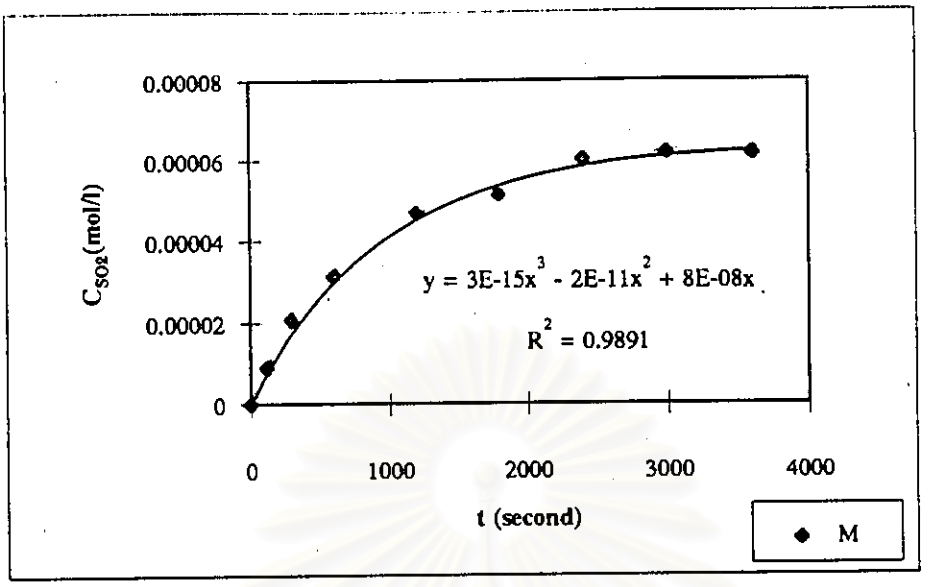
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 500 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



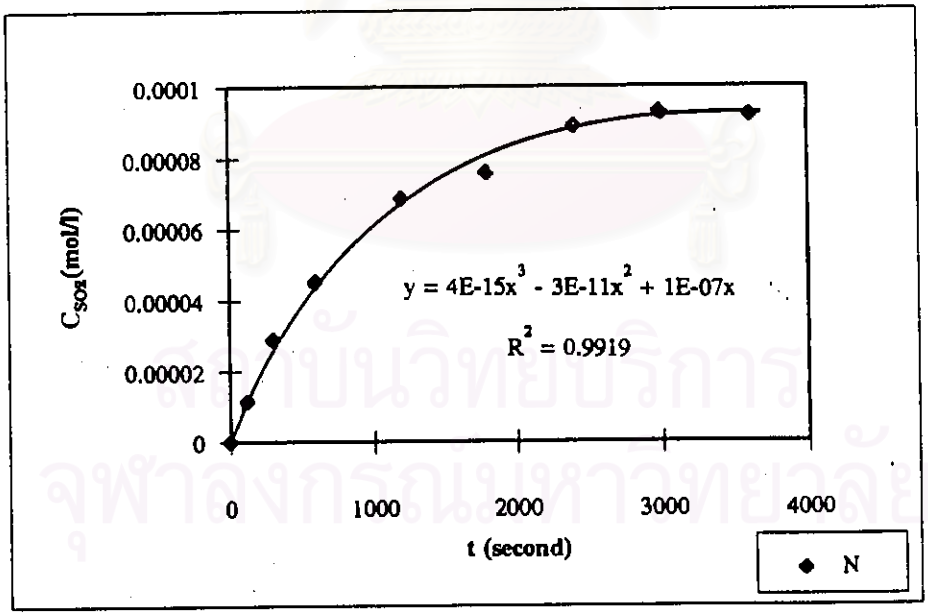
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 500 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



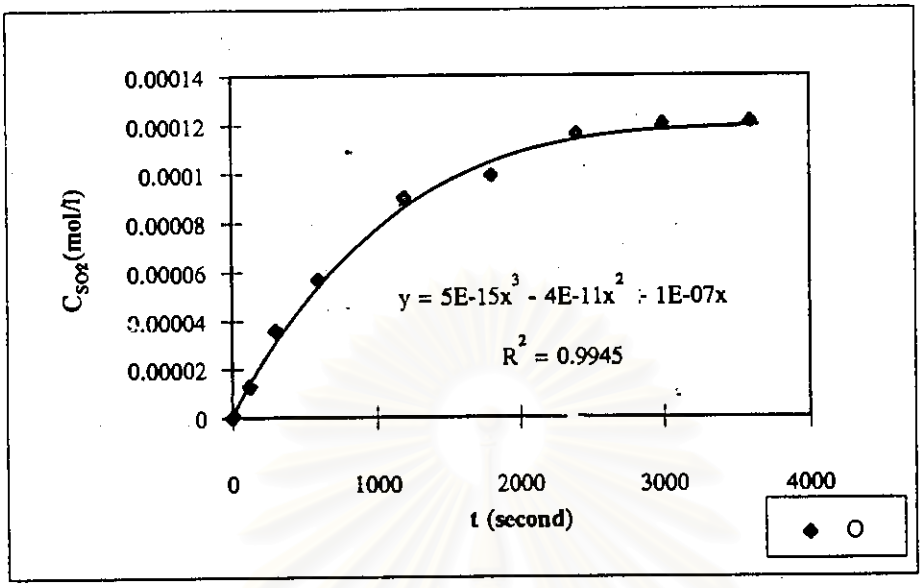
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 550 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



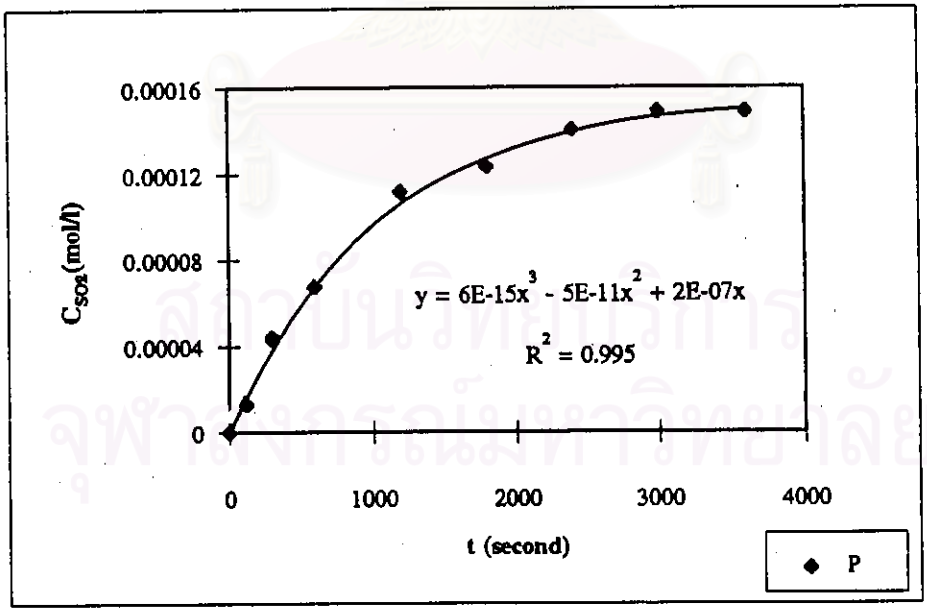
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 550 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 550 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 550 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 4000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 550 °c ความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 ppm อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที 8%เหล็ก(III)ออกไซด์ ปริมาณสารที่ใช้ 200 มิลลิกรัม

จากกราฟหาความชันเริ่มต้นของกราฟในแต่ละชุดการทดลอง ค่าความชันเริ่มต้นของกราฟจะแสดงถึงอัตราการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์$(-r_{SO2})_o$ซึ่งแสดงค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นที่หาได้ทั้งหมดในตารางที่2ข ภาคผนวก ข นำค่าที่แสดงในตารางที่2ข มาเป็นข้อมูลเพื่อหาสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก(III)ออกไซด์ จากความสัมพันธ์ดังนี้

จากสมการ $$-r_{SO2,o} = k\,[C_{SO2}]_o^{\,n} \qquad (4.2)$$

และสมการของ Arrhenius $$k = k_o e^{-Ea/RT} \qquad (4.3)$$

แทนค่า (4.3) ใน (4.2) จะได้

$$-r_{SO2,o} = k_o e^{-Ea/RT}[C_{SO2}]_o^{\,n} \qquad (4.4)$$

ใส่ ln ใน (4.4) จะได้

$$\ln[-r_{SO2}]_o = \ln k_o + n \ln[C_{SO2}]_o - Ea/RT \qquad (4.5)$$

จากวิธี multiple linear regression สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้เป็น

$$y = a_o + a_1x_1 + a_2x_2 \qquad (4.6)$$

เทียบพจน์ระหว่าง (4.5) และ (4.6) จะได้

$$y = \ln[-r_{SO2}]_o$$

$$a_o = \ln k_o$$

$$a_1 = n$$

$$a_2 = -Ea/R$$

$$x_1 = \ln[C_{SO2}]_o$$

$$x_2 = 1/T$$

จากผลการทดลองสามารถคำนวณหาค่า $\ln[-r_{SO2}]_o$ และ $\ln[C_{SO2}]_o$ ของแต่ละการทดลองชุด A ถึง P แสดงค่าในตารางที่ 2ข ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำข้อมูลที่ได้เข้าโปรแกรม Multiple linear regression ชื่อ Polymath จะได้

$$\ln[-r_{SO2}]_o = -6.96 + 0.84 \ln[C_{SO2}]_o - 763.5/T$$

ดังนั้น

$$\ln k_o = -6.96$$

$$k_o = 9.49 * 10^{-4}$$

$$n = 0.84$$

$$Ea/R = 763.5$$

ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณได้อันดับความเข้มข้นอันดับปฏิกิริยาของปฏิกิริยาระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ (n) เท่ากับ 0.84 ค่าแฟคเตอร์ความถี่ (k_o) เท่ากับ 9.49×10^{-4} (โมล/ลิตร)$^{0.16}$/วินาที ค่าคงที่ปฏิกิริยา (k) เท่ากับ $9.49 \times 10^{-4} . e^{-763.5/T}$ (โมล/ลิตร)$^{0.16}$/วินาที และค่าพลังงานกระตุ้น(Ea) เท่ากับ 6.35 กิโลจูล/โมล ดังนั้นสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับแคลเซียมออกไซด์โดยมีเหล็ก(III)ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเขียนได้เป็น

$$-r_{(SO2)o} = 9.49 \times 10^{-4} . e^{-763.5/T} . [C_{SO2}]_o^{0.84}$$

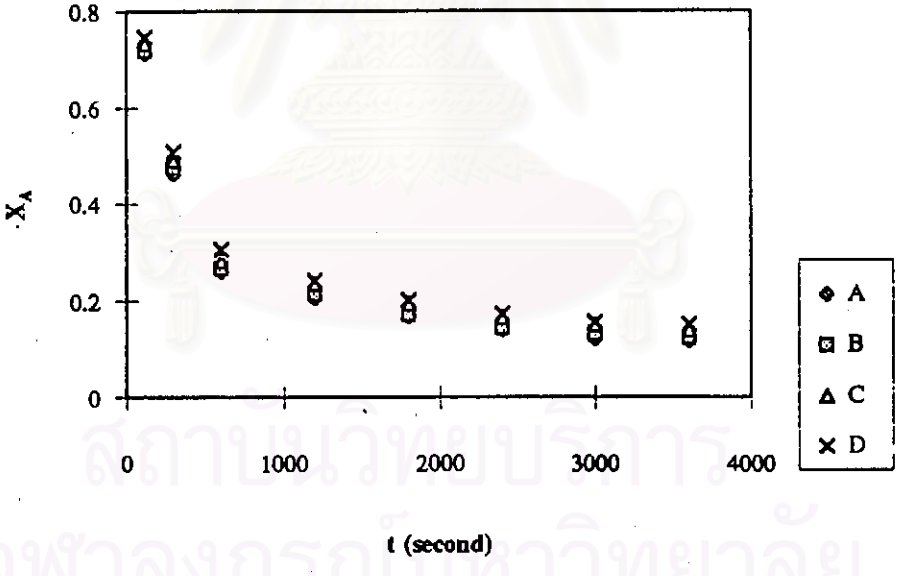
จากที่กล่าวแล้วว่าสำหรับปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะเกิดชั้นผลิตภัณฑ์ขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลของการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาค่อนข้างยุ่งยาก ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยา โดยการหาสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นสามารถถูกควบคุมได้โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction) , การแพร่ภายนอก(external diffusion) และการแพร่ภายใน(internal diffusion) ซึ่งสามารถพิจารณาว่ามีผลจากการแพร่ทั้งภายนอกและภายในหรือไม่ดังนี้

ก. พิจารณาผลของการแพร่ภายนอก(External diffusion)

ศึกษาผลของการแพร่ภายนอกซึ่งจินตนาการว่าเป็นการแพร่ผ่านชั้นแก๊สฟิล์ม โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนการเปลี่ยนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกับเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊ส 0.4 ลิตรต่อนาที ซึ่งคือการทดลองที่ A ถึง D แสดงผลดังตารางที่ 4.21 และกราฟรูปที่ 4. 19

ตารางที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนการเปลี่ยนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆกับเวลา อุณหภูมิการทดลอง 400 °c และอัตราการไหลของแก๊สผสม 0.4 l/min

เวลา(นาที)	2000 ppm (A)	3000 ppm (B)	4000 ppm (C)	5000 ppm (D)
2	0.713	0.726	0.734	0.747
5	0.462	0.475	0.490	0.508
10	0.261	0.273	0.283	0.306
20	0.204	0.213	0.235	0.242
30	0.162	0.177	0.202	0.221
40	0.140	0.143	0.164	0.173
50	0.120	0.131	0.149	0.154
60	0.117	0.122	0.138	0.151



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนการเปลี่ยนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกับเวลา อุณหภูมิการทดลอง 400 °c อัตราการไหลของแก๊สผสม 0.4 l/min

จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เศษส่วนการเปลี่ยนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆไม่แตกต่างกันมาก มีแนวโน้มคงที่ อธิบายได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นไม่ได้มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เวลาเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้นอัตราการเกิด

ปฏิกิริยาเกิดขึ้นปกติ เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction)นั้นหมายความว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่มีผลเนื่องจากการถ่ายโอนมวลเนื่องจากการแพร่เพราะถ้ามีเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเศษส่วนการเปลี่ยนน่าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงสรุปได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ไม่ได้มีผลมาจากการแพร่ภายนอก

ข. พิจารณาผลของการแพร่ภายใน (Internal diffusion)

ภายในอนุภาคของของแข็งมีลักษณะเป็นรูพรุน ดังนั้นการแพร่ภายในจะหมายถึงการแพร่ของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไปภายในรูพรุน เพื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้อนุภาคของแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้มีขนาดเล็กมาก คือ คัดขนาดให้อยู่ในช่วง 75-150 ไมโครเมตร พิจารณาอนุภาคเป็นทรงกลม มีความลึกของรูพรุนเฉลี่ยเพียง 5.6×10^{-5} เซนติเมตร ซึ่งน้อยมากจนสามารถกล่าวได้ว่าไม่มีผลของการแพร่ผ่านรูพรุนต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของปฏิกิริยา

เมื่อได้ทำการทดสอบแล้วพบว่าไม่มีผลจากการแพร่ภายนอกและภายในต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงสรุปได้ว่าสมการอัตราเร็วเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองนี้ เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยมีเหล็ก(III)ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย