ปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส

นาย วัชรศักดิ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-368-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REACTIONS BETWEEN CALCIUM-BASED SORBENTS AND SULPHUR DIOXIDE IN FLUE GAS

Mr. Watcharasak Lerkkumsup

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-631-368-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส
โดย	นายวัชรศักดิ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วัชรศักดิ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์ : ปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส (REACTIONS BETWEEN CALCIUM-BASED SORBENTS AND SULPHUR DIOXIDE IN FLUE GAS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. กัญจนา บุณยเกียรติ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 83 หน้า. ISBN 974-631-368-1

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สที่จำลองขึ้นของสารดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 4 ชนิด และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในการทดลองใช้สารดูดซับที่มีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตแตกต่างกัน 3 ชนิดเทียบกับแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์ทดลองในหลอดแก้วควอร์ตซ์ อุณหภูมิ 750, 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000, 2000 และ 3000 ส่วนในล้านส่วนและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของสารดูดซับและจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับโดยหาค่าพลังงานกระตุ้น (activated energy) และอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยา (initial reaction rate)

ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความสามารถในการขจัดของสารดูดซับทุกชนิดเพิ่มขึ้นยกเว้นหินปูนโดโลไมต์ที่ความสามารถลดลงที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียสและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ SO_2 ในฟลูแก๊ส การขจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ที่ 2000 และ3000 ส่วนในล้านส่วน ความสามารถไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในภาพรวมพบว่าที่อุณหภูมิ 750 และ800 องศาเซลเซียส หินปูนโดโลไมต์มีความสามารถสูงที่สุด (0.8025 mole SO_2/mole Ca; ที่ 3000 ส่วนในล้านส่วน) ส่วนที่อุณหภูมิ 850 และ900 องศาเซลเซียสหินปูนมีความสามารถสูงที่สุด (0.4985 mole SO_2/mole Ca; ที่ 3000 ส่วนในล้านส่วน) ค่าพลังงานกระตุ้นของสารดูดซับ lime(lab.grade), lime(comm.grade) และ limestone มีค่าเป็น 16.83, 16.67 และ 25.24 กิโลจูลต่อโมลตามลำดับ และอันดับของปฏิกิริยาเริ่มต้นของสารดูดซับทั้ง 4 ชนิดมีค่าเท่ากันคือ 0.5 ความแตกต่างของสารดูดซับโดโลไมต์จากสารดูดซับตัวอื่นอาจเกิดเนื่องจาก $MgSO_4$ ที่เกิดขึ้นไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส นอกจากนั้น Fe_2O_3 ที่มีในองค์ประกอบสารดูดซับอาจมีส่วนเสริมการเร่งปฏิกิริยาด้วย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C525699 MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: REACTION / SULPHUR DIOXIDE / LIMESTONE / FLUE GAS
ATCHARASAK LERKKUMSUP : REACTIONS BETWEEN CALCIUM-BASED SORBENTS AND SULPHUR DIOXIDE IN FLUE GAS, THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. KUNCHANA BUNYAKAIT, PORNPOTE PIUMSOMBOON, Ph. D., 83 pp ISBN 974-631-368-1

In this study, calcium-based sorbents were used as sorbents for SO_2 in simulated flue gas employing four different types of sorbents at various conditions. Calcium oxide, calcium hydroxide and carbonate rocks were used as sorbents in a quartz tube reactor. The studied variables were; temperature, 750,800,850 and 900 degree celsius; SO_2 concentration in flue gas, 1000, 2000 and 3000 ppm; and reaction time. The results were then compared and the basic kinetic study of reactions between sorbents and SO_2 were carried out in terms of initial reaction rate and activated energy.

The result is as follows: SO_2 sorption increased with temperature for all sorbents except for dolomite which showed a marked decrease at and above 800 degree celsius. The increasing SO_2 concentration in flue gas also resulted in increasing SO_2 sorption but at 2000 and 3000 ppm, SO_2 absorbed was nearly the same. In overall it was found that at 750 and 800 degree celsius, the reactivity of dolomite sorbent was the highest (0.8025 mole SO_2/mole Ca;at 3000 ppm), while at 850 and 900 degree celsius, the reactivity of limestone was the highest (0.4985 mole SO_2/mole Ca;at 3000 ppm). Activated energies of sorbents; lime(lab.grade), lime(comm. grade), and limestone were 16.83, 16.67 and 25.24 kJ/mole respectively, but that of dolomite showed negative value. The different sorption behaviour of dolomite may result from $MgSO_4$ product which is not stable at temperature higher than 800 degree celsius. Another contributing factor is possibly the presence Fe_2O_3 in sorbents which has been reported to assist in the SO_2 sorption of calcium-based sorbents.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์กัญจนา บุณยเกียรติ และอาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณบริษัท ศรีแสงไทยสระบุรี จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ตัวอย่างหินปูนและหินปูนโดโลไมต์เพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรวมทั้งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันโลหะและวัสดุ ที่กรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการจนงานวิจัยสำเร็จลงด้วยดี ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น ที่ช่วยเหลือซ่อมสร้างเครื่องมือบางส่วนที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคและผู้ที่อยู่เบื้องหลังทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญรูป ..... ฒ
บทที่
1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 3
แร่หินปูนและโดโลไมต์ 3
แก๊สกลุ่มซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 6
1. แหล่งกำเนิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 6
2. สมบัติทางกายภาพของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 9
การขจัดกำมะถันในถ่านหิน 9
การขจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 13
1. แคลซิเนชัน 13
2. ซัลเฟชัน 13
กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี 13
ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมี 17
งานวิจัยในอดีต 19
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง 22
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 22
ตัวอย่างสารดูดซับและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 23
การดำเนินงานวิจัย 25
ขั้นตอนการทดลอง 25
1. การเตรียมตัวอย่างสารดูดซับ 25
2. การวิเคราะห์ตัวอย่างสารดูดซับก่อนทำการทดลอง 25
3. การขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยสารดูดซับ 26

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	4. ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์	28
	ผลการวิเคราะห์สมบัติสารดูดซับ	28
	การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสารดูดซับแต่ละชนิดการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส	30
	1. ปูนขาวความบริสุทธิ์สูง	30
	2. ปูนขาวเชิงการค้า	36
	3. หินปูน	41
	4. หินปูนโดโลไมต์	46
	การเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับ	50
	ศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับ	54
	5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	57
รายการอ้างอิง		61
ภาคผนวก		64
	ภาคผนวก ก	65
	ภาคผนวก ข	67
	ภาคผนวก ค	77
ประวัติผู้เขียน		83

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การเรียกชื่อหินคาร์บอเนต 4
2.2 สมบัติทางกายภาพของ calcite, aragonite, dolomite และ $MgCO_3$ 5
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ 7
2.4 สมบัติทางกายภาพของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 10
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ (รูปออกไซด์) เป็นร้อยละโดยน้ำหนักในสารดูดซับตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry 29
4.2 ผลการวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของแคลเซียมและสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ 30
4.3 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Lime(lab.grade) ขจัดได้ 31
4.4 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Lime(comm.grade) ขจัดได้ 36
4.5 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Limestone ขจัดได้ 41
4.6 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Dolomite ขจัดได้ 46
4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดโดยสารดูดซับต่างๆที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000 ppm อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที 51
4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดโดยสารดูดซับต่างๆที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที 51
4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดโดยสารดูดซับต่างๆที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 3000 ppm อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที 51
4.10 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และสมการเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยา 55
4.11 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของสารดูดซับตัวอย่าง 56
ก.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุในเถ้าเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารดูดซับตัวอย่างด้วยเทคนิคทาง X-ray fluorescence spectrometry 65
ก.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์ในเถ้าสารดูดซับตัวอย่างด้วยเทคนิดทาง X-ray fluorescence spectrometry 65
ก.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการสูญเสียของสารดูดซับเนื่องจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที 66

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.1 แสดงค่า F ของปัจจัยต่างๆ 68

ข.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Lime(lab.grade) 72

ข.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Lime(comm.grade) 73

ข.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Limestone 74

ข.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Dolomite 75

ข.6 Gas conversion data 76

ค.1 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Lime (lab.grade) 77

ค.2 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Lime (comm.grade) 78

ค.3 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Limestone 79

ค.4 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Dolomite 80

ค.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Lime(lab.grade) 81

ค.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Lime(comm.grade) 81

ค.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Limestone 82

ค.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Dolomite 82

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 ชุดเครื่องปฏิกรณ์ Leco sulphur analyzer (Starhope-Seta Model Seta 2000)..... 24
3.2 เครื่องควบคุมอัตราการไหล..... 24

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แผนผังชุดการทดลอง..... 27

4.1 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Lime(lab.grade)..... 32

4.2 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Lime(lab.grade)..... 32

4.3 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Lime(lab.grade)..... 33

4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับLime(lab.grade)..... 34

4.5 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับLime(lab.grade)... 35

4.6 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Lime(comm.grade)..... 37

4.7 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Lime(comm.grade)..... 37

4.8 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Lime(comm.grade)..... 38

4.9 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับLime(comm.grade)... 39

4.10 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับLime(comm.grade)...40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Limestone..... 42

4.12 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Limestone..... 42

4.13 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Limestone..... 43

4.14 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับLimestone..... 44

4.15 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับLimestone..... 45

4.16 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Dolomite..... 47

4.17 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Dolomite..... 47

4.18 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Dolomite..... 48

4.19 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Dolomite..... 49

4.20 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Dolomite..... 50

4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับต่างๆที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm..... 52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับต่างๆที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm..... 52

4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับต่างๆที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm..... 53