

การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารดูดซึมที่มีเถ้าลอยลิกไนต์เป็นองค์ประกอบ



นายพูลศักดิ์ เทียนสว่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ.2538

ISBN 974-584-803-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1165 64541

ABSORPTION OF SULPHUR DIOXIDE WITH ABSORBENT CONTAINING LIGNITE FLY ASH



MR. POONSAK TEANSAWANG

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-584-803-4



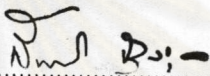
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารดูดซึมที่มีแฉ่ำลอยลิกันต์เป็นองค์ประกอบ

โดย นายพูนศักดิ์ เทียนสว่าง

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตตสานต์

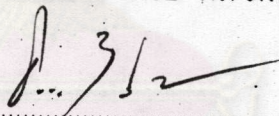
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

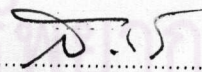
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุษวรรณ)

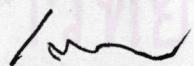
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)



  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตตสานต์)

  
.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมษสุต)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

พูลศักดิ์ เทียนสว่าง : การดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารดูดซึ่มที่มีถ้ำลอยลิกไนต์เป็นองค์ประกอบ (ABSORPTION OF SULPHUR DIOXIDE WITH ABSORBENT CONTAINING LIGNITE FLY ASH) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 146 หน้า.  
ISBN 974-584-803-4

ถ้ำลอยลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ จ.ลำปาง นำมาผลิตสารดูดซึ่ม โดยมีส่วนประกอบของถ้ำลอย ปูนขาว และยิปซั่ม ในอัตราส่วนต่าง ๆ การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นแรก การดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารดูดซึ่มที่ไม่ผ่านกระบวนการอื่น ๆ เพิ่มเติม มีตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราส่วนต่าง ๆ ของสารดูดซึ่ม อุณหภูมิในการดูดซึ่ม 150-300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลก๊าซ 1.5-4.1 ลิตรต่อนาที สารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 และ 0.95 เซนติเมตร สำหรับก๊าซป้อนที่มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 5000 พีพีเอ็ม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซึ่ม คือ สารดูดซึ่มที่มีปริมาณแคลเซียม-ออกไซด์มากกว่า 23% อุณหภูมิในการดูดซึ่ม 200-250 องศาเซลเซียส อัตราการไหลก๊าซ 1.5 ลิตรต่อนาที สารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่สอง การกระตุ้นสารดูดซึ่มด้วยไอน้ำ มีตัวแปรที่ทำการศึกษาในการกระตุ้นคือ สารดูดซึ่มที่มียิปซั่มเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วน 1, 2 และ 3 ส่วนโดยน้ำหนัก สารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 และ 0.95 เซนติเมตร เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 3, 4, 5, 6, 9 และ 12 นาที อุณหภูมิในการให้ไอน้ำ 100-400 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปใช้ในการดูดซึ่ม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ เพื่อใช้ในการดูดซึ่ม คือ สารดูดซึ่มที่มียิปซั่มเป็นองค์ประกอบมากกว่า 2 ส่วนโดยน้ำหนัก เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 3-6 นาที อุณหภูมิในการให้ไอน้ำ 200 องศาเซลเซียส สารดูดซึ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร



ภาควิชา ..... เคมีเทคนิค  
สาขาวิชา ..... เคมีเทคนิค  
ปีการศึกษา ..... 2537

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



## C325672 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: ABSORPTION / SULPHUR DIOXIDE / LIGNITE FLY ASH

POONSAK TEANSAWANG : ABSORPTION OF SULPHUR DIOXIDE WITH ABSORBENT CONTAINING LIGNITE FLY ASH : THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D. 146 pp. ISBN 974-584-803-4

Lignite fly ash from Mae Moh mine at Lumpang Province was used to produce absorbent by varying the composition of fly ash lime and gypsum. The experiments consisted of two steps. In the first step, the variable studied were temperature (150-300°C), gas velocity (1.5-4.1 liter per minute), absorbent diameter (0.57 and 0.95 cm.). For feed gas containing SO<sub>2</sub> 5000 ppm, the result showed that the suitable condition for absorption of SO<sub>2</sub> was as follows : quantity of CaO more than 23% by weight., temperature of absorption 200-250°C, gas velocity 1.5 liter per minute, diameter of absorbent 0.95 cm.

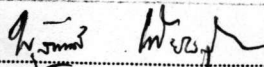
In the second step, the absorbent was cured by steam. The variable studied were composition of gypsum in absorbent 1, 2 and 3 part by weight, diameter of absorbent 0.57 and 0.95 cm., curing time 3, 4, 5, 6, 9 and 12 min and the feed temperature 100-400°C. The result showed that the suitable condition of steam curing absorbent for absorb SO<sub>2</sub> absorptions was as follows : gypsum composition in absorbent more than 2 part by weight, curing time of 3-6 min., feed steam of 200°C., and absorbent diameter of 0.95 cm.

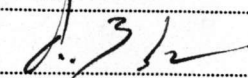
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา.....2537

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....





## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตตคานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตักเตือน และช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้เยี่ยมอุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซ

ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น ที่ช่วยสร้างและซ่อมแซมอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้จนดำเนินการวิจัยได้ดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด


ทุนในการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ย่า ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ฏ
	
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
ถ่านหิน.....	3
โครงสร้างถ่านหิน.....	3
1. โครงสร้างอินทรีย์.....	5
2. สารประกอบแร่ธาตุ.....	5
กัมมะถันในถ่านหิน.....	8
เจ้าถ่านหิน.....	8
1. องค์ประกอบเจ้าถ่านหิน.....	10
2. ปัญหาของเจ้าถ่านหินในเตาเผาและหม้อไอน้ำ.....	13
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	14
1. คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	15
2. ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์.....	16
การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้.....	16
กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากฟลูก๊าส.....	18
1. กระบวนการแบบ Wet Absorption Process.....	18
2. กระบวนการแบบ Catalytic Oxidation Process.....	19
3. กระบวนการแบบ Wet and Dry Adsorption Process.....	19
4. กระบวนการแบบ Dry Absorption Process.....	19
การนำเถ้าลอยมาใช้ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	22
ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมี.....	23



สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	25
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง .....	27
อุปกรณ์ทดลอง .....	27
1. ขั้นตอนเตรียมสารดูดซึ่ม .....	27
2. ขั้นตอนการดูดซึ่ม .....	27
การเตรียมสารดูดซึ่ม .....	28
วิธีดำเนินการทดลอง .....	28
การกระตุ้นสารดูดซึ่มด้วยไอน้ำ .....	30
ขั้นการทดลองต่อไป .....	30
ตัวแปรที่ทำการศึกษา .....	30
4. ผลการทดลอง .....	38
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์ .....	38
ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ CaO และ CaSO <sub>4</sub> .....	42
การดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน packed bed .....	42
1. ความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซึ่มที่มีอัตราส่วนเถ้าลอยต่อปูนขาวต่างกัน .....	42
2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> .....	43
3. อิทธิพลต่ออัตราการไหล SO <sub>2</sub> ต่อความสามารถในการดูดซึ่ม .....	43
4. อิทธิพลของยิปซัมที่มีอัตราส่วนต่างกันต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> .....	43
5. อิทธิพลของขนาดสารดูดซึ่มที่มีต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> .....	44
6. อิทธิพลของอุณหภูมิการให้ไอน้ำที่มีต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> .....	44
7. อิทธิพลของเวลาการกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> .....	44
8. อิทธิพลของไอน้ำต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> ของสารดูดซึ่มที่มีขนาดต่างกัน .....	45
9. อิทธิพลของไอน้ำต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> เมื่อสารดูดซึ่มมียิปซัมเป็นองค์ประกอบ .....	45
10. อิทธิพลของไอน้ำและปริมาณยิปซัมต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> .....	45
ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงอัด .....	66
การศึกษาลักษณะของสารดูดซึ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน .....	66



## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5. วิจารณ์ผลการทดลอง .....	81
สารดูดซึม .....	81
1. อัตราส่วนต่างๆของสารดูดซึม .....	81
2. ขนาดของสารดูดซึม .....	82
3. การกระตุ้นสารดูดซึม .....	82
3.1 อุณหภูมิในการให้ไอน้ำ .....	82
3.2 เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	83
3.3 ขนาดของสารดูดซึม .....	83
ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ .....	84
1. อิทธิพลขององค์ประกอบของสารดูดซึมที่มีอัตราส่วนของเถ้าและ ปูนขาวต่างๆกัน .....	84
2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซึม .....	85
3. อิทธิพลของอัตราการไหลก๊าซผสมซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอากาศ.....	86
4. อิทธิพลของปริมาณยิปซัมที่เป็นส่วนประกอบของสารดูดซึม .....	86
5. อิทธิพลของขนาดสารดูดซึม .....	87
6. อิทธิพลของสารดูดซึมที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	87
6.1 อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ .....	87
6.2 เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	88
6.3 ขนาดสารดูดซึม .....	89
6.4 สารดูดซึมที่มียิปซัมเป็นองค์ประกอบ .....	90
6. สรุปและข้อเสนอแนะ .....	91
รายการอ้างอิง .....	94
ภาคผนวก .....	97
ประวัติผู้เขียน .....	146



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกชนิดถ่านหินตาม ASTM D388 .....	4
2.2 สารประกอบแร่ธาตุที่พบในถ่านหิน .....	7
2.3 ลักษณะของ Thermogram ที่ได้จากการวิเคราะห์แร่ธาตุด้วย DTA .....	12
2.4 สารประกอบแร่ธาตุที่พบในถ่านหิน .....	13
2.5 ตารางแสดงค่าคงที่ทางกายภาพของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ .....	15
2.6 ระดับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สิ่งมีชีวิตยอมรับได้ .....	16
3.1 อัตราส่วนต่างๆของสารดูดซึมที่ทำการขึ้นรูป .....	29
4.1 แสดงผลวิเคราะห์ถ่านลอยลิกไนต์ด้วยวิธี X-ray fluorescence spectrometry .....	39
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ CaO และ CaSO <sub>4</sub> .....	42
4.3 ค่าความต้านทานแรงอัด .....	66

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญภาพ



๗

รูปที่

หน้า

2.1	โมเลกุลสมมุติของถ่านหิน .....	5
2.2	การรวมตัวของวงแหวนอะโรมาติกเมื่อศักดิ์ของถ่านหินเพิ่มขึ้น .....	6
2.3	การเกิดเถ้าถ่านหินขณะเผาไหม้ .....	9
2.4	การกระจายขนาดของอนุภาค fly ash จาก stoker-fired boilers <sup>®</sup> และ pulverized coal-fired boiler (G) .....	10
2.5	แสดงผลทาง X-ray diffraction เถ้าถ่านหินในช่วงอุณหภูมิ 400-1500 °C .....	11
2.6	แสดงถึงลักษณะการเข้าทำปฏิกิริยาของก๊าซ SO <sub>2</sub> กับปูนขาว (CaO) .....	24
3.1	แสดงเครื่องผสมสารดูดซึ่ม .....	31
3.2	แสดงอุปกรณ์ชักตัวอย่างก๊าซ .....	32
3.3	แสดงอุปกรณ์ขึ้นรูปสารดูดซึ่ม .....	33
3.4	แสดงอุปกรณ์ ขนาด และแผนผังการทำงานของเครื่องดูดซึ่มก๊าซ .....	34
3.5	แสดงเครื่องดูดซึ่มก๊าซ .....	35
3.6	แสดงระบบไอน้ำ .....	36
3.7	แสดงเครื่องผลิตอากาศอัด .....	37
4.1	แสดงลักษณะของเถ้าลอยลิกไนต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย .....	38
4.2	แสดงลักษณะของเถ้าลอย ปูนขาว และยิปซัม ก่อนขึ้นรูป .....	40
4.3	แสดงลักษณะของสารดูดซึ่มที่ขึ้นรูปแล้ว .....	41
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ด้วยสารดูดซึ่มที่มีอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อปูนขาวต่างๆกัน .....	46
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่มที่มีอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อปูนขาวต่างๆกัน .....	47
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> .....	48
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มที่อุณหภูมิต่างๆ .....	49
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลก๊าซต่อความสามารถในการดูดซึ่ม SO <sub>2</sub> ...	50
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มที่อัตราการไหลก๊าซต่างๆ .....	51
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ด้วยสารดูดซึ่มที่มีอัตราส่วนของยิปซัมต่างๆกัน .....	52
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่มที่มีอัตราส่วนของยิปซัมต่างๆกัน .....	53



## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ของสารดูดซึ่ม เมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ .....	54
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่ม เมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ .....	55
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ของสารดูดซึ่ม เมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เวลาต่างๆกัน .....	56
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่ม เมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เวลาต่างๆ .....	57
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ของสารดูดซึ่ม ที่มีขนาดต่างๆกัน .....	58
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่ม ที่มีขนาดต่างกัน .....	59
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ของสารดูดซึ่ม ที่มีขนาดแตกต่างกันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	60
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่ม ที่มีขนาดต่างกันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	61
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ด้วยสารดูดซึ่มที่มียิปซัมเป็น องค์ประกอบเมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	62
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่ม ที่มียิปซัมเป็นองค์ประกอบเมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	63
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึ่มก๊าซ SO <sub>2</sub> ด้วยสารดูดซึ่มที่มีปริมาณ ยิปซัมมากขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	64
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ SO <sub>2</sub> ที่ไม่ถูกดูดซึ่มของสารดูดซึ่ม ที่มีปริมาณยิปซัมมากขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ .....	65
4.24 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่า ของสารดูดซึ่ม ตัวอย่างที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 ซม. ....	67
4.25 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่า ของสารดูดซึ่ม ตัวอย่างที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 ซม. ....	68







## สัญลักษณ์

P = ความดันต่าง (เซนติเมตร)

t = เวลา (นาที)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

°C = องศาเซลเซียส

°F = องศาฟาเรนไฮต์

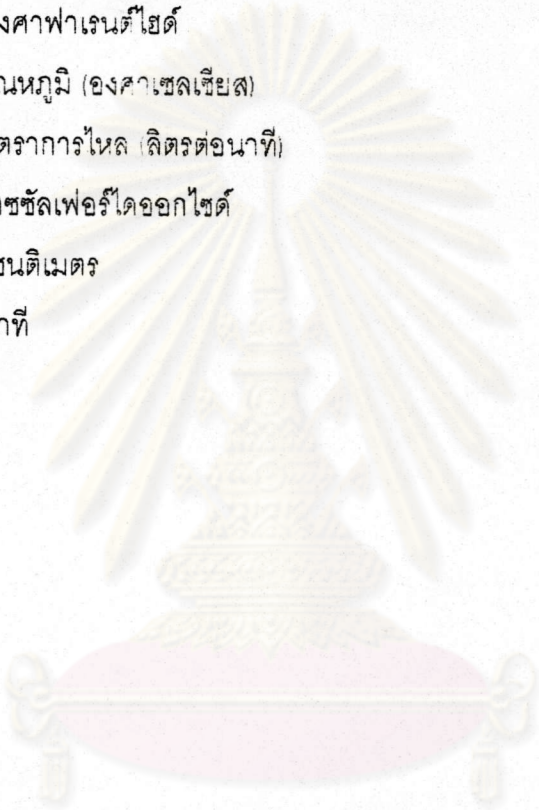
Temp = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Q = อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)

SO<sub>2</sub> = ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

cm. = เซนติเมตร

min. = นาที



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย