

การจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากแก๊สถ่านหินโดยการออกซิไดส์เชิงเร่งปฏิกิริยา
บนซีโอไลต์จากถ่านลอยถ่านหิน



นาย เกษม ไตรหิรัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1505-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE FROM COAL GAS BY CATALYTIC OXIDATION
OVER ZEOLITE FROM COAL FLY ASH



Mr. Kasem Traihirun

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

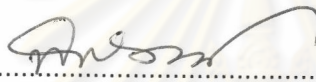
Chulalongkorn University

Academic Year 2001


ISBN 974-03-1505-5


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การขจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากแก๊สถ่านหินโดยการออกซิไดส์เชิงเร่ง
ปฏิกิริยาบนซีโอไลต์จากถ่านถอยถ่านหิน
โดย นาย เกษม ไตรศิริญ
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....รองคณบดีฝ่ายบริหาร
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ การเที่ยง) รักษาการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุญเกียรติ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชณุ มีอยู่)

นายเกษม ไตรหิรัญ : การขจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากแก๊สถ่านหินโดยการออกซิไดส์เชิงเร่งปฏิกิริยาบนซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหิน (REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE FROM COAL GAS BY CATALYTIC OXIDATION OVER ZEOLITE FROM COAL FLY ASH) อ.ที่ปรึกษา :

รศ. กัญจนา บุญยเกียรติ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.ธราพงษ์ วิจิตรานันท์ : 91 หน้า.

ISBN 974-03-1505-5

การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหิน ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้เถ้าลอยเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นวัตถุดิบ ภาวะในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ คือ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 โมลาร์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ เวลา 72 ชั่วโมง ได้ซีโอไลต์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก สำหรับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.0 โมลาร์ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ เวลา 72 ชั่วโมง ได้ซาบาไซต์เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังพบสารประกอบชนิดอื่นๆ เช่น sillimanite, mullite และ laumontite-leonhardite เป็นต้น

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิดซาบาไซต์ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ ใช้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความเข้มข้น 0.079-0.314% โมล และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ความเข้มข้น 0.1-0.4% โมล เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้นและแฟกเตอร์ความถี่ จากการหาความสัมพันธ์ทางจลนพลศาสตร์ด้วยวิธี multiple linear regression พบว่าอันดับของปฏิกิริยาของไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 0.8 และอันดับของปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 0 ค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยามีค่า 2.0 กิโลแคลอรีต่อโมลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และค่าแฟกเตอร์ความถี่มีค่า 8.79×10^{-7} โมลไฮโดรเจนซัลไฟด์-วินาที⁻¹-กรัมซาบาไซต์⁻¹-กิโปลาสดาล^{-(0.8)}

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อผู้จัดทำ นายเกษม ไตรหิรัญ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา A.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4172226623 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: FLY ASH / ZEOLITE / HYDROGEN SULFIDE

Kasem Traihirun : REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE FROM COAL GAS BY
CATALYTIC OXIDATION OVER ZEOLITE FROM COAL FLY ASH. THESIS

ADVISOR : Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat, THESIS COADVISOR : Assoc.

Prof. Dr. Tharapong Vitidsant, 91 pp. ISBN 974-03-1505-5

Zeolites were synthesized from fly ash from Mae-Moh power plant by hydrothermal treatment. The activating condition employing 2 molar of NaOH solution was; 100°C, atmospheric pressure and 72 hrs, where one type of zeolite was found, zeolite type P. With 2 molar of KOH solution at the same activating condition , another type of zeolite was found, chabazite. Other compounds identified were sillimanite, mullite and laumontite-leonhardite.

Kinetics of catalytic oxidation of hydrogen sulfide over chabazite catalyst was investigated from 200°C to 600°C under atmospheric pressure in a differential packed bed reactor . In the experiment, synthesized coal gas was used which contained 0.079-0.314 mole% hydrogen sulfide and 0.1-0.4 mole% sulfur dioxide, balanced with nitrogen. From kinetic correlation using multiple linear regression, the result shows that order of the reaction of hydrogen sulfide is 0.8 and sulfur dioxide is 0. The activation energy of hydrogen sulfide oxidation reaction over chabazite catalyst is 2.0 kcal/mol hydrogen sulfide and frequency factor is $8.79 \times 10^{-7} \text{ mol hydrogen sulfide-sec}^{-1}\text{-g chabazite}^{-1}\text{-kPa}^{-(0.8)}$

Department/Program

Field of study

Academic year 2001

Student's signature. Kasem Traihirun.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดีเนื่องด้วยได้รับความเอาใจใส่ดูแล ความช่วยเหลือ ความเมตตากรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดแนวทางอันเป็นประโยชน์จาก รศ.กัญญา บุญเกียรติ รศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์และผศ.ดร. วิษณุ มีอยู่ ตลอดจนถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ จึงขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่กรุณาอนุเคราะห์เครื่องปั้นชนิดปรับความเร็วรอบได้ ในส่วนงานการสังเคราะห์ซีโอไลต์

ขอขอบคุณคุณมนตรี ทองคำ ที่กรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีพร้อมทั้งด้านข้อมูลรายละเอียดของซีโอไลต์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณทางฝ่ายช่างศูนย์พัฒนาเครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ที่กรุณาช่วยเดินสายต่อทางเดินแก๊สในงานวิจัย

ขอขอบคุณคุณลลิตทิพย์ เพ็งพานิช ที่กรุณาช่วยตรวจทานข้อมูลการทดลอง การคำนวณ พร้อมทั้งให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ทุนในงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย เพื่อการทำวิทยานิพนธ์ จากกองทุนการศึกษาเซลล์ 100 ปี จึงขอขอบคุณกองทุนการศึกษาเซลล์ 100 ปี มา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณพ่อ แม่ และทุกคนในครอบครัวตลอดจนพี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่ให้อำนาจใจในการทำงานและช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย จึงขอขอบคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฏ

บทที่

1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ปรีทัศน์วรรณกรรม	4
2.1 ประเภทของถ่านหิน	4
2.2 สารที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถ่านหิน	5
2.2.1 การจัดรูปของเถ้าขณะทำการเผาไหม้	6
2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ดักเก็บเถ้า	7
2.3 เถ้าลอย	8
2.3.1 ชนิดของเถ้าลอยเมื่อแยกส่วนประกอบตามธรรมชาติ	8
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย	8
2.3.3 สมบัติเชิงกายภาพของเถ้าลอย	10
2.3.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบางประการที่เกิดจากเถ้าลอย	11
2.3.5 สมบัติของเถ้าลอยในประเทศไทยและการใช้งาน	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

2.4 ซีโอไลต์	13
2.4.1 ประวัติซีโอไลต์	15
2.4.2 การแบ่งประเภทของซีโอไลต์ตามลักษณะโครงสร้าง	16
2.4.3 สมบัติที่สำคัญของซีโอไลต์	27
2.4.4 การสังเคราะห์ซีโอไลต์	29
2.4.5 ประโยชน์ของซีโอไลต์	31
2.4.6 ตัวอย่างการนำซีโอไลต์ไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ	32
2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี	35
2.5.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล	36
2.5.2 จลนพลศาสตร์เคมี	37
2.5.3 การวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์	41
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ	44
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ	45
3 วิธีการดำเนินการทดลอง	49
3.1 รูปแบบการศึกษา	49
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	49
3.3 สารเคมี	50
3.4 วัสดุดิบที่ใช้ในงานวิจัย	50
3.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	52
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	54
4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา	54
4.1.1 สมบัติทางกายภาพของถ้ำลอยลิกไนต์	54
4.1.2 สมบัติทางเคมีของถ้ำลอยลิกไนต์	56
4.1.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวบีกีทีของถ้ำลอยลิกไนต์	56

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.1.4 สมบัติทางกายภาพของแก๊สลอยที่ผ่านการกระตุ้น	56
4.1.5 สมบัติของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้	58
4.1.6 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวบีกีของแก๊สลอยลิแกนด์ที่ผ่านการกระตุ้น	58
4.2 การทดสอบกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์	59
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลงานวิจัย	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
รายการอ้างอิง	73
ภาคผนวก	76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของถ่านหินจากที่ต่างๆในโลก	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นส่วนประกอบหลักของถ่านลอย	9
2.3 สมบัติทางกายภาพของถ่านลอยในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	12
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านลอยโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	12
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของซีโอไลต์กับหน้าที่ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	19
2.6 การจัดเรียงโครงสร้างของซีโอไลต์	20
2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์แบ่งตามขนาดของช่องว่าง	27
2.8 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์แบ่งตามสัดส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา.....	28
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านลอยลิกไนต์ที่ใช้ในงานวิจัย	56
4.2 ค่าของพื้นที่ผิวถ่านลอยลิกไนต์ที่วัดได้โดยเครื่อง BET	56
4.3 สมบัติของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้	58
4.4 ค่าของพื้นที่ผิวซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้น วัดได้โดยเครื่อง BET	58
4.5 ผลการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์บนพื้นผิวถ่านลอยลิกไนต์	
0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	60
4.6 ผลการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์บนพื้นผิวซีโอไลต์ที่	
0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	60
4.7 ผลการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์บนพื้นผิวชาบาไซต์	
0.5 กรัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	61
4.8 ผลการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์บนพื้นผิวชาบาไซต์	
0.2 กรัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	63
4.9 ผลการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์บนพื้นผิวชาบาไซต์	
0.1 กรัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	63
4.10 ผลการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์บนพื้นผิวชาบาไซต์	
0.05 กรัม ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	64
4.11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดย	

สารบัญตาราง (ต่อ)

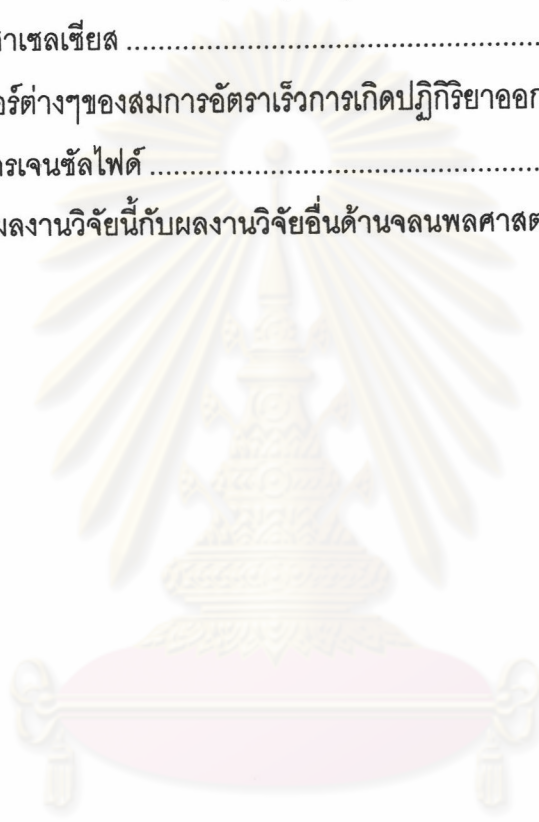
หน้า

ตารางที่

ตัวเร่งปฏิกิริยาซาบาไซต์ W/F ratio เท่ากับ 5×10^{-4} กรัม-นาที่-มิลลิลิตร
 ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่างๆ ณ อุณหภูมิคงที่ระหว่าง
 200-600 องศาเซลเซียส66

4.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสมการอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
 ของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์68

4.13 เปรียบเทียบผลงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยอื่นด้านจลนพลศาสตร์70



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปประกอบที่

2.1 การต่อหน่วยเทระอีตรอนในโครงสร้างซีโอไลต์	14
2.2 หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์	16
2.3 หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์	17
2.4 หน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้าของซีโอไลต์	17
2.5 ประจุในโครงสร้างตาข่ายซีโอไลต์	18
2.6 a) การเร่งปฏิกิริยาโดยการคัดเลือกขนาดของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยา ในโพรงซีโอไลต์	19
b) การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาภายในโพรงซีโอไลต์	19
2.7 ลักษณะในโครงสร้างสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันของ analcite และ laumontite	21
2.8 ลักษณะสายโซ่ใน ก) natrolite ข) brewsterite ค) ZSM-5	22
2.9 ลักษณะโครงสร้างของ offretite และ erionite	22
2.10 สายโซ่ทั้ง 3 แบบ คือ UUDD, UDUD และ UDUU	23
2.11 หน่วยทุติยภูมิใน ก) heulandite ข) mordenite group	23
2.12 ลักษณะโครงสร้างตามแนวโปรเจกชันหลักของ ก) mordenite ข) dachiardite ค) ferrierite ง) epstibite จ) bikitaite	24
2.13 ลักษณะโครงสร้างของ ZSM-5	24
2.14 ลักษณะการจัดเรียงตัวของ ZK-5	25
2.15 ลักษณะโครงสร้างของ ZSM-39	25
2.16 ลักษณะโครงสร้างของ melanophlogite	26
2.17 ลักษณะโครงสร้างของ lovdarite	26
2.18 สัญลักษณ์ต่างๆสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล	37
2.19 ขั้นตอนการทดสอบสมการอัตราเร็วโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียล	39
3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์.....	50
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปประกอบที่

4.1	ภาพถ่ายเถ้าลอยลิกไนต์จากเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) กำลังขยาย 7,000 เท่า	54
4.2	XRD pattern ของเถ้าลอยลิกไนต์	55
4.3	XRD pattern ของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย KOH 2 M อุณหภูมิ 100°C ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	57
4.4	XRD pattern ของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 2 M อุณหภูมิ 100°C ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	57
4.5	พื้นผิวของเถ้าลอยที่ผ่านการกระตุ้นด้วย NaOH 2 M 100°C ความดันบรรยากาศ 72 hr กำลังขยาย 7,500 เท่า	59
4.6	พื้นผิวของเถ้าลอยที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH 2 M 100°C ความดันบรรยากาศ 72 hr กำลังขยาย 7,500 เท่า	59
4.7	เศษส่วนการเปลี่ยนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆของการทำปฏิกิริยา ออกซิเดชันแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยป้อนแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจือจางในแก๊สไนโตรเจน ที่อัตราการไหลรวม 100 มิลลิลิตรต่อนาที	62
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ ซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 200-600 องศาเซลเซียส แก๊สป้อนประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และแก๊ส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจือจางในแก๊สไนโตรเจน ที่อัตราการไหลรวม 100 มิลลิลิตรต่อนาที	64
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความดันย่อยของแก๊ส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ณ อุณหภูมิคงที่ระหว่าง 200-600 องศาเซลเซียส และค่า W/F ratio เท่ากับ 5×10^{-4} กรัม-นาที่-มิลลิลิตร ⁻¹	66
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(k)$ กับ $1/T$ (Arrhenius Plot) ที่คำนวณโดยวิธี multiple linear regression	69

สัญลักษณ์และคำย่อ

PBU (Primary Building Unit) = หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ

SBU (Secondary Building Unit) = หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิ

XRD (X-Ray Diffraction Spectroscopy) = เอกซเรย์ดิฟแฟรคชันสเปกโทรมิเตอร์

XRF (X-ray Fluorescences Spectroscopy) = เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

SEM (Scanning Electron Microscopy) = สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย