การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งโดยซีโอไลท์สังเคราะห์จากเถ้าลอยถ่านหิน

นายสาคร นาคสุทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-17-7085-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEAVY METAL REMOVAL FROM EFFLUENTS BY SYNTHETIC ZEOLITE FROM COAL FLY ASH

MR.SAKORN NARKSUTHI

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mining Engineering
Department of Mining and Petroleum Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-7085-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งโดยซีโอไลท์สังเคราะห์จากเถ้าลอยถ่านหิน
โดย	นายสาคร นาคสุทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเหมืองแร่
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล ภูวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล ภูวิจิตร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุนทร พุ่มจันทร์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาคร นาคสุทธิ์ : การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งโดยซีโอไลท์สังเคราะห์จากเถ้าลอยถ่านหิน (HEAVY METAL REMOVAL FROM EFFLUENTS BY SYNTHETIC ZEOLITE FROM COAL FLY ASH) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุรพล ภู่วิจิตร, 69 หน้า. ISBN 974-17-7085-5.

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการสังเคราะห์ซีโอไลท์จากเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล นำเถ้าลอยมาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน ภายใต้ความดันบรรยากาศ ที่สภาวะความเป็นด่าง จากการวิจัยที่สภาวะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 - 3 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิและเวลาคงที่ ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าสามารถสังเคราะห์ซีโอไลท์ได้ 4 ชนิดคือ A,P, analcime และ chabazite โดยสภาวะที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบซีโอไลท์ P และ analcime หากใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบซีโอไลท์ A และ P หากใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบซีโอไลท์ chabazite

เมื่อนำซีโอไลท์สังเคราะห์จากทั้ง 3 สภาวะมาทดสอบการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าเกินมาตรฐาน 4 ตัวคือ Ni, Cr, Zn, Mn เปรียบเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล พบว่าซีโอไลท์สังเคราะห์ชนิด P, analcime และ chabazite ให้ค่าการดูดซับโลหะหนักดีกว่าเถ้าลอยที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ขณะที่ซีโอไลท์สังเคราะห์ชนิด A และ P ให้ค่าการดูดซับโลหะหนักต่ำกว่าเถ้าลอยตั้งต้น จากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักดังกล่าว สามารถสรุปความสามารถในการดูดซับของซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ chabazite, P และ analcime, fly ash, A และ P หากเปรียบเทียบชนิดของโลหะหนักที่ซีโอไลท์ดูดซับได้ดีสามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ Zn , Mn, Ni, Cr

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2547

##4470593821: MAJOR MINING ENGINEERING

KEY WORD: FLY ASH / HEAVY METAL REMOVAL / ZEOLITE / SYNTHETIC ZEOLITE /

SAKORN NARKSUTHI : HEAVY METAL REMOVAL FROM EFFLUENTS BY SYNTHETIC ZEOLITE FROM COAL FLY ASH. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SURAPHOL PHUVICHIT, PH.D., 69 PP. ISBN 974-17-7085-5.

This research focuses on the synthesis of zeolites from coal fly ashes of Mae Moh power plant, Lampang province. Coal fly ashes were activated by hydrothermal treatment with alkaline solution. In this research, the concentration of sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide(KOH) are varied from 1-3 M, while the temperature and treatment duration are keep constant at 100 °C and 96 hours respectively. The results show that synthetic zeolites A, P, Analcime and Chabazite can be synthesized at these conditions. At the condition of NaOH 1 M solution, 100 °C and 96 hours, zeolites P and Analcime were found. At the condition of NaOH 2 M solution, 100 °C and 96 hours, zeolite A and zeolite P were found. While at the condition of KOH 1 M solution, 100 °C and 96 hours, zeolite Chabazite was found.

The synthetic zeolite materials of the three conditions were tested for heavy metal adsorption from effluents of industry. Over standard heavy metal from effluents were Ni, Cr, Zn and Mn. It is found that synthetic zeolites P, Analcime and Chabazite can adsorp the heavy metals better than untreated fly ash. While the synthetic zeolite A and zeolite P show can adsorp the heavy metals lower than untreated fly ash. Comparison of adsorptivity of each kind of synthetic zeolite in the order from maximum to minimum are Chabazite, P and Analcime, Fly ash and A, P. While the comparison order for heavy metals being adsorped are Zn, Mn, Ni and Cr.

Department of Mining and Petroleum Engineering Student's signature S. Narksuthi
Field of study Mining Engineering Advisor's signature S. Phuvichit
Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่วางไว้ เกิดขึ้นจากการศึกษาตำรา บทความที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยที่ได้มีการทำการทดลองของนักวิชาการหลายๆท่าน รวมทั้งได้รับการสนับสนุนและช่วยเหลือเป็นอย่างดีทั้งจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ

ผู้จัดทำจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตร์ ดร. สุรพล ภู่วิจิตร และคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณอุทิศ ทองกลึง และ คุณพงศธร รุ่งเจริญ ที่คอยช่วยเหลือและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดลอง และการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อให้ใช้เครื่องมือ X-ray Diffraction (XRD)

ขอขอบคุณ คุณสุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และคุณวราภรณ์ คุณาวนากิจ สำนักงานวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ การสังเคราะห์ซีโอไลท์ รวมทั้งเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณธาตุ Inductively coupled plasma spectrometor (ICP)

ขอขอบคุณบริษัทเจนโก จำกัดที่ได้เอื้อเฟื้อตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ 2

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 3

2 เถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์ 5

2.1 การเกิดเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์ 5

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย 6

2.2.1 รูปร่างและอนุภาค 6

2.2.2 ความละเอียด 8

2.2.3 ความถ่วงจำเพาะ 8

2.3 องค์ประกอบทางเคมีและแร่ในเถ้าลอย 8

2.3.1 เถ้าลอย Class C 9

2.3.2 เถ้าลอย Class F 10

3 ซีโอไลท์ 11

3.1 ประวัติซีโอไลท์ 11

3.2 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของซีโอไลท์ 12

3.3 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ซีโอไลท์ 17

3.4 ตัวอย่างการนำวัสดุซีโอไลท์ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ 18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.5 ชนิดของซีโอไลท์ 20
3.5.1 ซีโอไลท์ธรรมชาติ 21
3.5.2 ซีโอไลท์จากการสังเคราะห์ทางเคมี 23
3.6 คุณลักษณะของซีโอไลท์ 27
3.7 การสังเคราะห์ซีโอไลท์ 27
3.8 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของซีโอไลท์ 30
3.8.1 สมบัติทางกายภาพของซีโอไลท์ 30
3.8.2 สมบัติทางเคมีของซีโอไลท์ 30
3.9 ตัวอย่างการผลิตซีโอไลท์ในโรงงานอุตสาหกรรม 31
3.9.1 ซีโอไลท์โซเดียมเอ 31
3.9.2 ซีโอไลท์โซเดียมวาย 32
3.10 ทิศทางเชิงเศรษฐกิจของซีโอไลท์สังเคราะห์ 34
4 การศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35
4.1 งานวิจัยการสังเคราะห์ซีโอไลท์ที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย 35
4.2 งานวิจัยการสังเคราะห์ซีโอไลท์ที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ 36
5 การดำเนินการทดลอง 39
5.1 รูปแบบการศึกษา 39
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ 39
5.3 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ 40
5.4 การเตรียมเถ้าลอย 40
5.5 การสังเคราะห์ซีโอไลท์จากเถ้าลอย 40
6 ผลการทดลองการสังเคราะห์ซีโอไลท์จากเถ้าลอยถ่านหิน 44
6.1 คุณสมบัติของสารตั้งต้น 44
6.2 ซีโอไลท์สังเคราะห์ที่ได้ 46
7 การทดลองการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ซีโอไลท์สังเคราะห์ 51
7.1 รูปแบบการทดลอง 51
7.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ 51
7.3 วิธีการทดลอง 51
7.4 ผลการทดลองการดูดซับโลหะหนัก 52

บทที่ หน้า

8 อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย 56

9 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 58

9.1 สรุปผลการวิจัย 58

9.1.1 ผลการสังเคราะห์ซีโอไลท์ 58

9.1.2 ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เถ้าลอยและซีโอไลท์สังเคราะห์ 58

9.2 ข้อเสนอแนะ 59

9.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย 60

รายการอ้างอิง 61

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก XRD Pattern of Zeolite 66

ภาคผนวก ข มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม 68

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจาก 4 แหล่งที่ผลิตได้ในประเทศไทย	9
3.1	โครงสร้างซีโอไลท์แบ่งตาม single oxygen ring sbus	15
3.2	โครงสร้างซีโอไลท์แบ่งตาม double oxygen ring sbus	16
3.3	โครงสร้างซีโอไลท์แบ่งตาม 4-1 sbu	16
3.4	โครงสร้างซีโอไลท์แบ่งตาม 5-1 sbu	17
3.5	โครงสร้างซีโอไลท์แบ่งตาม 4-4-1 sbu	17
3.6	ชื่อซีโอไลท์สังเคราะห์	25
3.7	การใช้ประโยชน์จากซีโอไลท์สังเคราะห์	34
6.1	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	44
6.2	ผลการสังเคราะห์ซีโอไลท์	49
7.1	ผลการทดลองการดูดซับโลหะหนัก	52
7.2	ค่าการดูดซับโลหะหนักโดยเถ้าลอยและซีโอไลท์สังเคราะห์ในสภาวะต่างๆ	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 รูปขยายเถ้าลอย 7

2.2 รูปขยายเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ 7

3.1 แสดงช่วงเวลาการค้นพบซีโอไลท์และโมเลคกูลาซีพ 11

3.2 โครงสร้าง 3 มิติของซีโอไลท์ 13

3.3 หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลท์ 13

3.4 โซดาไลท์ (Sodalite or β cage) เมื่อเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างก่อให้เกิด Sodalite, zeolite A and faujasite (zeolite X/Y) 14

3.5 ไดอะแกรมการสังเคราะห์ซีโอไลท์ aNa2O:bAl2O3:cSiO2:(90-100)H2O สำหรับซีโอไลท์ต่างๆ (HS = hydroxysodalite) ที่อุณหภูมิการตกผลึก 100 องศาเซลเซียส 29

3.6 กระบวนการผลิตซีโอไลท์สังเคราะห์โซเดียมเอ 32

3.7 กระบวนการผลิตซีโอไลท์สังเคราะห์โซเดียมวาย 33

5.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ซีโอไลท์และการใช้ซีโอไลท์สังเคราะห์เพื่อดูดซับโลหะหนัก 41

5.2 X-Rays Fluorescenses Spectroscope (XRF) 42

5.3 X-Rays Diffraction Spectroscope (XRD) 42

5.4 Scanning Electron Microscope (SEM) 43

5.5 Inductively Coupled Plasma Spectrometor (ICP) 43

6.1 Pattern ของเถ้าลอยจาก X-Ray Diffraction (XRD) 45

6.2 ลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยจาก Scanning Electron Microscope (SEM) 45

6.3 XRD Pattern ของซีโอไลท์การสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง ความเข้มข้น NaOH 1 โมลต่อลิตร 46

6.4 XRD Pattern ของซีโอไลท์การสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง ความเข้มข้น NaOH 2 โมลต่อลิตร 47

6.5 XRD Pattern ของซีโอไลท์การสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง ความเข้มข้น NaOH 3 โมลต่อลิตร 47

6.6 XRD Pattern ของซีโอไลท์การสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง ความเข้มข้น KOH 1 โมลต่อลิตร 48

รูปที่ หน้า

6.7 XRD Pattern ของซีโอไลท์การสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง ความเข้มข้น KOH 2 โมลต่อลิตร 48

6.8 XRD Pattern ของซีโอไลท์การสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 96 ชั่วโมง ความเข้มข้น KOH 3 โมลต่อลิตร 49

7.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักโดยเถ้าลอย 53

7.2 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักโดยซีโอไลท์สังเคราะห์ analcime, P 54

7.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักโดยซีโอไลท์สังเคราะห์ A, P 54

7.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักโดยซีโอไลท์สังเคราะห์ chabazite 55

7.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักเปรียบเทียบกันระหว่างเถ้าลอย และซีโอไลท์สังเคราะห์ 55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย