การใช้ Thiobacillus ferrooxidans สกัดโลหะซัลไฟด์ออกจากกากตะกอน

นาย บริบูรณ์ พุทธรักษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-208-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17199645

LEACHING OF METAL SULFIDE SLUDGE BY Thiobacillus ferrooxidans

Mr. Boriboon Buddharuksa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-208-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้ Thiobacillus ferrooxidans สกัดโลหะชัลไฟด์ออกจากกากตะกอน

โดย นายบริบูรณ์ พุทธรักษา

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.แสงสันต์ พานิช)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

บริบูรณ์ พุทธรักษา : การใช้ Thiobacillus ferrooxidans สกัดโลหะซัลไฟด์ออกจากกากตะกอน (LEACHING OF METAL SULFIDE SLUDGE BY Thiobacillus ferrooxidans) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ , 104 หน้า . ISBN 974-584-208-7

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการสกัดโลหะหนักออกจากตะกอนซัลไฟด์ โดยแบคทีเรีย Thiobacillus ferrooxidans ทำการทดลองแบบต่อเนื่อง ในถังปฏิกรณ์ขนาด 15 ลิตร โดยมีตัวแปรได้แก่ ระยะเวลาเก็บกักและความเข้มข้นสารอาหาร $FeSO_4.7H_2O$ ตะกอนซัลไฟด์ที่ใช้เป็นตะกอนสังเคราะห์ มี 3 ชนิด ได้แก่ CuS , NiS และ ZnS ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าปริมาณโลหะหนักถูกสกัดออกมาได้ดีที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของโลหะซัลไฟด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แบคทีเรียสามารถสกัด Cu , Ni และ Zn ได้ร้อยละ 100 , 100 และ 55 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นของโลหะซัลไฟด์ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แบคทีเรียสามารถสกัด Cu , Ni และ Zn ได้ร้อยละ 86.58 , 80.10 และ 65.94 ตามลำดับ ค่า pH ที่เหมาะสมในการสกัดโลหะหนักอยู่ในช่วง 2.2 - 2.5

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต บริบูรณ์ พุทธรักษา

สาขาวิชา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

ปีการศึกษา ๒๕๓๖ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C417090 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: Thiobacillus ferrooxidans / METAL SULFIDE / LEACHING
BORIBOON BUDDHARUKSA : LEACHING OF METAL SULFIDE SLUDGE BY Thiobacillus ferrooxidans . THESIS ADVISOR : PETCHPORN CHAWAKITCHAREON,Ph.D. 104 pp. ISBN 974-584-208-7

Microbial Leaching of metals from sulfide sludge was studied in a continuously fed 15 L. capacity bioreactor using an adapted strain of Thiobacillus ferrooxidans at varying detention time and ferrous sulfate concentration. Tree kind of synthesized sulfide sludge ;CuS , NiS and ZnS was used at concentration 200 mg/l and 400mg/l. Acceptable levels of metals in the sludge were reached with a detention time 4 days. It was found that at 200 mg/l of metal sludge Thiobacillus ferrooxidans can leach Cu , Ni and Zn 100 % , 100 % and 55 % respectively. At 400 mg/l of metal sludge Thiobacillus ferrooxidans can leach Cu , Ni and Zn at 86.58 % , 80.10 % and 66 % respectively. The optimum pH for Heavy Metal leaching was 2.2 - 2.5.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต บริบูรณ์ พุทธรักษา

สาขาวิชา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพชรพร เชวกิจเจริญ

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อย่างสูงสุด เนื่องด้วยท่านเป็นผู้ที่ได้ให้แนวทาง ข้อมูล คำชี้แนะต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยตลอดจนความเอาใจใส่ และติดตามผลอยู่ตลอดเวลา ทำให้ผู้วิจัยมีความกระตือรือร้น และตั้งใจที่จะทำการวิจัยให้สำเร็จ ทั้งเป็นผู้ช่วยตรวจทานแก้ไขต้นฉบับ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ทวี จิตไมตรี รศ.ดร.สุรพล สายพานิช อ.ดร.แสงสันต์ พานิช ที่ได้ให้แนวทางคำแนะนำ และได้ช่วยแก้ไขโครงร่างวิทยานิพนธ์ เมื่อครั้งเป็นคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท Design 739 Co.,ltd. และ STN Construction Co.,ltd. ที่ได้เอื้อเฟื้อเวลาการทำงานของผู้วิจัย และอุปกรณ์การพิมพ์วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณประเสริฐ บุญเจริญ ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยี - พระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้เชื้อแบคทีเรีย ตลอดจนสอนวิธีการเพาะเลี้ยงเชื้อแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณเสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี และ คุณเสาวนีย์ พงษ์ศิริสุนทร ที่ได้ช่วยพิมพ์เนื้อหาบางส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ได้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเกี่ยวกับการถ่ายภาพแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย

และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ช่วยสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 4

   2.1 วัตถุประสงค์ 4

   2.2 ขอบเขตของการวิจัย 4

3. ทฤษฎี 5

   3.1 Bacterial leaching หรือ Microbial Leaching 5

   3.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการทำ Bacterial Leaching 6

      3.2.1 *Thiobaccillus ferrooxidans* 6

      3.2.2 *Thiobacillus thiooxidans* 7

      3.2.3 *Leptospirillum ferrooxidans and Mixed cultures of acidophiles* 7

      3.2.4 *Thermophilic Thiobacillus spp.* 8

      3.2.5 *Extream thermophilic bavteria* 8

   3.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบคทีเรียกลุ่ม Thiobacillus 8

หน้า

3.4 Bacterial Leaching Mechanism 11
3.4.1 วิธีตรง (Direct Method) 11
3.4.2 วิธีอ้อม (Indirect Method) 13
3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำ Leaching 16
3.5.1 pH 16
3.5.2 ORP 19
3.5.3 อุณหภูมิ 19
3.5.4 สารอาหาร 20
3.5.5 เฟอรัสไอออน และซัลเฟอร์ 20
3.6 ผลการศึกษาที่ผ่านมา 21
3.6.1 การใช้ Bacterial Leaching ในการสกัดสังกะสีออกจาก สังกะสีซิลิเกต 21
3.6.2 การสกัดน้ำมันจากหินน้ำมัน 23
3.6.3 การสกัดแร่ทองแดง 25
3.6.4 การสกัดแร่สังกะสี 26
3.6.5 การทำ Phosphate Rock Bioleaching 27
3.6.6 การประยุกต์ใช้ในกระบวนการ Leaching ในอุตสาหกรรม เหมืองแร่ทองแดง 29
3.6.7 การสกัดแร่ยูเรเนียม 31
3.7 Chemostat Process 32
3.8 Specific Growth Rate 35
4. แผนการดำเนินการวิจัย 36
4.1 แผนการวิจัย 36
4.1.1 แผนงานทั่วไป 36

หน้า

4.1.2 ขั้นตอนการวิจัย 36
4.1.3 การเก็บผลและการติดตามผล (Sampling and Monitoring) 38
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 38
4.2.1 ถังปฏิกรณ์ (Reactor) 38
4.2.2 แหล่งเก็บตะกอน (Sludge Storage) 39
4.2.3 เครื่องกวน (Magnetic Stirrer) 39
4.2.4 เครื่องสูบชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) 39
4.2.5 เครื่องเติมอากาศ (Air Blower) 39
4.3 ตะกอนสลัดจ์สังเคราะห์ (Synthetic Sludge) 41
4.4 วิธีการทดลอง 41
4.4.1 การเลี้ยงแบคทีเรีย 41
4.4.2 การปรับสภาพเชื้อให้มีความเคยชินกับน้ำเสียสังเคราะห์ (Adapt Culture) 41
4.4.3 การปฏิบัติการ Leaching แบบทีละเท 42
4.4.4 การปฏิบัติการ Leaching แบบต่อเนื่อง 42
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ 44
5.1 ผลการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย 44
5.2 ผลการปรับสภาพเชื้อให้มีความเคยชินกับน้ำเสียสังเคราะห์ 46
5.3 ผลการทดลองแบบทีละเท (Batch Process) 49
5.3.1 ผลทางกายภาพ 49
5.3.2 ผลการ Leaching โลหะซัลไฟด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 56
5.4 ผลการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) 60

หน้า

5.4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และลักษณะทางกายภาพ
ขณะทำการทดลอง Leaching CuS 400 มิลลิกรัม/ลิตร 60
5.4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และลักษณะทางกายภาพ
ขณะทำการทดลอง Leaching NiS,ZnS 400 มิลลิกรัม/ลิตร 77
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 100
6.1 pH ที่เหมาะสม 100
6.2 ปริมาณสารอาหาร 100
6.3 ความเข้มข้นของโลหะหนัก 100
6.4 ระยะเวลาเก็บกัก 101
6.5 ข้อเสนอแนะ 101
7. เอกสารอ้างอิง 102

สารบัญตาราง

หน้า

1. ตารางที่ 3.1 อัตราการสกัดสังกะสีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ pH ต่าง ๆ..... 17
2. ตารางที่ 3.2 แสดงค่า pH เริ่มต้น, pH สุดท้าย และการตกตะกอนของเกลือเฟอริก..... 18
3. ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching (ความเข้มข้นของ CuS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) 50
4. ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching (ความเข้มข้นของ NiS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) 52
5. ตารางที่ 5.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching (ความเข้มข้นของ ZnS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) 54
6. ตารางที่ 5.4 แสดงผลการเปรียบเทียบการ Leaching ใน Reactor ที่มีความเข้มข้นของ CuS, NiS และ ZnS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 58
7. ตารางที่ 5.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching ด้วย *Thiobacillus ferrooxidans* (ความเข้มข้นของ CuS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร)..... 61
8. ตารางที่ 5.6 แสดงผลการ Leaching Heavy Metal(Cu) ในถังปฏิกิริยาต่าง ๆ ความเข้มข้น CuS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 72
9. ตารางที่ 5.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching ด้วย *Thiobacillus ferrooxidans* (ความเข้มข้นของ NiS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร)..... 79
10. ตารางที่ 5.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching ด้วย *Thiobacillus ferrooxidans* (ความเข้มข้นของ ZnS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร)..... 85

หน้า

11. ตารางที่ 5.9 แสดงผลการ Leaching Heavy Metal(Ni) ในถังปฏิกิริยาต่าง ๆ ความเข้มข้น NiS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 91

12. ตารางที่ 5.10 แสดงผลการ Leaching Heavy Metal(Zn) ในถังปฏิกิริยาต่าง ๆ ความเข้มข้น ZnS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 95

สารบัญรูป

หน้า

1. รูปที่ 3.1 วัฏจักรของซัลเฟอร์ในธรรมชาติ..... 10
2. รูปที่ 3.2 แสดงผลของอุณหภูมิต่ออัตราการสกัดสังกะสีที่ pH 2.5..... 19
3. รูปที่ 3.3 การสกัดแมงกานีสที่ความเข้มข้นของกำมะถันต่าง ๆ กัน..... 21
4. รูปที่ 3.4 แสดงผลการทำ Bioleaching สังกะสีด้วย *Thiobacillus-ferrooxidans* โดยใช้ Fe^{3+} ที่สภาวะเริ่มต้นต่างกัน..... 26
5. รูปที่ 3.5 แสดงถึงการลดลงของ Fe^{2+} ขณะทำการทดลองเนื่องจากเป็นผลผลิตของปฏิกิริยา..... 28
6. รูปที่ 3.6 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของ SO_4^{2-} ขณะทำการทดลองเนื่องจากเป็นผลผลิตของปฏิกิริยา..... 28
7. รูปที่ 3.7 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของ P_2O_5 ขณะทำการทดลองซึ่งเกิดจากการ Leaching..... 29
8. รูปที่ 3.8 แสดงกระบวนการสกัดทองแดงจากแร่เกรดต่ำโดยใช้ Dump Leaching..... 30
9. รูปที่ 3.9 แสดง Chemostat Diagram ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์แสดงด้วยสัญญลักษณ์ x และปริมาณสารอาหารแสดงด้วยสัญญลักษณ์ s..... 32
10. รูปที่ 3.10 33
11. รูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่าในขณะที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ลดลงที่เวลาใดๆ ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารจะเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่อความเข้มข้นของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณสารอาหารจะลดลงในเวลาเดียวกัน 34

หน้า

12. รูปที่ 4.1 แสดงถึง Model ที่ใช้ในการวิจัย..... 40
13. รูปที่ 5.1 แสดงการเพาะเชื้อ *Thiobacillus Ferrooxidans* ใน สารอาหารตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 6..... 45
14. รูปที่ 5.2 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนของ *Thiobacillus Ferrooxidans* ด้วยกำลังขยาย15,000 เท่า..... 47
15. รูปที่ 5.3 แสดงการปรับปรุงเชื้อ *Thiobacillus Ferrooxidans* ให้มีความเคยชินกับน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเลี้ยงเชื้อร่วมกับ ตะกอนชัลไฟด์ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 48
16. รูปที่ 5.4 กราฟแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching ในการทดลองแบบทีละเท ความเข้มข้นของ CuS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร +$FeSO_4.7H_2O$ 1.00 กรัมต่อลิตร..... 51
17. รูปที่ 5.5 กราฟแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching ในการทดลองแบบทีละเท ความเข้มข้นของ NiS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร +$FeSO_4.7H_2O$ 1.00 กรัมต่อลิตร..... 53
18. รูปที่ 5.6 กราฟแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ขณะทำ Bacterial Leaching ในการทดลองแบบทีละเท ความเข้มข้นของ ZnS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร +$FeSO_4.7H_2O$ 1.00 กรัมต่อลิตร..... 55
19. รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทำ Bacterial Leaching โลหะหนักทั้งสามชนิด ความเข้มข้นของ MS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร +$FeSO_4.7H_2O$ 1.00 กรัมต่อลิตร (การทดลองแบบทีละเท)..... 57
20. รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการ Leaching ใน Reactor ต่าง ๆ ความเข้มข้นของ CuS,NiS และ ZnS 200 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 58

39. รูปที่ 5.27 ก
ข
ค
40. รูปที่ 5.28 ก
ข
41. รูปที่ 5.29 ก
ค