97

การสกัดสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซัลไฟด์ โดยใช้เชื้อ Thiobacillus ferrooxidans ชนิดผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์

น.ส. สุวิสา ประดิษฐ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-740-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16751425

LEACHING EFFICIENCY OF ZINC FROM ZINC SULFIDE ORE BY NON AND LYOPHILIZED *Thiobacillus ferrooxidans*

Miss Suwisa pradit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1995

ISBN 974-632-740-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซัลไฟด์โดยใช้เชื้อ Thiobacillus ferrooxidans ชนิดผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์
โดย	นางสาวสุวิสา ประดิษฐ์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุวิสา ประดิษฐ์ : การสกัดสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซัลไฟด์ โดยใช้เชื้อ **Thiobacillus ferrooxidans** ชนิดผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (LEACHING EFFICENCY OF ZINC FROM ZINC SULFIDE ONE BY NON AND LYOPHELIZED **Thiobacillus ferrooxidans** อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพรรณ เชาวกิจเจริญ, 120 หน้า.
ISBN 974-632-740-2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการสกัดสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซัลไฟด์ โดย **Thiobacillus ferrooxidans** ชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ แร่ธรรมชาติสังกะสีซัลไฟด์ได้มาจาก บริษัท ผาแดงอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีปริมาณสังกะสีซัลไฟด์อยู่ 56.73 เปอร์เซนต์ของแร่ ทำการทดลองแบบทีละเท ในถังปฏิกรณ์ขนาด 15 ลิตร โดยมีตัวแปรเป็นค่าพีเอชและปริมาณแร่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสังกะสีถูกสกัดออกมาได้ดี เมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วง 1.5 - 2, ปริมาณแร่ที่เหมาะสมคือ 106 กรัมต่อสารสะลาย 15 ลิตร แบคทีเรียสามารถสกัดสังกะสีได้ 242 เปอร์เซนต์ของปริมาณสังกะสีในแร่ และพบว่า **Thiobacillus ferrooxidans** ชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ มีประสิทธิภาพในการสกัดสังกะสีที่ใกล้เคียงกันงานวิจัยอีกส่วนศึกษาเกี่ยวกับ medium, อุณหภูมิ และระยะเวลา ที่ใช้ในการเก็บรักษาเชื้อ **Thiobacillus ferrooxidans** ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ จากการทดลองพบว่า การไลโอฟิไลซ์ สามารถเก็บรักษาเชื้อ **Thiobacillus ferrooxidans** ไว้ได้อย่างน้อย 16 เดือน ที่อุณหภูมิ 0 หรือ 4 องศาเซลเซียล โดยใช้ skim milk หรือ sucrose เป็น medium ในการไลโอฟิไลซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C517640 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: **Thiobacillus ferrooxidans** / LEACHING / LYOPHILIZATION / ZINC

SUWISA PRADIT : LEACHING EFFICIENCY OF ZINC FROM ZINC SULFIDE ORE BY NON AND LYOPHILIZED **Thiobacillus ferrooxidans**
THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D.
120 pp. ISBN 974-632-740-2

This research consist of 2 parts. The first part of this research is leaching efficiency study of zinc sulfide ore by using non and lyophilized **Thiobacillus ferrooxidans**. Natural Zinc sulfide ore was obtain from Padand Industry Public Compary which contain Zinc 56.73% by weight. The experiment was carried out in 15 L capacity batch reactors at varying pH and ore quantity. It was found that the optimum pH is between 1.5 - 2, the optimum ore quanity is 10.6 g/ 15 L solution which corresponse to 24.2 % bacterial leaching efficiency from zinc sulfide ore. No significal different of leaching efficiency was found between non and lyophilized **Thiobacillus ferrooxidans**. The ither part of this research is the study of optimum temperature, medium and preservation time for lyophilized **Thiobacillus ferrooxidans**. It was found that lyophilized **Thiobacillus ferrooxidans** can be kept at 0^0 c or 4^0 c at least 16 months and can use skim milk or sucrose as lyophilized - medium.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา ทั้งเป็นผู้ตรวจทานแก้ไขต้นฉบับ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอด อาจารย์ ดร. แสงสันต์ พานิช รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเธียร และ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ที่ท่านให้แนวทางและข้อแนะนำ สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แร่สังกะสีซัลไฟด์ เพื่อใช้ในการทำวิจัยตลอดการทำวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมชาย สันติวัฒนกุล คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ท่านกรุณาทำการไลโอฟิไลซ์แบคทีเรีย เพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดการทำวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณ บริบูรณ์ พุทธรักษา คุณ บุญส่ง ศิลปเจริญกุล คุณ กิตติวุฒิ พนาสันติภาพ คุณ กฤษฎา มหาสันทนะ คุณ นันทนา อิทธิพรโกวิท และ คุณ รักษพล ชูชาติ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง

เนื่องจาก ทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจาก ทุนอุดหนุนการวิจัย ของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

และท้ายที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ผู้ให้สติและสนับสนุนทุนการศึกษาเสมอมาจนจบการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 3

วัตถุประสงค์ 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

3 ทฤษฎี 4

Thiobacillus ferrooxidans 4

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลิชชิ่ง 6

ก. Thiobacillus ferrooxidans 6

ข. Thiobacillus thiooxidans 6

ค. Leptospirillum ferrooxidans และ Mixed Culture of acidophiles 6

ง. Thermophilic thiobacillus 7

จ. Extreme thermophilic 7

กระบวนการลิชชิ่งที่เกิดโดยจุลินทรีย์ 7

ก. วิธีโดยตรง (Direct leaching) 7

ข. วิธีโดยอ้อม (Indirect leaching) 8

การไลโอฟิไลซ์ (Lyophilization) 9

ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการลิชชิ่ง (Leaching) 10

1. พีเอช 10

2. ORP 11

3. อุณหภูมิ 11

หน้า

4. สารอาหาร 12
5. เฟอร์รัสไอออนและซัลเฟอร์ 12
6. พื้นที่ผิวสัมผัส 13
7. อากาศ 13
ผลการศึกษาที่ผ่านมา 14
1. การใช้ Thiobacillus ferrooxidans สกัดโลหะหนักออกจากกากตะกอน 14
2. การใช้ Bacterial Leaching ในการสกัดสังกะสีออกจากสังกะสีซิลิเกต .. 14
3. การใช้ไบโอลิชชิ่ง ในการสกัดยูเรเนียม 14
4. การกำจัดซัลเฟอร์ออกจากถ่านหินโดยวิธีไบโอลิชชิ่ง 15
5. การใช้ไบโอลิชชิ่งกำจัดโลหะหนักจากสลัดจ์ชุมชน 15
4. แผนการดำเนินการวิจัย 17
แผนการวิจัย 17
เครื่องมือและอุปกรณ์ 17
สังกะสีซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลอง 18
ขั้นตอนการวิจัย 20
1. การเพาะเชื้อแบคทีเรีย 20
2. การเตรียมเชื้อเพื่อนำไปทำการไลโอฟิไลซ์ 20
3. การไลโอฟิไลซ์เชื้อ Thiobacillus ferrooxidans 20
4. การทดสอบเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 22
5. การปรับสภาพเชื้อให้มีความเคยชินกับน้ำเสียสังเคราะห์ 22
6. การปฏิบัติการแบบทีละเท 22
การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ 24
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ 25
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแร่สังกะสีซัลไฟด์ 25
ผลการเพาะเลี้ยง Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 25
1. ระยะเวลาที่เก็บเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 25
2. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเชื้อระหว่าง
Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 26
3. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเชื้อระหว่าง
เชื้อที่เก็บใน Skim milk และเชื้อที่เก็บใน Sucrose 26

หน้า

4. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเชื้อระหว่าง
เชื้อซึ่งผ่านการเก็บที่อุณหภูมิ 0และ 4 องศาเซลเซียส 31
ผลการลิชชิ่งแร่สังกะสีซัลไฟด์โดยใช้ตัวแปรเป็นแร่สังกะสีซัลไฟด์ 31
1. เปรียบเทียบผลของค่าสังกะสีละลาย จาก Thiobacillus ferrooxidans
ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 40
2. ผลของค่าพีเอชในการลิชชิ่ง 44
3. ผลของค่า ORP ในการลิชชิ่ง 48
4. ผลของค่า MLVSS ในการลิชชิ่ง 48
ผลการลิชชิ่งแร่สังกะสีซัลไฟด์โดยใช้ตัวแปรเป็นค่าพีเอช 56
1. เปรียบเทียบผลของค่าสังกะสีละลาย ของ Thiobacillus ferrooxidans
ที่ผ่านและไม่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 56
2. ผลของค่า ORP ในการลิชชิ่ง 66
3. ผลของค่า MLVSS ในการลิชชิ่ง 66
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 75
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเชื้อ Thiobacillus ferrooxidans
ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 75
ความแตกต่างของการลิชชิ่ง ระหว่างเชื้อที่ไม่ผ่านและผ่านการไลโอฟิไลซ์ 75
พีเอชที่เหมาะสม 75
ปริมาณแร่สังกะสีซัลไฟด์ที่เหมาะสม 75
ข้อเสนอแนะ 76
เอกสารอ้างอิง 77
ภาคผนวก 79
ประวัติผู้เขียน 120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราการสกัดสังกะสีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ pHต่าง ๆ 10

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณการละลายสูงสุดของโลหะหนักจากสลัดจ์แอนแอโรบิค ที่ digest แล้ว 11

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ต้องเก็บและวิเคราะห์เปรียบเทียบ 24

ตารางที่ 5.1 แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ใน Skim milk , Sucrose และเก็บ ที่ 0 และ 4 องศาเซลเซียส 27

ตารางที่ 5.2 ปริมาณสังกะสีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 80

ตารางที่ 5.3 ปริมาณสังกะสีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) ของการทดลองชุดที่ 3โดย Thiobacillus ferrooxidans 81

ตารางที่ 5.4 ค่า pH ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 82

ตารางที่ 5.5 ค่า pH ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 83

ตารางที่ 5.6 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 84

ตารางที่ 5.7 ค่า ORP (mv) H ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans 85

ตารางที่ 5.8 ค่า MLVSS(mg/l) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 86

ตารางที่ 5.9 ค่า MLVSS(mg/l) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans 87

ตารางที่ 5.10 ปริมาณสังกะสีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 88

ตารางที่ 5.11 ปริมาณสังกะสีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 89

ตารางที่ 5.12 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 90

หน้า

ตารางที่ 5.13 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 91
ตารางที่ 5.14 ค่า MLVSS(mg/l) ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 92
ตารางที่ 5.15 ค่า MLVSS(mg/l) ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 93
ตารางที่ 5.16 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 94
ตารางที่ 5.17 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans 95
ตารางที่ 5.18 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 96
ตารางที่ 5.19 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.1	แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอน ของ Thiobacillus ferrooxidans ด้วยกำลังขยาย 15,000 เท่า	5
รูปที่ 3.2	แสดงผลของอุณหภูมิต่ออัตราการสกัดสังกะสีที่ พีเอช 2.5	12
รูปที่ 3.3	แสดงผลของปริมาณอากาศที่มีต่อการลิชชิ่งแคดเมียมออกจากสลัดจ์	13
รูปที่ 4.1	แสดงแร่สังกะสีซัลไฟด์ จากบริษัท ผาแดง อินดัสตรี จำกัด (มหาชน)	18
รูปที่ 4.2	แสดงขนาดต่าง ๆของแร่สังกะสีซัลไฟด์ ที่ผ่านการบด เพื่อได้ขนาดเป็น 80/100 เมช	19
รูปที่ 4.3	แสดงเครื่องไลโอฟิไลซ์ ของคณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	21
รูปที่ 4.4	แสดงหลอด ampoule ที่บรรจุ Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ ด้วย Skim milk (ก) และ Sucrose (ข)	21
รูปที่ 4.5	แสดงถึง Model ที่ใช้ในการวิจัย	23
รูปที่ 5.1	แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ใน Skim milk และเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส	28
รูปที่ 5.2	แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ใน Skim milk และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส	28
รูปที่ 5.3	แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ใน Sucrose และเก็บที่ 0 องศาเซลเซียส	29
รูปที่ 5.4	แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ใน Sucrose และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส	29
รูปที่ 5.5	แสดงระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ใน Skim milk และ Sucrose และเก็บที่ 0 และ 4 องศาเซลเซียส	30
รูปที่ 5.6	ปริมาณสังกะสีละลาย (มก./ล.) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์	32
รูปที่ 5.7	ปริมาณสังกะสีละลาย (มก./ล.) ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans	33
รูปที่ 5.8	ค่า pH ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์	34

หน้า

รูปที่ 5.9 ค่า pH ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans 35

รูปที่ 5.10 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 36

รูปที่ 5.11 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans 37

รูปที่ 5.12 ค่า MLVSS (mg/l) ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 38

รูปที่ 5.13 ค่า MLVSS (mg/l) ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans 39

รูปที่ 5.14 แสดงปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) ของทุกถังปฏิกรณ์ 41

รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.ของถังปฏิกรณ์ควบคุม 42

รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล 42

รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล 42

รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล 43

รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล 43

หน้า

รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล 43

รูปที่ 5.21 แสดงค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) ของทุกถังปฏิกรณ์ 45

รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล ของถังปฏิกรณ์ควบคุม 46

รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล 46

รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล 46

รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล 47

รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล 47

รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบค่า pH ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล 47

รูปที่ 5.28 แสดงค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) ของทุกถังปฏิกรณ์ 50

หน้า

รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.ของถังปฏิกรณ์ควบคุม 51

รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล 51

รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล 51

รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล 52

รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล 52

รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล 52

รูปที่ 5.35 แสดงค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) ของทุกถังปฏิกรณ์ 53

รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล.ของถังปฏิกรณ์ควบคุม 54

รูปที่ 5.37 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 200 มก./ล 54

หน้า

รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 400 มก./ล 54

รูปที่ 5.39 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 1 ก./ล 55

รูปที่ 5.40 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 5 ก./ล 55

รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 1) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 3) เมื่อค่าสังกะสีละลายสูงสุดคือ 10 ก./ล 55

รูปที่ 5.42 ปริมาณสังกะสีละลาย (มก./ล.) ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 57

รูปที่ 5.43 ปริมาณสังกะสีละลาย (มก./ล.) ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 58

รูปที่ 5.44 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 59

รูปที่ 5.45 ค่า ORP (mv) ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 60

รูปที่ 5.46 ค่า MLVSS (mg/l) ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 61

รูปที่ 5.47 ค่า MLVSS (mg/l) ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 62

รูปที่ 5.48 แสดงปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) ของทุกถังปฏิกรณ์ 63

รูปที่ 5.49 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 1.5 64

หน้า

รูปที่ 5.50 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2 64

รูปที่ 5.51 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2.5 64

รูปที่ 5.52 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3 65

รูปที่ 5.53 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3.5 65

รูปที่ 5.54 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีละลาย ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 4 65

รูปที่ 5.55 แสดงค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) ของทุกถังปฏิกรณ์ 68

รูปที่ 5.56 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 1.5 69

รูปที่ 5.57 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2 69

รูปที่ 5.58 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 2.5 69

หน้า

รูปที่ 5.59 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3 70

รูปที่ 5.60 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 3.5 70

รูปที่ 5.61 เปรียบเทียบค่า ORP (mv) ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อควบคุมค่า pH ที่ 4 70

รูปที่ 5.62 แสดงค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) ของทุกถังปฏิกรณ์ 71

รูปที่ 5.63 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อค่าควบคุมค่า pH ที่ 1.5 72

รูปที่ 5.64 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อค่าควบคุมค่า pH ที่ 2 72

รูปที่ 5.65 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อค่าควบคุมค่า pH ที่ 2.5 72

รูปที่ 5.66 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อค่าควบคุมค่า pH ที่ 3 73

รูปที่ 5.67 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อค่าควบคุมค่า pH ที่ 3.5 73

หน้า

รูปที่ 5.68 เปรียบเทียบค่า MLVSS ระหว่างการทดลองโดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ (ชุดที่ 2) และ Thiobacillus ferrooxidans (ชุดที่ 4) เมื่อค่าควบคุมค่า pH ที่ 4 73

รูปที่ 5.69 แสดงสังกะสีซัลไฟด์ ก่อนการทดลอง (ก) และหลังทดลอง (ข) 74

รูปที่ 5.70 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 1 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 98

รูปที่ 5.71 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 3 โดย Thiobacillus ferrooxidans 98

รูปที่ 5.72 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 2 โดย Thiobacillus ferrooxidans ที่ผ่านการไลโอฟิไลซ์ 99

รูปที่ 5.73 แสดงเปอร์เซนต์สังกะสีละลายจากปริมาณแร่ของการทดลองชุดที่ 4 โดย Thiobacillus ferrooxidans 99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย