

การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้เชื้อ
Thiobacillus ferrooxidans

นางสาว ชวัลุเรณู หลีสิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540
ISBN 974-638-022-2
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEACHING OF NICKEL FROM HEAVY METAL SLUDGE BY
Thiobacillus ferrooxidans

MISS KWANRUEN LEESIN

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-Department of Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997
ISBN 974-638-022-2**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้เชื้อ

Thiobacillus ferrooxidans

โดย นางสาว ชวีญเวื่อน หลีสิน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพฑิพย์ ธีรเวชญาณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพฑิพย์ ธีรเวชญาณ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว :

ขวัญเรือน หลีสิน : การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้เชื้อ *Thiobacillus ferrooxidans* (LEACHING OF NICKEL FROM HEAVY METAL SLUDGE BY *Thiobacillus ferrooxidans*) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. เพ็ชรพร ชาวอกิจเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. ไพฑูย์ อธิเวชญาณ ; 93 หน้า. ISBN 974-638-022-2.

งานวิจัยนี้ศึกษา การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยแบคทีเรีย *Thiobacillus ferrooxidans* ATCC 19859 โดยศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ชนิดของแบคทีเรีย ช่วงเวลาเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย ปริมาณเฟอร์รัสไอออน การปรับสภาพเชื้อแบคทีเรีย และปริมาณกากตะกอนโลหะหนัก กากตะกอนโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองได้จากลานตากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมีของกระบวนการชุบนิกเกิล ซึ่งมีนิกเกิล 48.81 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูปนิกเกิลไฮดรอกไซด์ และพีเอชเริ่มต้นประมาณ 7.89

ผลการทดลองพบว่า กรดซัลฟิวริก 0.1 โมลาร์ สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้ 100 เปอร์เซ็นต์ *T. ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* ATCC 8085 และเชื้อผสมระหว่าง *T. ferrooxidans* กับ *T. thiooxidans* มีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักที่ปริมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกัน ได้แก่ 82, 99 และ 86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเติมกากตะกอนโลหะหนักลงในระบบหลังจากแบคทีเรียเจริญเต็มที่ จะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* เพิ่มขึ้น 19 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. thiooxidans* เพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0.25 - 0.75 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักที่ปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรโดย *T. ferrooxidans* การปรับสภาพ *T. ferrooxidans* ให้ทนต่อกากตะกอนโลหะหนัก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักให้สูงขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ที่ปริมาณกากตะกอนโลหะหนัก 200, 400, 800 มิลลิกรัมต่อลิตร 1, 5 และ 8 กรัมต่อลิตร คือ 97, 94, 99, 85, 80 และ 82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักในระบบดังปฏิกรณ์แบบที่ละเทที่ปริมาณกากตะกอนโลหะหนัก 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 14 วัน *T. ferrooxidans* สามารถสกัดนิกเกิลออกมาได้ 90 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา สหสาขา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต ขวัญเรือน หลีสิน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพ็ชรพร ชาวอกิจเจริญ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ไพฑูย์ อธิเวชญาณ

C826789 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD BIOLEACHING / NICKEL / HEAVY METAL SLUDGE / *Thiobacillus ferrooxidans*

KWANRUEN LEESIN : LEACHING OF NICKEL FROM HEAVY METAL SLUDGE BY
Thiobacillus ferrooxidans. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON,
Ph.D. THESIS COADVISOR : ASST. PROF. PHITHIP THIRAVETYAN, Ph.D. 93 pp.
ISBN 974-638-022-2.

This research investigated the ability of *Thiobacillus ferrooxidans* ATCC 19859 to leach nickel from heavy metal sludge. The experiments were performed to determine not only the efficiency of reduction by leaching of nickel but also the factors affecting the efficiency of nickel leaching from heavy metal sludge, such as the strain of bacteria, the duration of bacterial culture, the amount of ferrous ion, the adaptation of bacteria and the concentration of heavy metal sludge. The heavy metal sludge was obtained from a sand drying bed of a chemical wastewater treatment plant for a nickel electroplating process, which contained 48.81% nickel in the form of nickel hydroxide; its pH was about 7.89.

The results indicated that sulfuric acid at 0.1 M could leach all nickel from heavy metal sludge. The nickel leachability efficiencies for *T. ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* ATCC 8085 and mixed culture of *T. ferrooxidans* with *T. thiooxidans* were 82 %, 99 % and 86 % respectively, at 400 mg/l of heavy metal sludge. Adding the heavy metal sludge to a bacterial culture growing under optimal conditions resulted in enhanced efficiency of nickel leaching by 19 % for *T. ferrooxidans* and by 5 % for *T. thiooxidans*. Increases in concentration of ferrous ion between 0.25 and 0.75 g/l had no effect on the efficiency of nickel leaching by *T. ferrooxidans* at 200 mg/l of heavy metal sludge. *T. ferrooxidans* which had adapted to the heavy metal sludge could enhance nickel leaching about by 17 %. The efficiency of nickel leaching from heavy metal sludge by *T. ferrooxidans* at 200, 400, 800 mg/l 1, 5 and 8 g/l was 97%, 94%, 99%, 85%, 80% and 82 % respectively. In a batch reactor, at 800 mg/l of heavy metal sludge, in 14 days, the efficiency of nickel leaching by *T. ferrooxidans* was 90% .

ภาควิชา..... สหสาขา.....

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *Conchon นวลสิน*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *พิชญ์ วิชากร*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *พิชญ์ วิชากร*.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยการให้คำแนะนำและสนับสนุนการดำเนินงานทุกด้านเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร. เพ็ชรพร เขาวงกัจเจริญ และ ผศ.ดร.ไพฑิพย์ ชีรเวชญาณ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ.ที่นี้

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณบดีคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้เอื้อเพื่อให้ใช้ห้องปฏิบัติการ และคณบดีคณะพลังงานและวัสดุ ที่ได้เอื้อเพื่อให้ใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ และขอขอบคุณ คุณอุไรลักษณ์ ทองดี ที่ได้เอื้อเพื่อออกตะกอนโลหะหนักที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. กำธร ชีรคุปต์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา และเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง ผศ.ดร. สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เคารพ คุณสมศักดิ์ นรนาถตระกูล พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร.....	5
1 นิกเกิล.....	5
1.1 คุณสมบัติของนิกเกิล.....	5
1.2 ประโยชน์ของนิกเกิล.....	5
1.3 นิกเกิลกับประเทศไทย.....	8
2 ไบโอดีซซิ่ง.....	9
2.1 ความหมายของไบโอดีซซิ่ง.....	9
2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไบโอดีซซิ่ง.....	9
2.3 กระบวนการไบโอดีซซิ่งที่เกิดโดยจุลินทรีย์.....	16
3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไบโอดีซซิ่ง.....	20
3.1 ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์.....	20
3.2 อุณหภูมิ.....	21
3.3 พีเอช.....	21
3.4 สารอาหาร.....	22
3.5 ออกซิเดชัน-รีดักชัน โปเทนเชียล.....	22
3.6 ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์.....	23
3.7 ความเป็นพิษของโลหะ.....	24
4 การประยุกต์ใช้กระบวนการไบโอดีซซิ่งกับสิ่งแวดล้อม.....	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	30
3.1 การเพาะเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2 การเตรียมกากตะกอนโลหะหนัก.....	31
3.3 การวิเคราะห์พีเอชเริ่มต้นของกากตะกอนโลหะหนัก.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การหาปริมาณนิกเกิลที่อยู่ในกากตะกอนโลหะหนัก.....	32
3.5 ศึกษาการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยวิธีทางเคมี.....	33
3.6 ศึกษาผลของชนิดแบคทีเรียต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนัก.....	33
3.7 ศึกษาผลของช่วงเวลาเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนัก.....	33
3.8 ศึกษาปริมาณเฟอร์รัสไอออนต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i>	34
3.9 ศึกษาผลของการปรับสภาพเชื้อ <i>T. ferrooxidans</i> ต่อการสกัดนิกเกิล ออกจากกากตะกอนโลหะหนัก.....	34
3.10 ศึกษาผลของปริมาณกากตะกอนโลหะหนักต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i>	35
3.11 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	36
4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิล และพีเอชเริ่มต้น ของกากตะกอนโลหะหนัก.....	36
4.2 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยวิธีทางเคมี.....	37
4.3 ผลของชนิดของแบคทีเรียต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนัก.....	39
4.4 ผลของช่วงเวลาเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกาก ตะกอนโลหะหนัก.....	45
4.5 ผลของปริมาณเฟอร์รัสไอออนต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i>	54
4.6 ผลของการปรับสภาพเชื้อ <i>T. ferrooxidans</i> ต่อการสกัดนิกเกิล ออกจากกากตะกอนโลหะหนัก.....	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 ผลของปริมาณกากตะกอนโลหะหนักต่อการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i>	59
4.8 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท.....	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	68
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	93

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การออกซิเดชันเหล็กโดย <i>T. ferrooxidans</i>	11
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาการออกซิเดชันสารประกอบซัลเฟอร์ของแบคทีเรีย ในกลุ่ม Thiobacillus.....	13
รูปที่ 2.3 การลิขซึ่งโดยตรง.....	17
รูปที่ 2.4 การลิขซึ่งโดยทางอ้อม.....	19
รูปที่ 2.5 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกสกัดออกโดยแบคทีเรีย <i>T. ferrooxidans</i> ที่ได้รับการ ปรับสภาพและแบคทีเรียปกติ.....	24
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนกับค่า การเจือจาง ในการหาพีเอชเริ่มต้นของกากตะกอนโลหะหนัก.....	36
รูปที่ 4.2 นิกเกิล(เปอร์เซ็นต์)ที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้กรด ซัลฟิวริกความเข้มข้นต่างๆ กัน.....	38
รูปที่ 4.3 นิกเกิล(พีพีเอ็ม)ที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยใช้กรด ซัลฟิวริกความเข้มข้นต่างๆ กัน.....	38
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัดนิกเกิล ออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นต่างๆ กัน.....	38
รูปที่ 4.5 นิกเกิล(เปอร์เซ็นต์)ที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย เชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ.....	43
รูปที่ 4.6 นิกเกิล(พีพีเอ็ม)ที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย เชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ.....	43
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดยเชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ.....	44
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเฟอร์รัสไอออนในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดยเชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ.....	44
รูปที่ 4.9 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i>	48
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณเฟอร์รัสไอออนในระหว่างการ สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i>	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ซึ่งเติม กากตะกอนลงในระบบหลังจากแบคทีเรียเจริญได้ 18 ชั่วโมง.....	49
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณเฟอร์ริสอออนในระหว่างการ สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ซึ่งเติม กากตะกอนโลหะหนักหลังจากเชื้อเจริญได้ 18 ชั่วโมง.....	49
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยเติม กากตะกอนโลหะหนักในช่วงเวลาเริ่มต้นเลี้ยงเชื้อและหลังจากเชื้อ เจริญได้ 18 ชั่วโมง.....	50
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณเฟอร์ริสอออนในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยเติมกากตะกอนโลหะหนัก ในช่วงเวลาเริ่มต้นเลี้ยงเชื้อและหลังจากเชื้อเจริญได้ 18 ชั่วโมง.....	50
รูปที่ 4.15 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. thiooxidans</i>	51
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัด นิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. thiooxidans</i>	51
รูปที่ 4.17 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. thiooxidans</i> ในสภาวะ ที่เติมกากตะกอนหลังจากเชื้อเจริญได้ 5 วัน.....	52
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัด นิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. thiooxidans</i> ในสภาวะ ที่เติมกากตะกอนหลังจากเชื้อเจริญได้ 5 วัน.....	52
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก โดย <i>T. thiooxidans</i> ในสภาวะที่เติมกากตะกอนในช่วงเริ่มต้นการ เลี้ยงเชื้อและเติมหลังจากเชื้อเจริญได้ 5 วัน	53
รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจาก กากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. thiooxidans</i> ในสภาวะที่เติมกากตะกอน ในช่วงเริ่มต้นเลี้ยงเชื้อและเติมหลังจากเชื้อเจริญได้ 5 วัน.....	53
รูปที่ 4.21 ปริมาณนิกเกิล(เปอร์เซ็นต์)ที่ถูกสกัดออกมาอยู่ในสารละลายโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในระบบที่มีปริมาณเฟอร์ริสอออนแตกต่างกัน.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.22 ปริมาณนิกเกิล(พีพีเอ็ม)ที่ถูกสกัดออกมาอยู่ในสารละลายโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในระบบที่มีปริมาณเฟอร์ริสอออนแตกต่างกัน.....	55
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัดนิกเกิล ออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในระบบที่มี ปริมาณเฟอร์ริสอออนแตกต่างกัน.....	56
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเฟอร์ริสอออนในระหว่างการสกัดนิกเกิล ออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในระบบที่มี ปริมาณเฟอร์ริสอออนแตกต่างกัน.....	56
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักระหว่าง <i>T. ferrooxidans</i> ปกติ และปรับสภาพ.....	58
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณเฟอร์ริสอออนที่เหลือในระหว่างการ สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ปกติ และปรับสภาพ.....	58
รูปที่ 4.27 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	60
รูปที่ 4.28 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	60
รูปที่ 4.29 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	60
รูปที่ 4.30 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 1 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	61
รูปที่ 4.31 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 5 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	61
รูปที่ 4.32 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 8 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	61

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายและปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	62
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายและปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	62
รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายและปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	62
รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายและปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 1 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	63
รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายและปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 5 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	63
รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายและปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 8 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	63
รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 200, 400 800 มิลลิกรัมต่อลิตร 1, 5 และ 8 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	65
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายในระหว่างการสกัด นิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 200, 400, 800 มิลลิกรัมต่อลิตร 1 5 และ 8 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	65
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟอร์ริสอ็อกไซด์ในระหว่างการสกัดนิกเกิล ออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 200, 400, 800 มิลลิกรัมต่อลิตร 1, 5 และ 8 กรัมต่อลิตร โดย <i>T. ferrooxidans</i>	65

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.42 นิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท.....	67
รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงพีเอชและค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในระหว่าง การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท.....	67
รูปที่ 4.44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเฟอร์ริสอ็อกไซด์และอุณหภูมิในระหว่างการ สกัดนิกเกิลนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย <i>T. ferrooxidans</i> ในถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท.....	67