

การจัดตั้งกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์
ด้วยตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส



นางสาว พณจิตร ธนสิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

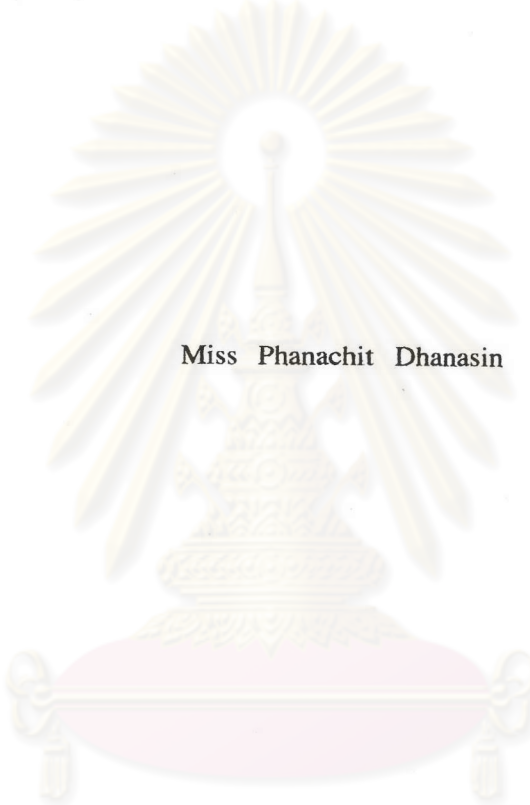
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-723-9

ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF ZINC AND NICKEL IN SYNTHETIC WASTEWATER
BY IRON AND MANGANESE OXIDE COATED SAND



Miss Phanachit Dhanasin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-635-723-9

พลจิตร ธนสิน : การกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส (TREATMENT OF ZINC AND NICKEL IN SYNTHETIC WASTEWATER BY IRON AND MANGANESE OXIDE COATED-SAND) อ. ที่ปรึกษา : ศศ.ดร. เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ, อ. ที่ปรึกษา-ร่วม : ศศ.ดร. ประแส มงคลศิริ, 222 หน้า. ISBN 974-635-723-9

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ การวิจัยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวกลางทั้งสองชนิด โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีและน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลที่ความเข้มข้น 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. พีเอชเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ขั้นตอนที่สองศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่หลุดออกมาจากการฟื้นฟูน้ำด้วยตัวกลางด้วยโซเดียมไนเตรท 0.01 M และ 0.1 M เฉพาะสภาวะที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1

จากการทดลองในขั้นตอนแรกพบว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสังกะสีและไอออนนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 50 มก./ล. พีเอชเท่ากับ 6 โดยประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสังกะสีและไอออนนิกเกิลเท่ากับ 68.92 % และ 69.52 % สำหรับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และเท่ากับ 60.66 % และ 68.27 % สำหรับทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งปริมาณสังกะสีและนิกเกิลที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 1978.02 มก./ล.เรซิน และ 2136.33 มก./ล.เรซิน และสังกะสีและนิกเกิลที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 2982.64 มก./ล.เรซิน และ 3057.52 มก./ล.เรซิน

จากการทดลองในขั้นตอนที่สองพบว่า การฟื้นฟูน้ำด้วยตัวกลางทั้งสองชนิดด้วยโซเดียมไนเตรท 0.1 M สามารถนำกลับโลหะหนักได้ในปริมาณมากกว่าการฟื้นฟูน้ำด้วยตัวกลางด้วยโซเดียมไนเตรท 0.01 M ถึง 2-4 เท่าเมื่อตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์นั้น โซเดียมไนเตรท 0.1 M สามารถนำกลับโลหะหนักได้ในปริมาณมากกว่าโซเดียมไนเตรท 0.01 M ถึง 12 เท่า ในปริมาตรของโซเดียมไนเตรทที่เท่ากัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา ๒๕๖๖

ลายมือชื่อนิสิต พลจิตร ธนสิน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ประแส มงคลศิริ

C717961 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAVY METAL / METAL OXIDES / ADSORPTION / ION EXCHANGE
PHANACHIT DHANASIN : TREATMENT OF ZINC AND NICKEL IN
SYNTHETIC WASTEWATER BY IRON AND MANGANESE OXIDE
COATED-SAND. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. PETCHPORN
CHAWAKITCHAROEN, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF.
PRASANG MONGKOLSIRI, Ph.D. 222 pp. ISBN 974-635-723-9

This research studied about the efficiency and the suitable pH of Zinc and Nickel synthetic wastewater treatment by iron and manganese oxide coated-sand. The experiment was divided into 2 steps, the first step was carried out in order to find the suitable pH and ion exchange capacity of two medias with synthetic wastewater concentration 10 mg/l, 20 mg/l and 50 mg/l at pH 5, 6, 7 and 8 respectively. The second step was about the comparison of quantity of metal in a regenerant between sodium nitrate 0.01 M and 0.1 M by using the optimum condition from the first step.

The results from the first step show that the best efficiency for Zinc and Nickel exchange of iron and manganese oxide coated-sand was at concentration of 50 mg/l and at pH 6. For iron oxide coated-sand, the efficiency for Zinc and Nickel exchange was equal to 68.92 % and 69.52 % which correspond to the quantity of exchangable Zinc and Nickel equal to 1978.02 mg/l.resin and 2136.33 mg/l.resin. For manganese oxide coated-sand, the efficiency for Zinc and Nickel exchange was equal to 60.66 % and 68.27 % which correspond to the exchangable Zinc and Nickel equal to 2982.64 mg/l.resin and 3057.52 mg/l.resin.

The result in the secondary step reveals that the regeneration of two medias with sodium nitrate 0.1 M can recovered more metal than sodium nitrate 0.01 M. In case of iron oxide coated-sand, sodium nitrate 0.1 M recovered more metal than sodium nitrate 0.01 M about 2-4 times. This ratio was increased up to 12 times for manganese oxide coated-sand considering in the same volume of sodium nitrate.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา..... ๒๕๖๑

ลายมือชื่อนิสิต..... ทอเกียรติ อภินันท์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ทัศนัย ทัศนังคเณร์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... ประเสริฐ มาตลตรี

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประแส มงคลศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ และอาจารย์ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์ ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำชี้แนะจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กทรอนิกส์ ไมโครสโคป ขอขอบคุณ พี่ๆ และน้องๆ ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน

เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

พนจิตร ธนสิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญเรื่อง.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร	
โลหะหนัก.....	3
ความสามารถในการละลายของสังกะสีและนิกเกิล.....	6
ไฮดรอกไซด์.....	8
ความสามารถในการละลายของเหล็กและแมงกานีส.....	12
การดูดติดผิวของไอออนบวกบนไฮดรอกไซด์.....	14
การดูดติดผิวของโลหะบนผิวของแมงกานีสออกไซด์.....	20
ผลของพีเอชต่อการดูดติดผิว.....	21
ผลของความแข็งแรงของไอออนต่อการดูดติดผิว.....	24
กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน.....	25
การวิจัยที่ผ่านมา.....	29
บทที่ 4 ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย	
การเตรียมตัวกลาง.....	34
อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	36
น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีและน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล.....	40
การดำเนินการทดลอง.....	41
การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	44
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์	
ผลของการเคลือบทรายด้วยออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส.....	45

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ผลการทดลองและวิจารณ์ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	48
ผลการทดลองและวิจารณ์ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบแมงกานีส ออกไซด์.....	64
การเปรียบเทียบผลการทดลองและวิจารณ์ระหว่างทรายเคลือบเหล็ก ออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	80
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	91
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	92
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....	95
ภาคผนวก ข.....	220
ประวัติผู้เขียน.....	222

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของสังกะสีและนิกเกิล.....	4
ตารางที่ 3.2 ประโยชน์และความเป็นพิษของสังกะสีและนิกเกิล.....	5
ตารางที่ 3.3 แสดงค่า ZPC หรือ IEP ของไฮดรอกไซด์.....	16
ตารางที่ 3.4 แสดงค่า specific surface area และ exchange capacity ของสารดูดติดผิวต่างๆ.....	17
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง (ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก).....	42
ตารางที่ 4.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง (ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการฟื้นฟื่อน้ำดื่ม).....	43
ตารางที่ 5.1 ปริมาณโลหะสังกะสีที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับ น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีที่ความเข้มข้นและพีเอชต่างๆ กัน.....	51
ตารางที่ 5.2 ปริมาณโลหะนิกเกิลที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับ น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลที่ความเข้มข้นและพีเอชต่างๆ กัน.....	52
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความจุรวม (total capacity) ของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะสังกะสีอย่างเดียวและน้ำเสียสังเคราะห์โลหะ นิกเกิลอย่างเดียว.....	53
ตารางที่ 5.4 แสดงสัดส่วนปริมาณ โลหะที่วัดได้ในน้ำล้างย้อน 4 ตัวอย่าง เทียบกับ ปริมาณ โลหะทั้งหมดที่ถูกกำจัดออกมา ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบ เหล็กออกไซด์.....	62
ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบปริมาณ โลหะที่ตกค้างอยู่ในสารรีเจนเนอเรนต์เมื่อทำการฟื้นฟื่อน้ำ ด้วยโซเดียมไนเตรท 0.01 M และ 0.1 M ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบ เหล็กออกไซด์ และพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7.....	63
ตารางที่ 5.6 ปริมาณ โลหะสังกะสีที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับ น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีที่ความเข้มข้นและพีเอชต่างๆ กัน.....	67
ตารางที่ 5.7 ปริมาณ โลหะนิกเกิลที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับ น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลที่ความเข้มข้นและพีเอชต่างๆ กัน.....	68
ตารางที่ 5.8 แสดงค่าความจุรวม (total capacity) ของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะสังกะสีอย่างเดียวและน้ำเสียสังเคราะห์โลหะ นิกเกิลอย่างเดียว.....	69

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.9 แสดงสัดส่วนปริมาณ โลหะที่วัดได้ในน้ำล้างย้อม 4 ตัวอย่าง เทียบกับปริมาณโลหะทั้งหมดที่ถูกกำจัดออกมา ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	77
ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบปริมาณ โลหะที่ตกค้างอยู่ในสารรีเจนเนอเรนต์เมื่อทำการฟื้นอำนาจด้วยโซเดียมไนเตรท 0.01 M และ 0.1 M ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ และพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 7.....	79
ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบปริมาณ โลหะสังกะสีและโลหะนิกเกิลที่ถูกแลกเปลี่ยนโดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	80
ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าความจุ่มที่ถูกแลกเปลี่ยนโดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	81
ตารางที่ 5.13 แสดงประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนสังกะสีและนิกเกิลของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่พีเอชเท่ากับ 6 และ 7.....	82
ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีในน้ำออกที่ผ่านตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	88
ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลในน้ำออกที่ผ่านตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	89
ตารางที่ 5.16 เปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณ โลหะที่วัดได้ในน้ำล้างย้อม 4 ตัวอย่าง ระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	90
ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณ โลหะที่ตกค้างอยู่ในสารรีเจนเนอเรนต์ระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	90

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 ความสามารถในการละลายของ $Zn(OH)_2$	6
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการกระจายของสารประกอบนิกเกิล.....	7
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงขอบเขตความคงตัวของเหล็ก.....	12
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงขอบเขตความคงตัวของแมงกานีส.....	13
รูปที่ 3.5 แสดง electrical double layer model : รูปแบบของพื้นผิวซิลิเกตใน สารอิเล็กโทรไลต์.....	15
รูปที่ 3.6 แสดงปฏิกิริยาระหว่างการดูดติดของไอออนโลหะประจุ +2 บนผิวแมงกานีส ออกไซด์.....	20
รูปที่ 3.7 กราฟระหว่างประจุกับพีเอชออกไซด์ต่างชนิดกันที่ความเข้มข้นของ อิเล็กโทรไลต์ต่างๆ.....	22
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โลหะที่ถูกดูดติดกับพีเอชสำหรับไอออนประจุบวกสอง ต่างกัน 8 ชนิด.....	23
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงแผนการทดลองและขั้นตอนการวิจัย.....	33
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของทราย ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ และ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	35
รูปที่ 4.3 แสดงรูปขยายของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ในคอลัมน์.....	35
รูปที่ 4.4 แสดงรูปขยายของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในคอลัมน์.....	35
รูปที่ 4.5 แบบจำลองคอลัมน์ทดลอง \varnothing 5 x 100 ซม.....	37
รูปที่ 4.6 แสดงคอลัมน์และอุปกรณ์ทดลองในกรณีของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	39
รูปที่ 4.7 แสดงคอลัมน์และอุปกรณ์ทดลองในกรณีของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	39
รูปที่ 5.1 เส้นกราฟแสดงธาตุเหล็กที่ติดบนผิวทรายเปรียบเทียบระหว่าง ทรายที่ล้างทำความสะอาดแล้วและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ซึ่งวิเคราะห์โดย เครื่อง EDAX.....	46
รูปที่ 5.2 เส้นกราฟแสดงธาตุแมงกานีสที่ติดบนผิวทรายเปรียบเทียบระหว่าง ทรายที่ล้างทำความสะอาดแล้วและทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง EDAX.....	47
รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำออกที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	49

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำออกที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	50
รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นในน้ำออกของสังกะสีและนิกเกิลที่พีเอช 7 ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	54
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8.....	56
รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8.....	57
รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอชเท่ากับ 7.....	58
รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียของทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอชเท่ากับ 7.....	58
รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำออกของระบบเมื่อพีเอชในน้ำเข้าของน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	60
รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำออกของระบบเมื่อพีเอชในน้ำเข้าของน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	61
รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำออกที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	65
รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำออกที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางคือทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	66
รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นในน้ำออกของสังกะสีและนิกเกิลที่พีเอช 7 ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	70

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสดของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8.....	72
รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสดของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอช 5, 6, 7 และ 8.....	73
รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสดของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอชเท่ากับ 7.....	74
รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสดของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเข้าเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. ที่พีเอชเท่ากับ 7.....	74
รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำออกของระบบเมื่อพีเอชในน้ำเข้าของน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	75
รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำออกของระบบเมื่อพีเอชในน้ำเข้าของน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลเท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	76
รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบปริมาณโลหะสังกะสีที่ถูกแลกเปลี่ยนโดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่พีเอชเท่ากับ 7.....	83
รูปที่ 5.22 กราฟเปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลที่ถูกแลกเปลี่ยน โดยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ที่พีเอชเท่ากับ 7.....	84
รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสดระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีมีความเข้มข้นเท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล.....	85

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.24 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสถียรระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลมีความเข้มข้น เท่ากับ 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล.....	86
รูปที่ 5.25 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสถียรระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเข้า มีค่าต่างกันที่พีเอชเท่ากับ 7.....	87
รูปที่ 5.26 กราฟเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเสถียรระหว่างทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์เมื่อความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเข้า มีค่าต่างกันที่พีเอชเท่ากับ 7.....	88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

bed volume	ปริมาตรชั้นเรซิน หน่วยปริมาตรสารละลายที่ผ่านชั้นเรซินเทียบเท่าปริมาตรเรซิน
BV/Hr	bed volume per hour
conc.	concentration
eq.	equivalent หน่วยสมมูลหรืออิกิวิวาเลนต์
pH	พีเอช ค่าความเป็นกรด-ด่าง
mg/l	milligram per litre
mg/l..resin	milligram per litre resin
Ni inf.	influent Nickel
Ni eff.	effluent Nickel
Zn inf.	influent Zinc
Zn eff.	effluent Zinc

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย