การนำโลหะนิกเกิลในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน

นายทิพย์ ชัยวิริยกุล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-590-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17771 8931

NICKEL RECYCLE FROM ELECTROPLATING WASTE WATER USING AN ION EXCHANGE RESIN

Mr.Thip Chaiwiriyakul

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
1994

ISBN 974-584-590-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนำโลหะนิกเกิลในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โดย นายทิพย์ ชัยวิริยกุล
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

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

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ทิพย์ ชัยวิริยกุล : การนำโลหะนิกเกิลในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซิน แลกเปลี่ยนไอออน (NICKEL RECYCLE FROM ELECTROPLATING WASTE WATER USING AN ION EXCHANGE RESIN) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ 324 หน้า ISBN 974-584-590-6

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการนำโลหะนิกเกิลในระหว่างการล้างชิ้นงานกลับมาใช้ใหม่จากการกระบวนการชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า โดยในการวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นแรกจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออน และความสามารถในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ระหว่างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลกรุ๊ปเป็นชนิดซัลโฟนิคแอซิค กับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ ที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลเป็นชนิด อิมมิโนไดอะเซติกแอซิค การทดลองขั้นนี้ใช้น้ำสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลความเข้มข้น 200 และ 300 มก./ล. และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริง ที่มีโลหะนิกเกิลความเข้มข้น 200 และ 300 มก./ล. ขั้นตอนที่ 2 จะทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการฟื้นอำนาจเรซิน (Regeneration) ของเรซิน ที่เป็นตัวแทนในการทดลองจากการทดลองขั้นตอนแรก โดยเปลี่ยนแปลงอัตราการล้างด้วยกรด 3, 4.5 และ 6 ปริมาตรชั้นเรซินต่อชั่วโมง (BV./hr) ที่ความเข้มข้นของกรดที่ 3, 5, 7, 9 และ 12% โดยน้ำหนัก

จากการทดลองขั้นแรกพบว่า เรซินชนิดพิเศษจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออนและประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ได้ดีกว่าเรซินชนิดธรรมดา ทุกค่าความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ เช่น น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงที่ค่าความเข้มข้นนิกเกิล 300 มก./ล เรซินชนิดพิเศษ สามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้ ประมาณ 73,909 มก./ล. เรซินเทียบเท่าความจุรวม 2.51 eq.Ni^{2+}/l.resin และช่วงการฟื้นอำนาจเรซินสามารถนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราการล้างกรด 4.5 BV/hr ความเข้มข้นกรด 3% โดยน้ำหนัก ได้นิกเกิล 72,772 มก.ต่อลิตรเรซิน คิดเป็นประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้เมื่อล้างเรซินจนหมดเท่ากับ 98% ส่วนเรซินชนิดธรรมดาที่สภาวะเดียวกัน สามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้ประมาณ 66,553 มก./ล. เรซินเทียบเท่าความจุรวม 1.16 eq.Ni^{2+}/l.resin และนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ได้ 52,274 มก./ล. เรซิน คิดเป็นประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่เมื่อล้างเรซินจนหมดเท่ากับ 78.5%

ในการทดลองขั้นที่สองซึ่งใช้เรซินชนิดพิเศษทำการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 9% โดยนน. อัตราการล้างด้วยกรดที่ 4.5 BV/hr ได้ปริมาณนิกเกิลรวม 80,800 มก./ล. เรซิน ได้ค่าความเข้มข้นรวมสูงสุดที่ 25,937 มก./ล.ที่ปริมาตรกรดล้าง 2.63 BV เทียบเท่าประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้ 45.2%

การทดลองโดยประยุกต์ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานมาทำการทดลอง โดยใช้เรซินชนิดพิเศษโดยสามารถนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ที่ปริมาณ 58,065 มก.ต่อลิตรเรซิน ความเข้มข้นรวมสูงสุดที่ 19,359 มก./ล.ปริมาตรกรดล้าง 2.25 BV

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ทิพย์ ชัยวิริยกุล

สาขาวิชา สุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [illegible]

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

C316 922 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: ION EXCHANGE RESIN / PLATING / NICKEL
THIP CHAIWIRIYAKUL : NICKEL RECYCLE FROM ELECTROPLATING WASTE WATER USING AN ION EXCHANGE RESIN . THESIS ADVISOR PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D. 324 pp. ISBN 974-584-590-6

This thesis involve the study of Nickel recovery from the Nickel electroplating process during final rinsing stage. The research consists of 2 parts. First is the comparison of Nickel Ion exchange capacity, and an efficiency of Nickel recovery between normal type of cation resin with sulfonic acid functional group and special type of cation resin with Imminodiacetic acid functional group. Synthetic liquic which contains only Nickel concentration of 200 and 300 mg/1, and artificial waste water contains other unchanged ions and Nickel concentration of 200 and 300 mg/1 are used this step of experimental. Second experimental is to study the optimum conditions and value study of parameters in order to have the maximum recovery during the step of regeneration of the first experimental resin. The acid amount to be introduced for regeneration is varied from 3, 4.5 and 6 BV/hour, and within each rate of introduced acid the acid concentration of 3,5,7,9 and 12% by weight are applied.

The first experiment have shown that the special type of resin have better performance of Nickel ion exchange, and higher efficiently of Nickel recovery than normal type resin for every concentration of Nickel and any synthetic waste water. For example, for the synthetic waste water with Nickel concentration of 300 mg/1 Nickel can be exchanged about 73,909 mg/litter of resin Equal to total capacity 2.51 eq.Ni^{2+} 1.resin, and Nickel recovery during regeneration with 4.5 BV/hr of 3% acid is 72,772 mg/litter of resin for the special type of resin. This is equal to 98% recovery while the normal type of resin at the same condition can exchange Nickel ion only 66,553 mg/litter of resin, equal to total eapacity 1.16 eg.Ni^{2+} /1.resin and recover Nickel about 52,274 mg/1.resin which is 78.5% recovery

In second experiment, the special type of resin was utilized, and optimum parameters value for maximum recovery of Nickel are found. The best concentration of sulfuric acid to be used to get Nickel amount of 80,800 mg/1 is 9% by weight at the acid rate of 4.5 BV/hr. At this concentration of sulfuric acid, the maximum bickel concentration of 25,937 mg/1 with the acid rate of 2.63 BV is achieved and recovery efficiency comparision of used level regenerant is 45.2%

Finally, actual waste water from a electroplating factory was brought to the experimental It can be recovered only 58,065 mg/1.resin at the maximum concentration of 19,359 mg/1 for the acid rate of 2.25 BV

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ รศ.ดร.ธีระ เกรอด รศ.ดร.สุรพล สายพานิช ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำชี้แนะจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณามอบเงินอุดหนุนบางส่วน,ห้างหุ้นส่วน ร่วมพัฒนาอะไหล่จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและอำนวยความสะดวกทุกอย่างในการศึกษากระบวนการชุบโลหะ, คุณสาโรช บุญยกิจสมบัติที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย, คุณวรรณภา พนมสุข ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมืออะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในงานวิจัย, คุณคุณวุฒิ อรรถสิษฐ์ ให้ความช่วยเหลือในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนด้วยดีเสมอมา และขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ และเพื่อนทุกคนที่มอบความรักและความห่วงใย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

57, 151-155, 157-159, 311-316

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญเรื่อง ช

สารบัญตาราง ญ

สารบัญรูป ฏ

คำจำกัดความและอักษรย่อ ฒ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... 4

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4

2.2 ขอบเขตการวิจัย..... 4

3 ทบทวนเอกสาร..... 5

3.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..... 5

3.2 การชุบโลหะนิกเกิล..... 15

3.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ..... 19

3.4 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย..... 21

3.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน..... 22

3.6 เรซินชนิดพิเศษ..... 40

3.7 ประวัติและการศึกษาของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน..... 43

3.8 การบำบัดน้ำเสีย และการนำกลับมาใช้ในโรงงานชุบโลหะไฟฟ้า โดยการแลกเปลี่ยนตัวไอออน..... 48

4 แผนการดำเนินการวิจัย..... 51

4.1 ขั้นตอนการวิจัย..... 51

4.2 แหล่งที่มา วัดปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียและลักษณะน้ำในถังชุบ..... 52

4.3 การวิจัยขั้นตอนการเปรียบเทียบแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาและชนิดพิเศษ..... 53

4.4 การวิจัยขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ที่สำคัญในการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่..... 55

บทที่ หน้า

4 แผนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)
4.5 การวิจัยขั้นตอนการใช้น้ำเสียจริงจากโรงงาน..... 56
4.6 ข้อมูลที่เป็นค่าคงที่ และตัวแปรที่ใช้ในการทดลองหัวข้อที่ 4.3และ4.4..... 57
4.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 58
5 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 60
5.1 แหล่งที่มา วัดปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย และลักษณะน้ำในถังชุบ..... 60
5.2 ผลการทดลองขั้นตอนการเปรียบเทียบเรซินชนิดธรรมดาและเรซินชนิดพิเศษ..... 67
5.3 ผลการทดลองขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ที่สำคัญในการฟื้นอำนาจเรซิน..... 112
5.4 การวิจัยผลของ pH ในน้ำเสียต่อการบำบัดด้วยเรซินชนิดพิเศษ..... 127
5.5 ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานกับเรซินชนิดพิเศษ..... 129
6 สรุปผลการวิจัย..... 137
6.1 บทสรุป..... 137
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป..... 140
เอกสารอ้างอิง..... 141
ภาคผนวก ก..... 143
ภาคผนวก ข..... 145
ภาคผนวก ค..... 147
ภาคผนวก ง..... 149
ภาคผนวก จ..... 156
ภาคผนวก ฉ..... 225
ภาคผนวก ช..... 304
ภาคผนวก ซ..... 306
ภาคผนวก ฌ..... 310
ภาคผนวก ญ..... 319
ภาคผนวก ฏ..... 322
ประวัติผู้เขียน..... 324

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงส่วนผสมของน้ำยาชุบนิกเกิลชนิดต่าง ๆ	15
3.2	ความสามารถในการทนต่อระดับความเป็นพิษของโลหะหนัก	20
3.3	หมู่ไอออนอิสระของเรซินประเภทต่าง ๆ	25
4.1	วิธีวิเคราะห์ของค่าสารต่าง ๆ	52
4.2	ตารางแสดงค่าสารต่าง ๆ ที่ละลายในถังชุบนิกเกิลในโรงงานที่ใช้ทำการศึกษาขั้นตอนการนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่	53
5.1	ตารางลักษณะน้ำเสียที่เก็บจากถังน้ำยาล้าง	66
5.2	ตารางลักษณะความเข้มข้นของสารละลายในถังชุบนิกเกิลในโรงงาน	67
5.3	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ	68
5.4	ปริมาณโลหะนิกเกิลที่เรซินชนิดธรรมดา และชนิดพิเศษแลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ	70
5.5	แสดงค่าความจุรวมและความจุปฏิบัติการของเรซินชนิดธรรมดาและพิเศษ	71
5.6	ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับเมื่อเทียบกับกรดที่ใช้ไป	103
5.7	ปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนไอออนและการล้างเรซิน	111
5.8	เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลที่ล้างออกสูงสุด โดยใช้กรดความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ที่อัตราการล้างใด ๆปริมาตรกรดล้างที่ 7 BV.	114
5.9	เปรียบเทียบปริมาณโลหะนิกเกิลที่ล้างออกสูงสุด โดยใช้กรดความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อัตราการล้างใด ๆปริมาณกรดล้างที่ 361.09 g.H_2SO_4 /l.resin	115
5.10	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิลที่สูงสุด ที่ความเข้มข้นกรดล้างใด ๆ ตามอัตราการล้างกรดต่าง ๆ	115
5.11	สรุปค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์เฉพาะนิกเกิลมีผลต่อการแลกเปลี่ยนเรซินชนิดพิเศษ	119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 การต่อส่วนต่าง ๆในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....6

3.2 แสดงขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย..... 8

3.3 ขั้นตอนการชุบโครเมียมบนชิ้นงานประเภทต่าง ๆ.....11

3.4 แสดงขั้นตอนการชุบโครเมียมอย่างแข็ง.....12

3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบสังกะสี.....13

3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบโครเมียม 14

3.7 รูปแสดงส่วนประกอบของเรซิน.....24

3.8 แสดงการแลกเปลี่ยนระหว่าง H^+และ Na^+ในน้ำกับเรซิน.....26

3.9 รูปแสดงประจุบวกและลบที่ติดประจำอยู่กับเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งเป็นโครงสร้างพลาสติก.....27

3.10 รูปแสดงค่าความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่าง ๆ ในการแลกเปลี่ยนไอออนเรซิน 34

3.11 เส้นกราฟชนิดต่างๆ ของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นที่เข้าและออก จากคอลัมน์เรซินกับปริมาตรน้ำเสียใด ๆ.....35

3.12 ความลึกของเรซินที่มีต่ออำนาจแลกเปลี่ยนไอออน 39

3.13 อัตราไหลที่มีต่อการแลกเปลี่ยนไอออน 39

3.14 เรซินชนิดพิเศษที่มีแขนของกลุ่มไนโตรเจน.....41

3.15 โครงสร้างดิพิคริลาไมน์ 41

3.16 โครงสร้างชีเลทเรซิน ที่มีหมู่อิมิโนไดอะซีเตทเป็นหมู่ไอออนเรซิน.....42

3.17 โครงสร้างการผลิตชีเลทเรซิน.....42

3.18 โครงสร้างชีเลทเรซินในรูปโลหะ.....43

3.19 แบบจำลองกระบวนการ เคม - เซฟส์.....45

3.20 น้ำล้างหมุนเวียนโดย ION EXCHANGE.....49

4.1 ขั้นตอนการวิจัย.....51

4.2 ตำแหน่งเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สำหรับใช้ในการทดลอง.....54

4.3 ภาพแสดงเตรื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....59

5.1 แผนผังแสดงสภาพการใช้พื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงาน.....60

5.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน แหล่งที่มาของน้ำเสียที่มี โลหะนิกเกิลเจือปน และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงาน.....62

5.3 รูปแสดงชิ้นงานแช่ในถังกรด.....63

รูปที่ หน้า

5.4 รูปแสดงชิ้นงานแช่ในถังด่างร้อน.....63
5.5 รูปแสดงบริเวณล้างชิ้นงานด้วยผงซักฟอก.....64
5.6 รูปแสดงการกำจัดด่างด้วยไฟฟ้า.....64
5.7 รูปแสดงถังชุบนิกเกิล.....65
5.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดาสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ.....69
5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิลใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ.....73
5.10 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....75
5.11 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซิน.....77
5.12 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....80
5.13 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรินหลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว.....81
5.14 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....82
5.15 กราฟเปรียบเทียบค่าpH ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....83
5.16 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา และแอนไอออนเรซิน.....85
5.17 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....87
5.18 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว.....88
5.19 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่าน แคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา กับแคทไอออนเรซิน.....90
5.20 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....91

รูปที่ หน้า

5.21 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลาย ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา และแอนไอออนเรซิน.....92
5.22 เปรียบเทียบค่าของแข็งละลายของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....93
5.23 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลายของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซินหลังจากผ่านแคทไอ ออนเรซินชนิดพิเศษแล้ว.....94
5.24 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลาย ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....95
5.25 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลาย ของน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ ที่ผ่านแอนไอออนเรซิน หลังจากผ่านแคทไอออนเรซินชนิดธรรรมดากับแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....96
5.26 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ได้ากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา.....98
5.27 กราฟเปรียบเทียบปริาณนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา.....98
5.28 กราฟเปรียบเทียบนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดากับชนิดพิเศษ ที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ 100
5.29 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา.....101
5.30 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....104
5.31 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรดากับชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยน โดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ..... 105
5.32 กราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา..... 106
5.33 กราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ..... 107
5.34 กราฟเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด ที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยนโดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ 108
5.35 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซินชนิดธรรมดา..... 109

รูปที่ หน้า

5.36 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซิน ชนิดพิเศษ..... 109
5.37 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้า ที่ได้จากการล้างแคทไอออนเรซิน ชนิดธรรมดากับชนิดพิเศษที่แลกเปลี่ยน โดยน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ..... 110
5.38 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิล โดยใช้อัตราการล้างที่ 3 BV/hr ที่ ความเข้มข้นกรดใด ๆ..... 113
5.39 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 4.5 BV./hr. ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ 117
5.40 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 6 BV./hr ที่ ความเข้มข้นใด ๆ.....118
5.41 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 3%โดยนน. ที่ อัตราการล้างใด ๆ.....119
5.42 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 5%โดยนน. ที่ อัตราการล้างใด ๆ.....119
5.43 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 7%โดยนน. ที่ อัตราการล้างใด ๆ.....120
5.44 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 9%โดยนน. ที่ อัตราการล้างใด ๆ.....120
5.45 กราฟเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 12% โดยนน.ที่ อัตราการล้างใด ๆ.....121
5.46 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 3 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ.....122
5.47 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิล โดยใช้อัตราการล้างที่ 4.5 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ.....122
5.48 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลโดยใช้อัตราการล้างที่ 6 BV./hr ที่ความเข้มข้นกรดใด ๆ.....124
5.49 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 3% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ.....125
5.50 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 5% . โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ.....125
5.51 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 7% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ.....126

รูปที่ หน้า

5.52 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 9% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ.....126
5.53 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นนิกเกิลที่ความเข้มข้นกรดล้าง 12% โดยนน. ที่อัตราการล้างใด ๆ.....127
5.54 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่า pH ใดๆที่ผ่านแคทไอออนเรซินชนิดพิเศษ.....129
5.55 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าในการทดลองน้ำเสียจริง 132
5.56 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ในการทดลองน้ำเสียจริง.....133
5.57 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลในการทดลองน้ำเสียจริง.....134
5.58 กราฟเปรียบเทียบค่าของแข็งละลายในการทดลองน้ำเสียจริง.....134
5.59 กราฟเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง.....135
5.60 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง..... 135
5.61 กราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณนิกเกิลช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง.....136
5.62 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นนิกเกิลเฉลี่ยช่วงการฟื้นอำนาจเรซินในการทดลองน้ำเสียจริง.....136

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อักษรย่อและคำจำกัดความ

BV : Bed Volume (Volume of solution defined by times of resin's volume in the ion exchange column)
: ปริมาตรสารละลายที่ถูกกำหนดใช้แทนเวลาที่ผ่านชั้นเรซินเทียบเท่าปริมาตรเรซิน

DVB : Divinylbenzene (A difunctional monomer used to cross link polymer

eq. : Equivalent
: หน่วยมวลสมมูลย์ หรือ อิควิวาเลนท์

g. : gram
: น้ำหนักสารหน่วยกรัม

l. : litter
: ปริมาตรสารในหน่วยลิตร

meq. : Milli-equivalent
: หน่วยมวลมิลลิสมมูลย์ หรือ มิลลิอิควิวาเลนท์

mg. : Milligram
: น้ำหนักสารหน่วย มิลลิกรัม

SAC : Strong Acid Cation Exchangers
: เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดกรดแก่

SBA : Strong Base Anion Exchangers
: เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเบสแก่

WAC : Weak Acid Cation Exchangers
: เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดกรดอ่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย