การนำโลหะหนักกลับคืนจากสลัดจ์โดยวิธีไฟฟ้าเคมี

นางสาว หทัยทัต ชื้อสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ภาควิชา เคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1105-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20340370 19 พ.ย. 2546

RECOVERY OF HEAVY METALS FROM SLUDGE BY ELECTROCHEMICAL METHOD

Miss Hataitat Suesuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology
Department of Chemical Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-1105-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำโลหะหนักกลับคืนจากตะกอนโดยวิธีไฟฟ้าเคมี
โดย	นางสาว หทัยทัต ซื้อสุวรรณ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... รองคณบดีฝ่ายบริหาร
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ การเที่ยง) รักษาราชการแทนคณบดี
คณะวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

หทัยทัต ชื้อสุวรรณ : การนำโลหะหนักกลับคืนจากตะกอนโดยวิธีไฟฟ้าเคมี
(RECOVERY OF HEAVY METALS FROM SLUDGE BY
ELECTROCHEMICAL METHOD)
อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.เก็จวลี พฤกษาทร
จำนวนหน้า 70 หน้า. ISBN 974-03-1105-9

กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักที่นิยมใช้กันมากคือ การตกตะกอนด้วยสารเคมีดังนั้นจึงก่อให้เกิดตะกอนโลหะจำนวนมากและจำเป็นต้องทำการบำบัดต่อไป การบำบัดตะกอนนิยมใช้วิธีการฝังกลบอันเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อแยกโลหะหนักออกจากตะกอน กระบวนการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ละลายโลหะหนักออกจากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียและการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยวิธีไฟฟ้าเคมี พบว่าในขั้นตอนการละลายตะกอนค่าความเป็นกรด - เบสที่เหมาะสมในการละลายโลหะหนักออกจากตะกอนปริมาณตะกอนแห้งประมาณ 0.7% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรกรดซัลฟูริก คือ ประมาณ 1.0 โดยมีค่าความเข้มข้นของโลหะแต่ละชนิดโดยประมาณดังนี้ ทองแดง 70 ppm, นิกเกิล 95 ppm, สังกะสี 15 ppm และโครเมียม 7 ppm ขั้นตอนการกำจัดโลหะ พบว่า มากกว่า 90% ของทองแดงสามารถแยกออกมาได้ในสถานะโลหะที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าประมาณ 10 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ให้ได้ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแส (Current Efficiency) สูงสุด และโลหะชนิดอื่นๆที่เหลือในสารละลายถูกกำจัดออกด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electroprecipitation) พบว่า สามารถกำจัดนิกเกิลและโครเมียมได้เกือบ 100% และกำจัดสังกะสีได้มากกว่า 80% ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 110 - 130 แอมแปร์ต่อตารางเมตร โดยพลังงานที่ใช้อยู่ในช่วง 25 - 30 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ต่อ ลูกบาศก์เมตร

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272460123 : MAJOR Chemical Technology

Keys words : Metals recovery/Electrodeposition/Electroprecipitation/Sludge

Hataitat Suesuwan : RECOVERY OF HEAVY METALS FROM SLUDGE BY ELECTROCHEMICAL METHOD

THESIS ADVISOR : Prof. Somsak Damronglerd, Ph.D.

Assist. Prof. Kejvalee Pruksathorn, Ph.D.

70 pp. ISBN 974-03-1105-9.

To protect the environmental from further contamination by transition and heavy metal ions is well established and universally reinforce by legislation. The most widely used in wastewater treatment to remove heavy ions is chemical precipitation process which large amount of sludge is produced. Therefore, it is important to investigate the applying electrochemical method to eliminate metal ions from sludge. Electrochemical method compete with a number of other technologies including precipitation, ion exchange and solvent extraction to offer solutions to the need of the many industries involved. Moreover, this method is uniquely capable of recovering pure metal for recycle.

This study is divided into 2 steps that are sludge digestion and metal removal from solution by electrochemical method. From the data obtained it was found that the optimum pH in sludge digestion was 1.0, adjusted by sulfuric acid, solution used in the experiments contained the average concentration of Cu^{2+} 70 mg/l, Ni^{2+} 95 mg/l, Zn^{2+} 15 mg/l, and Cr^{3+} 7 mg/l. Over 90% of Cu^{2+} was recovered from leaching solution by Electrodeposition at the optimum condition: current density 10 A/m^2, operating time 6 hr, and the initial pH 1.0, while the rest could be removed by Electroprecipitation revealed formation of hydroxide form. Consequently, nearly 100% of nickle and chromium and over 80% of zinc can be eliminated at current density 110 – 130 A/m^2 which power consumption was found to be in the range of 25 – 30 $kW \cdot h/m^3$.

Department Chemical Technology Student's signature H. Hataitat

Field of study Chemical Technology Advisor's signature S-D-W

Academic year 2544 Co-advisor's signature Kj. Pruksathorn

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร ที่กรุณาให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ ชัยพันธุ์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการเมธีวิจัยอาวุโสของศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ทำให้การทำงานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา-มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ, ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฏ

บทที่1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้.....2

บทที่2 วารสารปริทัศน์.....3
2.1 การละลายโลหะหนักออกจากตะกอน.....3
2.2 สารบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะผสม.....4
2.2.1 กระบวนการดูดซับ.....4
2.2.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี.....5
2.2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน.....6
2.2.4 กระบวนการเคมีไฟฟ้า.....8
2.2.5 กระบวนการทางชีวภาพ.....9
2.3 การแยกโลหะด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า.....10
2.4 การควบคุมการทำงานของกระบวนการเคมีไฟฟ้า.....12
2.4.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่.....12
2.4.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่.....13

สารบัญ

หน้า

2.5 ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า.....15
2.6 กฎของฟาราเดย์.....19
2.7 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะผสมด้วยวิธีอิเล็กโทรดีโพซิชัน.....20
2.8 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะผสมด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า..... 22
2.9 เยื่อแผ่นสังเคราะห์.....23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....26

บทที่3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 32
3.1 รูปแบบการศึกษา 32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 32
3.3 สารเคมี 35
3.4 วัตถุดิบ.....35
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง 36

บทที่4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง.....39
4.1 สมบัติทางกายภาพของตะกอน.....39
4.2 ภาวะที่เหมาะสมในการละลายโลหะหนักออกจากตะกอน.....39
4.3 ภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับคืนโลหะจากสารละลายสังเคราะห์.....45
4.3.1 การนำกลับคืนโลหะโดยวิธีอิเล็กโทรดีโพซิชัน.....45
4.3.1.1 การนำกลับทองแดงโดยวิธีอิเล็กโทรดีโพซิชัน.....45
4.3.1.2 การนำกลับนิกเกิลโดยวิธีอิเล็กโทรดีโพซิชัน.....50
4.3.2 การนำกลับคืนโลหะโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....53
4.4 การนำโลหะหนักกลับคืนจากสารละลายที่ได้จากการละลายตะกอน.....60

สารบัญ

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....63
5.1 สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย 63
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
รายการอ้างอิง.....65
ภาคผนวก ก. 69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลการวิเคราะห์ตะกอนทางกายภาพของ Scott(1980).....	29
2.2	ผลการทดลองการละลายโลหะหนักออกจากตะกอน..... ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกScott(1980)	29
4.1	สมบัติทางกายภาพของตะกอน.....	39
4.2	ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายต่างชนิดกันที่..... ความเป็นกรดเป็นด่างที่ 1.0	43
4.3	ประสิทธิภาพเชิงกระแสของแต่ละกระแสไฟฟ้าที่ร้อยละการนำกลับคืนต่าง ๆ..... ของการทดลองนำกลับทองแดงด้วยวิธีอิเล็กโทรดีโพซิชัน	47
4.4	ประสิทธิภาพเชิงกระแสของแต่ละกระแสไฟฟ้าที่ร้อยละการนำกลับคืนต่าง ๆ..... ของการทดลองนำกลับนิกเกิลด้วยวิธีอิเล็กโทรดีโพซิชัน	52
4.5	ค่าพลังงานของแต่ละกระแสไฟฟ้าที่ร้อยละการนำกลับคืนต่าง ๆในการทดลอง.... กำจัดโลหะหนักจากสารละลายสังเคราะห์ โดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้า	59
4.6	ค่าพลังงานที่ใช้ในการกำจัดโลหะของแต่ละกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการทดลอง..... ในการทดลองกำจัดโลหะหนักจากสารละลายตะกอน โดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้า	62

สารบัญรูป

รูปประกอบที่		หน้า
2.1	ค่าความเข้มข้นของโลหะที่ละลายในน้ำเสียที่ค่าความเป็นกรด - เบสต่าง ๆ	5
2.2	หลักการทำงานของสารแลกเปลี่ยน	6
2.3	กระบวนการไฟฟ้าเคมี	11
2.4	a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่	12
	b) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่	12
2.5	a) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่	13
	b) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่	13
2.6	การถ่ายโอนมวลสารในสารละลาย	16
2.7	การเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของแต่ละธาตุ	18
2.8	ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์สำหรับกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า	22
3.1	เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer	33
3.2	ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการอิเล็กโทรดีโพซิชัน	33
3.3	ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า	34
3.4	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าประกอบด้วยเยื่อเลือกผ่านไอออนลบ	34
3.5	ลักษณะของตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย	35
4.1	ความเข้มข้นของโลหะแต่ละชนิดในสารละลายเมื่อใช้ตะกอนที่ไม่ผ่านการอบแห้ง	40
4.2	ความเข้มข้นของโลหะแต่ละชนิดในสารละลายเมื่อใช้ตะกอนที่ผ่านการอบแห้ง	40
4.3	สมการแสดงความสามารถในการละลายของโลหะแต่ละชนิดเมื่อใช้ตะกอนที่ไม่ผ่านการอบแห้ง	41
4.4	สมการแสดงความสามารถในการละลายของโลหะแต่ละชนิดเมื่อใช้ตะกอนที่ผ่านการอบแห้ง	41
4.5	ประเภทความชื้นในตะกอน	44

สารบัญรูป

รูปประกอบที่ หน้า

4.6 ร้อยละการนำกลับคืนทองแดงที่แต่ละค่ากระแสไฟฟ้า.....45
ในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า...47
ที่ร้อยละการนำกลับคืนต่าง ๆ

4.8 ความเข้มข้นของโลหะที่เหลือในสารละลายขณะทำการนำกลับคืนทองแดง.....49
ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 10 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

4.9 ร้อยละการนำกลับคืนนิกเกิลที่แต่ละค่ากระแสไฟฟ้า.....50
ในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงกระแสไฟฟ้ากับค่าความหนาแน่นกระแส
ไฟฟ้าที่ร้อยละการนำกลับคืนต่าง ๆ กัน.....52

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการนำกลับคืนโลหะและค่าความเป็นกรด – เบส.....54
กับเวลาเมื่อให้ค่ากระแส 1.1 แอมแปร์ ($j = 94\ A/m^2$) แก่ระบบ

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการนำกลับคืนโลหะและค่าความเป็นกรด – เบส.....54
กับเวลาเมื่อให้ค่ากระแส 1.3 แอมแปร์ ($j = 110\ A/m^2$) แก่ระบบ

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการนำกลับคืนโลหะและค่าความเป็นกรด – เบส.....55
กับเวลาเมื่อให้ค่ากระแส 1.5 แอมแปร์ ($j = 130\ A/m^2$) แก่ระบบ

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการนำกลับคืนโลหะและค่าความเป็นกรด – เบส.....55
กับเวลาเมื่อให้ค่ากระแส 1.7 แอมแปร์ ($j = 145\ A/m^2$) แก่ระบบ

4.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงกระแสในการกำจัดโลหะ ที่แต่ละร้อยละ.....58
การนำกลับคืน ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

4.16 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการกำจัดโลหะ(Power consumption).....59
ของแต่ละความหนาแน่นกระแสที่ใช้ในการทดลอง

4.17 ผลการทดลองการนำกลับโลหะจากสารละลายที่ได้จากการละลายตะกอน.....61

4.18 ผลการทดลองการนำกลับโลหะจากสารละลายที่ได้จากการละลายตะกอน.....61