

การนำกลับนึกเกิดจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย



นางสาวทัศนลักษณ์ จิระภาพันธุ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-9887-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NICKEL RECOVERY FROM ELECTROPLATING WASTEWATER USING SOLVENT EXTRACTION



Miss Tassaluck Chirapapan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-9887-3

ทัศนลักษณ์ จิระภาพันท์ : การนำกลับนิกเกิลจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย. (NICKEL RECOVERY FROM ELECTROPLATING WASTEWATER USING SOLVENT EXTRACTION) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ, 100 หน้า. ISBN 974-17-9887-3

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียของโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยตัวทำละลายโดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดด้วยตัวสกัด และกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด รวมถึงศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงซึ่งมีปริมาณนิกเกิลประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองในระบบขวดเขย่า

ในกระบวนการสกัด ตัวสกัดจะทำงานได้ดีที่สภาวะต่าง ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดคือ 8.4 และอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมที่สุดเป็น 10:3 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสีย 89 เปอร์เซ็นต์ และตัวสกัดจะมีปริมาณนิกเกิลอยู่ 4,610 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด และสามารถสกัดกลับนิกเกิลออกจากเอกซ์แทรคต์ได้ดีที่สุดที่อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรคต์เป็น 1:2 โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดกลับออกจากตัวสกัด 98 เปอร์เซ็นต์ และได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณนิกเกิล 9,068 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้อีก ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด LIX 84-I พบว่าตัวสกัดสามารถใช้งานได้ถึง 22 ครั้ง โดยจะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณนิกเกิลเฉลี่ยประมาณ 7,900 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับค่าใช้จ่ายในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งคำนวณจากไฮเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับการปรับพีเอช ตัวสกัด LIX 84-I สำหรับการสกัด และกรดซัลฟิวริกสำหรับการสกัดกลับออกจากตัวสกัด รวมเป็นเงิน 6.27 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร หรือประมาณ 5.29 บาทต่อนิกเกิล 1 กรัมที่สกัดได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

4270342421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : RECOVERY / NICKEL / ELECTROPLATING / WASTEWATER / SOLVENT / EXTRACTION
/ LIX 84-I / STRIPPING / SULFURIC ACID

TASSALUCK CHIRAPAPAN : NICKEL RECOVERY FROM ELECTROPLATING
WASTEWATER USING SOLVENT EXTRACTION. THESIS ADVISER : ASSOC.
PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 100 pp. ISBN 974-17-9887-3

This research investigated the recovery of nickel from electroplating wastewater using solvent extraction with LIX 84-I. The experiment was carried out in order to determine the optimum conditions of the solvent extraction process and the stripping process in shake flask, including the lifetime of the solvent. The waste aqueous solution was the actual wastewater obtained from an electroplating plant which contained 1,500 mg/l nickel. In the solvent extraction process, the optimum initial pH was 8.4, and the wastewater/solvent ratio was 10:3. The percentage extraction of nickel was 89%. The extract contained nickel at a concentration of approximately 4,610 mg/l. In the stripping process, the optimum concentration of sulfuric solution was 0.5N, and the sulfuric solution/extract ratio was 1:2. Nickel was successfully recovered at a percentage of 98%. The sulfuric solution contained nickel at a concentration of approximately 9,064 mg/l, which could be used as a raw material in electroplating process. This solvent could be reused as many as 22 times, and corresponded to the sulfuric solution containing nickel at a concentration of approximately 7,900 mg/l nickel.

Cost analysis for nickel recovery from electroplating wastewater using solvent extraction was evaluated. It presented that the total cost of the extractant and the chemicals was 6.27 Baht per liter of wastewater (5.29 Baht per gram of nickel).

Department Environmental Engineering Student's signature

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภา ขาวเถียร อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำชี้แนะ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนวิชาความรู้และให้แนวคิดที่ดีต่างๆ มากมาย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุด อาจารย์ประจำภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ Cognis Corporation ที่เชื้อเพื่อตัวสกัด LIX 84-I สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณจันทวรรณ ตันเจริญ คุณวรรณธนา วงษ์สุด และเจ้าหน้าที่ประจำภาค วิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวิจัยต่างๆ

ขอขอบคุณ มูลนิธิ ชิน โสภณพนิช และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเงินทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนการเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 2 (22-24 มกราคม 2546)

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ สำหรับทุกสิ่งทุกอย่าง ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโททุกคนที่มอบความหวังใจช่วยเหลือและให้คำปรึกษา

ผู้วิจัยระลึกถึงเสมอว่า ความสำเร็จของงานวิจัยนี้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากความกรุณาของทุกท่านดังกล่าวข้างต้น จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	4
2.1 นิกเกิล	4
2.2 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	5
2.3 การชุบโลหะนิกเกิล	7
2.4 แหล่งที่มาและลักษณะของน้ำเสียในกระบวนการชุบโลหะ	9
2.5 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ	11
2.6 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย	13
2.7 การบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	14
2.8 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)	16
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 แผนการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 แผนการวิจัย	28
3.2 น้ำเสียโรงงานชุบโลหะที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 ตัวสกัด LIX 84-I	30
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.5 ขั้นตอนการวิจัย	32
3.6 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	37
4.1 ปริมาณโลหะหนักและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย	37
4.2 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียในขั้นตอนการสกัด	37
4.3 อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) ที่เหมาะสมใน ขั้นตอนการสกัด	42
4.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วน ของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรกที่เหมาะสมใน กระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด	45
4.5 อายุการใช้งานของตัวสกัด	50
4.6 ประมาณการค่าใช้จ่ายในการนำกลับมาเกิดโดยวิธีสกัดด้วย ตัวทำละลาย	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	57
บทที่ 6 สิ่งที่น่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	60
รายการอ้างอิง	62
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	66
ภาคผนวก ข การคำนวณผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลในสารละลาย	74
ภาคผนวก ค การคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำกลับมาเกิดโดยวิธีสกัดด้วย ตัวทำละลาย	77
ภาคผนวก ง การคำนวณราคาของสารละลายนิกเกิลในกรดซัลฟิวริก.....	83
ภาคผนวก จ การทดลองเพื่อตรวจสอบลักษณะของน้ำเสียและเอ็กซ์แทรก ในขั้นตอนการสกัด	85
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างของการชุบแบบต่างๆ ส่วนประกอบของน้ำยาชุบ และสภาวะการทำงาน	88
ภาคผนวก ช มาตรฐานนี้ตั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	100

สารบัญญัตราสาร

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แหล่งกำเนิดสารที่เป็นพิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	9
ตารางที่ 2.2	ช่วงของความเข้มข้นของมลสารในโรงงานชุบโลหะ	12
ตารางที่ 2.3	ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ	12
ตารางที่ 2.4	การตกตะกอนของโลหะหนักในรูปของไฮดรอกไซด์ที่ช่วงของ ค่าพีเอชต่างๆ	15
ตารางที่ 2.5	ผลของพีเอชต่อการสกัดแยกนิกเกิล	23
ตารางที่ 2.6	ผลของอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดต่อการสกัดแยกนิกเกิล	23
ตารางที่ 2.7	ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่อการสกัดกลับนิกเกิลออก จากตัวสกัด	24
ตารางที่ 2.8	ผลของความเข้มข้นของตัวสกัด LIX 973N ต่อการสกัดทองแดง	25
ตารางที่ 2.9	ผลของความเข้มข้นของตัวสกัด EHO ต่อการสกัดโลหะต่างๆ	26
ตารางที่ 2.10	ผลของอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดต่อการสกัดทองแดง และนิกเกิล	27
ตารางที่ 3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ผล	35
ตารางที่ 3.2	ความยาวคลื่นของการวิเคราะห์หาโลหะหนักต่างๆ	36
ตารางที่ 4.1	ปริมาณโลหะหนักและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย	37
ตารางที่ 4.2	ค่าพีเอชของแรฟฟิเนตที่สภาวะสมดุล และประสิทธิภาพในการสกัด นิกเกิล เมื่อปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 7 ถึง 9	40
ตารางที่ ผ-1	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่พีเอชเริ่มต้นของ น้ำเสียในช่วง 4 ถึง 9	67
ตารางที่ ผ-2	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่พีเอชเริ่มต้นของ น้ำเสียในช่วง 7 ถึง 9	67
ตารางที่ ผ-3	ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในแรฟฟิเนตที่พีเอชเริ่มต้นของ น้ำเสียในช่วง 7 ถึง 9	68
ตารางที่ ผ-4	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่อัตราส่วนของ น้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ	68
ตารางที่ ผ-5	ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในแรฟฟิเนตที่อัตราส่วนของ น้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ผ-6	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล69
ตารางที่ ผ-7	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 นอร์มัล70
ตารางที่ ผ-8	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัล70
ตารางที่ ผ-9	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล70
ตาราง ผ-10	ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในแรฟฟิเนตในกระบวนการ สกัดกลับออกจากตัวสกัด71
ตารางที่ ผ-11	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล ในการศึกษาอายุการใช้งาน ของตัวสกัด72
ตารางที่ ผ-12	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด ในการ ศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด73
ตารางที่ ผ-13	ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรคและ ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล75
ตารางที่ ผ-14	ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด และประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด76
ตารางที่ ผ-15	ราคาของสารเคมีที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำกลับ นิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย78
ตารางที่ ผ-16	การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้มี ค่าพีเอชในช่วง 7 ถึง 978
ตารางที่ ผ-17	การคำนวณค่าใช้จ่ายจากตัวสกัดในขั้นตอนการสกัด79
ตารางที่ ผ-18	การคำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด80
ตารางที่ ผ-19	การคำนวณค่าใช้จ่ายโดยรวมในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัด ด้วยตัวทำละลายสำหรับน้ำเสีย 1 ลิตร81
ตารางที่ ผ-20	ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้บริการศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ82
ตารางที่ ผ-21	มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม96

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย 6
รูปที่ 2.2	การถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณรอยต่อของวัสดุ 18
รูปที่ 2.3	การถ่ายเทมวลสารเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ใบพัดกวน 18
รูปที่ 2.4	เมื่อหยุดการกวนวัสดุทั้งสองจะแยกออกจากกัน 18
รูปที่ 2.5	กระบวนการชะละลาย การสกัดด้วยตัวทำละลายและการแยกด้วย กระแสไฟฟ้า 20
รูปที่ 2.6	ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่มีต่อการสกัดกลับออกจากตัวสกัด 22
รูปที่ 3.1	น้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะที่ใช้ในการวิจัย 28
รูปที่ 3.2	กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ 29
รูปที่ 3.3	ตัวสกัด LIX 84-I 31
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด 35
รูปที่ 4.1	การทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียก่อนเขย่า และหลังเขย่า 38
รูปที่ 4.2	ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนตและเอกซ์แทรคโดยการปรับพีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสียเป็น 4 – 9 39
รูปที่ 4.3	ประสิทธิภาพการสกัดนิกเกิลของตัวสกัด โดยการปรับพีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสียเป็น 4 – 9 39
รูปที่ 4.4	ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนตและเอกซ์แทรคโดยการปรับพีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสียเป็น 7 – 9 41
รูปที่ 4.5	ประสิทธิภาพการสกัดนิกเกิลของตัวสกัด โดยการปรับพีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสียเป็น 7 – 9 41
รูปที่ 4.6	ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนตที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ 43
รูปที่ 4.7	ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค ที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ 44
รูปที่ 4.8	การทดลองหาอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมใน ขั้นตอนการสกัด หลังเขย่า 44
รูปที่ 4.9	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่อัตราส่วนของน้ำเสีย ต่อตัวสกัดต่างๆ 45

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10	การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรก ที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล หลังเขย่า	46
รูปที่ 4.11	การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรก ที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 นอร์มัล หลังเขย่า	46
รูปที่ 4.12	การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรก ที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัล หลังเขย่า	47
รูปที่ 4.13	การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรก ที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล หลังเขย่า	47
รูปที่ 4.14	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่อัตราส่วนของกรดซัลฟิวริก ต่อตัวสกัดต่างๆ	49
รูปที่ 4.15	ปริมาณนิกเกิลที่เหลืตกค้างอยู่ในตัวสกัด ที่อัตราส่วนของกรดซัลฟิวริก ต่อตัวสกัดต่างๆ	49
รูปที่ 4.16	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดที่อัตราส่วน ของกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัดต่างๆ	50
รูปที่ 4.17	ปริมาณนิกเกิลในแรฟไฟเนต ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด	52
รูปที่ 4.18	ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรก ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด	52
รูปที่ 4.19	ประสิทธิภาพในการสกัดของตัวสกัด ในการศึกษาอายุการใช้งานของ ตัวสกัด	53
รูปที่ 4.20	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก ในการศึกษาอายุการใช้งาน ของตัวสกัด	53
รูปที่ 4.21	ปริมาณนิกเกิลที่เหลืตกค้างอยู่ในตัวสกัด ในการศึกษาอายุการใช้งานของ ตัวสกัด	54
รูปที่ 4.22	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดในการศึกษา อายุการใช้งานของตัวสกัด	54

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ๘ -1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของนิกเกิลและพีเอช86



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงที่มีการพัฒนาทั้งทางด้านเศรษฐกิจและทางด้านอุตสาหกรรม จากรายงานปี พ.ศ.2532 พบว่ามีโรงงานที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากว่า 50,000 แห่งทั่วประเทศ ซึ่งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลประมาณ 26,000 แห่ง ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 เกี่ยวกับการจัดการกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยกำหนดให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานดำเนินการโดยวิธีการบำบัด (Treatment) หรือการกำจัด (Disposal) วิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรือหลายวิธีต่อเนื่องกัน (Chain treatments) ขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเกิดจากกระบวนการผลิต ดังนั้นองค์ประกอบของน้ำเสียจึงขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม เช่น โรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรจะเกิดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์มาก ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมเคมีจะเกิดน้ำเสียที่มีสารพิษและโลหะหนัก ซึ่งลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียนี้ จะเป็นข้อพิจารณาอย่างหนึ่งในการเลือกการบำบัดรูปแบบต่างๆ เช่น การบำบัดโดยวิธีฟิสิกส์ การบำบัดโดยวิธีเคมี การบำบัดโดยวิธีชีวภาพ การบำบัดหรือการกำจัดโดยกระบวนการใช้ความร้อน การทำลายฤทธิ์ด้วยดินหรือการฝังกลบ (land treatment)

ในปัจจุบัน มีการตระหนักถึงการลดปริมาณหรือการจัดการน้ำเสียที่มีโลหะต่างๆ น้ำเสียบางชนิดประกอบด้วยโลหะที่มีค่า เช่น ทองแดง โครเมียม นิกเกิล หรือ สังกะสี ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ (recycle) หรือการนำกลับ (recovery) การปรับพีเอชให้ตกตะกอนด้วยปูนขาวเป็นวิธีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ ทำให้เกิดกากตะกอนซึ่งจะประกอบด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะหนัก ยิปซัม และความชื้น โดยจะต้องนำไปจัดการต่อหรือฝังกลบยังสถานที่ฝังกลบพิเศษ

เพื่อที่จะลดความอันตรายทางสิ่งแวดล้อม และนำโลหะที่มีค่าต่างๆ กลับไปใช้ใหม่ในอุตสาหกรรม มีหลายวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับน้ำเสีย โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำโลหะกลับมาใช้ให้ได้มากที่สุด ซึ่งวิธีการต่างๆ ที่ใช้กันมีหลายวิธี ส่วนใหญ่ก็เป็นวิธีที่ยุ่ยากและค่าใช้จ่ายสูง เช่น การแยกด้วยไฟฟ้า (electrodialysis) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การทำปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) การตกตะกอนทางเคมี (precipitation) หรือการกลั่น

(distillation) เป็นต้น แต่ก็มีอีกเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย คือ การสกัดแยกสาร (solvent extraction) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่พัฒนามาจากวิธีการสกัดแร่ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถกำจัด แยกโลหะต่างๆ และทำให้เข้มข้นขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาสั้น และสามารถบำบัดได้ในปริมาณมากด้วย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำกลับนิกเกิลจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะนิกเกิล โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด ศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด และประมาณการค่าใช้จ่ายโดยรวมของกระบวนการในการนำกลับนิกเกิลโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I

1.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) โดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดกลับออกจากตัวสกัด (stripping) โดยใช้กรดซัลฟิวริก
3. ศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด
4. ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำกลับนิกเกิลจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะนิกเกิล

1.2 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I ทำการทดลองในระบบขวดเขย่า ซึ่งสารละลายนิกเกิลที่สกัดได้นี้สามารถนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบ (นิกเกิลซัลเฟต) ในอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะนิกเกิลได้ ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I
 - ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสีย
 - อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสม
2. กระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด
 - ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม
 - อัตราส่วนของกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัดที่เหมาะสม

3. ศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด
4. ประเมินการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประยุกต์ใช้การสกัดแยกสาร ในการสกัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะ
2. เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก
3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำเอานิกเกิลกลับมาใช้ใหม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 นิกเกิล

2.1.1 โลหะวิทยาของนิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันและการกัดกร่อนสูง เป็นโลหะที่มีสีขาวสวยงาม มีความเหนียวและอ่อนตัวสูงสามารถขึ้นรูปเย็นได้โดยง่าย นอกจากนี้นิกเกิลสามารถละลายกับโลหะอื่นได้ง่ายและให้สารละลายของแข็งที่มีความเหนียว ประมาณ 60% ของนิกเกิลจะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าผสม ส่วนที่เหลือจะใช้ทำโลหะนิกเกิลผสมที่ใช้ในงานพิเศษที่ทนการกัดกร่อนสูงๆ และใช้เคลือบผิวเหล็ก (Electroplating) โดยอาศัยคุณสมบัติทนการกัดกร่อนและให้สารละลายของแข็งได้ง่าย เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลจะพบว่ามีความสมบัติเทียบเท่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่เหนือกว่าตรงที่สามารถรักษาความเหนียวได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ คุณสมบัติตัวนำไฟฟ้าของนิกเกิลจะสูงไม่เท่าทองแดงและอะลูมิเนียม แต่ก็สูงพอที่จะใช้ได้บางกรณีที่ขั้วสายหรือเทอร์มินอลในงานอิเล็กทรอนิกส์ ในบรรยากาศใช้งานถ้ามีแก๊สของกำมะถันอยู่ด้วยจะมีส่วนทำให้นิกเกิลขาดความต้านทานที่ดี และบางที่อาจจะเปราะแตกง่าย ส่วนใหญ่ไม่ใช้นิกเกิลในสภาพโลหะบริสุทธิ์ เพราะนิกเกิลมีราคาสูงเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่นๆ จะใช้ในลักษณะโลหะผสม และเฉพาะกรณีที่มีความจำเป็นเพื่ออาศัยคุณสมบัติพิเศษของนิกเกิลเท่านั้น

2.1.2 คุณสมบัติของนิกเกิล (มันส์ สติร์จินดา, 2538)

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

น้ำหนักอะตอม	58.69
โครงสร้างระบบผลึก	face centered cubic ($a = 3.516 \text{ \AA}$)
ความหนาแน่น ($25 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	8.89 g/cm^3
อุณหภูมิหลอมเหลว	$1435\text{-}1445 \text{ }^{\circ}\text{C}$
จุดเดือดกลายเป็นไอ	$2730 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ความร้อนจำเพาะ ($27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	$0.130 \text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$
ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย	73.8 cal/g
สัมประสิทธิ์การขยาย ($27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	$13 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (20 °C)	9.5 microohm.cm
สัมประสิทธิ์ตัวนำความร้อน (27 ° - 100 °C)	0.145 cal.cm/cm ² .s.°C

คุณสมบัติเชิงกล

ความแข็งแรงหรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)	47 kg/mm ²
พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)	15 kg/mm ²
อัตราการยืดตัว (Percent Elongation)	40%
ความแข็ง (Hardness)	110 HB.
โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	21000 kg/mm ²

2.2 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (อนันต์ ทองมฤณ, 2527)

2.2.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ การเคลือบโลหะลงบนผิวของโลหะชนิดหนึ่งด้วยวิธีเคมี-ไฟฟ้า โดยการจุ่มชิ้นงานที่ต่อเข้ากับขั้วลบ (cathode) ของกระแสไฟฟ้าตรง (D.C. current) ลงในน้ำยาชุบและต่อตัวล่อกับขั้วบวก (anode) เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะเกิดการเกาะจับของโลหะที่ชิ้นงาน (ขั้วลบ)

ในการชุบโลหะจะต้องทำการควบคุมสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น

- พีเอชที่เป็นกรดมากไปจะทำให้ประสิทธิภาพขั้วลบ (ชิ้นงาน) ลดลง
- พีเอชที่เป็นด่างมากไปจะทำให้ประสิทธิภาพขั้วบวก (ตัวล่อ) ลดลง
- เวลาและความหนาแน่นของกระแส จะมีผลต่อความหนาของผิวที่ชุบ
- ระยะระหว่างตัวล่อและชิ้นงาน จะมีผลต่อความสม่ำเสมอของความหนาของผิวที่ชุบ

2.2.2 วัตถุประสงค์ในการชุบชิ้นงาน

วัตถุประสงค์หลักของการชุบเคลือบผิวชิ้นงาน คือ

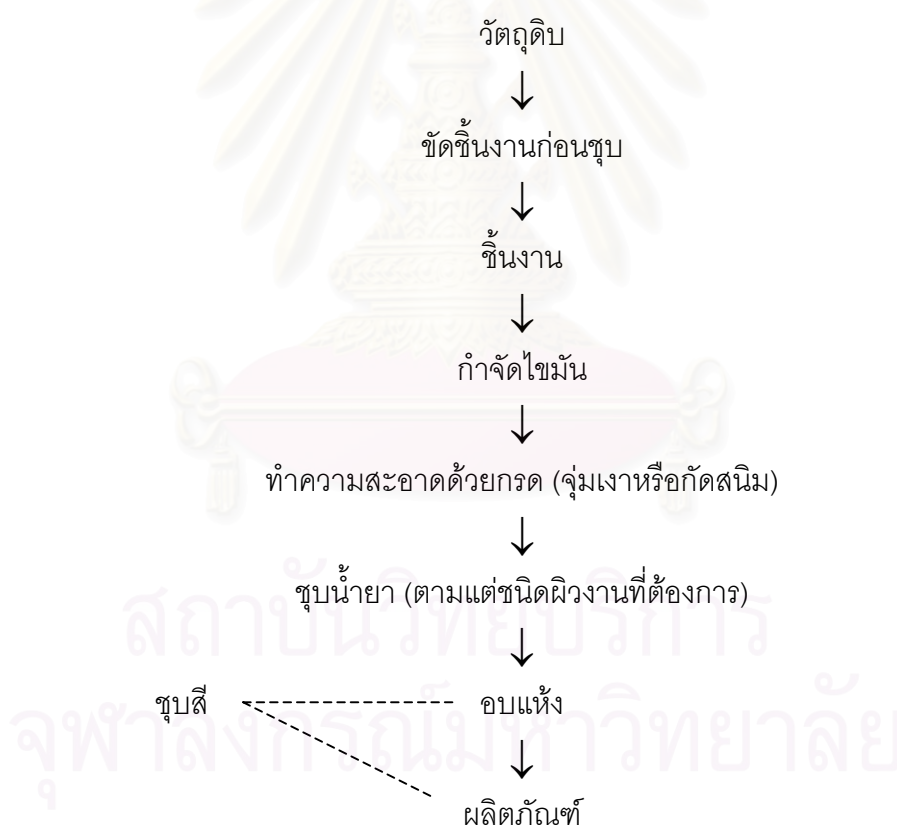
1. เพื่อความสวยงาม
2. เพื่อป้องกันการผุกร่อน
3. เพื่อป้องกันการสึกหรอ
4. เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษที่ผิวชิ้นงาน เช่น เพิ่มความแข็ง ป้องกันสนิม

2.2.3 น้ำยาชุบ

ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าแต่ละประเภท เช่นชุบโครเมียม ชุบสังกะสี ชุบนิกเกิล ชุบทองแดง ฯลฯ น้ำยาที่ใช้ในการชุบก็จะต่างกันไป นอกจากนั้นในการชุบประเภทเดียวกันก็ยังมีน้ำยาหลายสูตร

2.2.4 ขั้นตอนในการชุบโลหะ

รูปแบบขั้นตอนในการชุบโลหะอย่างง่าย ประกอบไปด้วย การเตรียมชิ้นงาน ซึ่งหมายถึง การขัดผิวชิ้นงานจนได้ขนาดและความเรียบตามต้องการ จากนั้นชิ้นงานจะถูกทำความสะอาดเพื่อ กำจัดไขมัน จากนั้นนำไปจุ่มกรดเพื่อกัดเอาสนิมออก แล้วนำชิ้นงานไปชุบในน้ำยา ซึ่งควบคุมสภาวะการชุบตามกำหนด หลังจากเสร็จแล้วนำไปอบแห้ง สุดท้ายจะได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย (อนันต์ ทองมอดู, 2527)

ความซับซ้อนของขั้นตอนในการชุบจะขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่เป็นวัตถุประสงค์ และชนิดของผิวโลหะที่ต้องการ โดยวัตถุประสงค์ส่วนมากจะเป็นเหล็ก เหล็กหล่อ ทองเหลือง อลูมิเนียม

การขัดชิ้นงานก่อนชุบ แบ่งออกเป็นการขัดหยาบและการขัดละเอียด โดยการขัดหยาบเป็นการขัดขั้นแรก โดยขัดเอารอยขีดข่วนเล็กๆ หรือบริเวณที่ไม่สม่ำเสมอออก โดยใช้ลวดขัดที่เคลือบด้วยทรายหยาบ ส่วนการขัดละเอียดเป็นการขัดต่อเพื่อลบรอยจากการขัดหยาบทำให้ชิ้นงานเรียบ โดยใช้ลวดขัดที่มีทรายละเอียดเบอร์ 280 ขึ้นไป นอกจากนี้ในกรณีที่ชิ้นเล็กมากๆ อาจขัดโดยการใช้อัดหมุนซึ่งมีหินขัดบรรจุภายใน

การกำจัดไขมัน ทำโดยการใช้วิธีดังต่อไปนี้

- กำจัดโดยไอระเหยไตรคลอโรเอทิลีน (Vapour degreasing) โดยนำชิ้นงานจุ่มในถังบรรจุไตรคลอโรเอทิลีน มีการให้ความร้อนจนถึง 86 องศา จะกลายเป็นไอน้ำกระทบกับท่อขดทำความเย็นบริเวณปากขอบถังและชิ้นงาน ไอน้ำจะกลั่นตัวบนชิ้นงาน และทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง
- กำจัดโดยใช้ถังร้อน (Soak clean) แช่ชิ้นงานในถังเหล็ก หรือสแตนเลสที่บรรจุด้วยด่างและมีเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าทำงานอยู่

การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา (Pickling and dipping) เป็นการกัดสนิมเหล็ก เหล็กกล้า ออกไซด์ของทองแดง นิกเกิล และทองแดงผสมอื่น โดยใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นประมาณ 5–10% หรืออาจใช้กรดเกลือ ในอัตราส่วน 1:5 โดยปริมาตร (กรด 1 ส่วนต่อน้ำ 5 ส่วน) ในขั้นตอนนี้จะต้องระวังไอกรดระเหย โดยต้องมีการดูดไอพิษไปกำจัด

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้าที่นิยม ได้แก่

- การชุบทองแดง นิกเกิล โครเมียม บนชิ้นงานที่เป็นเหล็ก
- การชุบทองแดง นิกเกิล ทอง บนเครื่องประดับ
- การชุบสังกะสีบนเหล็ก
- การชุบฮาร์ดโครม เป็นต้น

2.3 การชุบโลหะนิกเกิล (สารโรซ พันธุ์แพ, 2526)

การชุบผิวชิ้นงานด้วยโลหะนิกเกิลนี้ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งชุบเพื่อความสวยงาม ความแข็งแรง การป้องกันการกัดกร่อน การชุบเพื่อซ่อมชิ้นส่วนที่ชำรุดเสียหาย ทั้งนี้เพราะว่าโลหะนิกเกิลมีความแข็งแรงสูง ผิวเป็นเงางาม และไม่ค่อยเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นๆ จึงป้องกันการ

กักร่อนอันเกิดจากปฏิกิริยาเคมีได้ดีพอสมควร น้ำยาชุบผิวด้วยนิกเกิลมีอยู่หลายชนิด แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) การชุบเพื่อต้องการความคงทน แข็งแรง
- 2) การชุบเพื่อความสวยงาม
- 3) การชุบชนิดพิเศษ

ตัวอย่างของการชุบแบบต่างๆ ส่วนประกอบของน้ำยาชุบ และสภาวะการทำงาน แสดงในภาคผนวก

หน้าที่ของส่วนผสมต่างๆ ในการชุบ

แท่งนิกเกิล ซึ่งใช้เป็นขั้วไฟฟ้า โดยแท่งนิกเกิลนี้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงมากอย่างน้อย 99 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แท่งนิกเกิลที่ลักษณะเป็นแท่งกลมจะช่วยลดโพลารไรซ์ได้ดีกว่าแท่งเหลี่ยม เพื่อป้องกันการเกิดฟิล์มของออกไซด์หรือการเข้ามาเกาะของโลหะอื่นบนแท่งนิกเกิล จะต้องใส่ถุงผ้าหุ้มเข้าไว้ สำหรับประสิทธิภาพของขั้วบวก จะมีค่าประมาณ 95 – 97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนขั้วลบหรือชิ้นงานจะมีประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า 94 – 96 เปอร์เซ็นต์

นิกเกิลซัลเฟต จะเป็นตัวให้นิกเกิลไอออนซึ่งจะไปเคลือบผิวชิ้นงานที่ขั้วลบ กับให้ซัลเฟตไอออนซึ่งจะช่วยทำให้ขั้วบวกละลายได้ดี สารนี้ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าได้เต็มที่ ทั้งยังทำให้สารละลายหรือน้ำยาชุบมีการนำไฟฟ้าลดลง

นิกเกิลคลอไรด์ จะแตกตัวให้นิกเกิลไอออน และคลอไรด์ไอออนซึ่งจะไปช่วยให้ขั้วบวกละลายได้ดี และลดการเกิดโพลารไรซ์ที่ขั้วนี้ด้วย นอกจากนี้ยังทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายสูงขึ้น มีกำลังการเคลือบผิวดีขึ้น และประสิทธิภาพของขั้วลบสูงขึ้น

กรดบอริก ใช้เป็นตัวบัฟเฟอร์ คือ ช่วยควบคุมพีเอชของน้ำยาชุบให้เปลี่ยนแปลงช้า และถ้าไม่มีบัฟเฟอร์ตัวนี้ จะทำให้การเคลือบของนิกเกิลหนาแต่ไม่ค่อยแน่น เกิดรอยร้าวหรือรูพรุนบนชิ้นงาน

น้ำยาเงา เป็นตัวเพิ่มความเงาให้กับผิวงานที่ชุบ โดยการช่วยทำให้การเคลือบผิวของนิกเกิลเรียงตัวกันอยู่เป็นชั้นบางๆ บนผิวของชิ้นงาน น้ำยาเงาควรติดในขณะที่กำลังทำงานมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน น้ำยาเงามีส่วนสัมพันธ์กับค่าพีเอชของน้ำยาชุบและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามาก การชุบไม่ขึ้นเงาอาจเนื่องมาจากน้ำยามีค่าพีเอชต่ำ การเติมน้ำยาเงามากเกินไป นอกจากจะทำให้การชุบเปราะแล้วยังทำให้เป็นงานน้อยลงก็ได้ ถ้ามีความหนาแน่นไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นไม่ควรเติมน้ำยาเงาทันทีเมื่อการชุบไม่ขึ้นเงาเพราะอาจเนื่องจากสาเหตุอื่นควรจะมีการวัดค่าพีเอชก่อน สิ่งสกปรก เช่น เศษโลหะต่างๆ ก็เป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้ชุบไม่ขึ้นเงา

2.4 แหล่งที่มาและลักษณะของน้ำเสียในกระบวนการชุบโลหะ

กระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า มีขั้นตอนมากมาย ทั้งมีการใช้กรด ต่าง และสารเคมีต่างๆ ประกอบเป็นน้ำยาชุบ ทำให้เกิดสิ่งที่เป็นพิษซึ่งต้องทำการบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งไป น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมาจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Nemerow, 1978)

1. น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดไขมันและน้ำมัน
2. น้ำล้างจากขั้นตอนการจุ่มเงาและกำจัดสนิม
3. น้ำล้างชิ้นงานภายหลังการชุบน้ำยา
4. น้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกมาโดยอุบัติเหตุ
5. น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่

มลพิษที่ปล่อยออกมาจากโรงงานปริมาณสูง ได้แก่ น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดน้ำมันและไขมัน น้ำเสียจากขั้นตอนการจุ่มเงาและกำจัดสนิม และน้ำล้างชิ้นงานภายหลังการชุบน้ำยา น้ำเสียทั้งสามส่วนนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องในการผลิต ส่วนน้ำเสียเนื่องจากน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลมาเนื่องจากอุบัติเหตุจะมีมลพิษสูง แต่นานๆ จึงจะเกิดขึ้นสักครั้ง และน้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่ จะมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำและปริมาณไม่มากนัก ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดสารที่เป็นพิษจากกระบวนการชุบโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แหล่งกำเนิดสารที่เป็นพิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

(วัชรา ขนิษฐบุตร, 2538)

สารที่เป็นพิษ		แหล่งกำเนิด	วิธีบำบัด
น้ำมัน	- สารประเภทไขมัน	- การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบ	การแยกไขมัน
ของแข็ง	- ยาขัด - ทRAY	- ยาขัด - การยิงทRAY	ตกตะกอน
กรด	- กรดกำมะถัน - กรดเกลือ - กรดไนตริก - กรดกัดแก้ว - กรดฟอสฟอริก - กรดน้ำส้ม	- การจุ่มกรดกระตุ้นผิว - การขัดเงาด้วยสารเคมี	ทำให้เป็นกลาง

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แหล่งกำเนิดสารที่เป็นพิษจากระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

สารที่เป็นพิษ		แหล่งกำเนิด	วิธีบำบัด
ต่าง	- โซดาไฟ - โซเดียมคาร์บอเนต - โซเดียมซัลเฟต - โซเดียมฟอสเฟต	- ต้มล้างไขมัน - ทำให้เป็นกลาง - กัดผิวอลูมิเนียม	ทำให้เป็นกลาง
ไซยาไนด์	- สารประกอบไซยาไนด์ ต่างๆ	- ล้างด้วยไฟฟ้า - จากถังชุบ	ทำการ Oxidation โดย ใช้สารประเภทคลอรีน
โลหะหนักในรูป ไอออน	- โลหะมีค่า - ทองแดง - นิกเกิล - เหล็ก - แคดเมียม - สังกะสี - อลูมิเนียม - แมงกานีส	- อยู่ในน้ำยาชุบ - จากการเตรียมก่อนชุบ	ใช้ต่าง
กรดโครมิก	- กรดโครมิก	- น้ำยาชุบ - การทำโครเมต	ทำการ reduction แล้ว ตกตะกอน
ไอออนเชิงซ้อน	- ไอออนเชิงซ้อนของ ทองแดง นิกเกิล	- น้ำยาชุบ	ทำให้สารประเภท chelate เกิดการแยกตัว ทำให้เป็นกลาง แล้วจึง ตกตะกอน

โดยสรุปแล้ว สารที่เป็นพิษซึ่งควรรับการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งไป ได้แก่

- สารประเภทไซยาไนด์
- สารประเภทกรดโครมิก
- กรดและต่าง
- โลหะหนักในรูปของไอออน

มีผู้ศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะไว้มากมาย พบว่ามีการแปรเปลี่ยนทั้งปริมาณและลักษณะน้ำเสียอย่างมากเมื่อเปลี่ยนโรงงาน หรือแม้แต่โรงงานเดียวกันเมื่อวันเวลาที่ศึกษาต่างกัน (Tay, 1986) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของคนงาน รูปแบบการจับชิ้นงาน วิธีในการล้างชิ้นงานหลังชุบ การศึกษาที่ผ่านมากับปริมาณและลักษณะน้ำเสียมีดังนี้

Tay (1986) ได้สรุปความเข้มข้นของมลสารในโรงงานชุบโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

สุดใจ จำปา (2524) ได้รวบรวมลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะจำนวน 14 โรงงาน ภายในเขตกรุงเทพมหานคร และสรุปไว้ดังตารางที่ 2.3

2.5 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ มีสารมลพิษสูงเจือปนอยู่ คือ โลหะหนัก ไซยาไนต์ ซึ่งการปล่อยมลสารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน รวมทั้งที่อาจเกิดต่อมนุษย์โดยทางอ้อม

2.5.1 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2525)

โครเมียม (Cr) สารประกอบของโครเมียมประจุบวกสาม ไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สารประกอบโครเมียมประจุบวกหก ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง เป็นพิษต่อร่างกาย การสูดดมไอกรดโครมิกเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

ทองแดง (Cu) เป็นโลหะที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อย ผู้ใหญ่ต้องการประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อวัน แต่ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษแก่ร่างกายได้ เช่น รับประทาน CuSO_4 ในประมาณ 27 กรัม ทำให้เสียชีวิตได้ ถ้ารับประทานในปริมาณน้อยกว่านี้ก็จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และสับสน

ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ แต่ร่างกายคนเราสามารถทนต่อปริมาณตะกั่วได้ โดยคนทั่วไปสามารถมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm โดยไม่เป็นพิษ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากทันทีทันใด เช่น พบในเลือดมากกว่า 0.8 ppm เกิดเป็นพิษเฉียบพลันได้

นิกเกิล (Ni) สารประกอบนิกเกิล ไม่มีผลทางสรีระของสัตว์และพืช หรือเป็นพิษในเกณฑ์ที่ต่ำมาก

สังกะสี (Zn) สังกะสีอยู่ในรูปของธาตุ ไม่ปรากฏความเป็นพิษ แต่สารประกอบหลายตัวเป็นพิษแต่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ

ไซยาไนต์ (CN^-) ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนต์เป็นพิษอย่างแรง ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และอาจทำให้เสียชีวิตได้

ตารางที่ 2.2 ช่วงของความเข้มข้นของมลสารในโรงงานชุบโลหะ (Tay, 1986)

มลสาร	ความเข้มข้น, มิลลิกรัมต่อลิตร
ไซยาไนด์	1 – 150
โครเมียม	0.25 – 2,600
ทองแดง	0.74 – 75
นิกเกิล	0.07 – 125
สังกะสี	0.12 – 140
ตะกั่ว	0.45 – 20
ดีบุก	1.0 – 20
เหล็ก	0.17 - 300

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ (สุดใจ จำปา, 2524)

FACTORY	TYPE	FLOW, m ³ /d	pH	DS*	SS*	Cu*	CN*	Zn*	Ni*	Cr*	REMARK
1	Cr, Ni, Cu, Zn	4	3.2	1410	110	8.2	19.7	14.2	10	2.6	
2	Cr, Ni, Cu, Zn	33	7.4	483	67	2.9	3.2	40	6	8.9	INF
			4.5	2580	158	1	0.5	35.5	1.6		EFF
3	Cr, Ni, Cu	8	7.7	707	8	-	24			60	INF
			8	583	12	-	2.4		0.22	2.8	EFF
4	Cr, Ni, Cu	4	6.1	864	244	21.5			14.3	7.5	EFF
5	Cr, Ni, Cu	2	7.1	462	84	0.9	10.3		1.9	0.9	
6	Ni, Cu, Zn	10	8.9	1722	320	10.7	86.6	54	7	47	
7	Cr, Ni, Cu	4.5	7.6	574	200	5.7	14		20.5	2.2	
8	Cr, Ni, Cu	2	6.7	272	264	1.1	3.8		5.7	19.4	
9	Cr, Ni, Cu	4	7.1	658	520	0.2	0.5		8.9	26.3	
10	Cr, Ni, Cu	3	7.2	1218	280	0.4	1.4		25.6	8	
11	Cr, Ni, Cu	2	7.4	264	160	0.7			0.6	0.2	
12	Cr, Ni, Cu	3	6.7	1823	507	1.9			104	39.5	
13	Cr, Ni, Cu, Zn	6	6	1470	1050	0.8	25.8	156	33.6	31.4	
14	Cr, Ni, Cu, Zn	2	7.3	864	72	0.9	1.5	2.8	16.1	16.6	

* หน่วย mg/l

2.5.2 ผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

โลหะหนักที่เจือปนในน้ำเสีย มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ โดยโลหะหนักบางชนิดในปริมาณต่ำ สามารถกระตุ้นให้การทำงานดีขึ้น เช่น ทองแดง สังกะสี เป็นต้น แต่จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเมื่อมีปริมาณสูง โลหะหนักบางตัวไม่มีความสามารถในการกระตุ้น แต่เป็นพิษเมื่อมีปริมาณสูงพอ

2.6 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะนั้น สามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้ (Patterson, 1985 และ Wentz, 1989)

1. การตกผลึก (Precipitation) เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของแข็ง (Solids) สามารถทำได้โดยการทำอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

- การเติมสารเคมีเพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักโดยตรง เกิดเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ เช่น การเติมซัลไฟด์ เป็นต้น
- การเปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยาเคมี โดยการเติมสารที่ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายน้ำมีค่าลดลง ได้แก่ การปรับพีเอช
- การเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นการปรับเพื่อให้สารประกอบของโลหะนั้นมีค่าความสามารถในการละลายได้น้อยลง

2. การรวมตะกอน (Flocculation) เป็นกระบวนการในการทำให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถตกตะกอนได้เร็ว

3. การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกของแข็งออกจากน้ำ โดยสารประกอบโลหะหนักมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ สามารถตกตะกอนได้เร็ว โดยกระบวนการนี้มักจะต่อจากกระบวนการตกผลึกและกระบวนการรวมตะกอน

4. การกรอง (Filtration) เป็นกระบวนการแยกของแข็งออกจากน้ำ เนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและแขวนลอยได้ ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

5. ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation-Reduction) เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนค่าเลขประจุ เพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น ไซยาไนต์ และโครเมียมประจุบวกหก

6. กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) เป็นกระบวนการทางเคมี น้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีประจุบวกหรือสารประกอบที่มีประจุลบ เมื่อผ่านเรซินก็จะถูกจับไว้ในเรซิน ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี แต่หลังจากใช้งานสักระยะประสิทธิภาพจะต่ำลง ต้องมีการฟื้นฟูประสิทธิภาพ

(Regeneration) และได้น้ำที่มีความเข้มข้นของโลหะหนัก หรือสารประกอบสูงมาก อาจนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดด้วยวิธีอื่น

7. การระเหย (Evaporation) เป็นการให้ความร้อนในการระเหยน้ำออกไป ทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียสูงขึ้น หรือกลายเป็นกากตะกอน พลังงานที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง (Fuel) การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) หรือใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์

8. รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำเสีย โดยการใช้แรงดันอัดน้ำเสียให้ผ่านเยื่อ (Semipermeable membrane) ซึ่งเยื่อนี้จะมีคุณสมบัติยอมให้น้ำและสารบางตัวผ่านไปได้ ดังนั้น จะได้น้ำที่มีความสะอาดและน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง กระบวนการนี้จะต้องใช้พลังงานมาก และต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำเสียเข้า

9. การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเสีย จะทำให้มลสารต่างๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนต่างๆ ทำให้น้ำทิ้งสะอาด แต่ถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานแล้วไม่ควรกำจัดโดยการเผา

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้กระบวนการต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างนั้นจะต้องพิจารณาความเหมาะสมต่างๆ ในหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด
- 2) คุณภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการ
- 3) พื้นที่ที่ต้องใช้ทั้งหมด
- 4) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและตรวจสอบคุณภาพ
- 5) ความยากง่ายในการเดินระบบและความปลอดภัย
- 6) ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือ กากที่ต้องกำจัด

2.7 การบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (วัชรา ขนิษฐบุตร, 2538)

กล่าวโดยทั่วไปแล้วการกำจัดสิ่งที่เป็นพิษแต่ละตัวเป็นดังนี้

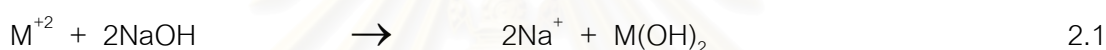
1. ไซยาไนต์ - กำจัดโดยใช้ NaClO (โซเดียมไฮโปคลอไรท์) ซึ่งจะได้ CNO^- (ไซยาเนต) ก่อนแล้วทำปฏิกิริยาต่อได้เป็น $\text{CO}_2 + \text{N}_2$
2. Cr^{+6} - กำจัดโดยใช้ NaHSO_3 (โซเดียมไบซัลไฟท์) Cr^{+6} จะกลายเป็น Cr^{+3} แล้วกำจัด Cr^{+3} ต่อไปโดยการตกตะกอนเป็น $\text{Cr}(\text{OH})_3$
3. โลหะหนัก - กำจัดโดยทำให้ตกตะกอนเป็น $\text{M}(\text{OH})_x$ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นหลัก โลหะแต่ละตัวมีช่วงของการตกตะกอนที่พีเอชต่างกัน
4. กรดต่าง - กำจัดโดยการปรับพีเอช โดยใช้กรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

การกำจัดโลหะหนัก

โลหะหนักในน้ำทิ้งจะอยู่ในสายน้ำประเภทกรดต่าง คือ มาจากการกัดผิวโลหะเพื่อกำจัดสนิม หรือกระตุ้นผิวก่อนการชุบ หรือแม้กระทั่งการขัดเงาชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โลหะในกลุ่มนี้ได้แก่ เหล็ก (Fe^{+2}) ทองแดง (Cu^{+2}) หรือทองเหลือง ($\text{Cu}^{+2} + \text{Zn}^{+2}$)

นอกจากนี้ยังมีโลหะจากน้ำยาชุบโดยตรงซึ่งติดอยู่ในน้ำเสียเพราะมีการล้างน้ำชิ้นงานในขั้นตอนต่างๆ โลหะเหล่านี้ ได้แก่ ทอง (Au^+) นิกเกิล (Ni^{+2}) ทองแดง (Cu^{+2}) โครเมียม (Cr^{+6}) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับว่ากำลังชุบอะไรอยู่ และชุบด้วยน้ำยาประเภทใด

สุดท้ายคือโลหะหนักซึ่งเกิดจากการกระทำภายหลังการชุบ ตัวอย่างเช่น เมื่อชุบสังกะสีแล้วนำมาจุ่มสีรุ้งก็จะใช้น้ำยาโครเมตซึ่งมีโครเมียม (Cr^{+6}) อยู่ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกไปได้โดยการทำให้ตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำให้ตกตะกอน และมักเรียกกรรมวิธีนี้ว่า Neutralization ตามสมการที่ 2.1



ในบางครั้งก็ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เป็นตัวช่วยให้ตกตะกอน เพราะทำให้ตกตะกอนง่ายขึ้น สารเคมีราคาถูกกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ข้อเสียคือจะเกิดตะกอนจำนวนมากลำบากในการกำจัด โลหะแต่ละประเภทมีการตกตะกอนที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ กัน ตามที่ได้แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การตกตะกอนของโลหะหนักในรูปของไฮดรอกไซด์ที่ช่วงของค่าพีเอชต่างๆ
(วัชรา ขนิษฐบุตร, 2538)

ประเภทของโลหะ	ช่วงของพีเอช
ทองแดง (Cu^{+2})	7 → 12 ไม่มีละลายกลับ
นิกเกิล (Ni^{+2})	9 → 10 ไม่มีละลายกลับ
โครเมียม (Cr^{+3})	8 → 9 → 10 แต่พีเอช > 11 ละลายกลับ
สังกะสี (Zn^{+2})	9 → 11 แต่พีเอช > 11 ละลายเล็กน้อย
เหล็ก (Fe^{+2})	7.5 → 10 แต่พีเอช > 11 ละลายกลับ

ในทางปฏิบัติ Neutralization ทำที่ พีเอช 9.5 – 10.5

2.8 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ใช้แยกสารออกจากของผสมที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือของแข็ง โดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว กระบวนการนี้แยกได้เป็น การสกัดสารออกจากของแข็งด้วยของเหลว (Leaching) และการสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction)

2.8.1 การสกัดสารออกจากของแข็งด้วยของเหลว (Leaching) (Gill, 1980)

การสกัดสารออกจากของแข็งด้วยของเหลวเป็นการทำให้สารประกอบของโลหะที่อยู่ในรูปของแข็งละลายออกมาอยู่ในรูปสารละลายเพื่อแยกโลหะที่ต้องการออกจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เช่น แบตเตอรี่เก่า เศษแร่ หรือกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ปฏิกริยาของการชะที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปอย่างช้าๆ ฉะนั้นวัสดุที่ใช้จะต้องนำมาบดให้ละเอียดหรือเล็กพอเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับสารชะ (leaching solution) มีโลหะหลายชนิดที่ถูกผลิตขึ้นมาจากการชะ เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี อะลูมิเนียม ทอง พลาตินัม และนิกเกิล โดยสารชะที่ใช้ในการชะละลายนี้มีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น น้ำ ซึ่งอยู่ในรูป aqueous solution รวมทั้งกรด เบส และเกลือต่างๆ สารชะที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และแอมโมเนีย คุณสมบัติที่สำคัญของสารชะที่จะนำมาชะละลายคือ สามารถละลายโลหะบางชนิดได้ดี สามารถละลายในน้ำได้ ราคาถูก สามารถนำไปใช้ซ้ำหรือใช้ใหม่ได้ และไม่กัดกร่อนภาชนะและอุปกรณ์

ความเข้มข้นของสารชะ อุณหภูมิ การกวนผสม และเวลาสัมผัสระหว่างของแข็งกับของเหลว เป็นตัวแปรหลักที่ควบคุมและส่งผลต่ออัตราการชะละลาย

การทำสารละลายให้บริสุทธิ์ (purification) และทำให้เข้มข้นขึ้น (concentration) เป็นสิ่งสำคัญก่อนที่จะนำไปดำเนินการนำกลับ (recovery) ด้วยวิธีอื่นต่อไป โดยที่ของแข็งแขวนลอยต้องกำจัดด้วยการกรอง หรือตกตะกอนด้วยปูนขาว (lime) หรือ โซดาแอช (soda ash) ส่วนการทำให้เข้มข้นขึ้นทำได้โดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย (การสกัดของเหลวด้วยของเหลว)

2.8.2 การสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction)

(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิทยาศาสตร์, 2530)

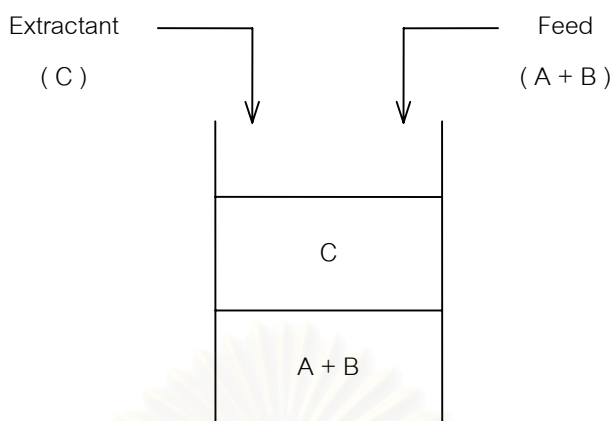
การสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลวเป็นกรรมวิธีใช้แยกของผสมออกจากของผสมเดิมที่มีสถานะเป็นของเหลวโดยใช้สารสกัดที่ไม่ผสมเป็นสารเนื้อเดียวกับสารละลายเดิม สารสกัดต้องมีความสามารถที่จะสกัดแยกสารชนิดหนึ่งออกจากของผสมได้ดี แต่สกัดแยกสารอีกชนิดหนึ่งได้ไม่ดีหรือไม่ได้เลย โดยทั่วไปการแยกของผสมที่เป็นของเหลวออกจากกันทำได้ง่าย ๆ ด้วยวิธี

การกลั่น แต่ในบางครั้งก็มีขอบเขตจำกัดที่ไม่สามารถแยกสารออกจากกันได้หรือไม่เหมาะสม เช่น การกลั่นแยกสารที่มีค่าความดันไอลดเคียงกันจะทำได้ยาก การกลั่นของผสมที่มีความเจือจางมากๆ อาจทำให้เกิดการสลายตัวของสารได้เนื่องจากในการกลั่นต้องใช้อุณหภูมิสูง สารประเภทดังกล่าว จึงไม่เหมาะสมต้องหาวิธีการอื่นๆ มาแทน วิธีการสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลวก็เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการสกัดแยกสารได้

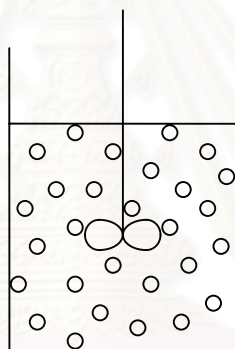
เพื่อให้เข้าใจถึงทฤษฎีขั้นพื้นฐานจะสามารถอธิบายได้โดยสรุป คือ การนำเอาของผสมที่มีสารที่ต้องการจะแยกซึ่งเรียกว่า สารป้อน (Feed) ประกอบด้วยสาร A และ B โดยที่สาร A เป็นสารที่ต้องการแยกออกจากของผสมเดิม ใส่ในภาชนะพร้อมกับสารสกัด (Extractant) คือสาร C สารในภาชนะจะมีการแยกออกเป็น 2 ชั้น ดังรูปที่ 2.2 สารป้อน (Feed) ในที่นี้คือน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าสารสกัด ดังนั้นจะมีการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวที่เป็นรอยต่อระหว่างชั้น คือโมเลกุลของ A จะค่อยๆ รวมตัวเข้าไปอยู่ใน C ซึ่งการถ่ายเทของมวลสารนี้จะเป็นไปได้อย่างช้าๆ เพราะการถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณพื้นที่ตรงรอยต่อระหว่างภูมิภาคเท่านั้น ถ้าต้องการให้มีการถ่ายเทมวลสารเร็วขึ้นทำได้โดยการกวนโดยใช้ใบพัด ซึ่งจะทำให้ของเหลวชนิดหนึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นหยดๆ กระจายอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเพิ่มอัตราการถ่ายเทของมวลสาร ของเหลวที่มีลักษณะเป็นหยดๆ นี้ จะเรียกว่า "Dispersed phase" ส่วนของเหลวที่ไม่แตกเป็นหยดเรียกว่า "Continuous phase" ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ปริมาณของสาร A จาก สารป้อนที่ละลายเข้าไปอยู่ใน C จะขึ้นกับเวลาและลักษณะการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของของเหลวในระบบ แต่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณของ A ที่มีอยู่ใน C และที่เหลืออยู่ใน B จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา ภาวะของระบบเช่นนี้เรียกว่าภาวะสมดุล (Equilibrium) ซึ่งจะเป็นปริมาณสูงสุดของสารที่สกัดแยกได้ในระบบนั้น

หลังจากกวนแล้วระบบอาจถึงสมดุลหรือไม่ก็ตาม เมื่อหยุดกวน หยดของของเหลวที่กระจายอยู่จะเกิดการรวมตัวกัน ของเหลวจะแยกเป็น 2 ชั้นดังเดิม ชั้นบนตามรูปที่ 2.4 จะมีตัวสกัดแยกสาร C อยู่ร่วมกับสารที่ถูกสกัดแยกออกมาคือ A และอาจจะมี B ที่ละลายได้บ้างรวมอยู่ด้วย ของเหลวในส่วนนี้เรียกว่าเอกซ์แทรค (Extract) ส่วนของเหลวชั้นล่างจะมี B อยู่กับ A ส่วนที่แยกออกไปไม่หมดและอาจจะมี C ส่วนที่ละลายใน B ได้บ้างปนอยู่ด้วย ส่วนนี้จะเรียกว่าแรฟฟินेट (Raffinate)

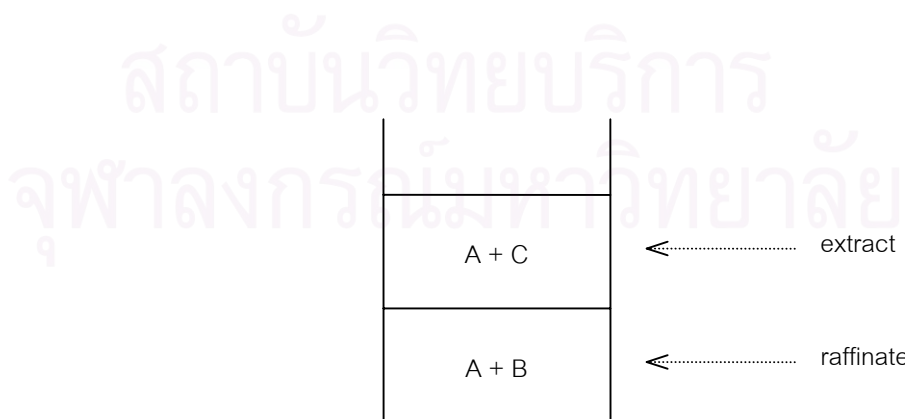
การสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถแยกโลหะชนิดหนึ่งจากสารละลายที่มีสิ่งเจือปนอยู่ ในขณะเดียวกันก็ทำให้เข้มข้นขึ้นด้วย ซึ่งสามารถพัฒนาไปใช้เพื่อการสกัดยูเรเนียมจากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ได้ ประสิทธิภาพของการสกัดขึ้นอยู่กับว่าต้องการสกัดโลหะชนิดใดและสิ่งเจือปนคืออะไร จึงต้องเลือกใช้สารสกัดให้เหมาะสมกับโลหะที่ต้องการจะสกัด



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทมวลสารเกิดที่บริเวณรอยต่อของวัฏภาค



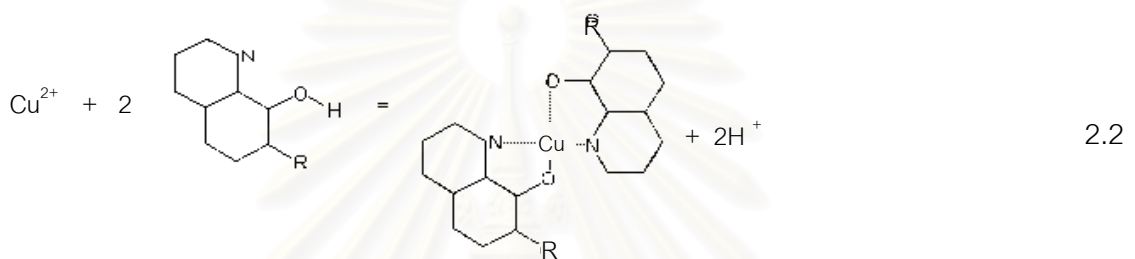
รูปที่ 2.3 การถ่ายเทมวลสารเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ใบพัดกวน



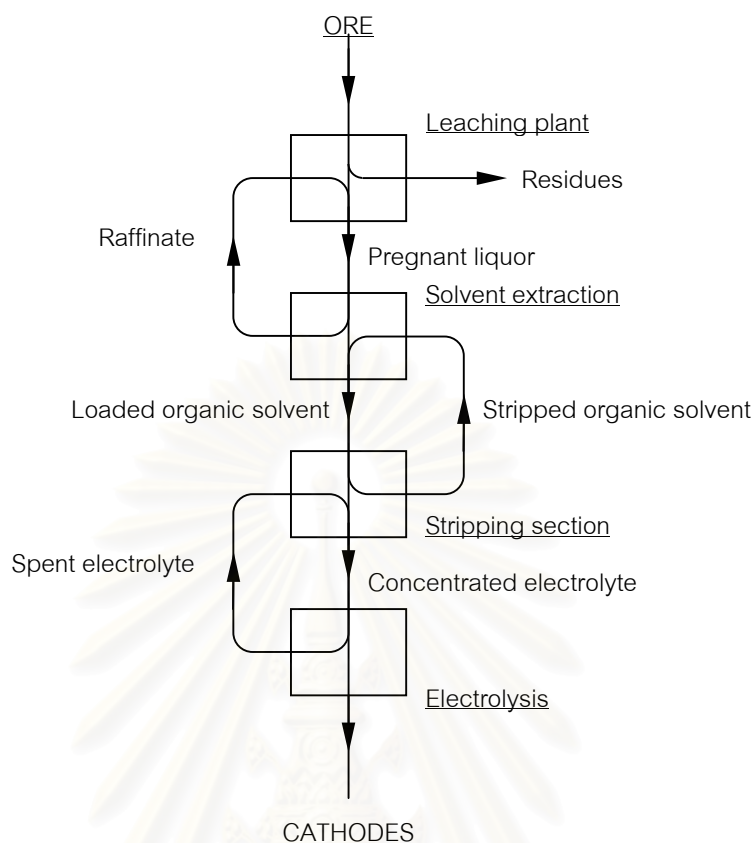
รูปที่ 2.4 เมื่อหยุดการกวนวัฏภาคทั้งสองจะแยกออกจากกัน
(สมนึก ภาคพานิชย์, 2538)

2.8.3 ตัวสกัด (solvent) (Gilchrist, 1980)

ตัวสกัด เป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ซึ่งมีการแทนที่ของไฮโดรเจนอะตอมได้ ที่นิยมใช้กันมากมักจะอยู่ในรูป chelating compounds โดยมีชื่อทางการค้าว่า LIX และ KELEX โดยจะมีตัวเลขต่อท้าย LIX เป็นสารประกอบเชิงซ้อนประเภท hydroxy oximes ส่วน KELEX เป็นสารประกอบเชิงซ้อนประเภท hydroxy quinolines ตัวอย่างของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบประเภท hydroxy quinoline ชนิดหนึ่งกับสารละลายที่มีโลหะทองแดง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไปทางขวาเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าต่ำ และจะไปทางซ้ายเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าสูง ดังสมการที่ 2.2



ในการใช้งานมักจะนำตัวสกัด (solvent) ไปเจือจางในน้ำมันก๊าดเพื่อลดความหนืดของตัวสกัดแล้วนำไปกวนผสมกับสารละลายที่ต้องการสกัด (leach solution) ในปริมาณเท่าๆ กัน จะเกิดการถ่ายเทมวลสารของทองแดงจากสารละลายเข้าไปสู่ตัวสกัด และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้น โดยตัวสกัดที่มีทองแดงอยู่จะแยกตัวอยู่ด้านบนและสารละลายที่ถูกสกัดจะอยู่ด้านล่าง ใช้กรวยแยกแยกตัวสกัดที่มีทองแดงอยู่และสารละลายที่ถูกสกัดออกจากกัน แล้วนำตัวสกัดที่มีทองแดงไปกวนผสมกับ aqueous solution ในปริมาณน้อยกว่าตัวสกัด เช่น กรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นประมาณ 15% ปฏิกิริยา ก็จะกลับกันโดยที่ทองแดงจะเกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากสารประกอบเชิงซ้อนและเข้าสู่ aqueous solution ถ้าอัตราส่วนโดยปริมาตรของ aqueous solution ต่อตัวสกัดที่มีทองแดงอยู่นั้นได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ความเข้มข้นของทองแดงใน concentrate liquor จะสูงถึง 50 เท่าของสารละลายที่ต้องการสกัด ซึ่งเหมาะที่จะนำไปแยกด้วยกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการชะละลาย การสกัดด้วยตัวทำละลายและการแยกด้วยกระแสไฟฟ้า
(Gilchrist, 1980)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Groves และ Redden (1990) ศึกษาการสกัดนิกเกิลจากสารละลายคลอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยนิกเกิล โคโรเนียม แมงกานีส และคลอไรด์ 30, 32, 8 และ 140 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ด้วย Aliphatic Oximes โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นแรกเป็นการศึกษาผลของการสกัดนิกเกิลด้วย 2-ethylhexanal oxime หรือ EHO โดยใช้ตัวสกัดเป็นสารผสม EHO-DEHPA ซึ่งประกอบด้วย DEHPA 0.5M และ EHO 0, 0.25, 0.50 และ 1.0 M ใช้เวลาในการสกัด 20 นาที ที่ A:O ratio = 1 พบว่าตัวสกัดที่มี EHO สามารถสกัดนิกเกิลได้ โดยตัวสกัดที่มีปริมาณ EHO 0, 0.25, 0.50 และ 1.0 M มีปริมาณนิกเกิล 0.02, 2.9, 4.9 และ 8.1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า EHO ร่วมกับ DEHPA สามารถสกัดนิกเกิลจากสารละลายคลอไรด์ที่พีเอช 2 ได้ แต่ DEHPA เพียงอย่างเดียวไม่สามารถสกัดนิกเกิลได้

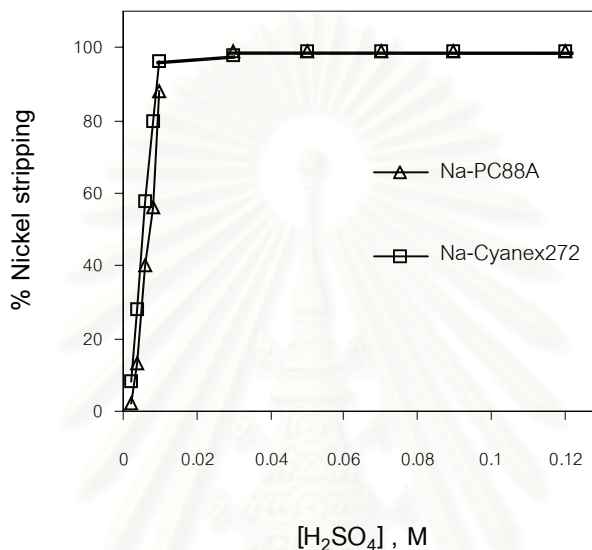
ต่อมาได้ทำการทดลองโดยใช้ EHO ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 M และ DEHPA ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.0 M โดยใช้เวลาในการสกัด 30 นาที ที่ A:O ratio = 1 หลังจากที่เราเขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นในกรวยแยก ก็นำแรฟฟิเนตออก แล้วเติมสารละลายคลอไรด์เข้าไปใหม่ ทำซ้ำ 3 ครั้งโดยใช้ตัวสกัดเดิม พบว่า ถ้าไม่มี EHO แล้ว DEHPA เพียงอย่างเดียวไม่สามารถสกัดนิกเกิลจากสารละลายคลอไรด์ได้ แต่ EHO เพียงอย่างเดียว สามารถสกัดนิกเกิลได้ และปริมาณนิกเกิลในตัวสกัดเพิ่มขึ้นจาก 4.3 กรัมต่อลิตร ในตัวสกัดที่มี EHO 0.5 M เป็น 19.4 กรัมต่อลิตร ในตัวสกัดที่มี EHO 2.5 M และจะสามารถเพิ่มความสามารถในการสกัดนิกเกิลได้เมื่อนำ EHO และ DEHPA มาผสมกัน ตัวอย่างเช่น ตัวสกัดผสมระหว่าง EHO 2.5 M และ DEHPA 0.15 M จะมีปริมาณนิกเกิลในตัวสกัด 32.8 กรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงว่า EHO เพียงอย่างเดียว สามารถสกัดนิกเกิลได้ แต่ถ้าเติม DEHPA อีกลittle น้อยจะทำให้สกัดนิกเกิลได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Devi, Nathsarma และ Chakravorty (1998) ได้ศึกษาการแยก และการนำกลับโคบอลต์ (II) และนิกเกิล(II) จากสารละลายซัลเฟตที่มี Co^{2+} 0.01 M, Ni^{2+} 0.01 M และ Na_2SO_4 0.1 M โดยใช้ Na-D2EHPA 0.03 M, Na-PC88A 0.05 M และ Na-Cyanex272 0.06 M โดยที่ตัวทำละลายทั้งสามชนิดเจือจางในน้ำมันก๊าด (kerosene) พบว่าตัวสกัดทั้งสามชนิดสามารถสกัดไอออนของโลหะได้มากขึ้นเมื่อพีเอชที่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น แต่ตัวสกัดที่เหมาะสมคือ Na-PC88A และ Na-Cyanex272 โคบอลต์จะถูกสกัดออกมาก่อนโดยใช้ Na-Cyanex272 และ Na-PC88A 0.05 M ที่ A:O ratio = 1 และสกัดกลับโคบอลต์ออกจากตัวสกัดด้วยกรดซัลฟิวริก 0.02 M ที่ A:O ratio = 1:2 หลังจากที่ได้สกัดแยกโคบอลต์ออกไปแล้ว นิกเกิลจะถูกสกัดโดยใช้ Na-Cyanex272 และ Na-PC88A 0.05 M ที่ A:O ratio = 1 และสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัดด้วยกรดซัลฟิวริก 0.02 M ที่ A:O ratio = 3:4 และ 1:2 ตามลำดับ

ในการสกัดแยกโลหะนิกเกิลจากสารละลายสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วย Ni^{2+} 0.01M และ Na_2SO_4 0.1 M ด้วย Na-PC88A 0.05 M และ Na-Cyanex272 0.05 M ทำการศึกษาผลของพีเอชตั้งแต่ 2.1 ถึง 7.0 พบว่า Na-PC88A สามารถสกัดแยกนิกเกิลได้เพิ่มขึ้นจาก 37.9 เป็น 93.5% และ Na-Cyanex272 สามารถสกัดแยกนิกเกิลได้เพิ่มขึ้นจาก 43.5 เป็น 95.8% การสกัดด้วย Na-Cyanex272 จะมีประสิทธิภาพดีที่พีเอชสูงกว่าการสกัดด้วย Na-PC88A จากผลการทดลองพบว่าจะสามารถสกัดนิกเกิลได้เกือบสมบูรณ์จากสารละลายซัลเฟตที่พีเอช 3.65 โดยใช้ Na-PC88A และ Na-Cyanex272 มีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล 91.0% และ 93.7% ตามลำดับ

ในการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัด (nickel loaded solvent) ด้วยกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.001 M ถึง 0.12 M ที่ A:O ratio = 1 จากกราฟแสดงผลของความเข้มข้นของ

กรดซัลฟิวริกที่มีต่อการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัด ดังในรูปที่ 2.6 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ของการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัดเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกตั้งแต่ 0.001 M (1.7% สำหรับ Na-PC88A และ 10.9% สำหรับ Na-Cyanex272) ถึง 0.01 M (88.3% สำหรับ Na-PC88A และ 96.7% สำหรับ Na-Cyanex272) และที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.03 M เป็นต้นไป ตัวสกัดทั้งสองชนิดสามารถสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัดได้เกือบสมบูรณ์



รูปที่ 2.6 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่มีต่อการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัด (Devi และคณะ, 1998)

Parija, Reddy และ Bhaskara Sarma (1998) ศึกษาการนำกลับนิกเกิลจากสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้ LIX 84-I เป็นสารสกัด พบว่านิกเกิลถูกสกัดแยกออกมาได้มากกว่า 99% ที่ A:O = 1 และนิกเกิลถูกสกัดกลับออกจากตัวสกัดโดยให้สารละลายไหลสวนทางกัน 4 stage ที่ A:O ratio = 1:3.5 ด้วยกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 100 kg/m³ และในสารละลายละลายนิกเกิลซัลเฟตมีนิกเกิลอยู่ 60 - 70 kg/m³ ซึ่งเหมาะกับการนำไปแยกด้วยกระแสไฟฟ้า (electrowinning) หรือนำไปทำให้เป็นผลึก (crystallisation)

และยังได้ศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- พีเอช - ในการสกัดแยกนิกเกิลทำการทดลองโดยปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 7.20 และ 8.40 โดยใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช การสกัดกระทำที่ phase ratio = 1:1 และใช้ตัวสกัด LIX 84-I ความเข้มข้น 40% โดยปริมาตร หลังจากแยกทั้งสองเฟสออกจากกันแล้วก็วัดความเข้มข้นของนิกเกิลในสารละลาย จากผลของพีเอชที่มีต่อการสกัดแยกนิกเกิล ดังตารางที่ 2.5 แสดงว่าจะสามารถสกัดแยกนิกเกิลได้เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชที่

สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น พีเอชที่สภาวะสมดุลมากกว่า 7 เป็นค่าที่เหมาะสมในการสกัดแยกนิกเกิล โดยใช้การสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกันไม่เกิน 3 stage แต่ถ้าต้องการสกัดแยกนิกเกิล ออกมาให้ได้เกือบสมบูรณ์ใน stage เดียวก็ควรที่จะปรับพีเอชที่สภาวะสมดุลที่ค่าประมาณ 8

ตารางที่ 2.5 ผลของพีเอชต่อการสกัดแยกนิกเกิล (Parija และคณะ, 1998)

Initial pH	Equilibrium pH	$[\text{Ni}]_{\text{aq}}$, kg/m^3	Ni extraction, %
7.20	3.90	11.88	42.05
7.40	4.85	8.26	59.71
7.60	5.85	4.99	75.66
7.80	7.20	2.13	89.61
8.00	8.15	0.01	99.95
8.20	8.65	0.006	99.97
8.40	8.80	0.008	99.96

- อัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัด (A:O ratio) – ทำการทดลองโดยเพิ่ม A:O ratio ให้มากกว่า 1 โดยปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 8.2 สกัดโดยใช้ ตัวสกัด LIX 84-I ความเข้มข้น 40% โดยปริมาตร แล้วทำการวัดความเข้มข้นของนิกเกิลในสารละลาย จากผลของอัตรา ส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดที่มีต่อการสกัดแยกนิกเกิล ดังตารางที่ 2.6 พบว่าความเข้มข้นของ นิกเกิลในตัวสกัดเพิ่มขึ้นจาก 20.5 kg/m^3 ที่ A:O ratio = 1:1 ไปเป็น 24.3 kg/m^3 ที่ A:O ratio = 2:1 จากข้อมูลดังกล่าวการสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกันมากกว่า 3 stage จะสามารถ สกัดแยกนิกเกิลได้มากกว่า 99% ที่ A:O ratio = 1.25:1 (5:4) ในขณะที่ A:O ratio = 1 สามารถ สกัดได้เกือบสมบูรณ์โดยสกัดเพียงครั้งเดียว

ตารางที่ 2.6 ผลของอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดต่อการสกัดแยกนิกเกิล (Parija และคณะ, 1998)

Phase ratio A:O	Equilibrium pH	$[\text{Ni}]_{\text{aq}}$, kg/m^3	$[\text{Ni}]_{\text{org}}$, kg/m^3	Ni extraction, %
1 : 1	8.65	0.006	20.5	99.97
1.25 : 1	8.50	3.00	21.9	85.37
1.5 : 1	8.35	5.50	22.5	73.17
2 : 1	8.20	8.36	24.3	59.22

- ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในการสกัดกลับออกจากตัวสกัด (stripping) – ได้ทำการทดลองโดยแปรค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเป็นค่าต่างๆ ที่ A:O ratio = 1:3 และ 1:3.5 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่มีต่อการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัด ดังตารางที่ 2.7 แสดงว่าความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่มากกว่า 100 kg/m^3 จะสามารถสกัดกลับนิกเกิลได้เกือบสมบูรณ์ด้วยการสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 3 หรือ 4 stage

ตารางที่ 2.7 ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่อการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัด

(Parija และคณะ, 1998)

[H ₂ SO ₄] (kg/m ³)	[Ni] in strip soln. , kg/m ³		Ni stripping efficiency , %	
	Phase ratio (A : O)		Phase ratio (A : O)	
	1:3	1:3.5	1:3	1:3.5
90.0	33.75	39.0	59.90	59.34
94.5	-	42.84	-	65.18
100.5	48.42	51.65	85.94	78.58
105.0	-	54.0	-	82.15
109.5	51.35	-	91.14	-

Alguacil (1999) ได้ศึกษาการสกัดแยกทองแดงด้วยตัวสกัด LIX 973N (เป็นสารผสมระหว่าง 5-nonylsalicylaldoxime และ 2-hydroxy-5-nonyl-acetophenone oxime) และการสกัดกลับออกจากตัวสกัดโดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- พีเอช – ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการสกัดทองแดงจากสารละลายที่มีทองแดง 3 กรัมต่อลิตร และแอมโมเนียมคาร์บอเนต 60 กรัมต่อลิตร ด้วยตัวสกัด LIX 973N ที่มีความเข้มข้น 10% โดยปริมาตรโดยเจือจางในน้ำมันก๊าด ปรับพีเอชของสารละลายระหว่าง 8.5 ถึง 10.5 ใช้เวลาสกัด 10 นาที ที่ A:O ratio = 1:1 และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถสกัดทองแดงได้เกือบสมบูรณ์ (99.5%) ในช่วงพีเอชที่ทำการศึกษา
- อุณหภูมิ – ศึกษาผลของอุณหภูมิโดยใช้สารละลาย ตัวสกัด เวลาในการสกัด และ A:O ratio เช่นเดียวกับการศึกษาผลของพีเอช แต่แปรค่าอุณหภูมิในช่วง 20 ถึง 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลอย่างเป็นนัยสำคัญต่อการสกัดทองแดงด้วยตัวสกัด LIX 973N ในเงื่อนไขที่ทำการทดลอง โดยมีความสามารถในการสกัดทองแดงมากกว่า 99%

- ความเข้มข้นของตัวสกัด - ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวสกัด โดยใช้สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นเท่าเดิม ที่พีเอช 9.0, 9.9 และ 10.2 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลาสกัด 10 นาที และ A:O ratio = 1 ผลของความเข้มข้นของตัวสกัด LIX 973N ที่มีต่อการสกัดทองแดง ดังตารางที่ 2.8 แสดงว่าตัวสกัดที่มีความเข้มข้น 10% และ 20% โดยปริมาตร สามารถสกัดทองแดงได้เกือบสมบูรณ์ (มีปริมาณทองแดงเหลืออยู่ในแรฟฟิเนตน้อยกว่า 0.01 กรัมต่อลิตร) ส่วนตัวสกัดที่มีความเข้มข้น 5% สามารถสกัดทองแดงได้เฉลี่ย 94% ในช่วงพีเอชที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 2.8 ผลของความเข้มข้นของตัวสกัด LIX 973N ต่อการสกัดทองแดง (Alguacil, 1999)

PH	2.5% v/v	5% v/v	10% v/v	20% v/v
9.0	47.3	93.7	Quantitative*	Quantitative*
9.9	48.7	92.9	Quantitative*	Quantitative*
10.2	48.8	94.6	Quantitative*	Quantitative*

* ปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่ในแรฟฟิเนต น้อยกว่า 0.01 กรัมต่อลิตร

Loveless (2000) ศึกษาการนำกลับนิกเกิลจากน้ำยากัดรอย (etching solution) ที่ใช้แล้ว โดยสกัดด้วย 2-ethylhexanal oxime (EHO) ที่มีความเข้มข้น 0.5M, 1.0M และ 1.5M เวลาในการสกัด 15 และ 30 นาที ที่ A:O ratio = 1:1 ผลของความเข้มข้นของตัวสกัด EHO ที่มีต่อการสกัดโลหะต่างๆ ดังตารางที่ 2.9 พบว่าที่เวลาในการสกัด 30 นาที EHO ที่มีความเข้มข้น 0.5M, 1.0M และ 1.5M สามารถสกัดนิกเกิลได้ 17.6%, 38.4% และ 77.8% ตามลำดับ และสกัดทองแดงได้ 48.9%, 79.1% และ 93.6% ตามลำดับ ส่วนที่เวลาในการสกัด 15 นาที ความสามารถสกัดนิกเกิลและทองแดงจะต่ำกว่าที่เวลาสกัด 30 นาที ตัวสกัด EHO ไม่สามารถสกัดเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ส่วนโครเมียมถูกสกัดได้เล็กน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 ผลของความเข้มข้นของตัวสกัด EHO ต่อการสกัดโลหะต่างๆ (Loveless, 2000)

โลหะ	Extraction, %					
	0.5 M EHO		1.0 M EHO		1.5 M EHO	
	15 min.	30 min.	15 min.	30 min.	15 min.	30 min.
Fe	-	-	-	-	-	-
Ni	12.5	17.6	31.1	38.4	64.3	77.8
Cr	-	-	-	-	7.8	9.2
Cu	45.0	48.9	76.6	79.1	90.0	93.6
Mn	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-

Parija และ Bhaskara Sarma (2000) ศึกษาการสกัดนิกเกิลและทองแดงจากสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้ตัวสกัด LIX 84 ความเข้มข้น 40% โดยปริมาตรเจือจางในน้ำมันก๊าด นิกเกิลและทองแดงจะถูกสกัดร่วมกันจากสารละลายซึ่งประกอบด้วยทองแดง 13.8 kg/m^3 นิกเกิล 10.7 kg/m^3 $(\text{NH}_4)\text{OH}$ 90 kg/m^3 และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 45 kg/m^3 ด้วยการสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 2 stage ที่ A:O ratio = 1:2 ได้ทำการกำจัดแอมโมเนียออกจากตัวสกัดก่อนด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 6.6 kg/m^3 ต่อมานิกเกิลจะถูกสกัดออกจากตัวสกัดแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน 4 stage ที่ A:O ratio = 2:1 โดยใช้สารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้แล้วซึ่งประกอบด้วย นิกเกิล 57 kg/m^3 H_3BO_3 12 kg/m^3 และ Na_2SO_4 12 kg/m^3 (พีเอชประมาณ 1.7) สามารถสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดได้เกือบสมบูรณ์ โดยเหลืออยู่ในตัวสกัดประมาณ 20 g/m^3 และในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่มีทองแดงเข้าไปอยู่ด้วยประมาณ 68 g/m^3

ต่อมาได้ศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัด (A:O ratio) ทำการทดลองโดยใช้ตัวสกัด LIX 84 ความเข้มข้น 40% โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดต่างๆ กัน ผลของอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดต่อการสกัดทองแดงและนิกเกิลดังในตารางที่ 2.10 แสดงว่าที่ทุกอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดจะสามารถสกัดทองแดงได้มากกว่านิกเกิล และสามารถสกัดทองแดงและนิกเกิลร่วมกันได้ภายใต้เงื่อนไขของการทดลอง โดยที่สกัดทองแดงได้ 99.98% และสกัดนิกเกิลได้ 98.3% ที่ A:O ratio = 1:2

ตารางที่ 2.10 ผลของอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวสกัดต่อการสกัดทองแดงและนิกเกิล

(Parija และ Bhaskara Sarma, 2000)

A : O	[metal] in the raffinate (g/m ³)	
	Cu	Ni
1 : 1	157.6	586.0
1 : 2	2.78	183.0
1 : 3	0.89	32.2
1 : 4	0.76	12.0
1 : 5	0.31	6.80

อรุณี อริยประยูร, จรุงค์ ยงศิริ และนพคุณ เพชรเครือ (2536) ได้ศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของนิกเกิลจากน้ำล้างชิ้นงานในการชุบนิกเกิล โดยใช้เรซินชนิดพิเศษชนิดกรดอ่อน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองส่วนที่หนึ่ง น้ำเสียจะผ่านเฉพาะเรซินแบบกรดอ่อน และในการทดลองส่วนที่สอง น้ำเสียจะผ่านทั้งเรซินชนิดกรดอ่อนและเรซินชนิดต่างแก่ พบว่าในการทดลองส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง สามารถนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ได้ 116 และ 68 กรัม คิดเป็นประสิทธิภาพในการนำกลับ 98 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทิพย์ ชัยวิริยกุล (2537) ได้ศึกษาการนำโลหะนิกเกิลในระหว่างการล้างชิ้นงานกลับมาใช้ใหม่จากกระบวนการชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า โดยการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินชนิดธรรมดา กับชนิดพิเศษ ใช้น้ำสังเคราะห์ที่มีเฉพาะโลหะนิกเกิลความเข้มข้น 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตัวแทนน้ำเสียจริงที่มีโลหะนิกเกิลความเข้มข้น 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า เรซินชนิดพิเศษสามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้ 73,909 มิลลิกรัมต่อลิตรเรซิน และช่วงการฟื้นฟูอำนาจเรซินสามารถนำโลหะนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราล้างกรด 4.5 BV/hr ความเข้มข้นกรด 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ได้นิกเกิล 72,772 มิลลิกรัมต่อลิตรเรซิน คิดเป็นประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้เมื่อล้างเรซินจนหมดเท่ากับ 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเรซินธรรมดาที่สภาวะเดียวกัน สามารถแลกเปลี่ยนนิกเกิลได้ 66,533 มิลลิกรัมต่อลิตรเรซิน และนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ได้ 52,274 มิลลิกรัมต่อลิตรเรซิน คิดเป็นประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้เมื่อล้างเรซินจนหมดเท่ากับ 78.5 เปอร์เซ็นต์ การทดลองโดยประยุกต์ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานมาทำการทดลอง โดยใช้เรซินชนิดพิเศษ สามารถนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ที่ปริมาณ 58,065 มิลลิกรัมต่อลิตรเรซิน ความเข้มข้นสูงสุด 19,359 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 3

แผนการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้จัดทำขึ้นที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การศึกษาองค์ประกอบเริ่มต้นของน้ำเสียจากโรงงานชุบเคลือบโลหะนิกเกิล การศึกษากระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I การศึกษากระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด การศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด และประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นที่ใช้ในการสกัดนิกเกิล

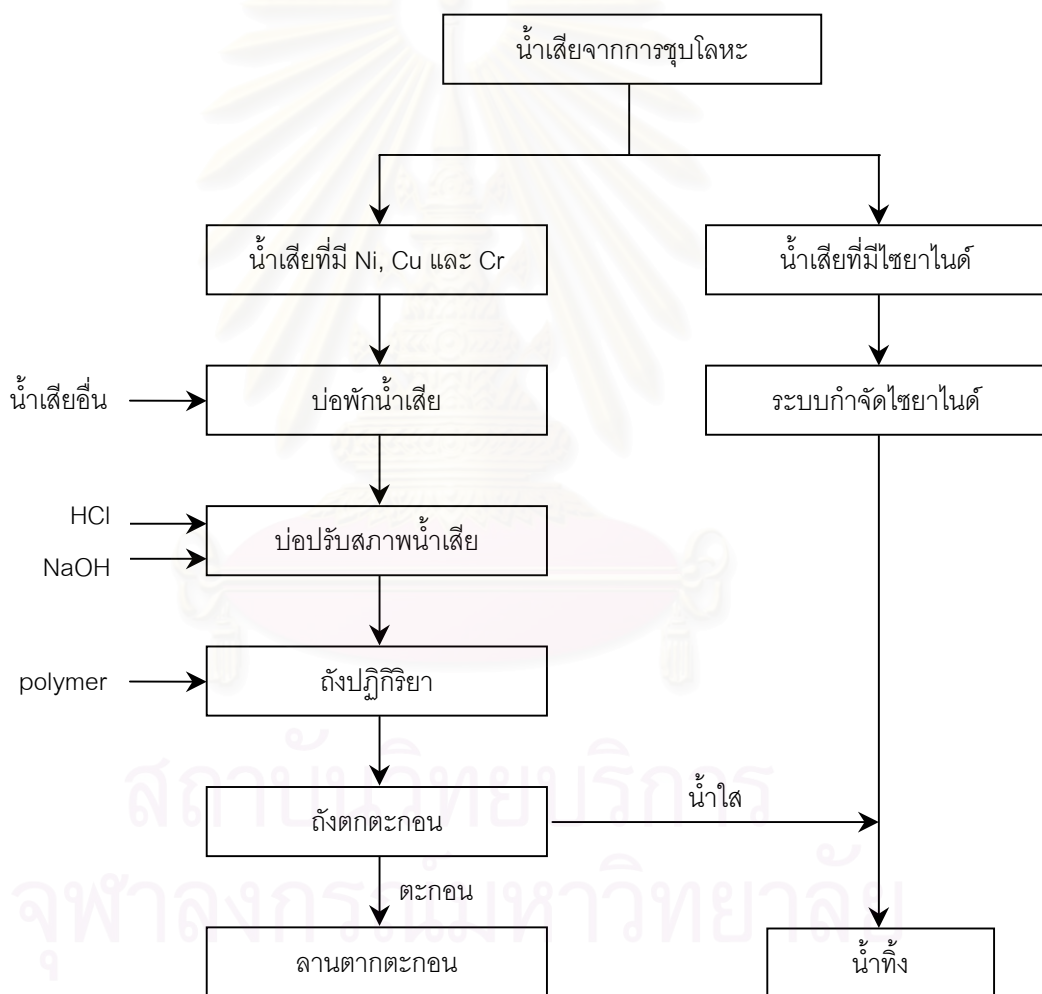
3.2 น้ำเสียโรงงานชุบโลหะที่ใช้ในการวิจัย

น้ำเสียจากโรงงานชุบเคลือบโลหะที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นำมาจากบ่อพักน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานชุบเคลือบโลหะแห่งหนึ่ง ในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร ซึ่งเป็นโรงงานชุบเคลือบอุปกรณ์ยึดจับเพิ่ม



รูปที่ 3.1 น้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะที่ใช้ในการวิจัย

น้ำเสียมีปริมาณรวมกันทั้งสิ้นประมาณ 24 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำเสียประมาณ 75% หรือ 18 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็นน้ำเสียจากการล้างชิ้นงาน (rinse water) ซึ่งมีนิกเกิล ทองแดง และโครเมียม ส่วนน้ำเสียอีกประมาณ 25% หรือ 6 ลบ.ม./วัน เป็นน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ ซึ่งถูกแยกไปกำจัดไซยาไนด์โดยกระบวนการ Alkaline Chlorination น้ำเสียที่ผ่านการกำจัดไซยาไนด์แล้วจะมีลักษณะใสสะอาดและมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 8.5 - 9.0 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของนิคมอุตสาหกรรม สามารถทิ้งออกนอกโรงงานได้ ส่วนน้ำเสียจากการล้างชิ้นงานที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะไหลไปยังบ่อกักน้ำเสียรวมกับน้ำเสียจากจุดอื่นๆ เพื่อรอการสูบไปยังระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2



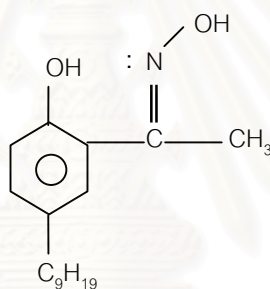
รูปที่ 3.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ

น้ำเสียรวมที่มีโลหะหนักจะไหลไปสู่อบ่ปรับสภาพน้ำเสียเพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นจึงไหลไปยังถังปฏิกริยา ที่ถังนี้จะใส่สาร

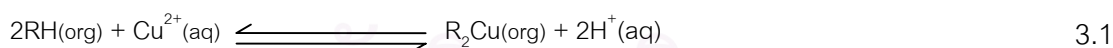
โพลีเมอร์เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เปลี่ยนรูปของโครเมียมจากรูป Cr^{6+} กลายเป็นโครเมียมในรูป Cr^{3+} ซึ่งมีพิษน้อยกว่า และช่วยในการตกตะกอน ที่บ่อปรับสภาพน้ำเสียและถึงปฏิกิริยานี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการปรับค่าพีเอชและ Oxidation Reduction Potential (ORP) เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอน น้ำใสที่ผ่านการบำบัดแล้วจะผ่านการปรับ พีเอชอีกครั้งก่อนปล่อยลงแหล่งรับน้ำ ส่วนตะกอนจะถูกนำไปตากแห้งที่ลานตากตะกอน และนำไปบรรจุถุงเพื่อขนส่งไปบำบัดยัง GENCO ซึ่งเป็นศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรมต่อไป

3.3 ตัวสกัด LIX 84-I (Cognis Corporation, 1996)

ตัวสกัด LIX 84-I ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น ketone oxime ชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-5-nonylacetophenone oxime มีสูตรโครงสร้างคือ



ซึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำกับโลหะที่มีประจุบวกในลักษณะเดียวกันกับทองแดง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 3.1



คุณสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก	ของเหลวสีเหลืองอำพัน
ความถ่วงจำเพาะ (25 °C)	0.90 - 0.92
จุดวาบไฟ	มากกว่า 160 °F
ความสามารถในการละลายของสารประกอบทองแดง	> 30 g/l Cu (25 °C)

ข้อมูลเฉพาะ

Maximum Copper Loading	4.7 - 5.0 g/l Cu
Extraction Isotherm Point	≥ 3.65 g/l Cu

Extraction Kinetics	$\geq 90\%$ (60 seconds)
Extraction Cu/Fe Selectivity	≥ 2000
Extraction Phase Separation	≤ 60 seconds
Strip Isotherm Point	≤ 0.50 g/l Cu
Strip Kinetics	$\geq 90\%$ (30 seconds)
Strip Phase Separation	≤ 80 seconds



รูปที่ 3.3 ตัวสกัด LIX 84-I

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที
2. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)
3. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)
4. หลอดทดลอง (conical tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. กรวยแยก (separatory funnel)
6. กระจกตวง ปิเปต บิวเรต
7. กระดาษกรอง (Whatman 1PS phase separation paper)
8. กระดาษกรอง GF/C

3.5 ขั้นตอนการวิจัย

3.5.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานชุบเคลือบนิเกิล

- 1) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย เช่น พีเอช ความนำไฟฟ้า ไอออนพี
- 2) วิเคราะห์ปริมาณนิเกิลและโลหะหนักอื่นๆ คือ ทองแดง โครเมียม และแคดเมียม เพื่อทราบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย โดยนำน้ำเสียไปวัดปริมาณนิเกิล ทองแดง โครเมียม และแคดเมียม โดยการวัดค่าความดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.5.2 การวิเคราะห์หาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียในขั้นตอนการสกัด

- 1) ปรับพีเอชของน้ำเสียเป็นค่าต่างๆ กัน 6 ค่า คือ 4 5 6 7 8 และ 9 โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช
- 2) เติมน้ำเสียที่ปรับพีเอชแล้วลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร และเติมตัวสกัด LIX 84-I โดยใช้อัตราส่วนน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) = 2:1
- 3) เขย่าอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
- 4) ทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นจากกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแยกสารละลายออกจากกัน
- 5) เก็บตัวอย่างแรฟฟินेट (raffinate) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณนิเกิล ทองแดง โครเมียม และแคดเมียม ที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 6) คำนวณปริมาณโลหะที่อยู่ในเอกซ์แทรค (extract) และประสิทธิภาพในการสกัด

7) เลือกค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับตัวสกัดแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล เพื่อให้เป็นตัวแปรควบคุมสำหรับการทดลองต่อไป

3.5.3 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด

- 1) ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.5.2
- 2) เติมน้ำเสียที่ปรับพีเอชแล้ว และตัวสกัด LIX 84-I ลงในหลอดทดลอง โดยใช้อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) 10 ค่า ดังนี้ 10:1 10:2 10:3 10:4 10:5 10:6 10:7 10:8 10:9 และ 10:10
- 3) เขย่าอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
- 4) ทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นจากกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแยกสารละลายออกจากกัน
- 5) เก็บตัวอย่างแรฟไฟเนต (raffinate) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดง โครเมียม และแคดเมียม ที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- 6) คำนวณปริมาณโลหะที่อยู่ในเอกซ์แทรก (extract) และประสิทธิภาพในการสกัด
- 7) เลือกค่าอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล เพื่อให้เป็นตัวแปรควบคุมในการเตรียมเอกซ์แทรก (extract) สำหรับการทดลองต่อไป

3.5.4 การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรก (extract) ที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด

- 1) เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้มีความเข้มข้นเป็น 0.1 0.5 1 และ 5 นอร์มัล
- 2) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก และเอกซ์แทรก (extract) ลงในหลอดทดลอง โดยใช้อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อสิ่งสกัด (A:O ratio) 5 ค่า ดังนี้ 1:1 1:2 1:3 1:4 และ 1:5
- 3) เขย่าอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
- 4) ทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นจากกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแยกสารละลายออกจากกัน
- 5) เก็บตัวอย่างสารละลายกรดซัลฟิวริก (pregnant) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดง โครเมียม และแคดเมียม โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- 6) คำนวณปริมาณโลหะที่เหลืออยู่ในตัวสกัด (stripped solvent) และประสิทธิภาพในการสกัดกลับออกจากตัวสกัด

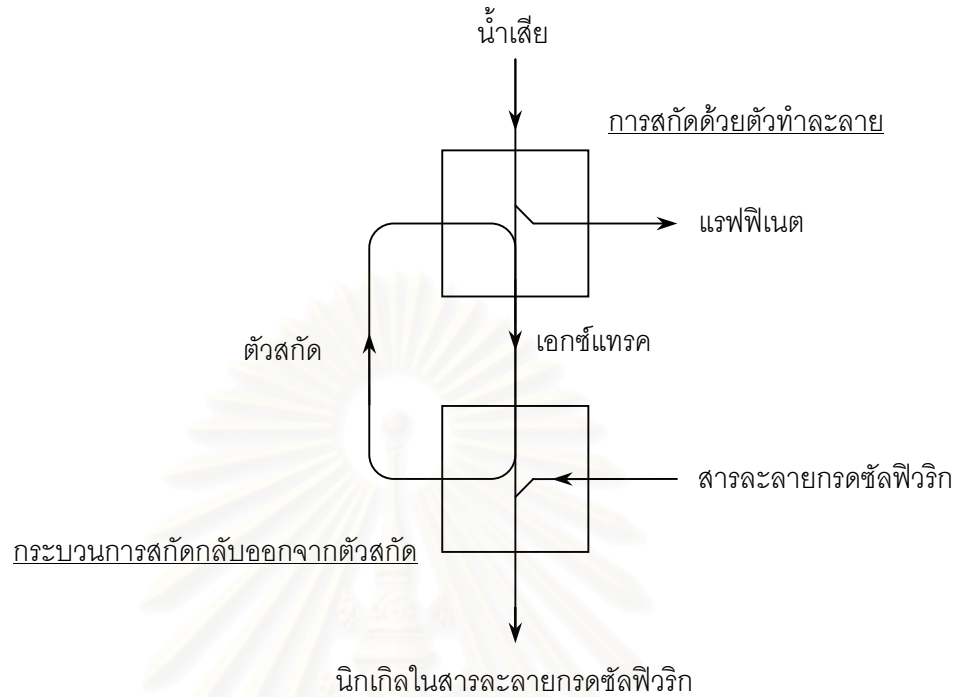
7) เลือกค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อสิ่งสกัดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัด เพื่อเป็นตัวแปรควบคุมในการเตรียมเอ็กซ์แทรก (extract) สำหรับการทดลองต่อไป

3.5.5 การศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด

ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.5.2
- 2) เติมน้ำเสียที่ปรับพีเอชแล้ว และตัวสกัด LIX 84-I ลงในหลอดทดลอง โดยใช้อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) จากการทดลองในข้อที่ 3.5.3
- 3) เขย่าอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
- 4) ทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นจากกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแยกสารละลายออกจากกัน
- 5) เก็บตัวอย่างแรฟไฟเนต (raffinate) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดง โคโรเมียม และแคดเมียม ที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- 6) คำนวณปริมาณโลหะที่อยู่ในเอ็กซ์แทรก (extract) และประสิทธิภาพในการสกัด
- 7) เติมเอ็กซ์แทรก (extract) ลงในหลอดทดลอง
- 8) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกลงในหลอดทดลอง โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก และอัตราส่วนของกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรก (extract) ในขั้นตอนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด จากการทดลองในข้อที่ 3.5.4
- 9) เขย่าอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
- 10) ทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นจากกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วแยกสารละลายออกจากกัน
- 11) เก็บตัวอย่างสารละลายกรดซัลฟิวริก (pregnant) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดง โคโรเมียม และแคดเมียม โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- 12) คำนวณปริมาณโลหะที่เหลืออยู่ในตัวสกัด (stripped solvent) และประสิทธิภาพในการสกัดกลับออกจากตัวสกัด
- 13) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) ใหม่โดยไม่เปลี่ยนตัวสกัด
- 14) วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการสกัด (% extraction) และประสิทธิภาพในการสกัดกลับออกจากตัวสกัด (% stripping) โดยเทียบกับจำนวนครั้งในการใช้งาน

แผนภาพสรุปขั้นตอนในการทดลองหาอายุการใช้งานของตัวสกัสดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัสด

3.6 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ในการทดลองและวิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ผล

พารามิเตอร์	การวิเคราะห์ผล
พีเอช	เครื่องวัดค่าพีเอช
ความนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า
ไออาร์พี	เครื่องวัดค่าไออาร์พี
ปริมาณโลหะหนัก	วัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

3.6.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักใน aqueous solution

นำตัวอย่าง aqueous solution (แอฟฟิเนต และ pregnant) มากรองผ่านคอตตอน เพื่อกำจัดตัวสกั๊ดที่ตกค้าง (Groves และ Redden, 1990) แล้วเจือจางด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล ให้ได้ความเข้มข้นของโลหะหนักในช่วงที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Parija และคณะ, 1998 และ Devi และคณะ, 1998) นำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตามวิธีในข้อที่ 3.6.2

3.6.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย [สวสท.], 2540)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสารละลายด้วยการวัดค่าความดูดกลืนคลื่นแสงโดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดเปลวไฟ มีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1. เตรียมสารละลายให้เหมาะสม ถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไปต้องเจือจางก่อนนำไปวัดค่า
2. จัดเครื่องมือให้อยู่ในสภาวะที่พร้อมจะทำงานกับธาตุโลหะหนักที่ต้องการวัด โดยจัดค่าความยาวคลื่นสำหรับโลหะหนักต่างๆ ดังตารางที่ 3.2
3. สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักและค่าความดูดกลืนแสง โดยการนำสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร มาเจือจางให้มีความเข้มข้นในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะวัดค่าโลหะหนักต่างๆ แล้ววัดค่าความดูดกลืนแสงที่เกิดขึ้น
4. นำสารละลายที่เตรียมไว้มาวัดค่าความดูดกลืนแสง ซึ่งจะถูกละเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากกราฟมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหาปริมาณโลหะหนักที่แท้จริงในสารละลายจากสมการ

$$\text{ปริมาณโลหะหนักแท้จริง} = \text{จำนวนเท่าการเจือจาง} \times \text{ปริมาณโลหะหนักที่วัดได้}$$

ตารางที่ 3.2 ความยาวคลื่นของการวิเคราะห์หาโลหะหนักต่างๆ (สวสท., 2540)

โลหะหนัก	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แคดเมียม	228.8	0.05 - 2
โครเมียม	357.9	0.2 - 10
ทองแดง	324.7	0.2 - 10
นิกเกิล	232.0	0.3 - 10

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ปริมาณโลหะหนักและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย

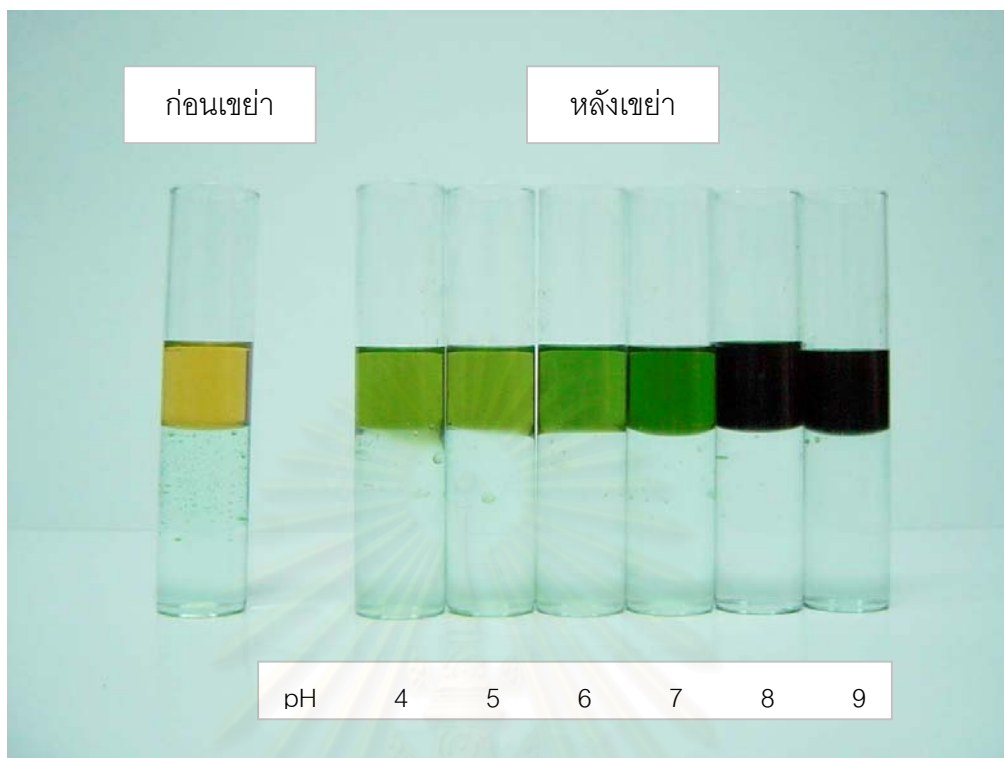
วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นด้วยการวัดค่าความดูดกลืนแสงโดยเครื่องอะตอมมิก แอปซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า และ ค่าไออาร์พี ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเสีย

ปริมาณนิกเกิล	ประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณทองแดง	น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณโครเมียม	น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณแคดเมียม	น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าพีเอช	6.8
สภาพต่าง	90 มิลลิกรัมต่อลิตร หินปูน
ค่าความนำไฟฟ้า	4.45 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร
ค่าไออาร์พี	235 มิลลิโวลต์

4.2 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียในขั้นตอนการสกัด

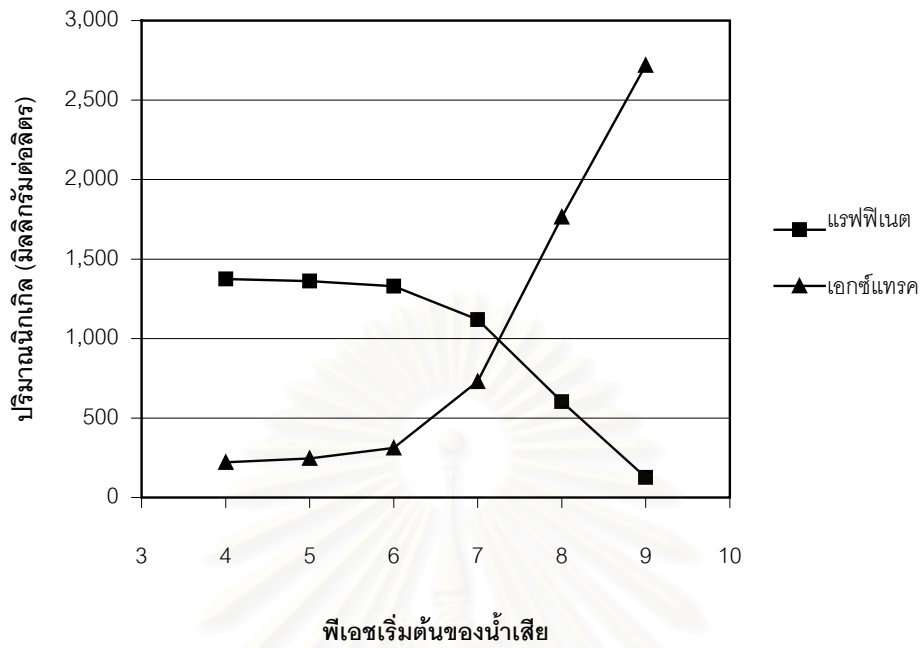
การทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิล 1,485 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้เป็น 4 5 6 7 8 และ 9 ใช้อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) เท่ากับ 2:1 การทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียก่อนเขย่าและหลังเขย่า ดังแสดงในรูปที่ 4.1



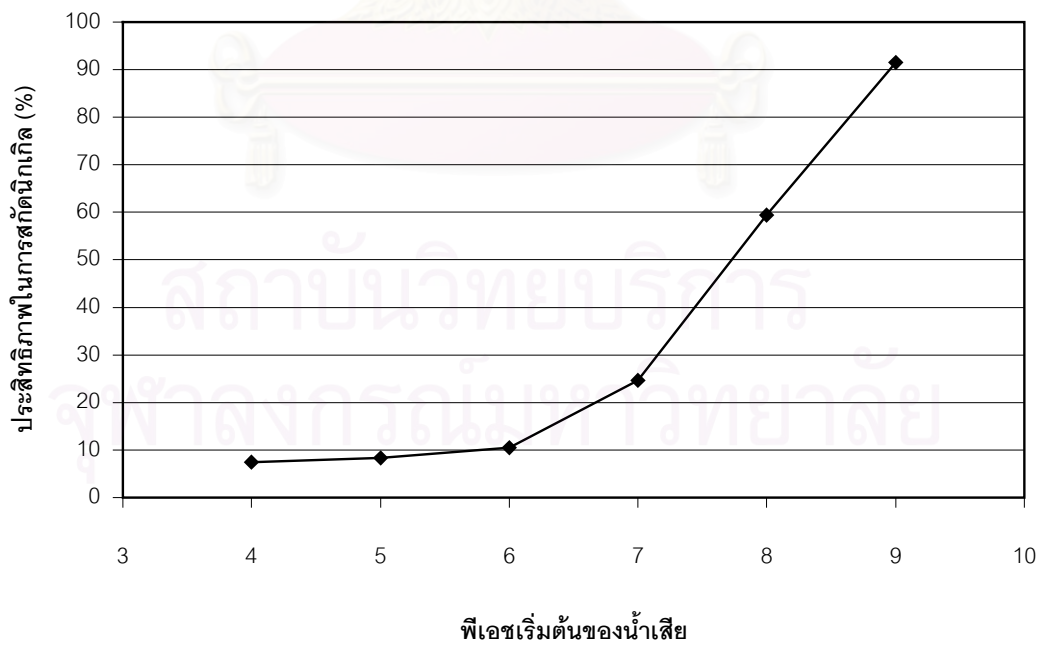
รูปที่ 4.1 การทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียก่อนเขย่า และหลังเขย่า

เมื่อทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นออกจากกัน ผลการทดลอง จากกราฟแสดงปริมาณนิกเกิลในแอฟฟิเนตและเอกซ์แทรคในรูปที่ 4.2 และกราฟแสดงประสิทธิภาพการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดในรูปที่ 4.3 การปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะกรดที่ค่าพีเอช 4 5 และ 6 จะทำให้ตัวสกัดมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลต่ำ โดยมีปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรคเป็น 222 246 และ 312 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัด 7.5 8.3 และ 10.5 เปอร์เซ็นต์ที่พีเอช 4 5 และ 6 ตามลำดับ ส่วนการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะด่างที่ค่าพีเอช 8 และ 9 นั้นจะทำให้ตัวสกัดมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลสูงกว่า โดยมีปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรคเป็น 1,764 และ 2,718 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัด 59.4 และ 91.5 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 8 และ 9 ตามลำดับ

เนื่องจากช่วงพีเอชที่ทำการทดลองให้ห่างกันช่วงละ 1 นั้นเป็นช่วงกว้างไม่เหมาะสมในการนำไปปฏิบัติ จึงทำการทดลองต่อโดยปรับพีเอชให้ละเอียดมากขึ้นเป็นช่วงละ 0.2 ตั้งแต่พีเอช 7 ถึง 9 เพื่อให้สามารถใช้ค่าพีเอชที่แน่นอนในการนำไปใช้งานจริง และใช้อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) เท่ากับ 2:1



รูปที่ 4.2 ปริมาณไข่ที่เกิดในแรฟฟินีเนตและเอ็กซ์แทรคโดยการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเลี้ยงเป็น 4 – 9



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการรอดตายของตัวสัด โดยการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเลี้ยงเป็น 4 - 9

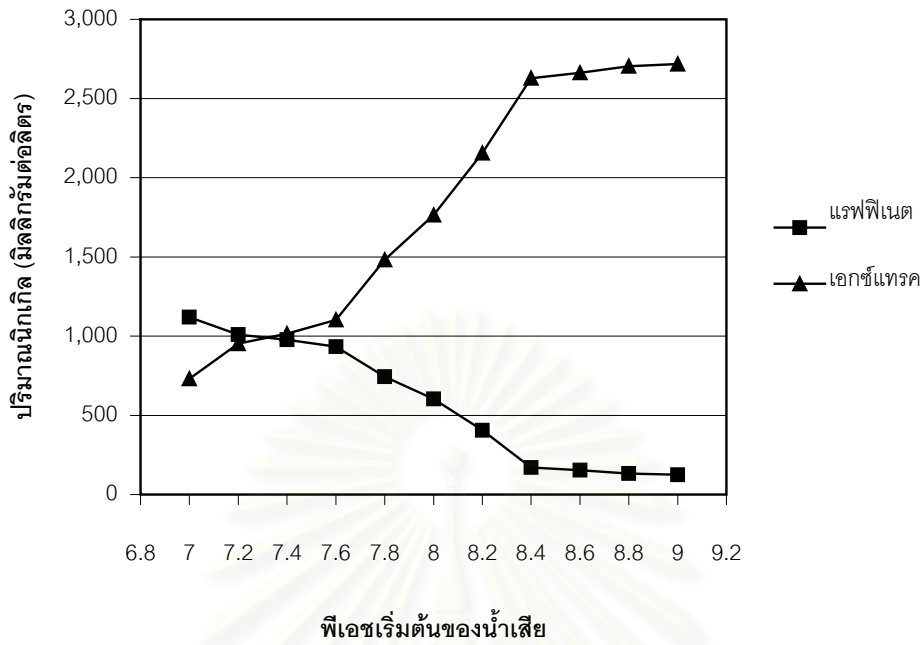
ผลการทดลอง จากกราฟแสดงปริมาณนิกเกิลในแอฟฟิเนตและเอกซ์แทรกในรูปที่ 4.4 และกราฟแสดงประสิทธิภาพการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดในรูปที่ 4.5 ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรก จะเพิ่มขึ้นจาก 730 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 7.0 เป็น 2,628 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 8.4 คิด เป็นประสิทธิภาพในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 24.6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 88.5 เปอร์เซ็นต์

ส่วนที่ค่าพีเอชตั้งแต่ 8.4 จนถึงพีเอช 9.0 ตัวสกัดจะมีประสิทธิภาพในการสกัดสูงใกล้เคียง กัน โดยมีปริมาณนิกเกิลใน เอกซ์แทรกอยู่ 2,628 2,662 2,704 และ 2,718 มิลลิกรัมต่อลิตร คิด เป็นประสิทธิภาพในการสกัด 88.5 89.6 91.0 และ 91.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าพีเอช 8.4 8.6 8.8 และ 9.0 ตามลำดับ

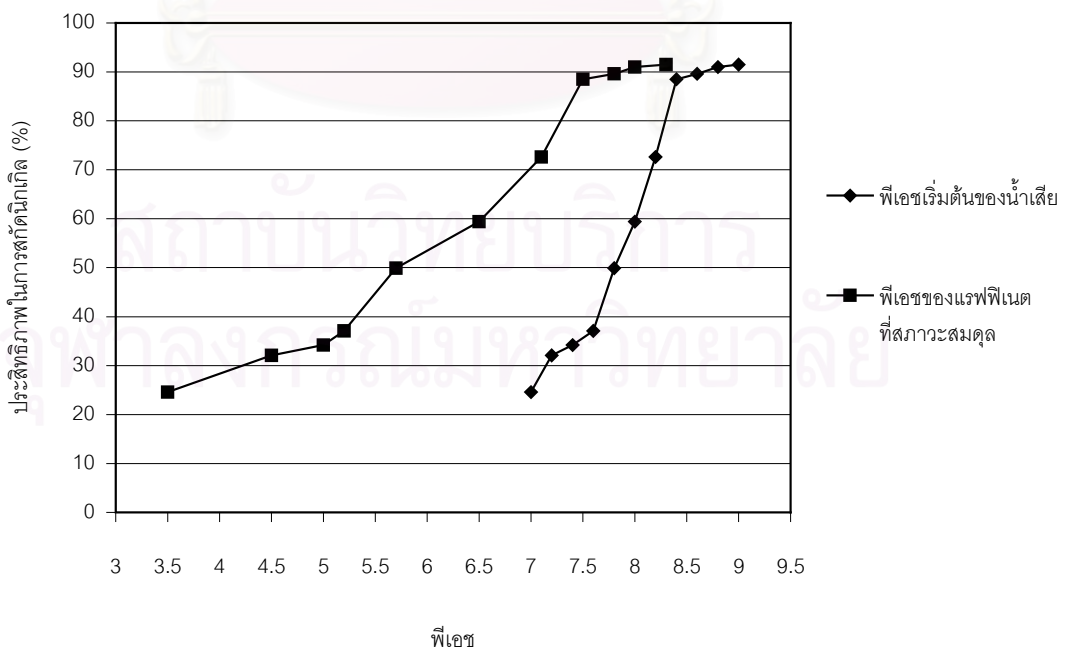
เมื่อพิจารณาถึงค่าพีเอชของแอฟฟิเนตที่สภาวะสมดุล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่าการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้มีค่าพีเอชตั้งแต่ 8.4 ขึ้นไป จะทำให้ค่าพีเอชที่สภาวะ สมดุลอยู่ในสภาวะต่างซึ่งเป็นสภาวะที่ตัวสกัดมีประสิทธิภาพในการสกัดดี

ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชของแอฟฟิเนตที่สภาวะสมดุลและประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล เมื่อปรับ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 7 - 9

พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	พีเอชของแอฟฟิเนตที่สภาวะสมดุล	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล(%)
7	3.5	24.6
7.2	4.5	32.1
7.4	5.0	34.2
7.6	5.2	37.1
7.8	5.7	49.9
8	6.5	59.4
8.2	7.1	72.6
8.4	7.5	88.5
8.6	7.8	89.6
8.8	8.0	91
9	8.3	91.5

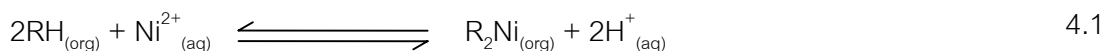


รูปที่ 4.4 ปริมาณนิกเกิดในแรฟฟิเนตและเอกซ์แทรกคโดยการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 7 – 9



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการรอดนิกเกิดของตัวสกัด โดยการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 7 – 9

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการสกัดนิกเกิลด้วยตัวสกัด LIX 84-I ดังแสดงในสมการที่ 4.1



จะเห็นได้ว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไปทางซ้ายเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนมีค่าสูงหรืออยู่ในสภาวะกรด และจะไปทางขวาเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนต่ำหรืออยู่ในสภาวะด่าง (Gilchrist, 1980) ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงว่าตัวสกัดจะมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่พีเอชที่สภาวะสมดุลมีค่ามากกว่า 7 ขึ้นไป

การปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้มีค่าตั้งแต่ 7 ขึ้นไปนั้นจะทำให้เกิดตะกอนของนิกเกิลไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อนำน้ำเสียที่ปรับพีเอชแล้วไปเขย่ากับตัวสกัดซึ่งจากสมการที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าจะมีไฮโดรเจนอิออนเกิดขึ้นมาด้วย ซึ่งจะทำให้ตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์แตกตัวเป็นนิกเกิลอิออนซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับตัวสกัด เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับตัวสกัดได้ การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มเติมดังแสดงในภาคผนวก ๑

ดังนั้นการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 8.4 จึงเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชน้อยที่สุดในช่วงที่ตัวสกัดมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลใกล้เคียงกัน

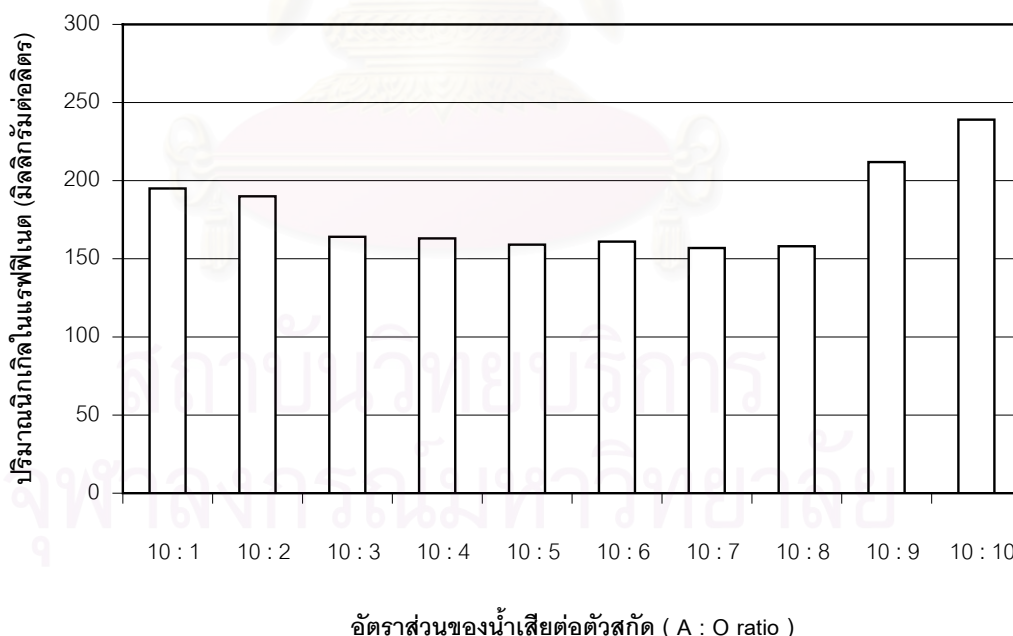
4.3 อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) ที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด

การทดลองหาอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณนิกเกิล 1,547 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าเป็น 8.4 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากผลการทดลองในข้อที่ 4.2 เติมตัวสกัดด้วยอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) ดังนี้ 10:1 10:2 10:3 10:4 10:5 10:6 10:7 10:8 10:9 และ 10:10

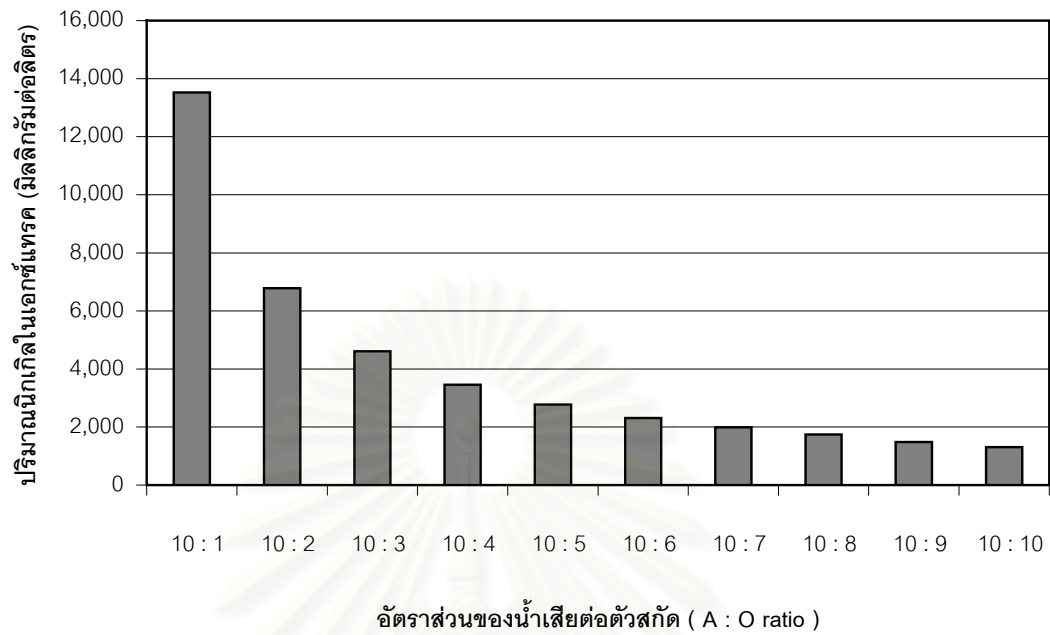
เมื่อทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นออกจากกัน ผลการทดลอง จากกราฟแสดงปริมาณนิกเกิลที่อยู่ในแรฟฟิเนตในรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณนิกเกิลที่ตกค้างอยู่ในแรฟฟิเนตที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด 10:1 ถึง 10:8 มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 150 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ปริมาณนิกเกิลที่ตกค้างอยู่ในแรฟฟิเนตที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด 10:9 ถึง 10:10 มีค่าสูงอยู่ที่ 212 และ 239 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อพิจารณารูปภาพแสดงปริมาณนิกเกิลที่อยู่ในเอกซ์แทรคในรูปแบบที่ 4.7 พบว่าที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด 10:1 มีปริมาณนิกเกิลอยู่ในเอกซ์แทรคสูงที่สุดที่ 13,520 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด 10:2 ซึ่งมีปริมาณนิกเกิลอยู่ในเอกซ์แทรค 6,785 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเนื่องจากใช้ปริมาณตัวสกัดน้อย แต่เมื่อพิจารณาจากการแยกชั้นของตัวสกัดและแรฟฟิเนตเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นกัน ในรูปที่ 4.8 ที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด 10:1 และ 10:2 ตัวสกัดแยกตัวออกจากแรฟฟิเนตได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับการแยกชั้นของตัวสกัดและแรฟฟิเนตที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดค่าอื่นๆ อีกทั้งมีตัวสกัดปนอยู่ในแรฟฟิเนตเป็นจำนวนมาก ฉะนั้นค่าที่เหมาะสมค่าต่อไปคือที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด 10:3 ซึ่งมีปริมาณนิกเกิลอยู่ในเอกซ์แทรค 4,610 มิลลิกรัมต่อลิตร

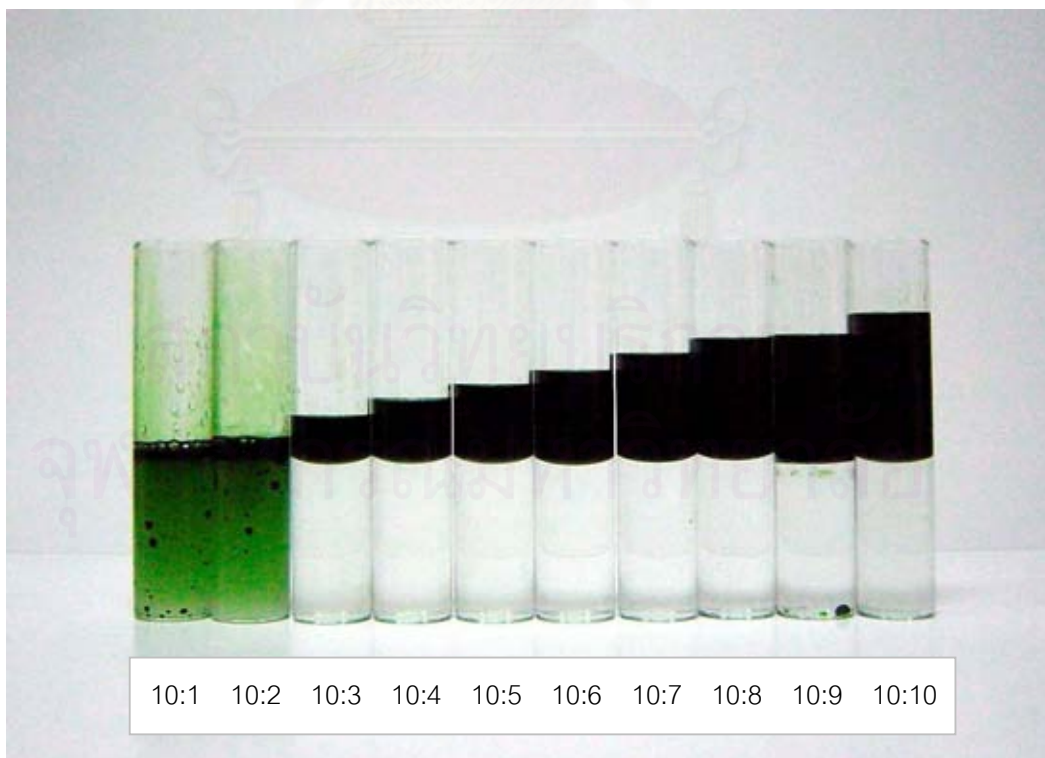
และเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลในรูปแบบที่ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลที่สูงที่สุด มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 89.4 ถึง 89.8 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดในช่วง 10:3 ถึง 10:8 ดังนั้นอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่ดีที่สุดคือ 10:3 เพราะใช้ปริมาณตัวสกัดน้อยที่สุดในขณะที่ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลใกล้เคียงกัน



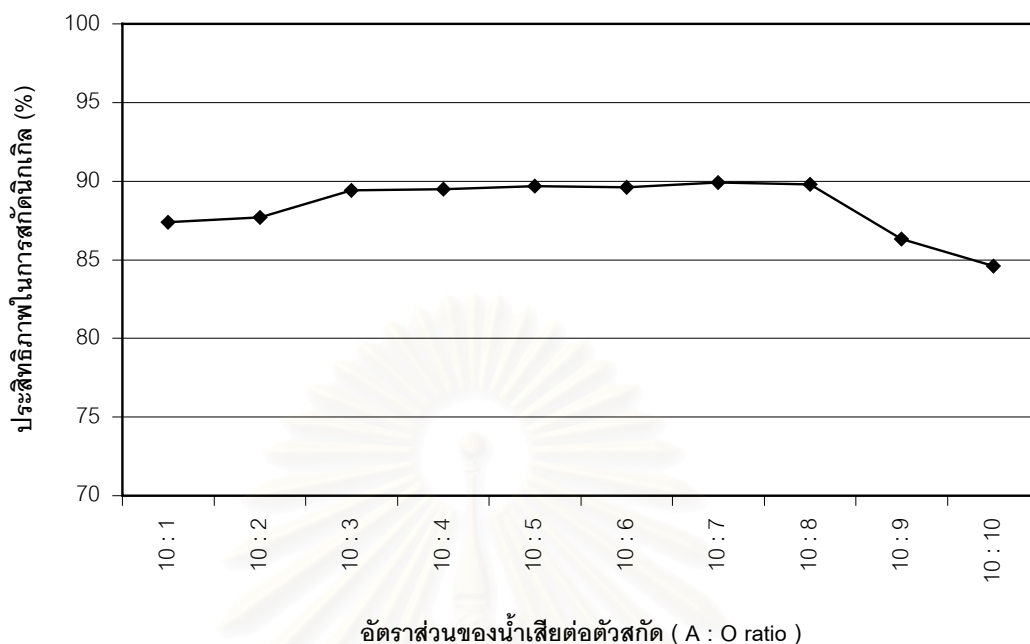
รูปที่ 4.6 ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนตที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ



รูปที่ 4.7 ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค ที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ



รูปที่ 4.8 การทดลองหาอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด หลังเขย่า

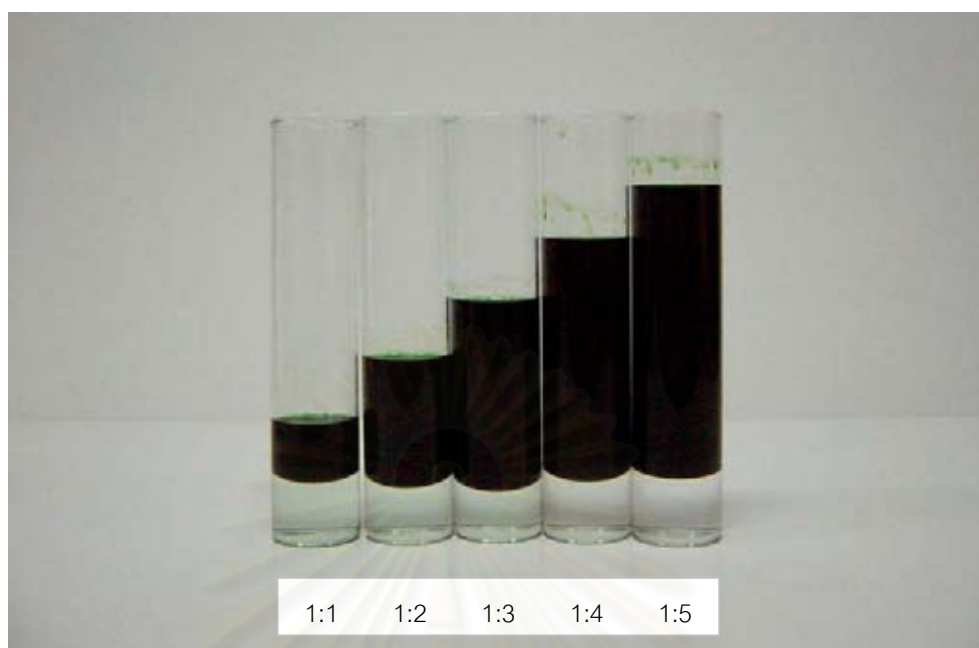


รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิดของตัวสกัดที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ

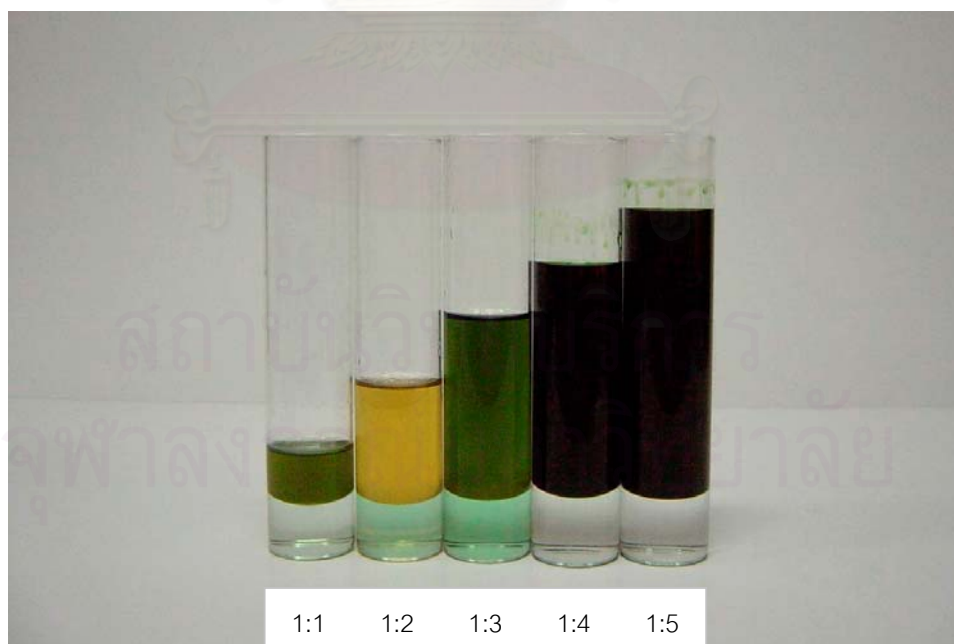
4.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรกต์ที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด

การทดลองหาค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรกต์ที่เหมาะสม โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.1 0.5 1 และ 5 นอร์มัล ในการสกัดนิกเกิดกลับออกจากตัวสกัด และแปรค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรกต์เป็น 1:1 1:2 1:3 1:4 และ 1:5

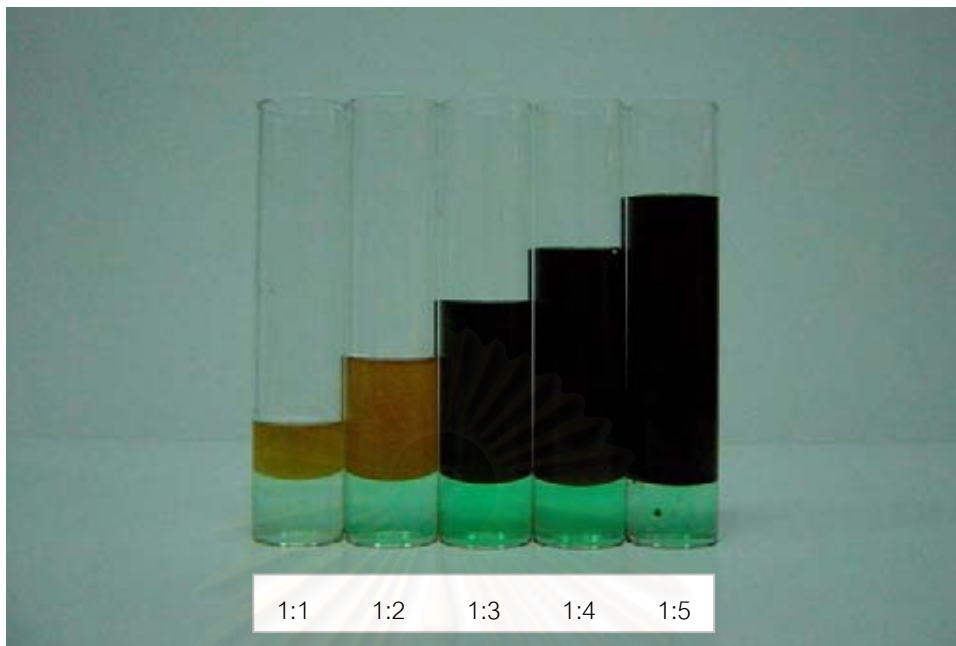
เมื่อทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นออกจากกัน ผลการทดลองจะเป็นดังในรูปที่ 4.10 4.11 4.12 และ 4.13 เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงปริมาณนิกเกิดในสารละลายกรดซัลฟิวริกในรูปที่ 4.14 พบว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 5 นอร์มัล สามารถสกัดนิกเกิดกลับออกจากเอ็กซ์แทรกต์ได้ดีที่สุดในทุกๆ อัตราส่วน แต่เมื่อผ่านการเขย่าแล้ว การสกัดนิกเกิดกลับกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 5 นอร์มัล จะทำให้ตัวสกัดมีลักษณะขุ่นเหนียวเป็นสีครีมขาวและไม่สามารถตั้งทิ้งไว้ให้ตัวสกัดและสารละลายกรดซัลฟิวริกแยกชั้นกันได้ที่



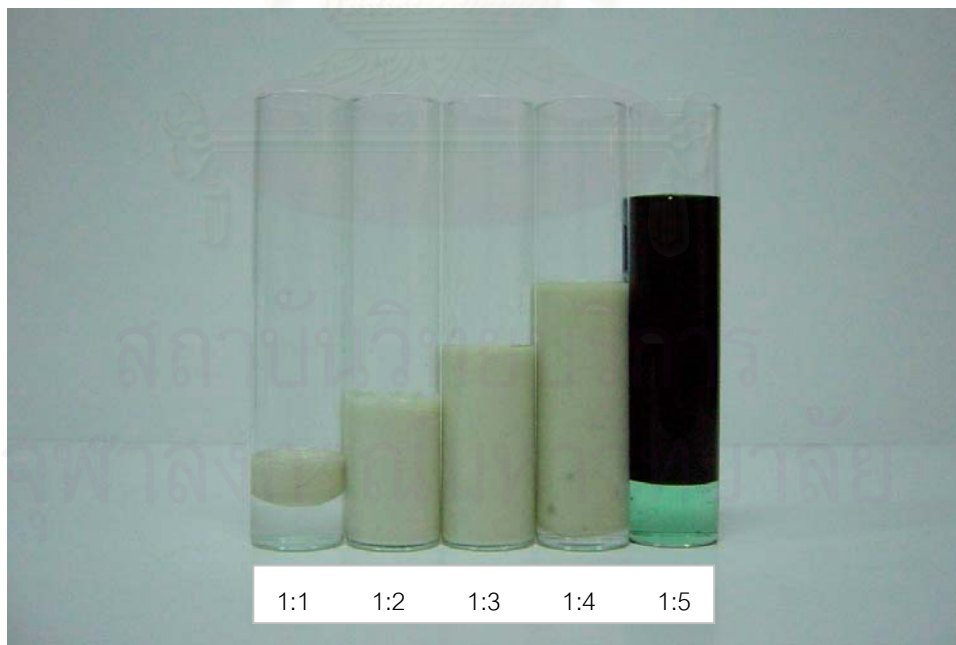
รูปที่ 4.10 การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรคที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล หลังเขย่า



รูปที่ 4.11 การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรคที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 นอร์มัล หลังเขย่า



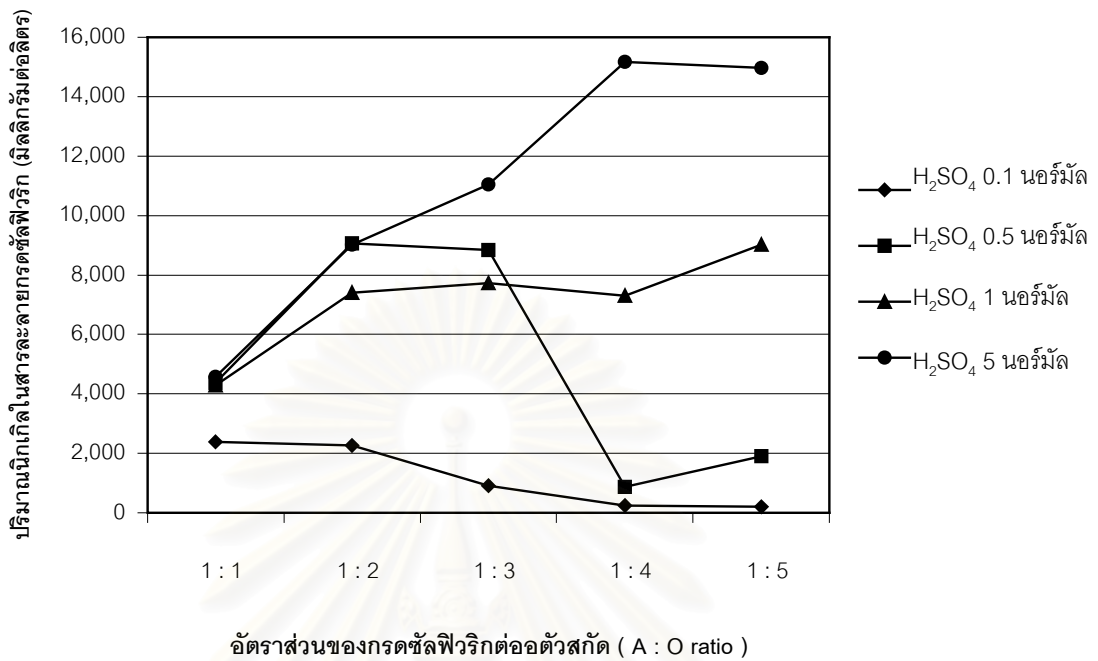
รูปที่ 4.12 การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทรีเทอร์คที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัล หลังเขย่า



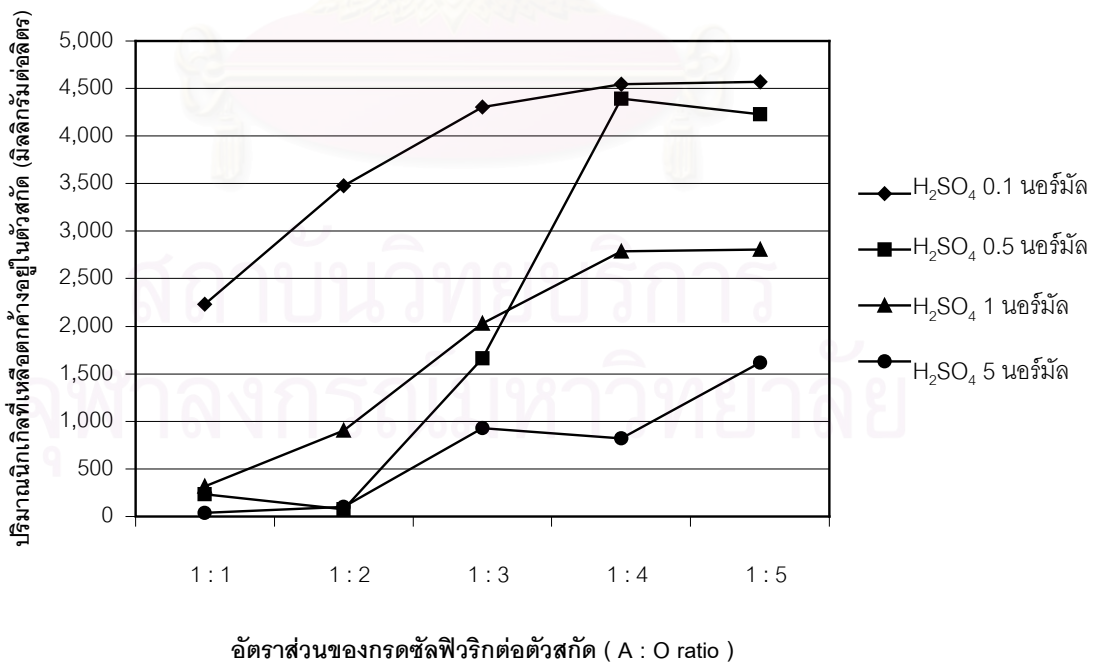
รูปที่ 4.13 การทดลองหาค่าอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทรีเทอร์คที่เหมาะสมที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล หลังเขย่า

อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นสูง (ซึ่งในการทดลองนี้คือสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 5 นอร์มัล) จะเกิดปฏิกิริยากับตัวสกัดซึ่งทำให้โครงสร้างของตัวสกัดเปลี่ยนแปลงไป และไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมของตัวสกัดได้ ยกเว้นที่อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:5 ตัวสกัดจะมีลักษณะเหมือนกับการสกัดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นอื่นๆ ซึ่งสามารถนำตัวสกัดกลับไปใช้ในการสกัดได้อีก อาจเนื่องมาจากที่อัตราส่วนนี้ใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกปริมาณน้อยกว่าที่จะสามารถทำให้ตัวสกัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้

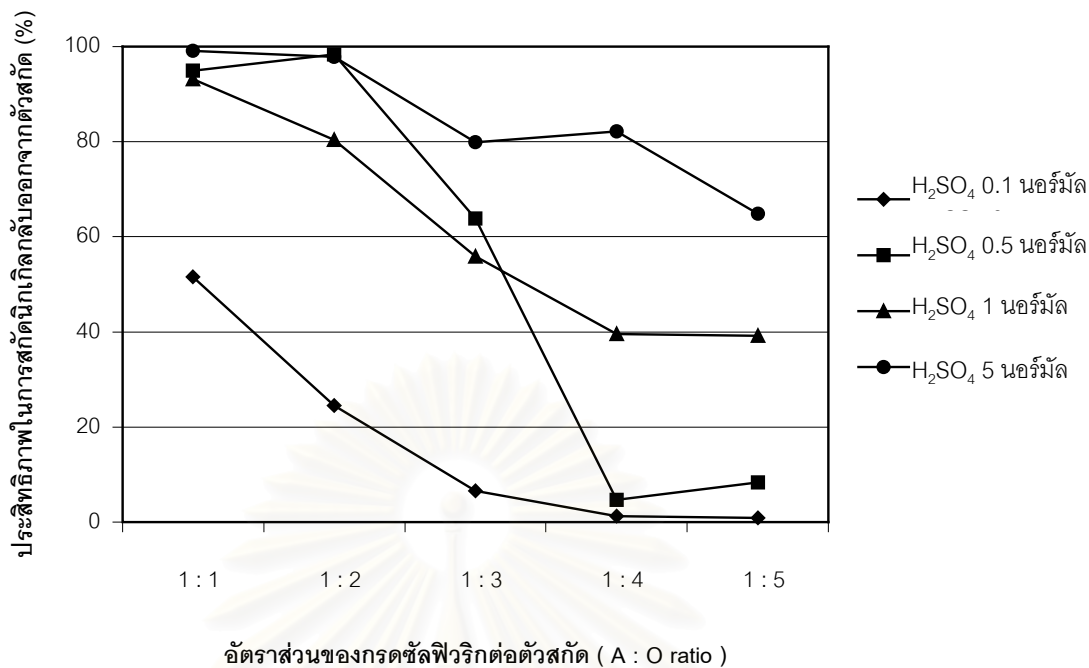
เมื่อพิจารณาจากปริมาณนิกเกิลที่หลุดตกค้างอยู่ในตัวสกัด ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และจากประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ค่าที่ทำให้ปริมาณนิกเกิลที่หลุดตกค้างอยู่ในตัวสกัดต่ำที่สุดคือ สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 5 นอร์มัล ที่อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:1 และ 1:2 และสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:2 แต่เนื่องจากการสกัดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 5 นอร์มัล ไม่สามารถนำตัวสกัดกลับไปใช้งานได้จึงไม่นำมาพิจารณา ดังนั้นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดสำหรับการทดลองนี้คือ สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:2 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดถึง 98.4 เปอร์เซ็นต์ และจะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณนิกเกิล 9,068 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนตัวสกัดก็สามารถนำกลับไปใช้ในการสกัดได้อีก



รูปที่ 4.14 ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่อัตราส่วนของกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัดต่างๆ



รูปที่ 4.15 ปริมาณนิกเกิลที่หลุดตกค้างอยู่ในตัวสกัดที่อัตราส่วนของกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัดต่างๆ



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิดกลับออกจากตัวสกัดที่อัตราส่วนของกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัดต่างๆ

4.5 อายุการใช้งานของตัวสกัด

การทดลองหาอายุการใช้งานของตัวสกัด โดยการนำตัวสกัดมาวนใช้ซ้ำในการสกัดนิกเกิดออกจากน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิด 1,635 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองเป็นจำนวน 30 ครั้ง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดของตัวสกัดที่ซ้ำแล้ว และประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

จากผลการทดลอง พบว่าในกระบวนการสกัดจะมีปริมาณนิกเกิดเหลืออยู่ในแอฟฟิเนตเฉลี่ย 128 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูปที่ 4.17) และมีปริมาณนิกเกิดในเอกซ์แทรคเฉลี่ย 5,024 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูปที่ 4.18) คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิดเฉลี่ย 92 เปอร์เซ็นต์ (ในรูปที่ 4.19) ซึ่งถ้าพิจารณาจากกราฟทั้ง 3 แล้ว จะสามารถใช้ตัวสกัดในการสกัดต่อไปได้อีกมากกว่า 30 ครั้ง

แต่เมื่อพิจารณาในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 22 มีปริมาณนิกเกิดในสารละลายกรดซัลฟิวริกเฉลี่ย 7,901 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูปที่ 4.20)

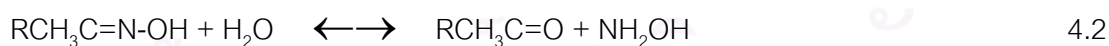
และมีปริมาณนิกเกิลที่หลุดตกค้างอยู่ในตัวสกัดเฉลี่ย 1,097 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูปที่ 4.21) คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดเฉลี่ย 78 เปอร์เซ็นต์ (ในรูปที่ 4.22) ส่วนการทดลองตั้งแต่ครั้งที่ 23 ถึงครั้งที่ 30 ความสามารถในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยมีปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริกเฉลี่ย 4,044 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูปที่ 4.20) และมีปริมาณนิกเกิลที่หลุดตกค้างอยู่ในตัวสกัดเฉลี่ย 2,938 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในรูปที่ 4.21) คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดเฉลี่ย 41 เปอร์เซ็นต์ (ในรูปที่ 4.22)

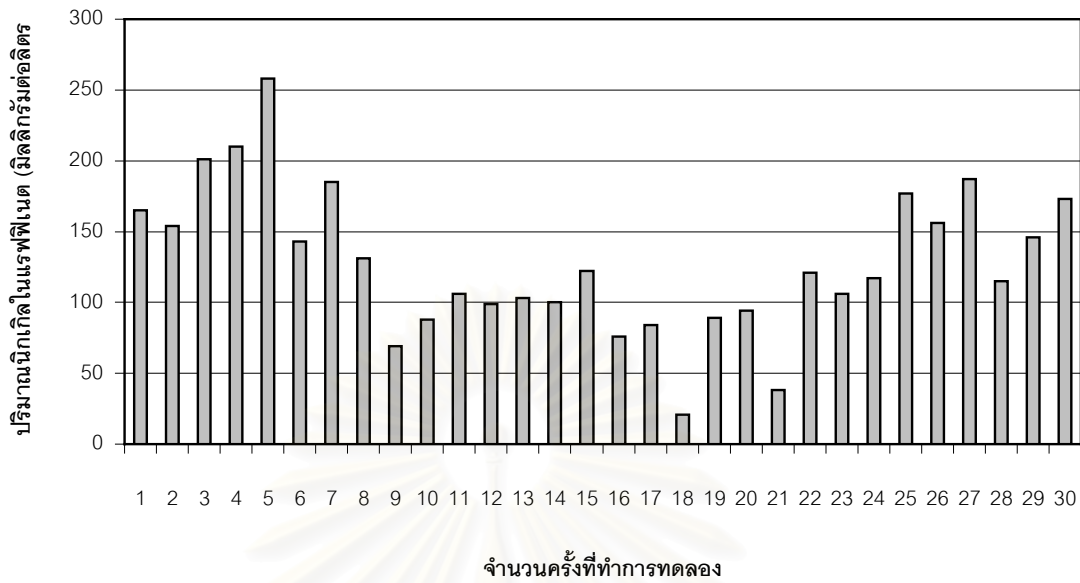
จะสรุปได้ว่าการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียด้วยตัวสกัด LIX 84-I นี้สามารถสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียได้ 33.15 กรัม โดยใช้ตัวสกัด 300 มิลลิลิตร สกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียได้ 22 รอบ คิดเป็นความสามารถในการสกัดนิกเกิลได้ 110.51 กรัมนิกเกิลต่อลิตรของตัวสกัด

เมื่อใช้งานตัวสกัดไปหลายๆ ครั้ง ตัวสกัดจะมีประสิทธิภาพในการสกัดลดลง อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก

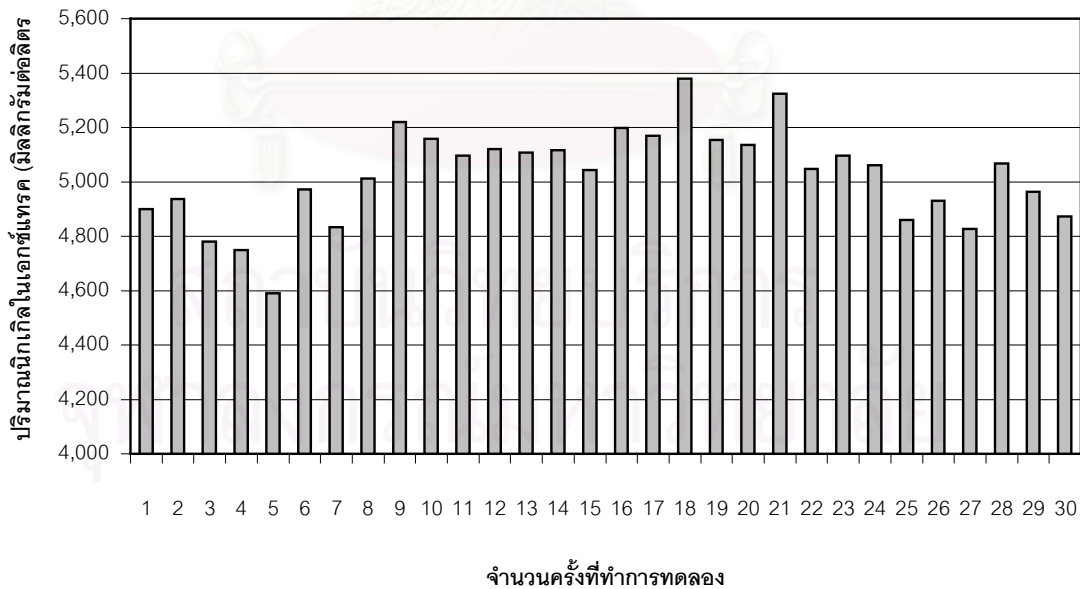
1. มีสิ่งเจือปน เช่น โลหะอื่นที่ไม่ใช่ นิกเกิลสะสมอยู่ในตัวสกัด ซึ่งไม่สามารถถูกสกัดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 นอร์มัลได้ แต่ถ้านำมาสกัดเอาสิ่งเจือปนออกโดยใช้กรดเพอร์ริกที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (Preston, 1983) ก็จะสามารถนำตัวสกัดกลับไปใช้ในการสกัดได้อีก

2. ตัวสกัดเสื่อมสภาพ เนื่องจากเกิดไฮโดรไลซิสของ oxime และประกอบกับสภาวะที่เป็นกรดในกระบวนการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด ซึ่งจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ละลายน้ำในรูปของคีโตนและยังคงอยู่ในตัวสกัด ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการที่ 4.2 (Takahashi และคณะ, 1983)

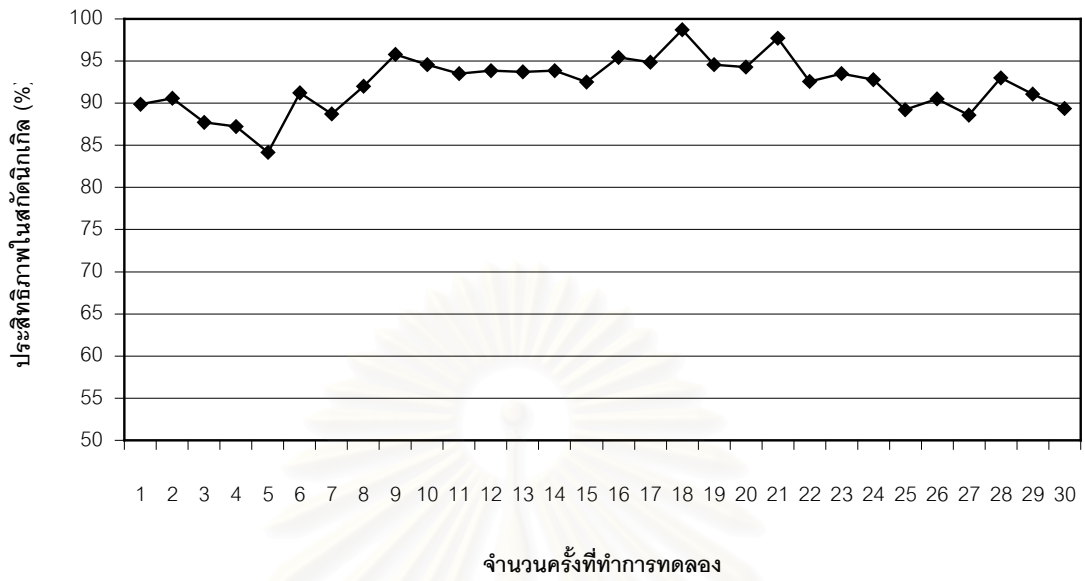




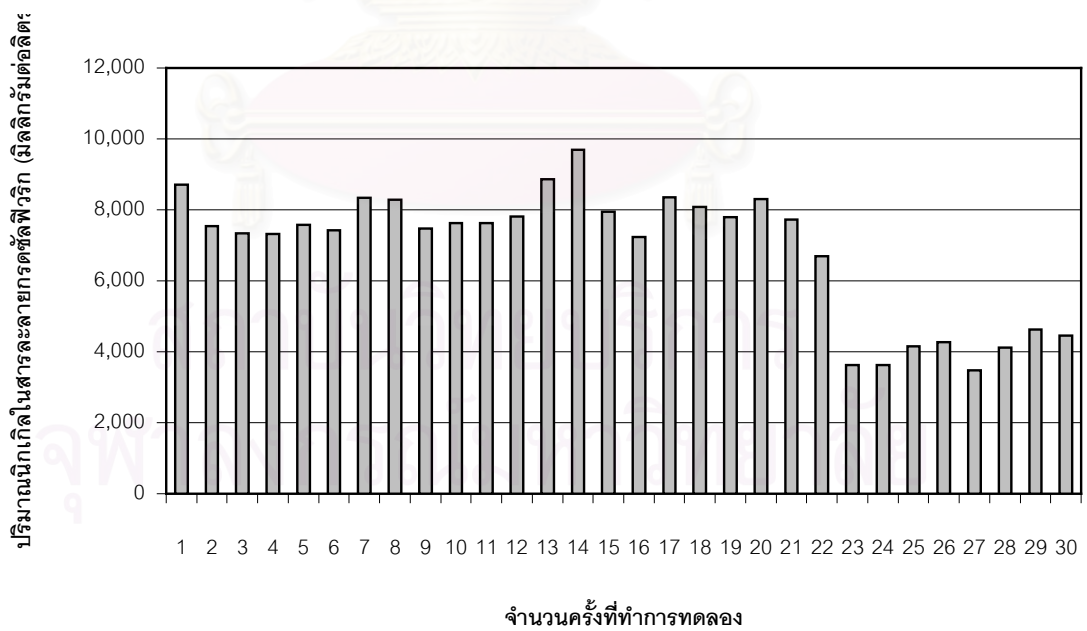
รูปที่ 4.17 ปริมาณนิสิตเกิดในแอฟฟิเน็ต ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด



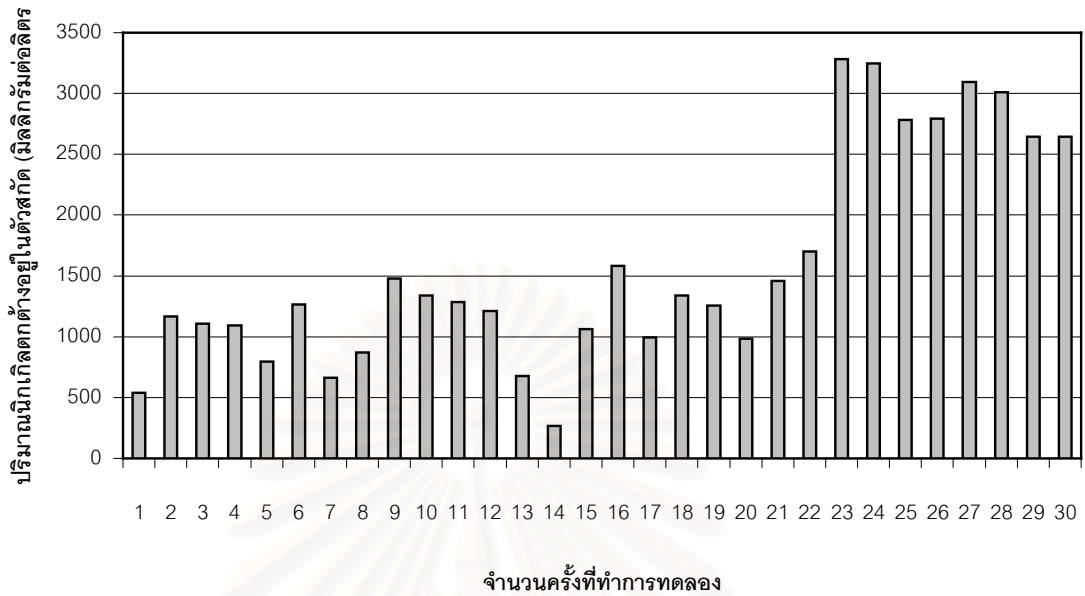
รูปที่ 4.18 ปริมาณนิสิตเกิดในเอกซ์แทรค ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด



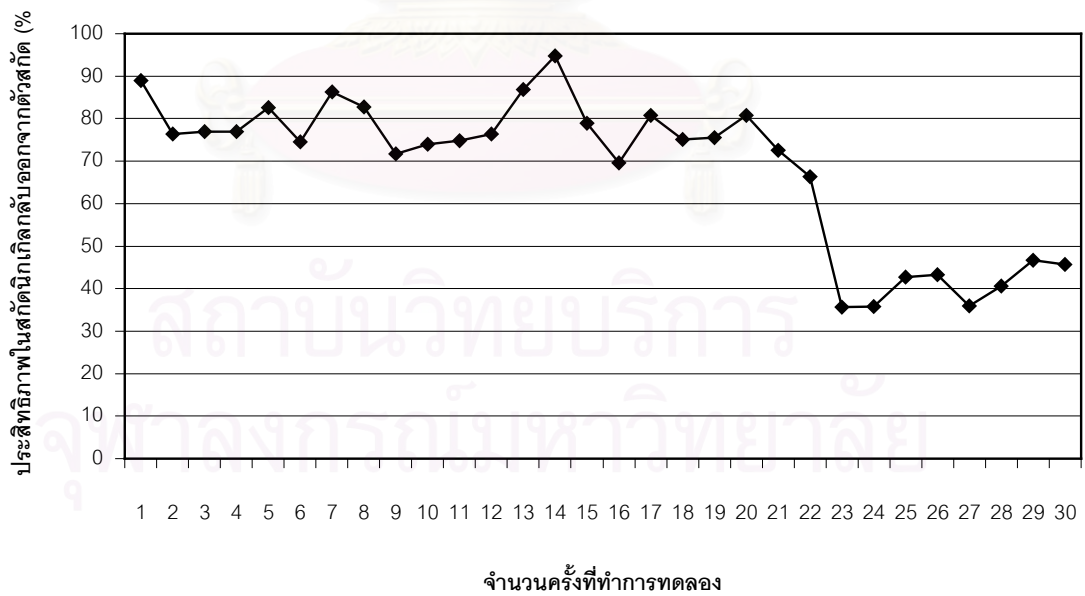
รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพในการสกัดของตัวสกัด ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด



รูปที่ 4.20 ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด



รูปที่ 4.21 ปริมาณนิสิตที่เลิกศึกษาระหว่างเรียนและทำงานในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพในการสกัดนิสิตที่เลิกเรียนและทำงานในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด

4.6 ประมวลผลการค่าใช้จ่ายในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย

การคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสีย และกระบวนการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จะพิจารณาจากราคาของสารเคมีที่ใช้เท่านั้น ซึ่งการสกัดด้วยระบบขวดเขย่านั้นจะมีค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานและอุปกรณ์ รายละเอียดการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ผ-15 ผ-16 ผ-17 ผ-18 และ ผ-19

พิจารณาจากค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับพีเอชของน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิล 1,525 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยการกวนผสมโดยใช้ magnetic stirrer ดังแสดงในตารางที่ ผ-16 การปรับพีเอชของน้ำเสียปริมาณ 500 มิลลิตร ให้มีค่าพีเอชเป็น 8.4 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง จะต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จำนวน 24.6 มิลลิตร คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอช 0.07 บาทต่อลิตรน้ำเสีย

พิจารณาจากค่าใช้จ่ายสำหรับการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิล 1,547 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยตัวสกัด LIX 84-I ที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดเป็น 10:3 ดังแสดงในตารางที่ ผ-17 จะต้องใช้ตัวสกัดปริมาณ 300 มิลลิตร ต่อการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียปริมาณ 1 ลิตร คิดเป็นค่าใช้จ่ายในกระบวนการสกัดเนื่องจากตัวสกัด 135 บาทต่อลิตรน้ำเสียสำหรับการสกัดในครั้งแรก เมื่อเทียบกับปริมาณนิกเกิลที่สกัดได้ต่อครั้งคือ 4,610 มิลลิกรัมต่อลิตรของตัวสกัด คิดเป็นค่าใช้จ่าย 97.61 บาทต่อกรัมของนิกเกิลที่สกัดได้

พิจารณาจากค่าใช้จ่ายสำหรับการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรคเป็น 1:2 ดังแสดงในตารางที่ ผ-18 เนื่องจากในกระบวนการสกัดใช้ตัวสกัดปริมาณ 300 มิลลิตร ดังนั้นจึงต้องใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกปริมาณ 150 มิลลิตร คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.07 บาท หรือเท่ากับ 0.05 บาทต่อกรัมของนิกเกิลที่สกัดกลับออกมาได้

เนื่องจากสามารถนำตัวสกัดกลับไปใช้ในการสกัดได้อีก ดังนั้นค่าใช้จ่ายเนื่องจากตัวสกัด โดยเฉลี่ยต่อจำนวนครั้งในการสกัดจะลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการสกัดเพิ่มขึ้น สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการสกัดนิกเกิลจากน้ำเสีย 1 ลิตร ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการสกัดนิกเกิล} &= (\text{ค่าใช้จ่ายจากตัวสกัด} \div \text{จำนวนครั้งในการสกัด}) \\ &+ \text{ค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชของน้ำเสียด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์} \\ &+ \text{ค่าใช้จ่ายในการสกัดกลับด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก) \\ &= (135 \div n) + 0.07 + 0.07 \end{aligned}$$

โดยที่ $n = \text{จำนวนครั้งในการสกัด}$

ค่าใช้จ่ายโดยรวมในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย จำนวน 22 ครั้ง ตั้งแต่การปรับพีเอชของน้ำเสีย การสกัดด้วยตัวสกัด LIX 84-I และการสกัดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ดังแสดงในตารางที่ ผ-19 ค่าใช้จ่ายโดยรวมในการนำกลับนิกเกิลเฉลี่ยต่อครั้งคือ 6.27 บาทต่อลิตรน้ำเสีย หรือประมาณ 5.29 บาทต่อกรัมของนิกเกิลที่สกัดได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกลับนิกเกิลจากน้ำเสียของโรงงานชุบเคลือบโลหะโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบ่อพักน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการชุบโลหะนิกเกิลซึ่งมีนิกเกิลประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพีเอชเริ่มต้นประมาณ 6.8 ทำการทดลองในระบบขวดเขย่า โดยศึกษากระบวนการสกัดด้วยตัวสกัด LIX 84-I และศึกษากระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก จากผลการทดลองจะสรุปได้ดังนี้

5.1 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียในขั้นตอนการสกัด

การทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียที่มีปริมาณนิกเกิล 1,485 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) เท่ากับ 2:1 พบว่าการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเป็น 8.4 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยจะมีปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค 2,628 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล 88.5 เปอร์เซ็นต์

5.2 อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O ratio) ที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด

การทดลองหาค่าอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณนิกเกิล 1,547 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าเป็น 8.4 พบว่าอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมที่สุด คือ 10 : 3 โดยที่มีปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค 4,610 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล 89.4 เปอร์เซ็นต์

5.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรคที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด

การทดลองหาค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรคที่เหมาะสม โดยใช้เอกซ์แทรคที่มีปริมาณนิกเกิล 4,610 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่อัตราส่วนของสารละลาย

กรดซัลฟิวริกต่อเอ็กซ์แทรกเป็น 1:2 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยจะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณนิกเกิล 9,068 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด 98.4 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำตัวสกัดกลับไปใช้ในการสกัดได้อีก

5.4 อายุการใช้งานของตัวสกัด

การทดลองหาอายุการใช้งานของตัวสกัด เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการสกัดและการสกัดกลับออกจากตัวสกัด โดยนำตัวสกัดที่ใช้แล้วมาวนใช้สกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นนิกเกิล 1,635 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นจำนวน 30 ครั้ง ในกระบวนการสกัด พบว่าจะมีปริมาณนิกเกิลเหลืออยู่ในแรฟไฟเนตเฉลี่ย 128 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณนิกเกิลในเอ็กซ์แทรกเฉลี่ย 5,024 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลเฉลี่ย 92 เปอร์เซ็นต์

ส่วนในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ถึง 22 จะมีปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริกเฉลี่ย 7,901 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัดเฉลี่ย 1,097 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดเฉลี่ย 78 เปอร์เซ็นต์

ส่วนการทดลองตั้งแต่ครั้งที่ 23 เป็นต้นไป ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยมีปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริกเฉลี่ย 4,044 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัดเฉลี่ย 2,938 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดเฉลี่ย 41 เปอร์เซ็นต์

5.5 ประมาณการค่าใช้จ่ายในการนำกลับนิกเกิลโดยการสกัดด้วยตัวสกัด LIX 84-I

สำหรับการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการปรับพีเอชของน้ำเสียให้มีค่า 8.4 ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.968 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร คิดเป็นค่าใช้จ่าย 0.07 บาทต่อลิตรน้ำเสีย

สำหรับในขั้นตอนการสกัดนิกเกิลด้วยตัวสกัด LIX 84-I พบว่าต้องใช้ตัวสกัดปริมาณ 300 มิลลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลิตรในการสกัด คิดเป็นค่าใช้จ่าย 135 บาท แต่เนื่องจากตัวสกัดสามารถใช้ได้ถึง 22 ครั้ง จึงคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อครั้งเป็น 6.14 บาทต่อลิตรน้ำเสีย

ในขั้นตอนการสกัดกลับนิกเกิลออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 นอร์มัล พบว่าต้องใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกปริมาณ 150 มิลลิลิตรต่อตัวสกัด 300 มิลลิลิตร (เทียบจากน้ำเสีย 1 ลิตร) คิดเป็นค่าใช้จ่าย 0.07 บาทต่อลิตรน้ำเสีย และจะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีนิกเกิลประมาณ 7,900 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 150 มิลลิลิตร จากการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสีย 1 ลิตร

ค่าใช้จ่ายโดยรวมในการนำกลับนิกเกิลตั้งแต่ขั้นตอนการปรับพีเอชของน้ำเสีย การสกัดด้วยตัวสกัด LIX 84-I และการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก คิดเป็นค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ย 6.27 บาทต่อลิตรน้ำเสีย หรือประมาณ 5.29 บาทต่อกรัมของนิกเกิลที่สกัดได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สิ่งที่น่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

6.1 สิ่งที่น่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์

การนำกลับนิกเกิลด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายนี้ มีข้อที่น่าสนใจในเชิงเศรษฐศาสตร์หลายประการด้วยกัน ดังนี้

1. สามารถนำกลับนิกเกิลให้อยู่ในรูปของสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชุบโลหะได้บางส่วน ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณนิกเกิลเฉลี่ยประมาณ 7,900 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นราคา 4.60 บาทต่อลิตร ดังแสดงในภาคผนวก ซึ่งสารละลายนี้มีความเข้มข้นของนิกเกิลสูงกว่าในน้ำเสียประมาณ 5 เท่า

2. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักของโรงงานอุตสาหกรรม จากงานวิจัยนี้สามารถลดปริมาณโลหะนิกเกิลในน้ำเสียได้เฉลี่ย 92 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณนิกเกิลที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเฉลี่ย 128 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณนิกเกิลที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสูงสุด 258 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำไปเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมีแล้ว จะทำให้ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนลดลงด้วย

3. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งกากตะกอนโลหะหนักไปกำจัดยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม อันเป็นผลต่อเนื่องมาจากในข้อ 2. เมื่อปริมาณการใช้สารเคมีในการตกตะกอนโลหะหนักลดลง ตะกอนที่เกิดขึ้นก็จะลดลงด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการกำจัดกากตะกอนลดลง

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของนิกเกิลโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้ตัวสกัดอื่น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การสกัดด้วยตัวสกัด LIX 84-I ถึงสภาวะที่เหมาะสม และความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง
2. ควรมีการศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ของตัวสกัด LIX 84-I เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากตัวสกัดได้อย่างคุ้มค่า
3. ควรมีการศึกษาถึงการสกัดกลับออกจากตัวสกัด (Stripping) โดยใช้สารอื่น เพื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

4. ควรมีการนำข้อมูลจากการทดลองในระบบขวดเขย่าไปใช้ในการทดลองในระบบขวดเขย่าแบบให้สารละลายไหลสวนทางกัน (Counter-current) เพื่อศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด
5. ควรมีการนำข้อมูลจากการทดลองในระบบขวดเขย่าไปใช้ในการทดลองในระบบคอลัมน์ เพื่อเปรียบเทียบถึงสภาวะที่เหมาะสม และความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง
6. ควรนำข้อมูลจากการทดลองในระบบขวดเขย่า ไปเป็นข้อมูลสำหรับการทดลองในระดับปฏิบัติการ เพื่อเป็นการศึกษาในสถานะที่ใกล้เคียงกับการนำไปใช้จริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาเคมีเทคนิค. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องการแยกสกัดสาร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. สารานุกรมธาตุ. O.S. PRINTING HOUSE, 2525.
- ทิพย์ ชัยวิริยกุล. การนำกลับโลหะหนักเกิดในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- มนัส สติรจินดา. โลหะหนักกลุ่มเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- วิชรา ชนิษฐบุตร. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2538.
- วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539). กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539.
- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.), สมาคม. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540.
- สมนึก ภาคพานิชย์. การกำจัดไอออนของโลหะสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วโดยการสกัดของเหลวด้วยของเหลว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- สาโรช พันธุ์แพ. การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร :โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2526.
- สุดใจ จำปา. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ. เอกสารประกอบการอบรมเจ้าหน้าที่ของโรงงานชุบโลหะจากการนิคมอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานคร, 2524.
- อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. สำนักพิมพ์ ภาพพิมพ์, 2527.
- อรุณี อริยประยูร, จรุงค์ ยงศิริ และนพคุณ เพชรเครือ. การประยุกต์ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนในการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่. โครงการทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

- Alguacil, F.J. Recovery of copper from ammoniacal/ammonium carbonate medium by LIX 973N. Hydrometallurgy 52 (1999): 55-61.
- Cognis Corporation. Mining chemical technology [Online]. 1996. Available from: <http://www.cognis-us.com/cognis/mining/mid/prodinfo/LIX84-I.pdf> [2000, November 20]
- Devi, N.B.; Nathsarma, K.C.; and Chakravortty, V. Separation and recovery of cobalt(II) and nickel(II) from sulphate solutions using sodium salts of D2EHPA, PC 88A and Cyanex 272. Hydrometallurgy 49 (1998): 47-61.
- Gilchrist, J.D. Extraction metallurgy. 2nd ed. Oxford, 1980.
- Gill, C.B. Nonferrous extractive metallurgy. New York, 1980.
- Groves, R.D., and Redden, L.D. Nickel extraction from acidic chloride solutions with aliphatic oximes. Hydrometallurgy 24 (1990): 271-290.
- Loveless, D. Nickel extraction from waste etching liquor from electronic lead frame manufacturing. KKU Engineering Journal 27 No.1 (January - March 2000): 1-9.
- Nemerrow, N.L. Industrial water pollution, origin, Characteristics and treatment. USA: Addison-Wesley, 1978.
- Parija, C., and Bhaskara Sarma, P.V.R. Separation of nickel and copper from ammoniacal solutions through co-extraction and selective stripping using LIX 84 as the extractant. Hydrometallurgy (2000): 195-204.
- Parija, C.; Reddy B.R.; and Bhaskara Sarma, P.V.R. Recovery of nickel from solutions containing ammonium sulphate using LIX 84-I. Hydrometallurgy 49 (1998): 255-261.
- Patterson, J.W. Industrial wastewater treatment technology. 2nd ed. Butterworth, 1985.
- Preston, J.S. Solvent extraction of Nickel and Cobalt by mixture of carboxylic acids and non-chelating oximes. Hydrometallurgy 11 (1983): 105-124.
- Takahashi, M.; Ogata, T.; Okino, H.; and Abe, Y. The deterioration of nickel extractant LIX-64N and its regeneration. Proceedings of International Solvent Extraction Conference, pp. 359-360. AIME, 1983.
- Tay, J.H. Waste minimization and recycling in electroplating workshop. Singapore: Nanyang Technological Institute, 1986.

U.S. Environmental Protection Agency. Control and treatment technology for the metal finishing industry sulfide precipitation. Washington D.C., 1980.

Wentz, C.A. Hazardous waste management. Singapore: McGraw-Hill, 1989.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ-1 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียในช่วง 4 ถึง 9

พีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสีย	พีเอชของแอฟฟิเนต ที่สภาวะสมดุล	ปริมาณนิกเกิล ในแอฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิล ในเอกซ์แทรค (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพ ในการสกัดนิกเกิล (%)
4	2.9	1,374	222	7.5
5	3.0	1,362	246	8.3
6	3.2	1,329	312	10.5
7	3.5	1,120	730	24.6
8	6.0	603	1,764	59.4
9	8.3	126	2,718	91.5

ตารางที่ ผ-2 ประสิทธิภาพของการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียในช่วง 7 ถึง 9

พีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสีย	พีเอชของแอฟฟิเนต ที่สภาวะสมดุล	ปริมาณนิกเกิล ในแอฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิล ในเอกซ์แทรค (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพ ในการสกัดนิกเกิล (%)
7	3.5	1,120	730	24.6
7.2	4.5	1,009	952	32.1
7.4	5	977	1,016	34.2
7.6	5.2	934	1,102	37.1
7.8	5.7	744	1,482	49.9
8	6	603	1,764	59.4
8.2	6.5	407	2,156	72.6
8.4	7.5	171	2,628	88.5
8.6	7.7	154	2,662	89.6
8.8	7.9	133	2,704	91
9	8.3	126	2,718	91.5

ตารางที่ ผ-3 ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในแรฟฟิเนตที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียในช่วง 7 ถึง 9

พีเอชเริ่มต้น ของน้ำเสีย	ปริมาณโลหะหนักในแรฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม
7	*	*	*
7.2	*	*	*
7.4	*	*	*
7.6	*	*	*
7.8	*	*	*
8	*	*	*
8.2	*	*	*
8.4	*	*	*
8.6	*	*	*
8.8	*	*	*
9	*	*	*

* น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ผ-4 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลของตัวสกัดที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ

อัตราส่วนของ น้ำเสียต่อตัวสกัด	ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลในเอ็กซ์แทรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพใน การสกัดนิกเกิล(%)
10 : 1	195	13,520	87.4
10 : 2	190	6,785	87.7
10 : 3	164	4,610	89.4
10 : 4	163	3,460	89.5
10 : 5	159	2,776	89.7
10 : 6	161	2,310	89.6
10 : 7	157	1,986	89.9
10 : 8	158	1,736	89.8
10 : 9	212	1,483	86.3
10 : 10	239	1,308	84.6

ตารางที่ ผ-5 ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในแอฟฟิเนตที่อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดต่างๆ

อัตราส่วนของน้ำเสีย ต่อตัวสกัด	ปริมาณโลหะหนักในแอฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม
10 : 1	*	*	*
10 : 2	*	*	*
10 : 3	*	*	*
10 : 4	*	*	*
10 : 5	*	*	*
10 : 6	*	*	*
10 : 7	*	*	*
10 : 8	*	*	*
10 : 9	*	*	*
10 : 10	*	*	*

* น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ผ-6 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล

ความเข้มข้นของ สารละลาย กรดซัลฟิวริก	อัตราส่วนของสารละลาย กรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด	ปริมาณนิกเกิลใน สารละลาย กรดซัลฟิวริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลเหลือ ตกค้างอยู่ในตัวสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพ ในการสกัดนิกเกิล กลับออกจากตัวสกัด (%)
0.1 นอร์มัล	1:1	2,377	2,233	51.6
	1: 2	2,263	3,479	24.5
	1:3	917	4,304	6.6
	1:4	250	4,548	1.3
	1:5	200	4,570	0.9

ตารางที่ ผ-7 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 นอร์มัล

ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก	อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลเหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด (%)
0.5 นอร์มัล	1:1	4,373	237	94.9
	1: 2	9,068	76	98.4
	1:3	8,837	1,664	63.9
	1:4	870	4,393	4.7
	1:5	1,910	4,228	8.3

ตารางที่ ผ-8 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัล

ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก	อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลเหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด (%)
1 นอร์มัล	1:1	4,295	315	93.2
	1: 2	7,410	905	80.4
	1:3	7,733	2032	55.9
	1:4	7,298	2786	39.6
	1:5	9,030	2804	39.2

ตารางที่ ผ-9 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล

ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก	อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลเหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด (%)
5 นอร์มัล	1:1	4,570	40	99.1
	1: 2	9,017	102	97.8
	1:3	11,047	928	79.9
	1:4	15,165	819	82.2
	1:5	14,972	1616	64.9

ตาราง ผ-10 ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในแอฟฟิเนตในกระบวนการสกัดกลีบออกจากตัวสกัด

ความเข้มข้นของ สารละลาย กรดซัลฟิวริก	อัตราส่วนของสารละลายกรด ซัลฟิวริกต่อตัวสกัด	ปริมาณโลหะหนักในแอฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
		ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม
0.1 นอร์มัล	1:1	*	*	*
	1: 2	*	*	*
	1:3	*	*	*
	1:4	*	*	*
	1:5	*	*	*
0.5 นอร์มัล	1:1	*	*	*
	1: 2	*	*	*
	1:3	*	*	*
	1:4	*	*	*
	1:5	*	*	*
1 นอร์มัล	1:1	*	*	*
	1: 2	*	*	*
	1:3	*	*	*
	1:4	*	*	*
	1:5	*	*	*
5 นอร์มัล	1:1	*	*	*
	1: 2	*	*	*
	1:3	*	*	*
	1:4	*	*	*
	1:5	*	*	*

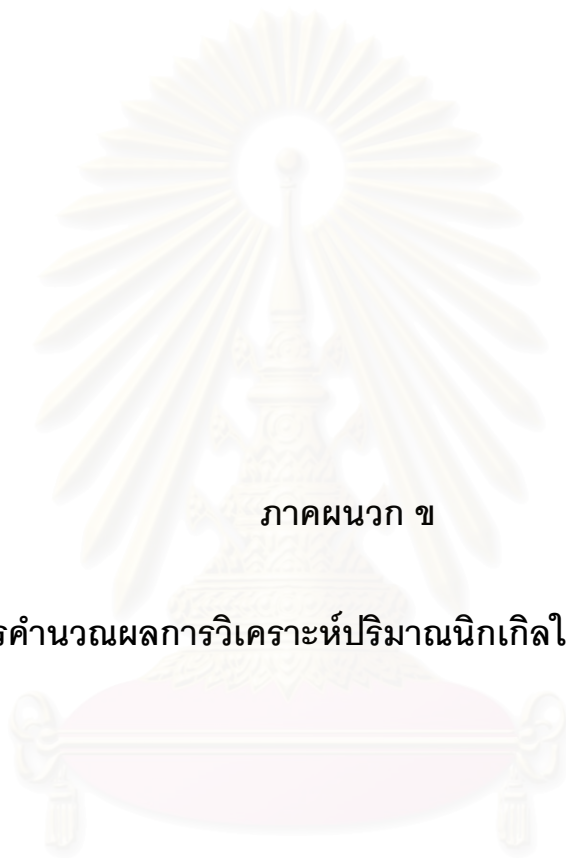
* น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ๘-11 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด

ครั้งที่	ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล (%)
1	165	4,900	89.9
2	154	4,937	90.6
3	201	4,780	87.7
4	210	4,750	87.2
5	258	4,590	84.2
6	143	4,973	91.2
7	185	4,833	88.7
8	131	5,013	92.0
9	69	5,220	95.8
10	88	5,157	94.6
11	106	5,097	93.5
12	99	5,120	93.9
13	103	5,107	93.7
14	100	5,117	93.9
15	122	5,043	92.5
16	76	5,197	95.4
17	84	5,170	94.9
18	21	5,380	98.7
19	89	5,153	94.6
20	94	5,137	94.3
21	38	5,323	97.7
22	121	5,047	92.6
23	106	5,097	93.5
24	117	5,060	92.8
25	177	4,860	89.2
26	156	4,930	90.5
27	187	4,827	88.6
28	115	5,067	93.0
29	146	4,963	91.1
30	173	4,873	89.4

ตารางที่ ๘-12 ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด

ครั้งที่	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลเหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด (%)
1	8,720	540	89.0
2	7,543	1,165	76.4
3	7,347	1,106	76.9
4	7,317	1,091	77.0
5	7,583	798	82.6
6	7,417	1,264	74.6
7	8,340	663	86.3
8	8,287	869	82.7
9	7,483	1,478	71.7
10	7,633	1,340	74.0
11	7,622	1,286	74.8
12	7,820	1,210	76.4
13	8,865	675	86.8
14	9,699	267	94.8
15	7,957	1,064	78.9
16	7,229	1,582	69.6
17	8,353	994	80.8
18	8,084	1,338	75.1
19	7,795	1,256	75.6
20	8,306	984	80.8
21	7,731	1,458	72.6
22	6,689	1,703	66.3
23	3,629	3,283	35.6
24	3,622	3,249	35.8
25	4,155	2,783	42.7
26	4,274	2,793	43.3
27	3,467	3,093	35.9
28	4,113	3,010	40.6
29	4,634	2,646	46.7
30	4,458	2,644	45.7



ภาคผนวก ข

การคำนวณผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลในสารละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การคำนวณในขั้นตอนการสกัด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลในกราฟฟิเนตโดยการวัดค่าความดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถคำนวณปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรคและประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค} = (\text{ปริมาณนิกเกิลเริ่มต้นในน้ำเสีย} - \text{ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนต}) \times \frac{A}{O}$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณนิกเกิลเริ่มต้นในน้ำเสีย} - \text{ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนต}) \times 100}{\text{ปริมาณนิกเกิลเริ่มต้นในน้ำเสีย}}$$

ตารางที่ ผ-13 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรคและประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลเริ่มต้นในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัด (A:O)	ปริมาณนิกเกิลในแรฟฟิเนต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล (%)
1,547	10 : 1	195	13,520	87.4
1,547	10 : 2	190	6,785	87.7
1,547	10 : 3	164	4,610	89.4
1,547	10 : 4	163	3,460	89.5
1,547	10 : 5	159	2,776	89.7
1,547	10 : 6	161	2,310	89.6
1,547	10 : 7	157	1,986	89.9
1,547	10 : 8	158	1,736	89.8
1,547	10 : 9	212	1,483	86.3
1,547	10 : 10	239	1,308	84.6

2. การคำนวณในขั้นตอนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริกโดยการวัดค่าความดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถคำนวณปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด และประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด ได้จากสมการ

ปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด

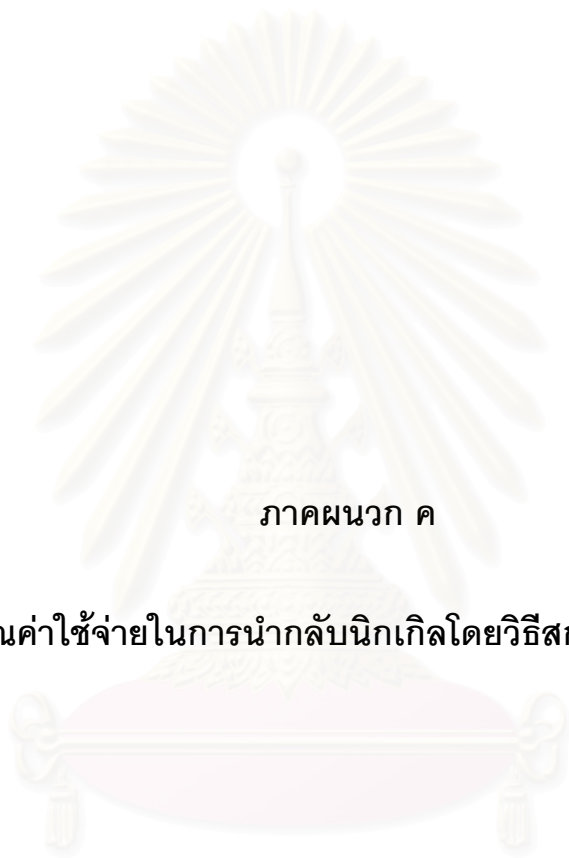
$$= \text{ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค} - \left(\frac{A}{O} \times \text{ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก} \right)$$

ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด (%)

$$= \frac{(\text{ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค} - \text{ปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด}) \times 100}{\text{ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค}}$$

ตารางที่ ๘-14 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด และประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด

ปริมาณนิกเกิลในเอกซ์แทรค (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด (A:O)	ปริมาณนิกเกิลในสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิลที่เหลือตกค้างอยู่ในตัวสกัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลกลับออกจากตัวสกัด (%)
4,610	1:1	4,373	237	94.9
	1:2	9,068	76	98.4
	1:3	8,837	1,664	63.9
	1:4	870	4,393	4.7
	1:5	1,910	4,228	8.3



ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ-15 ราคาของสารเคมีที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วย
ตัวทำละลาย

สารเคมี	ราคา
NaOH	35 บาทต่อกิโลกรัม
ตัวสกัด LIX 84-I	450 บาทต่อลิตร
H ₂ SO ₄	32 บาทต่อลิตร
0.1N H ₂ SO ₄	0.09 บาทต่อลิตร
0.5N H ₂ SO ₄	0.44 บาทต่อลิตร
1N H ₂ SO ₄	0.89 บาทต่อลิตร
5N H ₂ SO ₄	4.43 บาทต่อลิตร

หมายเหตุ ราคาของโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการคำนวณ เป็นราคาของ
สารเคมีแบบ commercial grade

ตารางที่ ผ-16 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้มีค่าพีเอชในช่วง 7 ถึง 9

พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร (กรัม)	ค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอช (บาทต่อลิตรน้ำเสีย)
7	0.024	0.00
7.2	0.080	0.00
7.4	0.376	0.01
7.6	1.408	0.05
7.8	1.688	0.06
8	1.816	0.06
8.2	1.904	0.07
8.4	1.968	0.07
8.6	2.048	0.07
8.8	2.120	0.07
9	2.192	0.08

ตารางที่ ผ-17 การคำนวณค่าใช้จ่ายจากตัวสกัดในขั้นตอนการสกัด

อัตราส่วนของน้ำเสี้ยวต่อตัวสกัด (A : O ratio)	ปริมาณตัวสกัดที่ใช้ ต่อน้ำเสี้ยว 1 ลิตร (มิลลิลิตร)	ค่าใช้จ่ายในการสกัด (บาทต่อลิตรน้ำเสี้ยว)
10 : 1	100	50
10 : 2	200	100
10 : 3	300	150
10 : 4	400	200
10 : 5	500	250
10 : 6	600	300
10 : 7	700	350
10 : 8	800	400
10 : 9	900	450
10 : 10	1,000	500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ-18 การคำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการสกัดกลีบออกจากตัวสกัด

ความเข้มข้น ของสารละลาย กรดซัลฟิวริก	อัตราส่วนของ กรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด (H ₂ SO ₄ : extract ratio)	ปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ใช้ต่อตัวสกัด 300 มิลลิลิตร (มิลลิลิตร)	ค่าใช้จ่ายในการ สกัดกลีบออกจาก ตัวสกัด (บาท)
0.1 นอร์มัล	1:1	300	0.03
	1: 2	150	0.01
	1:3	100	0.01
	1:4	75	0.01
	1:5	60	0.01
0.5 นอร์มัล	1:1	300	0.13
	1: 2	150	0.07
	1:3	100	0.04
	1:4	75	0.03
	1:5	60	0.03
1 นอร์มัล	1:1	300	0.27
	1: 2	150	0.13
	1:3	100	0.09
	1:4	75	0.07
	1:5	60	0.05
5 นอร์มัล	1:1	300	1.33
	1: 2	150	0.66
	1:3	100	0.44
	1:4	75	0.33
	1:5	60	0.27

ตารางที่ ฅ-19 การคำนวณค่าใช้จ่ายโดยรวมในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย
สำหรับน้ำเสีย 1 ลิตร

ขั้นตอน ครั้งที่	ปรับพีเอชด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์		สกัดด้วยตัวสกัด LIX 84-I		สกัดกลับด้วยสาร ละลายกรดซัลฟูริก 0.5 นอร์มัล		ค่าใช้จ่ายโดย รวมจนถึงครั้ง ที่ทดลอง (บาท)	ค่าใช้จ่าย เฉลี่ยต่อครั้ง ที่ทดลอง (บาท)
	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณ (มิลลิลิตร)	ราคา (บาท)	ปริมาณ (มิลลิลิตร)	ราคา (บาท)		
1	1.968	0.07	300	135	150	0.07	135.14	135.14
2	1.968	0.07	-	-	150	0.07	135.28	67.64
3	1.968	0.07	-	-	150	0.07	135.42	45.14
4	1.968	0.07	-	-	150	0.07	135.56	33.89
5	1.968	0.07	-	-	150	0.07	135.70	27.14
6	1.968	0.07	-	-	150	0.07	135.84	22.64
7	1.968	0.07	-	-	150	0.07	135.98	19.43
8	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.12	17.02
9	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.26	15.14
10	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.40	13.64
11	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.54	12.41
12	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.68	11.39
13	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.82	10.52
14	1.968	0.07	-	-	150	0.07	136.96	9.78
15	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.10	9.14
16	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.24	8.58
17	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.38	8.08
18	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.52	7.64
19	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.66	7.24
20	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.80	6.89
21	1.968	0.07	-	-	150	0.07	137.94	6.56
22	1.968	0.07	-	-	150	0.07	138.08	6.27

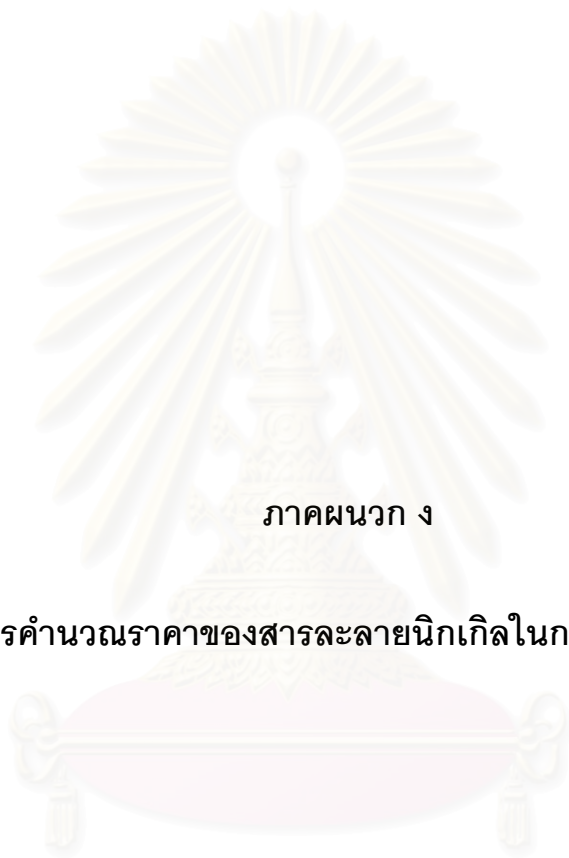
ตารางที่ ผ-20 ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้บริการศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ

รายการ	ค่าบริการ (บาทต่อตัน)
1. ค่าขนส่งกากของเสียจากโรงงานไปยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ	357.50
2. ค่าบำบัดกากของเสียที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ	755.00
3. ค่าขนส่งกากของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำไปยังที่ฝังกลบจังหวัดราชบุรี	228.00
4. ค่าจัดการฝังกลบกากของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว	874.00
5. ค่าขนถ่ายกากของเสีย	300.00
รวมค่าบริการ	2,514.50
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	176.02
รวมค่าใช้จ่าย	2,690.52

หมายเหตุ

1. ระยะทางจากโรงงานไปยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำประมาณ 130 กิโลเมตร
2. ค่าขนส่งกากของเสียจากโรงงานไปยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ 2.75 บาท/ตัน-กิโลเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

การคำนวณราคาของสารละลายนิกเกิลในกรดซัลฟิวริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ราคา 130 บาทต่อกิโลกรัม (commercial grade)

$$\text{มวลโมเลกุลของ } \text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 58.71 + 32 + 4(16) + 6(18) = 262.71$$

$$(\text{Ni} = 58.71 \quad \text{S} = 32 \quad \text{O} = 16 \quad \text{H} = 1)$$

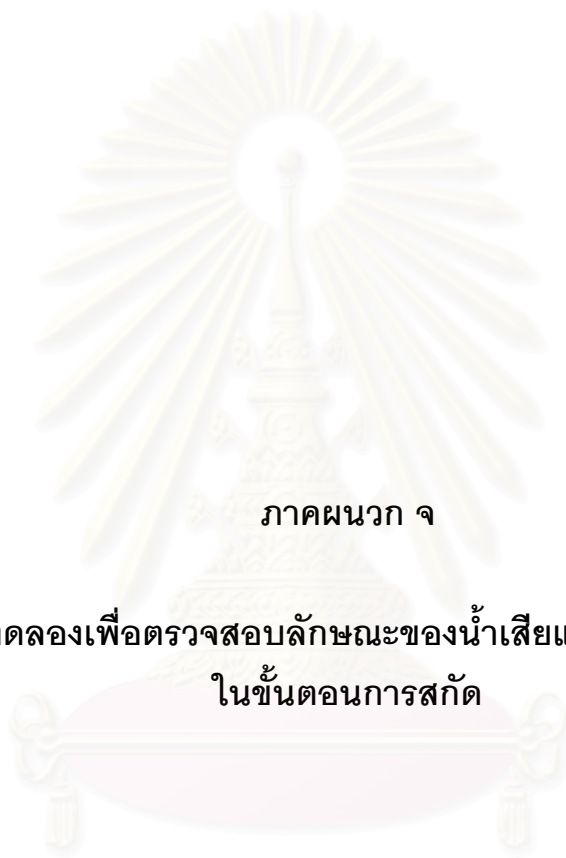
$$\therefore \text{ใน 1 กิโลกรัมของ } \text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{ มีนิกเกิลอยู่} = \frac{58.71}{262.71} \times 1,000$$

$$= 223.48 \text{ กรัม}$$

$$\text{ราคาของสารละลายนิกเกิลในกรดซัลฟิวริก 7,900 มิลลิกรัมต่อลิตร} = \frac{7.9}{223.48} \times 130$$

$$= 4.60 \text{ บาท}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

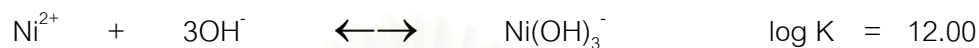


ภาคผนวก จ

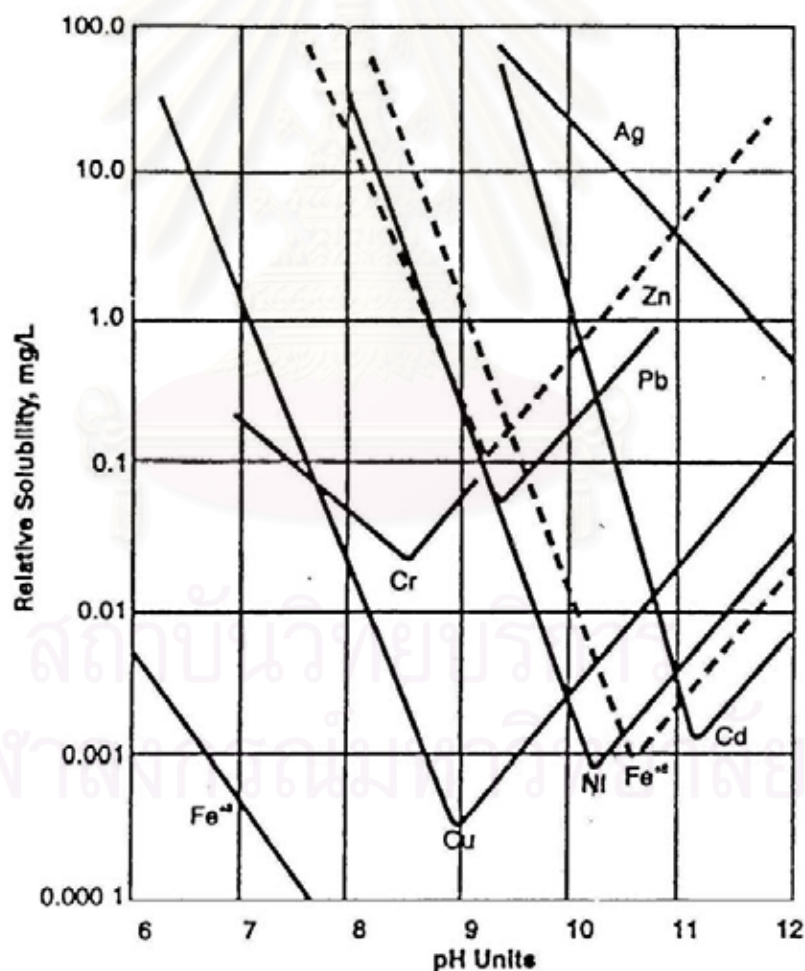
การทดลองเพื่อตรวจสอบลักษณะของน้ำเสียและเอกซ์แทรค
ในขั้นตอนการสกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำเสียในขั้นตอนการสกัด โดยใช้สารละลายไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช Ni^{2+} ในน้ำเสียจะทำปฏิกิริยากับ OH^- ที่เติมลงไป เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไฮดรอกไซด์ 3 รูปแบบ ดังแสดงในสมการ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโลหะต่างๆ กับค่าพีเอช ดังแสดงในรูปที่ ผ-1



รูปที่ ผ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของนิกเกิลและพีเอช

(U.S. EPA, 1980)

การตรวจสอบลักษณะของเอกซ์แทรคหลังจากเขย่าแล้ว ทำการวิเคราะห์ลักษณะของเอกซ์แทรค 3 วิธี คือ

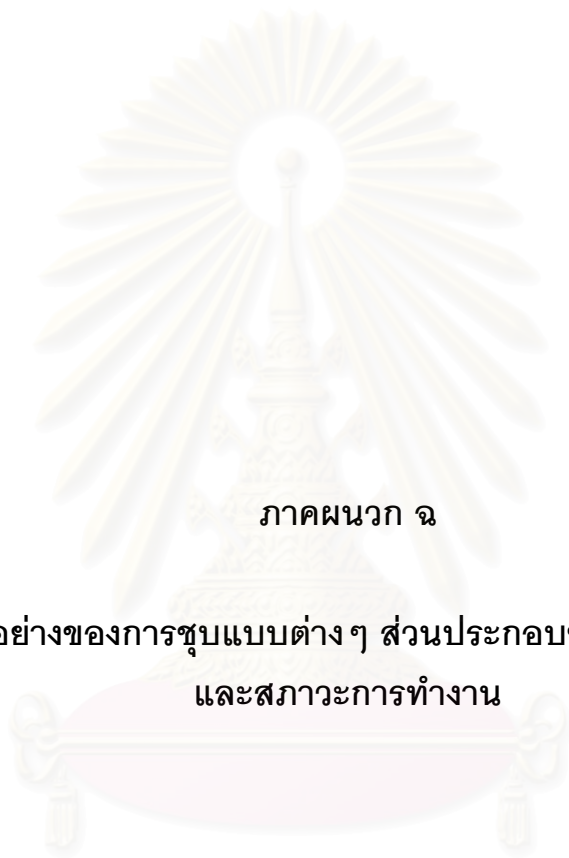
1. เซนตริฟิวจ์ด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกตะกอน – ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น
2. ส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์ – นำไปส่องด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นเม็ดตะกอนลักษณะเดียวกันกับตะกอนของนิกเกิลไฮดรอกไซด์กระจายอยู่ในเอกซ์แทรค
3. นำไปกรองผ่าน membrane filter 0.45 micron – วัดปริมาณของแข็งที่ติดอยู่บนกระดาษกรองได้ 595 มิลลิกรัมต่อลิตรของเอกซ์แทรค หรือคิดเป็นปริมาณนิกเกิล 377 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการวิเคราะห์ลักษณะของเอกซ์แทรคทั้ง 3 วิธี จะสามารถสรุปได้ว่า กลไกที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสกัด มี 2 ส่วน คือ

1. เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างตัวสกัด LIX 84-I และ Ni^{2+} ในน้ำเสียเกิดเป็น chelating agent ดังสมการที่ (1)



2. ตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นบางส่วนจะแตกตัวเป็น Ni^{2+} เนื่องจากเกิดสภาวะกรดในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างตัวสกัด LIX 84-I และ Ni^{2+} ในน้ำเสีย ดังในสมการที่ (1) และตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์บางส่วนที่ไม่แตกตัวจะถูกดักจับ โดยจะแขวนลอยอยู่ในเอกซ์แทรค ซึ่งจะถูกล้างกลับออกจากตัวสกัดได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก



ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างของการชูปแบบต่างๆ ส่วนประกอบของน้ำยาชูป
และสภาวะการทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างของการชุบแบบต่างๆ (สารโรซ พันธ์แพ, 2526)

1. การชุบเพื่อต้องการความคงทน แข็งแรง มีอยู่หลายแบบด้วยกัน คือ

1.1 แบบวัตต์

การชุบแบบนี้สามารถที่จะตัดหรือขึ้นรูปชิ้นงานที่ผ่านการชุบได้ เนื่องจากนิเกิลที่เคลือบมีความเหนียวและยืดหยุ่น และเมื่อภาวะการทำงานของการชุบเปลี่ยน จะทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เปลี่ยนตามไปด้วย ประโยชน์ที่ได้ก็คือ นำไปชุบผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลื่อนไหวเมื่อใช้งาน เช่น สปริง หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น ท่อ ถังบรรจุสารเคมีที่ทนต่อการกัดกร่อน

สูตรน้ำยา

นิเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	330 g/l
นิเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	45 g/l
กรดบอริก (H_3BO_3)	38 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	45 - 65 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	2.5 – 10 ampere/dm ²
พีเอช	1.5 – 4.5

1.2 แบบชุบหนา

การชุบแบบนี้มักจะใช้ชุบพวกลูกกลิ้ง ไม้ เพลลา หรือวัสดุที่มีการเสียดสีขณะใช้งาน ซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดสึกกร่อน หรือชุบชิ้นส่วนของเครื่องจักรเพื่อต้านทานการขีดข่วน ซึ่งการชุบแบบนี้จะต้องควบคุมภาวะการทำงานให้ดี ไม่ว่าจะเป็นพีเอช อุณหภูมิ หรือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า มิฉะนั้นจะทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เปลี่ยนไป และยังทำให้เกิดรอยร้าวหรือผิวขรุขระได้

สูตรน้ำยา

นิเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	180 g/l
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	25 g/l
กรดบอริก (H_3BO_3)	30 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	43 - 60 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	2 – 10 ampere/dm ²
พีเอช	5.6 – 5.9

1.3 แบบคลอไรด์

การชุบแบบนี้ผิวจะเรียบ แข็งแรง ทนทานดีกว่าแบบวัตต์ แต่ผิวที่ได้จากการชุบแบบนี้ เมื่อใช้งานไปนานๆ อาจเกิดรอยร้าวขึ้นได้ แต่ก็แก้ไขได้โดยใช้น้ำยาชุบและภาวะการทำงานแบบนี้ แต่ให้ชุบในระบบฟืออาร์

สูตรน้ำยา

นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 330 g/l

กรดบอริก (H_3BO_3) 38 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ 50 - 70 °C

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ 2.5 – 10 ampere/dm²

พีเอช 2

1.4 แบบคลอไรด์ – ซัลเฟต

การชุบแบบนี้มักจะใช้ชุบชิ้นงานเพื่อความสวยงามมากกว่าจะชุบเพื่อความคงทน โดยจะต้องเติมสารที่เพิ่มคุณสมบัติพิเศษลงไป เช่น น้ำยาเงา น้ำยารักษาระดับ เป็นต้น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ชุบแบบนี้ เช่น ชิ้นส่วนของสเตอริโอ หรือเครื่องไฟฟ้า

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 200 g/l

นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 175 g/l

กรดบอริก (H_3BO_3) 40 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ 45 °C

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ 2.5 – 10 ampere/dm²

พีเอช 1.5 – 2.0

1.5 แบบคลอไรด์ – อะซิเตต

การชุบแบบนี้ใช้ชุบชิ้นงานเพื่อวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับการชุบแบบคลอไรด์ – ซัลเฟต

สูตรน้ำยา

นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 135 g/l

นิกเกิลอะซิเตต ($\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 105 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	30 - 35 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	2 – 10 ampere/dm ²
พีเอช	4.5 – 4.9

1.6 แบบนิกเกิล – โคบอลต์

การชุบแบบนี้เป็นการชุบชั้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรง เช่น ที่ตอกบัตร ตอกเครื่องหมาย หรืออื่นๆ ที่มีการกระทบกระแทก โดยการชุบแบบนี้จะมีนิกเกิลเข้าไปเกาะชั้นงานผสมกับโคบอลต์ เป็นลักษณะของโลหะผสมในอัตราส่วนหนึ่งต่อสี่

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลเฟต (NiSO ₄ ·6H ₂ O)	240 g/l
นิกเกิลคลอไรด์ (NiCl ₂ ·6H ₂ O)	22.5 g/l
กรดบอริก (H ₃ BO ₃)	30 g/l
แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH ₄) ₂ SO ₄)	1.5 g/l
นิกเกิลฟอร์มเมต (Ni(HCOO) ₂ ·2H ₂ O)	15 g/l
โคบอลต์ซัลเฟต (CoSO ₄ ·7H ₂ O)	2.6 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	40 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	5 ampere/dm ²
พีเอช	4.7

1.7 แบบฟลูออโบเรต

การชุบแบบนี้ ค่าพีเอชของน้ำยาเปลี่ยนแปลงช้ามาก จึงไม่ต้องกังวลมากนัก ส่วนเกลือ นิกเกิลฟลูออโบเรตนั้นละลายได้ดีมาก จึงมีการนำไฟฟ้าที่ดีและยังทำให้การละลายของขั้วบวกดี อีกด้วย ชั้นงานที่ชุบแบบนี้จะมีผิวสดใส เหนียว และไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องการแตกร้าวในภายหลัง งานที่ชุบแบบนี้ เช่น หน้ากากสเตอริโอ ชั้นส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้า ถังชุบ ลวดตัวนำไฟฟ้า เป็นต้น

สูตรน้ำยา

นิกเกิลฟลูออโบเรต (Ni(BF ₄) ₂)	75 g/l
กรอฟลูออโบरिक (HBF ₄)	3.7 – 37.5 g/l
กรดบอริก (H ₃ BO ₃)	30 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	40 - 80 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	4 – 10 ampere/dm ²
พีเอช	2.0 – 3.5

1.8 แบบซัลฟาเมต

การชุบแบบนี้จะใช้กับงานที่ต้องการความเหนียว ความแข็งเป็นหลัก เช่น งานที่จะต้องนำไปขึ้นรูปที่ซับซ้อน งานที่ต้องทนต่อการเสียดสี หรือทำเป็นแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปของแข็ง

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลฟาเมต (Ni(NH ₂ SO ₃) ₂)	450 g/l
กรดบอริก (H ₃ BO ₃)	30 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	40 - 60 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	2 – 30 ampere/dm ²
พีเอช	3.0 – 5.0

1.9 แบบซัลฟาเมต - คลอไรด์

การชุบแบบนี้เป็นการพัฒนาต่อจากการชุบแบบซัลฟาเมต

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลฟาเมต (Ni(NH ₂ SO ₃) ₂)	300 g/l
นิกเกิลคลอไรด์ (NiCl ₂ ·6H ₂ O)	6 g/l
กรดบอริก (H ₃ BO ₃)	30 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	28 - 60 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	2 – 25 ampere/dm ²
พีเอช	3.5 – 4.2

2. การชุบเพื่อความสวยงาม (การชุบนิกเกิลเงา)

โดยปกติจะใช้น้ำยาของการชุบนิกเกิลแบบวัตต์ในอัตราส่วนของคลอไรด์และซัลเฟตค่าต่างๆ ดังนี้

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลฟาเมต ($\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$)	240 - 340 g/l
นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	30 - 60 g/l
กรดบอริก (H_3BO_3)	30 - 40 g/l
น้ำยาเงา (brighteners)	ตามคู่มือการใช้ของผู้ผลิต

น้ำยาเงาส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์เคมี ซึ่งพอแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 เป็นพวก Aromatic Sulfonic Acids, Sulfonamides และ Sulfonimides

ประเภทที่ 2 ได้แก่ พวกสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัว

โดยปกติแล้วจะใช้น้ำยาเงาทั้งสองประเภทนี้ร่วมกัน ส่วนน้ำยารักษาระดับและน้ำยาเพิ่มความชื้น มักจะผสมมาในน้ำยาเงาด้วย

น้ำยารักษาระดับ (leveling)	ตามคู่มือการใช้ของผู้ผลิต
น้ำยาเพิ่มความชื้น (wetting agent)	ตามคู่มือการใช้ของผู้ผลิต

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	50 - 65 °C
พีเอช	3 - 5

3. การชุบชนิดพิเศษ

3.1 การชุบแบบดั่งกลิ้ง

การชุบแบบนี้จะชุบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและมีเป็นจำนวนมาก และสามารถจะเติมน้ำยาเงาเพื่อชุบแบบนิกเกิลเงาได้ด้วย ข้อดีอีกอย่าง คือ ชุบที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิของบรรยากาศ

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	150 g/l
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	30 g/l
กรดบอริก (H_3BO_3)	30 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	24 - 32 °C
พีเอช	5.0 – 5.5

3.2 การชุบแบบซัลเฟตสูง

การชุบแบบนี้สามารถจะชุบนิกเกิลเคลือบลงไปบนผิวของชิ้นงานที่เป็นโลหะผสมของสังกะสีได้โดยตรง ถึงแม้ว่าน้ำยาชุบจะมีฤทธิ์เป็นกรดก็ตาม กำลังการเคลือบผิวของการชุบแบบนี้วิธีนี้ดีกว่าการชุบแบบวัตต์

สูตรน้ำยา

นิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	100 g/l
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	30 g/l
โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)	100 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	21 - 32 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	1 – 3.5 ampere/dm ²
พีเอช	5.3 – 5.8

3.3 การชุบนิกเกิลดำ

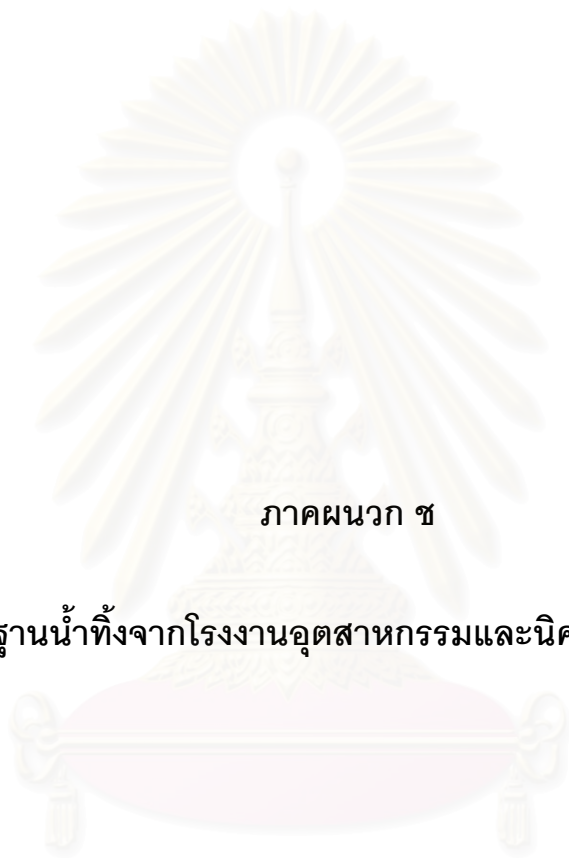
เป็นการชุบเพื่อตกแต่งผิวของชิ้นงานให้มีสีดำเงางาม มากกว่าที่จะใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

สูตรน้ำยา

นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	75 g/l
แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	30 g/l
โซเดียมไฮโอไซยาเนต (NaCNS)	15 g/l
สังกะสีคลอไรด์ (ZnCl_2)	30 g/l

ภาวะการทำงาน

อุณหภูมิ	24 - 32 °C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	0.15 ampere/dm ²
พีเอช	5.0



ภาคผนวก ช

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

“น้ำเสีย” หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

“น้ำทิ้ง” หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม หรือนิคมอุตสาหกรรม ที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

“การบำบัดน้ำเสีย” หมายความว่า กระบวนการทำหรือปรับปรุงน้ำเสียเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2535) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้ห้ามมิให้ใช้วิธีการทำให้เจือจาง

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ ผ-21

ตารางที่ ผ-21 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลดลงค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็น สมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรอง ใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัด ขณะทำการเก็บตัวอย่าง น้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	Pyridine-Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่าง แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็น สมควร แต่ไม่เกิน ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของ น้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัด ศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่ กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (BOD หรือ Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรืออาจแตกต่าง แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน

(ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
14. ค่าที่เคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (COD หรือ Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1) สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro-Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
2) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3) โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
4) ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5) แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6) แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7) ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8) นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9) แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	

(ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
10) อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption
11) ซีเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	Spectro-Photometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
12) ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Technique

แหล่งที่มาของข้อมูล : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวทัศนลักษณ์ จิระภาพันท์ เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน พ.ศ.2520 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย