การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลางและเล็ก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย สาโรช บุญยกิจสมบัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-516-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019602 I17139624

CHEMICAL TREATMENT OF WASTEWATER IN SMALL AND MEDIUM - SIZED ELECTROPLATING FACTORY

Mr. Saroch Boonyakitsombut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1993

ISBN 974-582-516-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ขนาดกลางและเล็ก

โดย นาย สาโรช บุญยกิจสมบัติ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

........................คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศ.ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

........................ประธานกรรมการ

(รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

........................กรรมการ

(รศ.ดร.ธีระ เกรอต)

........................กรรมการ

(อ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

........................กรรมการ

(อ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สาโรช บุญยกิจสมบัติ : การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลางและเล็ก (CHEMICAL TREATMENT OF WASTEWATER IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ELECTROPLATING FACTORY) อ.ที่ปรึกษา : ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 249 หน้า. ISBN 974-582-516-6

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ครอบคลุมการชุบโครเมียม การชุบทองแดง การชุบนิเกิล และการชุบสังกะสี และน้ำเสียจริงจากโรงงานเป็นกรณีตัวอย่าง น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจำแนกออกเป็น 4 ประเภท คือ น้ำเสียที่เป็นด่าง น้ำเสียที่เป็นกรด น้ำเสียที่เป็นพิษ และน้ำเสียรวม ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างด้วยน้ำเสียที่เป็นกรด กำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม ทองแดง นิเกิล และสังกะสี เปรียบเทียบการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ และเฟอร์รัสซัลเฟต ในการรีดิวซ์โครเมียมประจุบวกหกให้เป็นโครเมียมประจุบวกสาม เปรียบเทียบการใช้ปูนขาวและโซดาไฟในการกำจัดโลหะหนัก เปรียบเทียบการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ให้เป็นไซยาเนต

พบว่า การบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างด้วยน้ำเสียที่เป็นกรด สามารถลดปริมาณน้ำเสียให้เหลือเพียงร้อยละ 60.3 ของน้ำเสียรวมทั้งหมด การกำจัดโลหะหนักโดยการตกตะกอนทางเคมีจำเป็นต้องมีการกรองเพื่อให้คุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐาน ยกเว้นกรณีที่มีสังกะสีเพียงอย่างเดียว การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตก่อให้เกิดปริมาตรและความเข้มข้นตะกอนมากกว่าการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ปริมาณ 1.25 เท่า สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้อย่างสมบูรณ์ ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักของปูนขาวและโซดาไฟใกล้เคียงกัน การกำจัดโครเมียมค่าพีเอชอยู่ในช่วง 9–11 การกำจัดทองแดงค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.5–11 กำจัดนิเกิลค่าพีเอชอยู่ในช่วง 10.5–11 กำจัดสังกะสีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 9.5–11 กำจัดทองแดงนิเกิลและสังกะสีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 9.5–11 การกำจัดโลหะหนักปนกับไซยาไนด์ มีเพียงกรณีเดียวที่สามารถบำบัดได้คือ สังกะสีปนกับไซยาไนด์โดยมีค่าพีเอชในช่วง 8–10.5

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดพบว่า การใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ประมาณ 50% การใช้ปูนขาวเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเนื่องจากค่าสารเคมีและค่าบำบัดตะกอนถูกกว่าเมื่อเทียบกับโซดาไฟ การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์เสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ในทำนองเดียวกับการใช้ปูนขาว และจากกรณีตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์ การใช้บริการศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำเสียค่าใช้จ่าย 104 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าสารเคมีและค่าบำบัดตะกอนของการบำบัดน้ำเสียในโรงงานต่ำสุด 371 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และถ้าใช้น้ำยาชุบแบบไม่มีไซยาไนด์จะเสียค่าใช้จ่าย 197 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต ....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

C316821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: ELECTROPLATING / CHEMICAL TREATMENT

SAROCH BOONYAKITSOMBUT : CHEMICAL TREATMENT OF WASTEWATER IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ELECTROPLATING FACTORY. THESIS ADVISOR : PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D.

249 pp. ISBN 974-582-516-6

This study investigated treatment method of wastewater in electroplating factories. The experiments included synthetic wastewater from chromium plating, copper plating, nickel plating and zinc plating, as well as real wastewater as a case study. Wastewater from electroplating factory can be classified into 4 types, namely, alkaline wastewater, acidic wastewater, toxic wastewater and combined wastewater. The study comprises of the following tasks : neutralizing alkaline wastewater by acidic wastewater, removal of cyanide and heavy metals including chromium, copper, nickel and zinc, comparison of sodium metabisulfite and ferrous sulfate in reduction of hexavalent chromium to trivalent chromium, comparison of lime and soda ash in heavy metals removal and comparison of sodium hypochlorite and calcium hypochlorite in oxidation of cyanide to cyanate.

It was found that neutralization of alkaline wastewater by acidic wastewater can reduce total volume of wastewater to 60.3% of original volume. Chemical precipitation of heavy metals must follows with filtration to achieve effluent standard quality unless it contains only zinc. Ferrous sulfate produced greater volume and higher concentration of sludge than sodium metabisulfite. Use of sodium hypochlorite and calcium hypochlorite in proportion of 1.25 times can remove cyanide completely. The suitable pH for heavy metals are similar for lime and soda ash. The suitable pH for removal of chromium are 9-11, copper 7.5-11, nickel 10.5-11, zinc 9.5-11 and combined copper, nickel and zinc 9.5-11. To remove combined heavy metals and cyanide, only combined zinc and cyanide can be removed at pH 8-10.5.

Comparison of treatment cost showed that the use of calcium hypochlorite is cheaper than sodium hypochlorite by 50%. It is cheaper to use lime than soda ash since the chemical is cheaper and cost of sludge treatment is less. The use of sodium metabisulfite is cheaper than ferrous sulfate. The treatment service charge at the center for Industrial Waste Treatment at Samae Dam is 104 baht/cubic meter. For comparison, chemical cost and sludge treatment fee amounts to 371 baht/cubic meter, while treatment cost of non-cyanide waste amounts to 197 baht/cubic meter.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2535	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ รศ.ดร.ธีระ เกรอต อ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่กรุณาตรวจสอบและให้คำชี้แนะจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณองค์กร CDG (CARL DUISBERG-GESELLSCHAFT e.V.) SEAPO ที่กรุณามอบเงินอุดหนุนตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วน สานชัยอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและอำนวยความสะดวกทุกอย่างในการศึกษากระบวนการชุบโลหะ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์โลหะหนัก

ขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ อวยชัยเจริญ ที่ชี้แนะและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณพี่ๆ และน้องๆ ที่มอบความรักและความห่วงใย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. ง

กิตติกรรมประกาศ.. จ

สารบัญเรื่อง... ฉ

สารบัญตาราง.. ฌ

สารบัญรูป.. ฎ

บทที่

1 บทนำ... 1

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.................................. 3

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.. 3

2.2 ขอบเขตการวิจัย.. 3

3 ทบทวนเอกสาร.. 4

3.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า... 4

3.2 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสีย..................................... 10

3.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ.............................. 14

3.4 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย..................................... 19

3.5 การกำจัดไซยาไนด์.. 20

3.6 การรีดิวซ์โครเมียมประจุบวกหก.................................... 23

3.7 การตกผลึกทางเคมีของโลหะหนัก.................................... 26

3.8 การแยกของแข็งออกจากน้ำทิ้ง..................................... 27

3.9 การศึกษาที่เกี่ยวกับการบำบัดทางเคมีน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ.......... 31

3.10 ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้บริการศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ.......... 44

3.11 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม.............. 47

4 แผนการดำเนินการวิจัย... 49

4.1 การสำรวจแหล่งที่มา วัดปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย........... 50

4.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างโดยใช้น้ำเสียที่เป็นกรด............. 51

4.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักและไซยาไนด์..................... 52

4.3.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเพียงชนิดเดียวหรือไซยาไนด์...... 52

4.3.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนกันหรือมีไซยาไนด์..... 58

บทที่ หน้า

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้น้ำเสียจริง................. 63
4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม........... 64
4.6 วิธีการวิเคราะห์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย............... 64
5 ผลการทดลองและวิจารณ์.. 66
5.1 การสำรวจแหล่งที่มา วัดปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย........... 66
5.1.1 โรงงานที่ 1.. 66
5.1.2 โรงงานที่ 2.. 74
5.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่าง โดยใช้น้ำเสียที่เป็นกรด............. 80
5.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักและไซยาไนด์.................. 82
5.3.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม................................ 82
5.3.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง................................ 93
5.3.3 การบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล.................................. 98
5.3.4 การบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี................................ 105
5.3.5 การบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิล และสังกะสี............. 110
5.3.6 การบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์.............................. 116
5.3.7 การบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงและไซยาไนด์................... 116
5.3.8 การบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์................... 119
5.3.9 การบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิล สังกะสีและไซยาไนด์...... 121
5.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้น้ำเสียจริง................ 124
5.4.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 1 (สังกะสีและไซยาไนด์) 124
5.4.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 2 (นิเกิลและไซยาไนด์). 127
5.4.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 2 (นิเกิล)............ 129
5.5 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักและไซยาไนด์............. 130
5.5.1 สรุปค่าพีเอชที่เหมาะสม ปริมาณสารเคมีที่ใช้ และตะกอนที่เกิด ในการบำบัดน้ำเสียทางเคมี.................................. 130
5.5.2 การบำบัดน้ำเสียโดยส่งศูนย์ฯ............................. 130
5.5.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยโรงงาน.......... 130
5.5.4 ขนาดพื้นที่ที่ต้องการและพลังงานที่ใช้ในระบบ.............. 153
5.5.5 ค่าก่อสร้าง อุปกรณ์ การบำรุงรักษาและควบคุมระบบ......... 154
5.5.6 การเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์.......................... 154

บทที่

5.5.7 กรณีตัวอย่างการเปรียบเทียบทางเลือก.................. 155

6 สรุปผลการวิจัย.. 157

6.1 บทสรุป.. 157

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป......................... 162

เอกสารอ้างอิง.. 163

ภาคผนวก ก.. 166

ภาคผนวก ข.. 170

ภาคผนวก ค.. 175

ภาคผนวก ง.. 179

ภาคผนวก จ.. 182

ภาคผนวก ฉ.. 185

ภาคผนวก ช.. 187

ภาคผนวก ซ.. 225

ประวัติผู้เขียน.. 231

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงจำนวนโรงงานประเภททำผลิตภัณฑ์โลหะสำเร็จรูปด้วยวิธีเคลือบ หรือลงรัก หรือชุบ หรือขัด.............................. 1
3.1 แสดงช่วงของความเข้มข้นของมลสารในโรงงานชุบโลหะ.............. 13
3.2 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ.............................. 14
3.3 สรุปข้อมูลการทำงานของโรงงานชุบโลหะ......................... 15
3.4 ตารางแสดงปริมาณและลักษณะน้ำเสียจำนวน 20 โรงงาน ในกรุงเทพฯ... 16
3.5 ความสามารถในการทนต่อระดับความเป็นพิษของโลหะหนักและสารประกอบโลหะหนัก.................................. 18
3.6 ความสามารถในการทนต่อโลหะหนักของกระบวนการตะกอนเร่ง.......... 17
3.7 แสดงสารเคมีและสมการเคมีในการกำจัดไซยาไนด์.................. 21
3.8 สารเคมีและปฏิกิริยาที่ใช้ในการรีดิวซ์โครเมียมบวกหก................ 24
3.9 แสดงปริมาณสารเคมีทางทฤษฎีที่ต้องใช้ในการกำจัดโครเมียมบวกหก 1 มก./ล.................................. 25
3.10 แสดงค่าพีเอชและค่าศักย์ออกซิเดชั่นรีดักชั่น (ORP) ของสารแต่ละตัว..... 25
3.11 แสดงความแตกต่างของการกรองทรายช้าและการกรองทรายเร็ว........ 30
3.12 ราคาค่าสารเคมีในการตกตะกอนทางเคมี......................... 35
3.13 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ในน้ำเสียชุบโลหะ...................... 37
3.14 ตารางรวบรวมวิธีและผลการกำจัดไซยาไนต์โดยวิธีต่าง ๆ............ 37
3.15 สรุปการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมประจุบวกหก..................... 38
3.16 สรุปการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมประจุบวกสาม.................... 39
3.17 ความสามารถในการละลายและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีน้ำเสียโรงงานชุบทองแดง.............................. 39
3.18 ผลการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบทองแดง........................... 40
3.19 ผลของพีเอชต่อการบำบัดตะกั่ว................................. 40
3.20 สรุปวิธีการและประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว..................... 41
3.21 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการละลายของนิเกิล................. 41
3.22 สรุปผลการตกตะกอนทางเคมีของน้ำเสียโรงงานชุบนิเกิล.............. 42
3.23 สรุปการตกตะกอนทางเคมีของน้ำเสียโรงงานชุบสังกะสี............... 43
3.24 ค่าบริการสูงสุดที่เอกชนผู้ดำเนินการสามารถเก็บจากโรงงาน........... 45

ตารางที่ หน้า

4.1 ตารางแสดงประเภทของน้ำเสียและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์............ 50

4.2 ตารางแสดงชนิดของสารเคมีและลักษณะการใช้งาน.................. 52

4.3 ตารางแสดงพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์...................... 64

5.1 ตารางสรุปลักษณะน้ำเสียแยกตามประเภทน้ำเสียของโรงงานที่ 1........ 73

5.2 ตารางสรุปลักษณะน้ำเสียแยกตามประเภทน้ำเสียของโรงงานที่ 2........ 79

5.3 ตารางแสดงผลการบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างด้วยน้ำเสียที่เป็นกรด.......... 80

5.4 ตารางแสดงการประยุกต์ใช้ในโรงงานที่ 1........................ 82

5.5 ตารางแสดงผลการรีดิวส์โครเมียมประจุบวกหก
โดย $Na_2S_2O_5$ กับ $FeSO_4$................................. 83

5.6 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม
เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ NaOH................................ 85

5.7 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม
เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ $Ca(OH)_2$............................. 87

5.8 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม
เมื่อใช้ $FeSO_4$ กับ NaOH................................... 89

5.9 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม
เมื่อใช้ $FeSO_4$ กับ $Ca(OH)_2$................................ 91

5.10 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง เมื่อใช้ NaOH.............. 94

5.11 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$........... 96

5.12 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล เมื่อใช้ NaOH................ 99

5.13 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$............ 102

5.14 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี เมื่อใช้ NaOH.............. 106

5.15 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$........... 108

5.16 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี นิเกิล ทองแดง เมื่อใช้ NaOH.. 111

5.17 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี นิเกิล ทองแดง
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$.. 114

5.18 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์
เมื่อใช้ NaOCl และ $Ca(OCl)_2$............................... 117

5.19 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงและไซยาไนด์
เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4........................... 119

ตารางที่ หน้า

5.20 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์ เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 121
5.21 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี ทองแดง นิเกิล และไซยาไนด์ เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 124
5.22 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียโรงงานที่ 1 (สังกะสีและไซยาไนด์)..... 125
5.23 ตารางสรุปผลการบำบัดน้ำเสียโรงงานที่ 2 (นิเกิลและไซยาไนด์)...... 127
5.24 แสดงราคาสารเคมี.................................... 145
5.25 ความเข้มข้นโครเมียม 200 มก/ล......................... 145
5.26 ความเข้มข้นโครเมียม 500 มก/ล......................... 146
5.27 ความเข้มข้นทองแดง 200 มก/ล.......................... 147
5.28 ความเข้มข้นทองแดง 500 มก/ล.......................... 147
5.29 ความเข้มข้นทองแดง 1000 มก/ล......................... 148
5.30 ความเข้มข้นนิเกิล 200 มก/ล........................... 148
5.31 ความเข้มข้นนิเกิล 500 มก/ล........................... 149
5.32 ความเข้มข้นนิเกิล 1000 มก/ล.......................... 149
5.33 ความเข้มข้นสังกะสี 200 มก/ล.......................... 150
5.34 ความเข้มข้นสังกะสี 500 มก/ล.......................... 150
5.35 ความเข้มข้นสังกะสี 1000 มก/ล......................... 151
5.36 ความเข้มข้น 200 มก/ล................................ 151
5.37 ความเข้มข้น 500 มก/ล................................ 152
5.38 ความเข้มข้น 1000 มก/ล............................... 152
5.39 ค่าสารเคมีและค่ากำจัดตะกอนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานที่ 1......... 155
6.1 สรุปลักษณะของน้ำเสียโรงงานที่ 1............................ 157
6.2 สรุปลักษณะของน้ำเสียโรงงานที่ 2............................ 158
6.3 สรุปผลการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในการกำจัดโลหะหนัก..... 159
6.4 สรุปค่าสารเคมีและบำบัดตะกอนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ..... 160
6.5 สรุปค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียในแต่ละวิธีสำหรับโรงงานที่ 1........ 161

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงการต่อของส่วนต่างๆ ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..................	4
3.2	แสดงขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย..................	6
3.3	ขั้นตอนการชุบโครเมียมบนชิ้นงานประเภทต่างๆ..................	9
3.4	แสดงขั้นตอนการชุบโครเมียมอย่างแข็ง..................	10
3.5	แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบสังกะสี..................	11
3.6	แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบโครเมียม..................	12
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซยาไนต์และกาซไฮโดรเจนไซยาไนต์ ที่ค่าพีเอชต่างๆ..................	21
3.8	ผลกระทบของพีเอชต่อการเปลี่ยนไซยาโนเจนคลอไรด์เป็นโซเดียมไซยาเนต.	22
3.9	ผลของพีเอชที่มีต่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโครเมียมบวกหก........	24
3.10	ช่วงพีเอชสำหรับการกำจัดโครเมียมประจุบวกสาม..................	27
3.11	ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่พีเอชต่างๆ..................	28
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการละลายน้ำของ โลหะหนักต่างๆ..................	29
3.13	การตกตะกอนทางเคมีด้วยการควบคุมพีเอชโดยการใช้ปูนขาว............	32
3.14	การตกตะกอนทางเคมีด้วยการควบคุมพีเอชโดยการใช้โซดาไฟ...........	33
3.15	แผนผังแสดงการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ..................	34
3.16	ค่าใช้จ่ายในการใช้บริการศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ น้ำเสียประเภท 1...	46
3.17	ค่าใช้จ่ายในการใช้บริการศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ น้ำเสียประเภท 2...	46
4.1	แผนผังแสดงขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย..................	49
4.2	แผนภาพแสดงการบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างด้วยน้ำเสียที่เป็นกรด............	51
4.3	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม..................	53
4.4	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง..................	54
4.5	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล..................	55
4.6	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี..................	56
4.7	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์..............	57
4.8	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมและตะกั่ว.......	58
4.9	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงและไซยาไนด์.....	59
4.10	แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์......	60

รูปที่ หน้า
4.11 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิลและสังกะสี.. 61
4.12 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิล สังกะสีและไซยาไนด์.................................. 62
4.13 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียจริง.................. 63
5.1 แผนผังแสดงสภาพการใช้พื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงานที่ 1.......... 67
5.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน แหล่งที่มาของน้ำเสีย และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงานที่ 1.............................. 67
5.3 รูปแสดงบริเวณที่เก็บชิ้นงานก่อนและหลังชุบ......................... 68
5.4 รูปแสดงชิ้นงานเตรียมทำความสะอาดเบื้องต้น........................ 68
5.5 รูปแสดงถังด่างร้อน สำหรับกำจัดไขมัน น้ำมัน ที่ผิวชิ้นงาน............. 69
5.6 รูปแสดงการล้างชิ้นงาน หลังจากแช่ในถังด่างร้อน.................... 69
5.7 รูปแสดงการล้างชิ้นงาน หลังจากแช่ในถังกรด........................ 70
5.8 รูปแสดงถังชุบสังกะสี.. 70
5.9 รูปแสดงการล้างชิ้นงานหลังชุบแล้วย้อมสี............................ 71
5.10 รูปแสดงชิ้นงานถูกผึ่งลมให้แห้ง.................................... 71
5.11 แผนผังแสดงการใช้พื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงานที่ 2............. 74
5.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน แหล่งที่มาของน้ำเสีย และจุดเก็บตัวอย่างในโรงงานที่ 2.............................. 75
5.13 รูปแสดงชิ้นงานแช่ในถังกรด.. 76
5.14 รูปแสดงชิ้นงานแช่ในถังด่างร้อน.................................... 76
5.15 รูปแสดงบริเวณล้างชิ้นงานด้วยผงซักฟอก............................ 77
5.16 รูปแสดงการกำจัดด่างด้วยไฟฟ้า.................................... 77
5.17 รูปแสดงถังชุบนิเกิล.. 78
5.18 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างด้วยน้ำเสียที่เป็นกรด................ 81
5.19 รูปแสดงการรีดิวส์โครเมียมประจุบวกหกโดยใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ $FeSO_4$..... 83
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมทั้งหมด เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ NaOH.................................. 85
5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมละลาย เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ NaOH.................................. 86

รูปที่ หน้า

5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมทั้งหมด เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ $Ca(OH)_2$ 87

5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมละลาย เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ $Ca(OH)_2$ 88

5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียม ตะกั่ว เมื่อใช้ $Na_2S_2O_5$ กับ $Ca(OH)_2$ 88

5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมทั้งหมด เมื่อใช้ $FeSO_4$ กับ NaOH 90

5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมละลาย เมื่อใช้ $FeSO_4$ กับ NaOH 90

5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมทั้งหมด เมื่อใช้ $FeSO_4$ กับ $Ca(OH)_2$ 92

5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณโครเมียมละลาย เมื่อใช้ $FeSO_4$ กับ $Ca(OH)_2$ 92

5.29 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง ด้วย NaOH และ $Ca(OH)_2$ 93

5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดงทั้งหมด เมื่อใช้ NaOH 95

5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดงละลาย เมื่อใช้ NaOH 95

5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดงทั้งหมด เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ 97

5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดงละลาย เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ 97

5.34 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล ด้วย NaOH และ $Ca(OH)_2$ 98

5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลทั้งหมด เมื่อใช้ NaOH 100

5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลละลาย เมื่อใช้ NaOH 100

5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลทั้งหมด เมื่อใช้ NaOH (ขยายรูปที่ 5.35) 101

รูปที่ หน้า

5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลละลาย
เมื่อใช้ NaOH (ขยายรูปที่ 5.36)............................ 101
5.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลทั้งหมด
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$.. 103
5.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลละลาย
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$.. 103
5.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลทั้งหมด
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ (ขยาย)................................. 104
5.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลละลาย
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ (ขยาย)................................. 104
5.43 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี ด้วย NaOH และ $Ca(OH)_2$......... 105
5.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสีทั้งหมด
เมื่อใช้ NaOH... 107
5.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสีละลาย
เมื่อใช้ NaOH... 107
5.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสีทั้งหมด
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$.. 109
5.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสีละลาย
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$.. 109
5.48 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี ทองแดงและนิเกิล
ด้วย NaOH และ $Ca(OH)_2$.................................. 110
5.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิล
เมื่อใช้ NaOH... 112
5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดง
เมื่อใช้ NaOH... 112
5.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสี
เมื่อใช้ NaOH... 113
5.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิล
เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$.. 114

รูปที่ หน้า

5.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดง เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ 115

5.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสี เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ 115

5.55 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงและไซยาไนด์ เมื่อใช้ NaOCl 1.25 เท่า และ 1.5 เท่า........................ 118

5.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดง เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 118

5.57 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์ เมื่อใช้ NaOCl 1.25 เท่า และ 1.5 เท่า........................ 120

5.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสี เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 120

5.59 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี ทองแดง นิเกิลและไซยาไนด์ เมื่อใช้ NaOCl 1.25 เท่า และ 1.5 เท่า........................ 122

5.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณทองแดง เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 122

5.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิล เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 123

5.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสี เมื่อใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4 123

5.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสีทั้งหมด ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 1 (สังกะสีและไซยาไนด์)........... 126

5.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณสังกะสีละลาย ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 1 (สังกะสีและไซยาไนด์)........... 126

5.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลทั้งหมด ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 2 (นิเกิลและไซยาไนด์)............ 128

5.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิลละลาย ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 2 (นิเกิลและไซยาไนด์)............ 128

5.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ ปริมาณนิเกิล ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ 2 (นิเกิล)..................... 129

รูปที่ หน้า

5.68 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม โดยใช้ $Na_2S_2O_5$ และ NaOH.............. 131
5.69 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม โดยใช้ $Na_2S_2O_5$ และ $Ca(OH)_2$........... 132
5.70 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม โดยใช้ $FeSO_4$ และ NaOH 133
5.71 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม โดยใช้ $FeSO_4$ และ $Ca(OH)_2$............. 134
5.72 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง โดยใช้ NaOH.......................... 135
5.73 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง โดยใช้ $Ca(OH)_2$........................ 136
5.74 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล โดยใช้ NaOH............................ 137
5.75 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล โดยใช้ $Ca(OH)_2$......................... 138
5.76 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี โดยใช้ NaOH........................... 139
5.77 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี โดยใช้ $Ca(CH)_2$........................ 140
5.78 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิล และสังกะสี โดยใช้ NaOH............. 141
5.79 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิล และสังกะสี โดยใช้ $Ca(OH)_2$.......... 142
5.80 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์ โดยใช้ NaOCl และ H_2SO_4....... 143
5.81 กราฟสรุป พีเอชที่เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียจริงที่มีสังกะสีและไซยาไนด์ (โรงงานที่ 1) โดยใช้ NaOH NaOCl และ H_2SO_4................................. 144