ภาวะเหมาะสมสำหรับการละลายตะกอนผลึกโครเมียมเพื่อใช้ใหม่ในการฟอกโครม

นางสาวศศิธร เจริญวิเศษศิลป์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2536

ISBN 974-583-357-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019134
i17385969

OPTIMUM CONDITION FOR DISSOLUTION OF CHROMIUM PRECIPITATE FOR REUSE IN CHROME TANNING

Miss. Sasithorn Charoen-wisedsin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ISBN 974-583-357-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ภาวะเหมาะสมในการละลายตะกอนผลิกโครเมียมเพื่อใช้ใหม่ในการฟอกโครม
โดย	นส.ศศิธร เจริญวิเศษศิลป์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุรี ชาวเชียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศศิธร เจริญวิเศษศิลป์ : ภาวะเหมาะสมในการละลายตะกอนผลึกโครเมียมเพื่อใช้ใหม่ในการฟอกโครม (OPTIMUM CONDITION FOR DISSOLUTION OF CHROMIUM PRECIPITATE FOR REUSE IN CHROME TANNING) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 188 หน้า. ISBN 974-583-357-6

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงภาวะเหมาะสมในการละลายตะกอนผลึกโครเมียมด้วยกรดซัลฟุริกให้เป็นสารละลายโครเมียม III ซัลเฟต เพื่อการใช้ใหม่ในการฟอกโครมโดยนำน้ำเสียฟอกโครมที่ไม่มีและมีสารช่วยตรึงมาตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีประเภทต่าง ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว ตะกอนผลึกในรูปสลัดจ์ได้ถูกนำมาละลายด้วยกรดซัลฟุริกเข้มข้น ส่วนกากตะกอนได้ละลายด้วยกรดซัลฟุริกเจือจาง 1 + 4 ทำการศึกษาแบบแผนการละลายตะกอนผลึกโครเมียมและเปรียบเทียบการละลายแบบเพิ่มอุณภูมิห้องด้วย

พบว่าการละลายของตะกอนผลึกโครเมียมขึ้นอยู่กับเวลา ทั้งนี้เวลาที่เหมาะสมในการละลายสลัดจ์แบบมีการกวนต่อเนื่อง สลัดจ์แบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก กากตะกอนแบบมีการกวนต่อเนื่อง และกากตะกอนแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก คือ 60, 60, 60 และ 90 นาทีตามลำดับ การละลายตะกอนผลึกโครเมียมขึ้นอยู่กับพีเอชโดยละลายได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 3.5 การเติมกรดมากขึ้นไม่ช่วยให้ประสิทธิภาพการนำกลับมากขึ้นและยังทำให้มีพีเอชต่ำเกินไปด้วย การกวนต่อเนื่องช่วยให้ประสิทธิภาพการนำกลับดีขึ้นเฉพาะตะกอนผลึกบางประเภทเท่านั้น ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมจากการละลายตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 70.7 - 94.2 % ในสภาพการละลายที่มีการเติมกรดซัลฟุริกในปริมาณที่เหมาะสมแล้วการเพิ่มอุณภูมิไม่ช่วยให้ประสิทธิภาพการนำกลับดีขึ้น ในการละลายตะกอนผลึกจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นโครเมียมสูงกว่าน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง โดยสลัดจ์ที่ให้สารละลายที่มีความเข้มข้นโครเมียมสูงที่สุด (ประมาณ 13,346 มก./ล.) คือสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ การละลายกากตะกอนแต่ละประเภทได้สารละลายที่มีความเข้มข้นโครเมียมใกล้เคียงกันคือ 31,824-46-216 มก./ล. การละลายตะกอนผลึกแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงต้องการกรดซัลฟุริกมากที่สุด คือ 3.0-3.8 เท่าของค่าความต้องการทางทฤษฎี

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีในการนำกลับโครเมียม พบว่าการนำกลับโครเมียมจากตะกอนผลึกแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคือ 28 - 40 บาทต่อกก. โครเมียมที่นำกลับมาได้ หรือ 82 - 86 บาท/ลบ.ม. น้ำเสีย ในกรณีน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงการนำกลับโครเมียมจากตะกอนผลึกแมกนีเซียมออกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ไม่คุ้มต่อการลงทุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C417001 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: : CHROME TANNING / CHROMIUM RECOVERY / CHROME POLLUTION
SASITHORN CHAROENWISEDSIN : OPTIMUM CONDITION FOR DISSOLUTION OF CHROMIUM PRECIPITATE FOR REUSE IN CHROME TANNING.
THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph. D. 188 pp. ISBN 974-583-357-6

This study was to determine the optimum condition for dissolution of Cr precipitate by sulphuric acid treatment. The resulted chrome(III) sulfate could be recovered and subsequently reused directly in the chrome-tanning process. The wastewaters with and without tanning additive were collected from two local factories and treated with MgO, Na_2CO_3 and MgO + $Ca(OH)_2$ solutions. The precipitated sludge and the subsequent dewatered cake were dissolved (under continuous-mixing and no-mixing conditions at room and raised temperatures) with conc. H_2SO_4 and 1+4 H_2SO_4 solutions, respectively.

The required dissolution time for chrome cake under no-mixing condition was 90 min whereas in other conditions the corresponding time was only 60 min. The pH lower than 3.5 was found to be optimal for the dissolution purpose and the recovery efficiency was as high as 70.7-94.2 % while the raised temperature did not have significant effect on the dissolution performance. The recovered $Cr_2(SO_4)_3$ solution was 13,376 mg/l and 31,824-46,216 mg/l concentrated for the scenarios of acid treatment of sludge and cake, respectively. The acid requirement was highest at 3.0-3.8 times stoichiometric value, for the case of Cr sludge resulting from MgO treatment of wastewater from 'with-additive' tanning process. The best condition found in this study was to recover chrome from precipitate got from MgO+$Ca(OH)_2$ treatment of 'non-additive' tanning wastewater, with the least cost of 28-40 baht/Kg Cr or 82-86 baht/m^3 of wastewater. On the other hand, in the 'with-additive' tanning, the recovery cost was normally high, making the process not very attractive.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่มีคุณค่ายิ่ง ตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์อรทัย ชาวาลภาฤทธิ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณองค์กร Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH ที่ให้ทุนอุดหนุนตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

ขอขอบคุณมิสเตอร์เบร์นฮาร์ด ไมย์ฮอฟเฟอร์ และคุณบุญสม ลิ่วศรีวิไล ที่กรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการวิจัย

ขอขอบคุณโรงงานบุรารักษ์และโรงงานไพโรจน์ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างน้ำเสียตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของโครงการวิจัยการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังและภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความสะดวกและความช่วยเหลือในงานวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้ความรัก ความห่วงใย และกรุณาสนับสนุนการศึกษาด้วยดีมาตลอด ขอกราบขอบพระคุณ ครู อาจารย์ ที่ถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการ และเมตตาอบรมสั่งสอนด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณและขอบใจพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยอย่างเต็มที่จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญเรื่อง..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

สารบัญภาพ..... ด

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย..... 5

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 5

2.2 ขอบเขตการวิจัย..... 5

3 ทบทวนเอกสาร..... 7

3.1 เคมีของโครเมียม..... 7

3.2 ความเป็นพิษของโครเมียม..... 10

3.3 การฟอกหนัง..... 11

3.3.1 เคมีของการฟอกหนัง..... 11

3.3.2 กระบวนการฟอกหนัง..... 12

3.3.3 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง..... 15

3.4 กระบวนการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนัง..... 16

3.4.1 การศึกษาที่ผ่านมา..... 18

3.4.2 การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์..... 25

4 แผนการวิจัยและการดำเนินงานวิจัย..... 27

4.1 แผนการวิจัย..... 27

4.2 การดำเนินการวิจัย..... 30

4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะและการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย..... 30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.2.2 การรวบรวมโครเมียมให้อยู่ในรูปตะกอนผลึก	31
	4.2.3 การแยกน้ำส่วนบนออกจากตะกอนผลึกและการเตรียมกากตะกอน	32
	4.2.4 การละลายตะกอนผลึกโครเมียม	32
5	ผลการทดลองและวิจารณ์	37
	5.1 การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากการฟอกโครม	37
	5.2 การทดสอบการตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริง	41
	5.3 การทดสอบการตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง	45
	5.4 การสร้างแบบแผนการละลายตะกอนผลึกที่อุณหภูมิห้อง	48
	5.4.1 การทดสอบโดยใช้น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริง	49
	5.4.2 การทดสอบโดยใช้น้ำเสียที่มีสารช่วยตริง	57
	5.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมที่อุณหภูมิห้อง	66
	5.5.1 การทดสอบโดยใช้น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริง	70
	5.5.2 การทดสอบโดยใช้น้ำเสียที่มีสารช่วยตริง	84
	5.6 การสร้างแบบแผนการละลายตะกอนผลึกแบบเพิ่มอุณหภูมิ	96
	5.7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำกลับโครเมียมแบบเพิ่มอุณหภูมิ	100
	5.8 การนำไปใช้งาน	106
	5.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและความคุ้มทุน	108
6	สรุปผลการวิจัย	114
	6.1 บทสรุป	114
	6.2 ข้อเสนอแนะ	118
เอกสารอ้างอิง		119
ภาคผนวก ก		124
ภาคผนวก ข		130
ภาคผนวก ค		135
ภาคผนวก ง		143

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก จ..... 148
ประวัติผู้เขียน..... 172

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังในประเทศต่าง ๆ.....	17
3.2	การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ของกระบวนการนำกลับโครเมียมมาใช้ใหม่.....	26
4.1	ผลการทดสอบการตกตะกอนผลิกโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังด้วยสารเคมีประเภทต่าง ๆ.....	30
5.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียจากการฟอกโครมของโรงงานไพโรจน์และโรงงานบุรารักษ์ในช่วงเดือนเมษายน 2535 ถึง กุมภาพันธ์ 2536...	38
5.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำส่วนบน น้ำกรอง สลัดจ์ และกากตะกอนจากการทดสอบการตกตะกอนผลิกโครเมียมจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงด้วยสารเคมีต่าง ๆ.....	42
5.3	ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำส่วนบน น้ำกรอง สลัดจ์ และกากตะกอนจากการทดสอบการตกตะกอนผลิกโครเมียมในน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงด้วยสารเคมีต่าง ๆ.....	46
5.4	ลักษณะของสารละลายที่ได้จากการละลายตะกอนผลิกประเภทต่าง ๆ.....	107
5.5	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉพาะราคาสารเคมีในการนำกลับโครเมียมจากตะกอนผลิกประเภทต่าง ๆ.....	109
6.1	สรุปผลการทดสอบการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียฟอกโครม.....	116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตหนังสำเร็จ.....	2
3.1	ความสามารถในการละลายของโครเมียมIIIตามทฤษฎีเทียบกับพีเอช....	9
3.2	โครงสร้างอย่างง่ายของโปรตีนคอลลาเจนที่พีเอชต่าง ๆ.....	12
3.3	โครงสร้างทางเคมีของเฟอลิเดิร์ม ซีเอส.....	12
3.4	การทำปฏิกิริยาของโครเมียมกับผิวหนังสัตว์แบบไม่มีสารช่วยตริงและมีสารช่วยตริง.....	13
3.5	ขั้นตอนการฟอกหนังในประเทศไทย.....	14
4.1	แผนผังการวิจัย.....	28
4.2	ขั้นตอนการทดลองการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนัง.....	29
4.3	ขั้นตอนการละลายตะกอนผลึกแต่ละประเภทที่สภาวะต่าง ๆ.....	33
5.1	แบบแผนการกรองของตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริง.....	45
5.2	แบบแผนการกรองของตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง.....	48
5.3	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	51
5.4	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	51
5.5	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	53
5.6	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	53
5.7	แบบแผนการละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	54
5.8	แบบแผนการละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.9	แบบแผนการละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	56
5.10	แบบแผนการละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	56
5.11	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	58
5.12	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	58
5.13	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	59
5.14	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก...	59
5.15	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	61
5.16	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	61
5.17	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	62
5.18	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	62
5.19	แบบแผนการละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	64
5.20	แบบแผนการละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	64
5.21	แบบแผนการละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	65
5.22	แบบแผนการละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสีย	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
	ที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	65
5.23	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจาก น้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	67
5.24	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจาก น้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	67
5.25	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่อง.....	68
5.26	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	68
5.27	เปรียบเทียบผลการทดสอบการละลายสลัดจ์ประเภทต่าง ๆ จาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริง.....	71
5.28	เปรียบเทียบผลการทดสอบการละลายกากตะกอนประเภทต่าง ๆ จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริง.....	72
5.29	การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่ อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	74
5.30	การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วย ตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	75
5.31	การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตริงที่ อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	77
5.32	การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วย ตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	79
5.33	การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสาร ช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก..	81
5.34	การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มี สารช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอน แรก.....	83
5.35	เปรียบเทียบผลการทดสอบการละลายสลัดจ์ประเภทต่าง ๆ จาก	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
	น้ำเสียที่มีสารช่วยตริง.....	85
5.36	เปรียบเทียบผลการทดสอบการละลายกากตะกอนประเภทต่าง ๆ จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง.....	86
5.37	การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง ที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	88
5.38	การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง ที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	90
5.39	การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง ที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	91
5.40	การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตริง ที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	93
5.41	การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่มีสารช่วย ตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก.....	95
5.42	การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่มีสาร ช่วยตริงที่อุณหภูมิห้องแบบมีการกวนต่อเนื่องและมีการกวนเฉพาะตอนแรก..	97
5.43	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วย ตริงโดยละลายแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง.....	98
5.44	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มี สารช่วยตริงโดยละลายแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง.....	98
5.45	แบบแผนการละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสาร ช่วยตริงโดยละลายแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง.....	99
5.46	แบบแผนการละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสาร ช่วยตริงโดยละลายแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง.....	99
5.47	แบบแผนการละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสีย ที่ไม่มีสารช่วยตริงโดยละลายแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง.....	101
5.48	แบบแผนการละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสีย ที่ไม่มีสารช่วยตริงโดยละลายแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง.....	101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.49 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง..... 103

5.50 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง..... 103

5.51 การละลายสลัดจ์โซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง..... 104

5.52 การละลายกากตะกอนโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง..... 104

5.53 การละลายสลัดจ์แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง..... 105

5.54 การละลายกากตะกอนแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงแบบเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนต่อเนื่อง..... 105

5.55 ค่าใช้จ่ายต่อกก.โครเมียมที่นำกลับได้จากการละลายตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ ในน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง..... 110

5.56 ค่าใช้จ่ายต่อกก.โครเมียมที่นำกลับได้จากการละลายตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ ในน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึง..... 111

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
5.1	ลักษณะน้ำเสียจากการฟอกโครม.....	39
5.2	การตกตะกอนของตะกอนผลึกประเภทต่าง ๆ จากน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึง.....	39
5.3	น้ำกรองจากการเตรียมกากตะกอน.....	44
5.4	ลักษณะกากตะกอนประเภทต่าง ๆ.....	44
5.5	ลักษณะสารละลายที่ได้จากการละลายสลัดจ์ประเภทต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง..	50
5.6	ลักษณะสารละลายที่ได้จากการละลายกากตะกอนประเภทต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง.....	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย