

การตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียพอกหนึ่งโดยการบำบัดด้วยด่าง



นางสาวเขาวนุช สุจริตธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-952-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019377

117๙๒๑๑๑๑

PRECIPITATION OF CHROMIUM FROM TANNING WASTEWATER
BY ALKALI TREATMENT



Miss Yaowanud Sucharittham

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 974-582-952-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

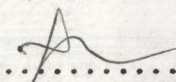
การตกตะกอนพอลิโครเมียมจากน้ำเสียพอกหนึ่งโดยการบำบัดด้วยค่า
นางสาว เขาวนุช สุจริตธรรม
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์

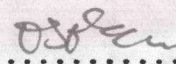


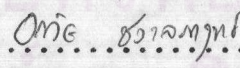
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้เนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

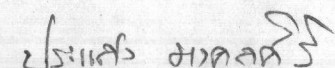

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุวีร์ ชาวเชียร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เยาวชนช สุจริตธรรม : การตกตะกอนฟลักโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยการบำบัดด้วยด่าง
(PRECIPITATION OF CHROMIUM FROM TANNING WASTEWATER BY ALKALI
TREATMENT) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 139 หน้า. ISBN 974-582-952-8

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการตกตะกอนฟลักโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังโดยใช้สารเคมีประเภทต่าง 3 ชนิด คือ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และปูนขาวซึ่งจะใช้ร่วมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และสารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุลบ บวก และไร้ประจุ ในการศึกษานี้ได้ใช้น้ำฟอกโครม 2 ชนิด คือ มีและไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม

พบว่า การตกตะกอนฟลักโครเมียมโดยใช้น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม ใช้สารตกตะกอนฟลักน้อยกว่า และไม่ต้องใช้สารรวมตะกอน เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ใช้ 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก แมกนีเซียมออกไซด์อ่อนใช้ 2 เท่า โซเดียมคาร์บอเนตใช้ 2 เท่า และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวใช้อัตราส่วน 0.5 ต่อ 0.8 เท่า ส่วนน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม ปริมาณสารตกตะกอนฟลักที่ใช้ คือ แมกนีเซียมออกไซด์ใช้ 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก แมกนีเซียมออกไซด์อ่อนใช้ 4 เท่า โซเดียมคาร์บอเนตใช้ 3 เท่า และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เท่า ดังนั้นค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีจึงน้อยกว่าน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม

ประสิทธิภาพในการตกตะกอนฟลักโครเมียม หรืออีกนัยหนึ่งการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด โดยใช้สารตกตะกอนฟลักทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน คือ 98-100 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณตะกอนฟลักไม่เท่ากัน โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ โซเดียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว และแมกนีเซียมออกไซด์ พิเศษที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมของแมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์อ่อน โซเดียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาว คือ 8.4-8.5, 8.9, 8.2 และ 7.4-7.5 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม พิเศษที่เหมาะสมเท่ากับ 8.5, 8.6, 8.6 และ 7.8 ตามลำดับ และการใช้แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับปูนขาวจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดประมาณ 55 บาทต่อลูกบาศก์เมตร



ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิติ เยาวชน สุจริตธรรม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [Signature]
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

C417075 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: CHROMIUM / PRECIPITATION / TANNERY WASTEWATER / RECYCLE
YAOWANUD SUCHARITTHAM : PRECIPITATION OF CHROMIUM FROM TANNING
WASTEWATER BY ALKALI TREATMENT. THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI
PANSWAD , Ph.D. 139 pp. ISBN 974-582-952-8

This research was to find optimum condition and efficiency of chromium precipitation from tanning wastewater by 3 alkalies and 3 flocculation agents. The 3 alkalies were MgO, Na₂CO₃ and Ca(OH)₂ + MgO, while the 3 flocculation agents were anionic, cationic and nonionic polymer. The experiments were carried out using 2 kinds of tanning wastewaters, ie. with and without chromium fixing additives.

It was found that the treatment of tanning wastewater without chromium fixing additive required 2x of MgO, heated MgO and Na₂CO₃, when x was the stoichiometric precipitation requirement. However, if MgO + Ca(OH)₂ were used, the ratio should be 0.5x and 0.8x. Whereas treatment of tanning wastewater with chromium fixing additive required 4x of MgO, 4x of heated MgO, 3x of Na₂CO₃ and 1x of MgO : 1x of Ca(OH)₂.

Furthermore, it was found that the efficiency of treatment using any alkalies were almost the same, with 98 to 100 percent of chromium removal. However, the amount of sludge volumes were different. The Na₂CO₃ gave the highest sludge volume while MgO provided the lowest sludge volume. The optimum pH for the reaction of MgO, heated MgO, Na₂CO₃ and MgO + Ca(OH)₂ with tanning wastewater without fixing additive were 8.4-8.6, 8.9, 8.2 and 7.4-7.5, respectively. While those with tanning wastewater with chromium fixing additive were 8.5, 8.6, 8.6 and 7.85, respectively. In conclusion, treatment of tanning wastewater using MgO + Ca(OH)₂ gave the lowest treatment cost of about 55 baht/cu.m. of wastewater.

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา..... วิศวกรรมสุขาภิบาล
2535
ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิติ..... เนาวนุ สุจริตธรรม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... tsle
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์และอาจารย์
อรรถัย ชวาลภาฤทธิ ที่ได้กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมที่ให้ความเมตตาอนุเคราะห์ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ทางด้านวิชาการต่างๆ และขอขอบ
พระคุณ Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณ Bernhard Meyhofer และคุณบุญสม ลีวงศ์วิไล จากกรมโรง
งานอุตสาหกรรมที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลบางส่วน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ล้อมทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบให้บิดา มารดา ที่ได้กรุณาส่งเสริมสนับสนุน
การศึกษาของผู้วิจัยมาตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
2. การตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 เคมีของโครเมียม	3
2.2 การฟอกหนัง	5
2.3 ความเป็นพิษของโครเมียม	11
2.4 กระบวนการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกหนัง	14
2.5 แบบจำลองการนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่	19
3. วิธีการศึกษา	22
3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนการทดสอบ	22
3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำ และสารเคมี	23
3.3 การทดสอบการตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมี	24
3.4 การทดสอบการตกตะกอนผลึกโครเมียมด้วยสารเคมีร่วมกับสารรวม ตะกอน	26
3.5 เปรียบเทียบผลการทดลองการตกตะกอนผลึกโครเมียม	27
4. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	28

บทที่	หน้า
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย	28
4.2 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการผสมช้า	31
4.3 การทดสอบการตกตะกอนผลึกโครเมียมด้วยสารเคมี	31
4.4 วิจารณ์ผลการศึกษา	86
4.5 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการตกตะกอนผลึกโครเมียมด้วยสารเคมี ต่างๆ	102
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	105
5.1 สรุปผลการทดลอง	105
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป	107
เอกสารอ้างอิง	108
ภาคผนวก ก	111
ภาคผนวก ข	122
ประวัติผู้วิจัย	139



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สรุปปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลสารเฉลี่ยต่อตันหนึ่งคืบ	12
2.2	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากการฟอกโครม และน้ำเสียรวม จากโรงงานฟอกหนึ่ง	13
2.3	การกำจัดโลหะหนักจากกากตะกอนด้วยกระบวนการทำให้เป็นกรด.....	20
2.4	ปริมาณโครเมียมที่สกัดได้จากกากตะกอนของโรงงานฟอกหนึ่ง 3 แห่ง ...	21
4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำฟอกโครมที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม	29
4.2	ลักษณะสมบัติของน้ำฟอกโครมที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม	30
4.3	ค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำฟอกโครมที่ ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม	87
4.4	ค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำฟอกโครมที่ มีสารช่วยตรึงโครเมียม	89
4.5	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการตกตะกอนผลึกโครเมียมด้วยสารเคมีต่าง ๆ .	103

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสามารถในการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์ (Cr(OH) ₃) ขึ้นอยู่กับพีเอช	4
2.2	กรรมวิธีก่อนการฟอก การฟอกโครม และการย้อมสี	7
2.3	กรรมวิธีก่อนการฟอก การฟอกฟาด และการย้อมสี	10
3.1	แผนผังการศึกษาการตกตะกอนผลึกโครเมียมจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง	23
4.1	พีเอชของน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมหลังจากเติมแมกนีเซียมออกไซด์ 1.5X เมื่อเวลาต่าง ๆ (X = 3,180.72 มก./ล.).....	32
4.2	พีเอชของน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมหลังจากเติมโซเดียมคาร์บอเนต 2.5X เมื่อเวลาต่าง ๆ (X = 8,390.52 มก./ล.).....	32
4.3	พีเอชของน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมหลังจากเติมแมกนีเซียมออกไซด์ 4X เมื่อเวลาต่าง ๆ (X = 1,107.80 มก./ล.).....	33
4.4	พีเอชของน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมหลังจากเติมโซเดียมคาร์บอเนต 3.8X เมื่อเวลาต่าง ๆ (X = 2,922.30 มก./ล.).....	33
4.5	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	35
4.6	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์ 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความ เข้มข้นต่าง ๆ	37
4.7	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์ 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความ เข้มข้นต่าง ๆ	39

รูปที่	หน้า
4.8 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์ 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ไว้ประจุที่ความ เข้มข้นต่าง ๆ	40
4.9 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์อ่อนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	42
4.10 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์ อ่อน 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ	43
4.11 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์ อ่อน 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ	44
4.12 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียม ออกไซด์อ่อน 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ไว้ประจุที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ	46
4.13 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 19 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์ บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	48
4.14 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 15 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์ บอเนต 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความ เข้มข้นต่าง ๆ	50

รูปที่

หน้า

- 4.15 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 15 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์
บอเนต 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความ
เข้มข้นต่าง ๆ 51
- 4.16 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 15 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์
บอเนต 2 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกร่วมกับโพลีเมอร์ไว้ประจุที่ความ
เข้มข้นต่าง ๆ 52
- 4.17 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียม
ออกไซด์ 0.5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกร่วมกับปูนขาวที่ความเข้มข้น
ต่าง ๆ 54
- 4.18 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียม
ออกไซด์ 0.5 เท่ากับปูนขาว 0.8 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกร่วมกับ
โพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 56
- 4.19 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียม
ออกไซด์ 0.5 เท่ากับปูนขาว 0.8 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกร่วมกับ
โพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 58
- 4.20 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียม
ออกไซด์ 0.5 เท่ากับปูนขาว 0.8 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกร่วมกับ
โพลีเมอร์ไว้ประจุที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 59
- 4.21 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนผลึกโครเมียมจาก
น้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียม
ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 61

รูปที่	หน้า
4.22 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	63
4.23 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	64
4.24 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	66
4.25 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์อ่อนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	67
4.26 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์อ่อน 4 เท่าร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	69
4.27 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์อ่อน 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	70
4.28 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแมกนีเซียมออกไซด์อ่อน 4 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกพร้อมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	71
4.29 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟลักโคโรเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 17 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	73

รูปที่	หน้า
4.30 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 16 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์บอเนต 3 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	75
4.31 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 16 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์บอเนต 3 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	76
4.32 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 16 ชั่วโมงด้วยโซเดียมคาร์บอเนต 3 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	78
4.33 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 1 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับปูนขาวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	80
4.34 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 1 เท่ากับปูนขาว 1 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	82
4.35 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 1 เท่ากับปูนขาว 1 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	83
4.36 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากตกตะกอนฟล็อกโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ 1 เท่ากับปูนขาว 1 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ร่วมกับโพลีเมอร์ไร้ประจุที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	84

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.1 ปริมาตรสลัดจ์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกด้วยน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ หลังทิ้งไว้ 1 ชม.	36
4.2 ปริมาตรสลัดจ์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกด้วยน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ หลังทิ้งไว้ 19 ชม.	47
4.3 ปริมาตรสลัดจ์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกด้วยน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ 0.5 เท่าร่วมกับปูนขาวความเข้มข้นต่าง ๆ หลังทิ้งไว้ 3 ชม.	55
4.4 ปริมาตรสลัดจ์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกด้วยน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ หลังทิ้งไว้ 1 ชม.	62
4.5 ปริมาตรสลัดจ์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกด้วยน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ หลังทิ้งไว้ 17 ชม.	74
4.6 ปริมาตรสลัดจ์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกด้วยน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์ 1 เท่าร่วมกับปูนขาวความเข้มข้นต่าง ๆ หลังทิ้งไว้ 3 ชม.	79

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย