

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมสารประกอบบางชนิดของโครเมียมจากแร่โครไมต์



นางสาวสุวรรณี เตชะธนานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ. 2527

ISBN974-563-556-1

013177

18085465

FEASIBILITY STUDIES ON PREPARATION OF SOME CHROMIUM COMPOUNDS FROM CHROMITE



Miss Suwan Techatananon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemistry

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

ISBN974-563-556-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมสารประกอบบางชนิดของโครเมียม
 จากแร่โครไมต์

โดย นางสาวสุวรรณี เตชะธนานนท์

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร. สัมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สุพรรณิภา บุญนก
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (รองศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณิภา บุญนก)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

เพ็ญศรี สิริสุนทร
ประธานกรรมการ
 (ศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศรี สิริสุนทร)

ศรัทธาภรณ์ วรรณนิทาน
กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ศรัทธาภรณ์ วรรณนิทาน)

ศิริ วโรทัย
กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริ วโรทัย)

แมน อมรสิทธิ์
กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมสารประกอบบางชนิดของโครเมียมจากแร่โครไมต์
ชื่อนิสิต	นางสาวสุวรรณา เตชะธนานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์, ศาสตราจารย์ ดร. สัมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2526



บทคัดย่อ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของแร่โครไมต์จากจังหวัดอุดรธานี ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.63 ± 0.00 และมีความชื้น 0.58 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ (1000 องศาเซลเซียส) น้ำหนักแร่จะหายไป 3.60 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแร่โครไมต์โดยใช้วิธีการทาง X-ray fluorescence spectroscopy, Atomic absorption spectrophotometry ตลอดจนวิธีมาตรฐานของ ASTM พบว่าธาตุที่เป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาณออกไซด์มีดังต่อไปนี้ Cr_2O_3 42.27 ± 0.23 , FeO 15.43 ± 0.42 , MgO 16.28 ± 0.20 , SiO_2 17.51 ± 0.10 และ Al_2O_3 6.82 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ Ca, Zn, Cu, Ni, V, Mn และ Ti

ในขบวนการเตรียมสารประกอบโครเมียมจากแร่โครไมต์โดยเริ่มต้นด้วยการสกัดแร่โครไมต์พบว่าใช้วิธีการสกัดด้วยกรดซัลฟริกจะให้ผลดีกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดได้แก่ การใช้แร่โครไมต์ขนาด -200 เมช ผสมกับแมงกานีสไดออกไซด์ และกรดซัลฟริกในอัตราส่วน 1:1:3.7 โดยน้ำหนักเมื่อนำของผสมนี้ไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วนำมาต้มกับน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดโครเมียมออกจากแร่ได้ 70.85 เปอร์เซ็นต์ ครั้นเมื่อนำสารละลายที่ได้มาสกัดแยกโครเมียมออกจากสารอื่น ๆ ด้วยสารละลายผลไมโตรออกซิลเอมีน และไตรเอทิลอะมิโนในตัวทำละลายน้ำเมทานอล แล้วสกัดขึ้นสารอินทรีย์ด้วยสารละลายแอมโมเนีย พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดแยกได้ถึง 89.80 เปอร์เซ็นต์ สารละลายที่สกัดได้นำไปตกผลึก จะได้เป็นแอมโมเนียมโครเมต ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไดโครเมตได้โดยการทำให้สารละลายเป็นกรดด้วยกรดซัลฟริก

สำหรับการเตรียมโซเดียมโครเมต ได้ใช้วิธีการเผาแร่โครไมต์กับโซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1.5:1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

นาน 1.5 ชั่วโมง แล้วนำของผสมที่ได้มาละลายน้ำ พบว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดโครเมียมออกจากแร่ได้ 87.37 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำสารละลายมาตกผลึก จะได้โซเดียมโครเมตซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการเตรียมสารประกอบโครเมียมอื่น ๆ ต่อไปได้แก่ โซเดียมไดโครเมต โครเมียมไตรออกไซด์ และโครมิกออกไซด์ โดยได้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารแต่ละชนิดด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title FEASIBILITY STUDIES ON PREPARATION OF SOME CHROMIUM
COMPOUNDS FROM CHROMITE
Name Miss Suwan Techatananon
Thesis Advisor Associate Professor Maen Amorasit,
Professor Somsak Damronglert
Department Chemistry
Academic Year 1983



ABSTRACT

An investigation of a chromite ore from Uttradit province was carried out to examine some of its physical and chemical properties. It was found that the specific gravity of the ore is 3.63 ± 0.00 and that the moisture content was $0.58 \pm 0.02\%$. In addition, the weight loss after the ignition at about 1000°C was found to be $3.60 \pm 0.03\%$. The chemical composition of the ore was analysed by means of X-ray fluorescence spectroscopy, the atomic absorption spectrophotometry and also by the ASTM procedures. The percentages of the major components as their oxides were: Cr_2O_3 42.27 ± 0.23 , FeO 15.43 ± 0.42 , MgO 16.28 ± 0.20 , SiO_2 17.51 ± 0.10 and Al_2O_3 6.82 ± 0.16 %. Trace amounts (less than 1%) of Ca, Zn, Cu, Ni, V, Mn, and Ti were also found in the ore.

Attempts have been made to prepare some chromium compounds from the ore. Several methods were applied and found that under the extraction process, an acidic leaching using sulfuric acid gave better results than a basic leaching using sodium hydroxide. Thus a certain particle size (-200 mesh) of the ore was mixed with MnO_2 and concentrated sulfuric acid at the weight ratio of 1:1:3.7 respectively. The mixture was baked at 150°C for 10 minutes, followed by heating with water at 80°C for 6 hours. An efficiency of 70.85% for the leaching of chromium was achieved. The

chromium was then separated from the impurities by extracting with a mixture of trioctylamine and tributylphosphate in kerosene. Consequently, the aqueous solution was separated and re-extracted with ammonia solution. As a result 89.80% of the chromium was separated in the form of ammonium chromate crystals which were converted to ammonium dichromate by the addition of sulfuric acid.

Another attempt to make sodium chromate, a mixture of the ore, sodium carbonate and calcium oxide in the weight ratio of 2:1.5:1 respectively was heated at 900°C for 1.5 hours. The reaction mixture was then dissolved in water. It was found that 87.37% of the chromium in the ore was separated in the form of sodium chromate which was used as a starting material for the preparation of other compounds namely sodium dichromate, chromium trioxide and chromic oxide. Optimum conditions for such preparation were also studied and discussed.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์ และ ศาสตราจารย์ ดร. สัมศักดิ์ ตารงค์เลิศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยที่คอยให้คำแนะนำและปรึกษาด้วยความกรุณาตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณภาควิชาวรรณวิทยาที่กรุณาให้ใช้เครื่องบดสารตัวอย่าง ขอขอบคุณ อาจารย์อรรณู หาญสืบสาย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสารต่าง ๆ ขอขอบคุณ คุณไกรธีระ กิตติศรีไสว ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านตัวอย่าง ขอขอบคุณ อาจารย์เมธิชญ์ชัย ไชยสิทธิ์ ที่กรุณาเขียนภาพประกอบต่าง ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กองฟิล์มสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ขอขอบคุณ มุลลิตีศาสตราจารย์ ดร. แถบ ฉิละฉิธิ ที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษา ขอขอบคุณคณะคณาจารย์ และ คุณไกรธีระ กิตติศรีไสว ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ถ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎี.....	7
2.1 การย่อยสลายแร่โครไมต์เพื่อหาคุณภาพวิเคราะห์ และปริมาณวิเคราะห์.....	7
2.2 ขบวนการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยกรด.....	10
2.2.1 ชนิดและความเข้มข้นของกรด.....	11
2.2.2 อุณหภูมิที่ใช้สกัดแร่.....	11
2.2.3 การออกซิไดซ์แร่.....	11
2.2.4 การออกซิไดซ์โครเมียม.....	12
2.2.5 ผลของการบดแร่.....	12
2.3 ขบวนการเตรียมสารประกอบโครเมียมโดยการสกัดด้วยต่าง.....	12
2.4 การทำสารละลายโครเมียมที่ได้จากการสกัดแร่โครไมต์ให้บริสุทธิ์..	13
2.4.1 การสกัดโครเมียมจากสารละลายโครเมียมด้วยตัวทำละลายสารอินทรีย์.....	13
2.4.1.1 การสกัดโครเมียมจากสารละลายโครเมียมด้วยสารละลาย TBP (tributylphosphate). ..	13
2.4.1.2 การสกัดโครเมียมจากสารละลายโครเมียมด้วยเอมีน (amine).....	14
2.4.2 การกำจัดสิ่งเจือปนออกจากชั้นสารอินทรีย์.....	14
2.4.3 การสกัดโครเมียมออกจากชั้นสารอินทรีย์ให้มาอยู่ในชั้นน้ำ.....	14

2.5	ขบวนการเตรียมสารประกอบโซเดียมโครเมต (Na_2CrO_4)	15
2.6	ขบวนการเตรียมสารประกอบโซเดียมไดโครเมต ไดไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	16
2.7	ขบวนการเตรียมสารประกอบโครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3)	20
2.8	ขบวนการเตรียมสารประกอบโครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3)	21
2.9	ขบวนการเตรียมสารประกอบแอมโมเนียมไดโครเมต [$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$]	22
2.10	ฟลูอิดไดเซชัน (fluidization)	22
3	การทดลอง และผลการทดลอง (experimental procedures and results)	34
3.1	เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2	การศึกษาสมบัติของแร่โครไมต์	37
3.2.1	การหาสมบัติทางกายภาพของแร่โครไมต์	37
3.2.1.1	การหาปริมาณความชื้น	37
3.2.1.2	การหาความถ่วงจำเพาะของแร่โครไมต์.	38
3.2.2	การหาสมบัติทางเคมีของแร่โครไมต์	40
3.2.2.1	การหาน้ำหนักที่หายไปเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ (weight loss on ignition)	40
3.3	การหาองค์ประกอบในแร่โครไมต์	41
3.3.1	การวิเคราะห์หาองค์ประกอบในแร่โครไมต์โดยใช้ เทคนิคทาง X-ray fluorescence spectrometry (XRFS)	41
3.3.1.1	การทำคุณภาพวิเคราะห์	41
3.3.1.2	การทำปริมาณวิเคราะห์	42
3.3.2	การวิเคราะห์หาองค์ประกอบในแร่โครไมต์ โดยใช้เทคนิค ทาง Atomic absorption spectrophotometry (AAS)	45

3.3.2.1	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม สารละลายตัวอย่างจากแร่โครไมต์ โดยวิธีการหลอมกับฟลักซ์.....	45
3.3.2.2	การทำกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หา ปริมาณธาตุต่าง ๆ.....	48
3.3.3	การวิเคราะห์หาองค์ประกอบในแร่โครไมต์ตามวิธีมาตรฐาน เชิง classical method ตาม ANSI/ASTM C572-70.	59
3.4	ศึกษาหาวิธีสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์.....	60
3.4.1	การเตรียมสารตัวอย่างให้มีขนาดต่าง ๆ กัน.....	60
3.4.2	ศึกษาวิธีการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยกรด.....	60
3.4.2.1	การหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโครเมียม ให้มากที่สุดจากแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก เมื่อไม่มีออกซิแดนท์ (oxidant)	60
3.4.2.2	การหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดโครเมียม ให้มากที่สุดจากแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก เมื่อมีออกซิแดนท์.....	63
3.4.2.3	การหาปริมาณกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมในการสกัด โครเมียมจากแร่โครไมต์.....	63
3.4.2.4	การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดโครเมียม จากแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก.....	64
3.4.2.5	การหาปริมาณออกซิแดนท์ที่เหมาะสมในการสกัด แร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก.....	66
3.4.2.6	การหาเวลาที่เหมาะสมในการอบ (bake) แร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริกในการสกัด แร่โครไมต์.....	68
3.4.2.7	การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแร่โครไมต์ กับกรดซัลฟูริกในการสกัดแร่โครไมต์.....	70

3.4.2.8	ศึกษาขนาดของเม็ดแร่โครไมต์ (mesh size) ที่มีต่อการสกัดโครเมียมออกจากแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก.....	72
3.4.2.9	ศึกษาขนาดของเม็ดแร่โครไมต์ที่มีต่อการสกัดด้วยกรดซัลฟูริกเมื่อไม่อบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริก.....	74
3.4.3	ศึกษาการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยต่าง.....	76
3.4.3.1	การสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อไม่มีออกซิแดนท์.....	76
3.4.3.2	การสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อใช้แมงกานีสไดออกไซด์เป็นออกซิแดนท์.....	77
3.4.3.3	การสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นออกซิแดนท์.....	78
3.5	ศึกษาการสกัดแยกโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมด้วยตัวทำละลายสารอินทรีย์.....	78
3.5.1	ศึกษาการสกัดแยกโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมด้วยสารละลาย TOA (trioctylamine)....	79
3.5.2	ศึกษาการสกัดโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมด้วยสารละลาย TBP.....	81
3.5.3	ศึกษาการสกัดโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมโดยใช้สารละลายผสมของ TOA และ TBP.....	82
3.5.4	ศึกษาการสกัดโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายอยู่ในกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยใช้สารละลาย TOA.....	83
3.5.5	ศึกษาการสกัดโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยสารละลายผสม	

	หน้า
ของ TOA และ TBP	84
3.5.6 ศึกษาหาความเข้มข้นของ TOA ที่เหมาะสมในการสกัด โครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลาย ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร.....	87
3.5.7 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียที่เหมาะสม ในการสกัดโครเมียมออกจากชั้นสารละลายผสมของ TOA และ TBP.....	89
3.5.8 ศึกษาหาค่า K_d เพื่อหาอัตราส่วนของปริมาตรของชั้นสาร อินทรีย์ต่อปริมาตรของชั้นน้ำ (o:a) ที่เหมาะสมในการ สกัดโครเมียมออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ ละลายอยู่ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร.....	91
3.6 การสกัดโครเมียมออกจากสารละลายโครเมียมที่ได้จากสารละลาย แร่โครไมต์ในกรดซัลฟูริก โดยใช้สารละลายผสมของ TOA กับ TBP.....	94
3.7 ศึกษาการสกัดโครเมียมออกจากแร่โครไมต์ด้วยวิธีการเผากับ โซเดียมคาร์บอเนต.....	95
3.7.1 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเผาแร่โครไมต์ กับโซเดียมคาร์บอเนต.....	95
3.7.2 การศึกษาหาปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมที่จะใช้ เผากับแร่โครไมต์.....	98
3.7.3 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้เผาแร่โครไมต์กับ โซเดียมคาร์บอเนต.....	100
3.7.4 ศึกษาขนาดของเม็ดแร่โครไมต์ที่มีต่อการทำปฏิกิริยาเมื่อเผา กับโซเดียมคาร์บอเนต.....	102
3.8 ศึกษาการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์โดยการเผากับโซเดียม- คาร์บอเนตด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน.....	104
3.8.1 ศึกษาหาอุณหภูมิที่ใช้เผาแร่โครไมต์กับโซเดียมคาร์บอเนต โดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน.....	104

3.8.2	ศึกษาหาระยะเวลาที่โซ้เผาแร่โครไมต์กับโซ้เตียมคาร์บอเนต โดยโซ้เทคนิคฟลูอิดโตเซชัน.....	105
3.8.3	ศึกษาหาขนาดเม็ดของแร่โครไมต์ที่ใช้ในการเผากับ โซ้เตียมคาร์บอเนตโดยโซ้เทคนิคฟลูอิดโตเซชัน.....	105
3.9	การเตรียมสารประกอบบางชนิดของโครเมียมที่มีประโยชน์.....	106
3.9.1	วิธีเตรียมสารประกอบแอมโมเนียมโครเมต.....	106
3.9.2	วิธีเตรียมสารประกอบแอมโมเนียมไดโครเมต.....	110
3.9.3	วิธีเตรียมสารประกอบโซ้เตียมโครเมต.....	114
3.9.4	วิธีเตรียมสารประกอบโซ้เตียมไดโครเมต ไดไฮเดรต...	117
3.9.5	วิธีเตรียมสารประกอบโครเมียมไตรออกไซด์.....	121
3.9.6	วิธีเตรียมสารประกอบโครมิออกไซด์.....	124
3.9.6.1	การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาโซ้เตียม- ไดโครเมตกับกำมะถันผง.....	124
3.9.6.2	การหาปริมาณกำมะถันผงที่เหมาะสมในการ เผากับโซ้เตียมไดโครเมต.....	125
3.9.6.3	การหาเวลาที่เหมาะสมในการเผาโซ้เตียม- ไดโครเมตกับกำมะถันผง.....	127
3.10	การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของสารประกอบโครเมียม.....	130
3.11	การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของสารประกอบที่เป็นผลพลอยได้จาก การเตรียมสารประกอบของโครเมียม.....	130
4	สรุปผลการทดลอง วิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....	132
	บรรณานุกรม.....	140
	ประวัติผู้เขียน.....	145

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงมูลค่าการนำเข้าของสารประกอบโครเมียมแต่ละปี.....	2
1.2	แสดงแร่ต่าง ๆ ของโครเมียมที่พบในธรรมชาติ.....	4
2.1	แสดงการวิเคราะห์หองค์ประกอบในแร่โครไมต์.....	8
3.1	แสดงปริมาณความชื้นในแร่โครไมต์.....	38
3.2	แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่โครไมต์.....	39
3.3	แสดงผลการหาน้ำหนักที่หายไปเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ (1000 องศาเซลเซียส).....	41
3.4	แสดงปริมาณของสารประกอบที่ไฮ้เตรียมสารมาตรฐานเพื่อใช้ทำปริมาณวิเคราะห์ของธาตุต่าง ๆ ในแร่โครไมต์ โดยใช้เทคนิค XRFS.....	44
3.5	แสดงผลการหาปริมาณของสารตัวอย่างแร่โครไมต์โดยเทคนิคทาง XRFS.....	45
3.6	แสดงผลของการหลอมแร่โครไมต์กับบอแรกซ์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน โดยหลอมเพียงครั้งเดียว.....	46
3.7	แสดงผลของการหลอมแร่โครไมต์กับบอแรกซ์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน โดยการหลอม 2 ครั้ง.....	47
3.8	แสดงค่าต่าง ๆ ที่จะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องในการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุโดยใช้เทคนิคทาง AAS.....	48
3.9	แสดงผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสารละลายตัวอย่างด้วยเทคนิคทาง AAS.....	58
3.10	แสดงผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบในรูปของออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ในสารละลายตัวอย่าง.....	59
3.11	แสดงผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบในแร่โครไมต์ตามวิธี ASTM.....	60
3.12	แสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริกเมื่อมีออกซิแดนท์ และ ไม่มีออกซิแดนท์.....	61
3.13	แสดงผลการหาปริมาณกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์.....	64

ตารางที่	หน้า
3.14 แสดงการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก . . .	66
3.15 แสดงการหาปริมาณออกซิแดนซ์ที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์ด้วย กรดซัลฟูริก	68
3.16 แสดงการหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริก	70
3.17 แสดงการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริก ในการสกัดแร่โครไมต์	72
3.18 แสดงผลของการศึกษาขนาดของเม็ดแร่โครไมต์ที่มีต่อการสกัด โครเมียมออกจากแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก	74
3.19 แสดงผลของการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อไม่มีออกซิแดนซ์	76
3.20 แสดงผลของการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้แมงกานีสไดออกไซด์เป็นออกซิแดนซ์	77
3.21 แสดงผลการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนตเป็นออกซิแดนซ์	78
3.22 แสดงผลการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมด้วยสารละลาย TOA . . .	80
3.23 แสดงผลการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมด้วยสารละลาย TBP . . .	82
3.24 แสดงผลการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมด้วยสารละลายผลผสมของ TOA และ TBP	82
3.25 แสดงผลการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายในกรดซัลฟูริก ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยสารละลาย TOA	83
3.26 แสดงผลการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายในกรดซัลฟูริก ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ด้วยสารละลายผลผสมของ TOA และ TBP . . .	85
3.27 แสดงการหาความเข้มข้นของ TOA ที่เหมาะสมในการสกัดโครเมียม ออกจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร	88
3.28 แสดงการหาความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียที่เหมาะสมในการ สกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมออกจากชั้นสารละลายผลผสมของ TOA และ TBP	90

ตารางที่	หน้า
3.29 แสดงผลการหาค่า K_d เพื่อหาอัตราส่วนของ $o:a$ ที่เหมาะสม ในการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร.....	92
3.30 แสดงผลการสกัดสารละลายโครเมียมที่ได้จากการสกัดแร่โครไมต์ ด้วยกรดซัลฟูริกโดยใช้สารละลายผล้มของ TOA กับ TBP.....	94
3.31 แสดงผลของการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้เผาแร่โครไมต์กับโซเดียม- คาร์บอเนต.....	96
3.32 แสดงผลของการหาปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมที่ใช้เผากับ แร่โครไมต์.....	98
3.33 แสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมที่ใช้เผาแร่โครไมต์กับโซเดียม- คาร์บอเนต.....	100
3.34 แสดงผลของการศึกษาขนาดเม็ดของแร่ที่มีต่อการทำปฏิกิริยาเมื่อเผากับ โซเดียมคาร์บอเนต.....	102
3.35 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแร่โครไมต์กับโซเดียมคาร์บอเนต แบบฟลูอิดไดเซชัน.....	104
3.36 แสดงผลของเวลาที่ใช้ในการเผาแร่โครไมต์กับโซเดียมคาร์บอเนต แบบฟลูอิดไดเซชัน.....	105
3.37 แสดงผลของขนาดเม็ดของแร่โครไมต์ที่ใช้ในการเผากับโซเดียม- คาร์บอเนตแบบฟลูอิดไดเซชัน.....	106
3.38 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแอมโมเนียมโครเมต.....	108
3.39 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแอมโมเนียมไดโครเมต และแอมโมเนียม- ซิลเฟต จากสารประกอบแอมโมเนียมโครเมต.....	111
3.40 แสดงผลการเตรียมสารประกอบโซเดียมโครเมต.....	114
3.41 แสดงผลการเตรียมสารประกอบโซเดียมไดโครเมต ไดไฮเดรต และโซเดียมซิลเฟต จากสารประกอบโซเดียมโครเมต.....	118
3.42 แสดงผลการเตรียมสารประกอบโครเมียมไตรออกไซด์ และโซเดียม- ไบซิลเฟตจากสารประกอบโซเดียมไดโครเมต.....	122

ตารางที่	หน้า
3.43 แสดงผลของการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผาโซเดียม- ไดโครเมตกับกำมะถันผง.....	124
3.44 แสดงผลของการหาปริมาณกำมะถันผงที่เหมาะสมในการเผาโซเดียม- ไดโครเมต.....	125
3.45 แสดงผลของการหาเวลาที่เหมาะสมในการเผาโซเดียมไดโครเมตกับ กำมะถันผง.....	127
3.46 แสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารประกอบโครเมียม.....	130
3.47 แสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารประกอบที่เป็นผลพลอยได้ จากการเตรียมสารประกอบของโครเมียม.....	131



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแผนผังการผลิตโซเดียมโครเมตและโซเดียมไดโครเมต (โดยใช้กรดซัลฟูริก)	17
2.2 แสดงแผนผังการผลิตโซเดียมไดโครเมต (โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์) .	19
2.3 แสดงแผนผังการเตรียมสารประกอบโครเมียมไดออกไซด์.....	21
2.4 แสดงชนิดของฟลูอิดไดเบด.....	23
2.5 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะฟลูอิดไดเซชันของก๊าซ และของของเหลว .	24
2.6 แสดงเตาที่ใช้ในการถลุงแร่สังกะสี.....	25
2.7 แสดงเตาที่ใช้ผลิตก๊าซซิลเฟอร์ไดออกไซด์.....	26
2.8 แสดงเตาที่ใช้ในการถลุงแร่เหล็ก.....	27
2.9 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเติมคลอรีนในแร่แบไรต์.....	28
2.10 แสดงการขนถ่ายสิ่งของที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด.....	29
2.11 แสดงลักษณะการผสมเม็ดของแข็งเข้าด้วยกัน.....	29
3.1 แสดงเตาเผาแบบฟลูอิดไดเซชัน (fluidization furnace).....	35
3.2 แสดง XRFS spectra peak ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในแร่โครไมต์.....	43
3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของอะลูมิเนียม.....	49
3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของโครเมียม.....	50
3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของทองแดง.....	51
3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของเหล็ก.....	52
3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม.....	53

3.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของแมงกานีส.....	54
3.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของนิกเกิล.....	55
3.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของซิลิคอน.....	56
3.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของสังกะสี.....	57
3.12	แสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริกในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน.....	62
3.13	แสดงผลการหาปริมาณกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์....	65
3.14	แสดงการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก....	67
3.15	แสดงการหาปริมาณออกซิแดนท์ที่เหมาะสมต่อการสกัดแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก.....	69
3.16	แสดงการหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริก.....	71
3.17	แสดงการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริกในการสกัดแร่โครไมต์.....	73
3.18	แสดงผลการศึกษาขนาดเม็ดของแร่โครไมต์ที่มีต่อการสกัดโครเมียมออกจากแร่โครไมต์ด้วยกรดซัลฟูริก.....	75
3.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_d กับอัตราส่วนของ $o:a$ ในการสกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.3 โมล / ลิตร.....	93
3.20	แสดงผลของการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้เฝ้าแร่โครไมต์กับไฮเดียม-คาร์บอเนต.....	97
3.21	แสดงผลของการหาปริมาณไฮเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมที่ใช้เฝ้ากับแร่โครไมต์.....	99
3.22	แสดงผลการหาเวลาที่เหมาะสมที่ใช้เฝ้าแร่โครไมต์กับไฮเดียม-คาร์บอเนต.....	101

รูปที่	หน้า
3.23 แสดงผลของขนาดเม็ดของแร่ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเผากับโซเดียม-คาร์บอเนต.....	103
3.24 แสดงการเตรียมสารประกอบแอมโมเนียมโครเมต และแอมโมเนียม-ไดโครเมต.....	107
3.25 แสดง X-ray diffraction pattern ของแอมโมเนียมโครเมต...	109
3.26 แสดง X-ray diffraction pattern ของแอมโมเนียมไดโครเมต.	112
3.27 แสดง X-ray diffraction pattern ของแอมโมเนียมซัลเฟต....	113
3.28 แสดงการเตรียมสารประกอบโซเดียมโครเมต.....	115
3.29 แสดง X-ray diffraction pattern ของโซเดียมโครเมต.....	116
3.30 แสดงการเตรียมสารประกอบโซเดียมไดโครเมต ไดไฮเดรต โครเมียมไตรออกไซด์ และโครมิกออกไซด์.....	117
3.31 แสดง X-ray diffraction pattern ของโซเดียมไดโครเมต ไดไฮเดรต.....	119
3.32 แสดง X-ray diffraction pattern ของโซเดียมซัลเฟต.....	120
3.33 แสดง X-ray diffraction pattern ของโซเดียมไบซัลเฟต.....	123
3.34 แสดงผลของการหาปริมาณกำมะถันผงที่เหมาะสมในการเผากับโซเดียม-ไดโครเมต.....	126
3.35 แสดงผลของการหาเวลาที่เหมาะสมในการเผาโซเดียมไดโครเมตกับ กำมะถันผง.....	128
3.36 แสดง X-ray diffraction pattern ของโครมิกออกไซด์.....	129