

การศึกษาเชิงแร่วิทยา และการแยกแร่โคลัมไบต์ - แทนทาลัม
ออกจากแร่วุลดแฟรไมต์ โดยวิธีการชะละลายเคมี



นายธีรโชค มวลดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

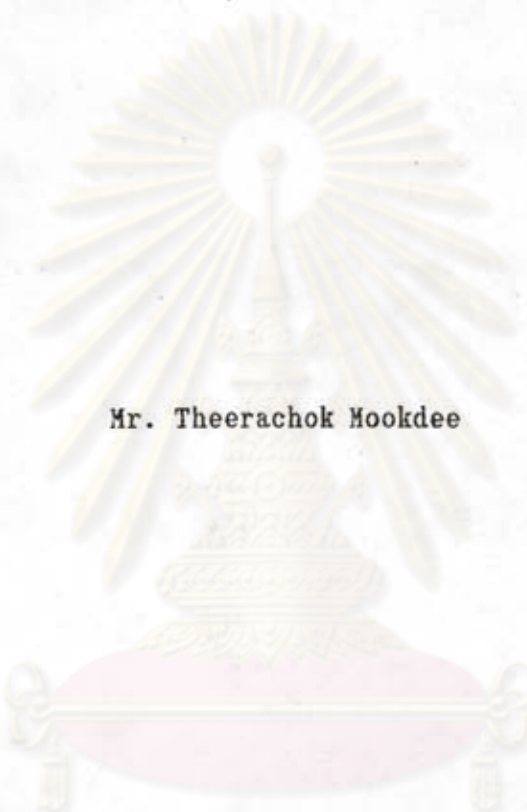
พ.ศ. 2534

ISBN 974-579-209-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017420 117899999

MINERALOGICAL STUDY AND SEPARATION OF COLUMBITE - TANTALITE
FROM WOLFRAMITE BY CHEMICAL LEACHING



Mr. Theerachok Mookdee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the degree of Master of Engineering
Department of Mining Engineering and Mining Geology

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974-579-209-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงแร่วิทยา และการแยกแร่โคลัมไบต์ - แทนทาลไซด์
 โดย ออกจากแร่วุลแฟรมไนด์โดยวิธีการชะละลายเคมี
 ภาควิชา นายธีรโชค มุขดี
 อาจารย์ที่ปรึกษา วิศวกรรมเหมืองแร่ และธรณีวิทยาเหมืองแร่
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

[Signature]
 อนุมัติบัณฑิตวิทยาลัย
 (ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรวิชัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

[Signature]
 ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ฉัตร ปัทมสุต)

[Signature]
 อาจารย์ที่ปรึกษา
 (อาจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร)

[Signature]
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

[Signature]
 กรรมการ
 (นายเฉลิม นฤปเวศม์)

[Signature]
 กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธ์)

ธีรโชค มุขดี : การศึกษาเชิงแร่วิทยา และการแยกแร่โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ ออกจากแร่
วุลแฟรมไบต์ โดยวิธีการชะละลายเคมี (MINERALOGICAL STUDY AND SEPARATION OF
COLUMBITE-TANTALITE FROM WOLFRAMITE BY CHEMICAL LEACHING) อ.ที่ปรึกษา :
อ.ดร.สุรพล ภู่วิจิตร, ผศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ, 157 หน้า. ISBN 974-579-209-8

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแร่วิทยา และการแยกโคลัมไบต์-แทนทาลิต์ออกจาก
วุลแฟรมไบต์ โดยวิธีการชะละลายเคมี โดยนำตัวอย่างที่เป็นผลพลอยได้จากการแต่งมูลแร่ดีบุก จากโรงแต่ง
แร่ทางหุ่นส่วนจำกัด รุ่งอรุณตะกั่วป่า อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา มาทำการวิจัย

จากการศึกษาทางด้านแร่วิทยา พบว่า ตัวอย่างที่นำมาวิจัยประกอบด้วย โคลัมไบต์-แทนทาลิต์
26.3 % วุลแฟรมไบต์ 28.0 % อิลเมไนต์ 20.4 % คอโรนาโดต์ 14.7 % โมนาไซต์ ซีโนไทม์
ควออร์ซ ดีบุก เซอร์คอน และควออร์ซคาบวุลแฟรมไบต์รวมกัน 8.6 % ขนาดของเม็ดแร่ส่วนใหญ่มีขนาด
เล็กกว่า 100 เมช และมีส่วนประกอบทางเคมี คือ Nb2O5 6.60 % Ta2O5 4.36 % WO3 14.02 %
Fe2O3 12.15 % MnO 18.75 % TiO2 14.42 % และ PbO 4.35 % .

ในการแยกวุลแฟรมไบต์ ออกจากโคลัมไบต์-แทนทาลิต์ กระทำโดยการชะละลายด้วยไฮเดียมไฮ
ดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้ตัวอย่างแร่บด ที่มีขนาดเล็กกว่า 200 เมช เพื่อให้การชะละลาย
เกิดอย่างสมบูรณ์

ผลการชะละลายด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของไฮ
เดียมไฮดรอกไซด์ 10 N ที่เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวมเท่ากับ 10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ณ อุณหภูมิ
90 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร็วในการสั่น 80 % เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้(กาก)
ประกอบด้วย โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ อิลเมไนต์ คอโรนาโดต์ และวุลแฟรมไบต์ มีส่วนประกอบทางเคมี คือ
Nb2O3 7.68 % Ta2O5 5.18 % WO3 2.45 % Fe2O3 12.31 % MnO 29.75 % TiO2
14.83 % และ PbO 4.55 %

ผลการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของกรดไฮ
โดรคลอริก 10 N ที่เปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวมเท่ากับ 10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ณ อุณหภูมิ 90
องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร็วในการสั่น 80 % เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้(กาก)ประ
กอบด้วย โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ อิลเมไนต์ และวุลแฟรมไบต์ มีส่วนประกอบทางเคมี คือ Nb2O5 16.89 %
Ta2O5 11.19 % WO3 3.81 % Fe2O3 13.41 % MnO 7.38 % และ TiO2 26.28 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
นาย.....

THEERACHOK MOOKDEE : MINERALOGICAL STUDY AND SEPARATION OF COLUMBITE
-TANTALITE FROM WOLFRAMITE BY CHEMICAL LEACHING. THESIS ADVISOR :
SURAPHOL PHUVICHIT, Ph.D., ASST. PROF. PINYO MEECHUMNA, Ph.D. 157 pp.

Purposes of this research are to study mineralogy and to separate columbite-tantalite from wolframite by chemical leaching. Samples are amang from tin dressing plant of Roong Aroon Ta Kuapa, Amphoe Ta Kuapa, Phangnga Province.

Mineralogically the samples comprise 26.3 % columbite-tantalite, 28.0 % wolframite, 20.4 % ilmenite, 14.7 % coronadite and 8.6 % of other minerals mainly monazite, xenotime, quartz, cassiterite, zircon, quartz interlocking wolframite. Sample grain sizes are less than 100 mesh with chemical compositions of 6.60 % Nb₂O₅, 4.36 % Ta₂O₅, 14.02 % WO₃, 12.15 % Fe₂O₃, 18.75 % MnO, 14.42 % TiO₂ and 4.35 % PbO.

Samples are ground to -200 mesh for effective leaching. The experiments are carried out by varying the concentration of NaOH and HCl, % solid, temperature, rate of agitation and leaching time.

Optimum conditions obtained by NaOH leaching are as follows : 10 N NaOH, 10 % solid, 90 °C, 80 % agitation and 5 hours of leaching time. The residue after leaching contains columbite-tantalite, wolframite, ilmenite and coronadite with chemical composition of 7.68 % Nb₂O₅, 5.18 % Ta₂O₅, 2.45 % WO₃, 12.31 % Fe₂O₃, 29.75 % MnO, 14.83 % TiO₂ and 4.55 % PbO.

Optimum conditions obtained by HCl leaching are as follows : 10 N NaOH, 10 % solid, 90 °C, 80 % agitation and 5 hours of leaching time. The residue after leaching contains columbite-tantalite, wolframite and ilmenite with chemical composition of 16.89 % Nb₂O₅, 11.19 % Ta₂O₅, 3.81 % WO₃, 13.41 % Fe₂O₃, 7.38 % MnO and 26.28 % TiO₂.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ... Mining and Petroleum Engineering

สาขาวิชา ... Mining Engineering

ปีการศึกษา ... 2533

ลายมือชื่อนิสิต ... T. Mookdee

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ... S. Phuvichit

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ... Pinyo Meechumna



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ดร. สุรพล ภู่วิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญญู มีชานะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนการทำ วิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

- คุณบุญทมาส อินทภูติ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัย
 - ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คุณสกุล คุณรัชไนกร บำรุงราชสิทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในคํานงงานวิเคราะห์เคมี
 - ดร.นรสาวก วัฒนกุล ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับงานวิจัย
 - คุณสุนทรี ปัทมสุต คุณเจษ จิระเจฎา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ โดยเครื่อง XRD
 - คุณวิลาวัณย์ อติชาติ คุณวิมลรัตน์ มนต์รี ที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือ ในด้านการศึกษาทางแร่วิทยา
 - คุณสุนัตรา วุฒิสาคิวาณิช คุณบุญศิริ จารุศิริ ที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือ ในการถ่ายภาพแร่ตัวอย่าง
 - เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ช่วยเหลือในคํานงงานวิเคราะห์ โดยเครื่อง SEM XRD และ XRF
 - บัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุน " ผู้ช่วยสอน และวิจัย " ในปีการศึกษา 2530
- เพื่อสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย
- และทุกๆ ท่านที่มีได้เอื้อนาม ที่มีส่วนในการช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ ที่นี้
- สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านการเงิน ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ข
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	5
1.6 แนวเหตุผลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์.....	5
2 ธรรมชาติของโคลัมไบต์-แทนทาลไซด์ และ วุลแฟรมไบต์.....	7
2.1 โคลัมไบต์-แทนทาลไซด์.....	7
2.1.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์.....	7
2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี.....	9
2.1.3 การเกิด.....	12
2.1.4 แหล่ง.....	12
2.1.5 การใช้ประโยชน์.....	15
2.1.6 คุณสมบัติเฉพาะของโคลัมไบต์-แทนทาลไซด์ในการซื้อขาย...	16
2.1.7 ปริมาณการผลิต การส่งออก โคลัมไบต์-แทนทาลไซด์ ของประเทศไทย.....	17

2.2	วูลแฟรมไคต์.....	20
2.1.1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์	20
2.1.2	คุณสมบัติทางเคมี.....	21
2.1.3	การเกิด.....	22
2.1.4	แหล่ง.....	22
2.1.5	การใช้ประโยชน์.....	24
2.1.6	คุณลักษณะเฉพาะของวูลแฟรมไคต์ในการซื้อขาย.....	24
2.1.7	ปริมาณการผลิต การส่งออก วูลแฟรมไคต์ ของประเทศไทย.....	25
2.3	การสลายวูลแฟรมไคต์.....	28
2.3.1	การสลายด้วยโซเดียมคาร์บอเนต และโพแทสเซียมคาร์บอเนต.....	28
2.3.2	การสลายด้วยโซเดียมไนเตรด.....	28
2.3.3	การสลายด้วยแอมโมเนีย.....	29
2.3.4	การสลายด้วยโซลิวเฟด.....	29
2.3.5	การสลายด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต และโซเดียมคลอไรด์... ..	29
2.3.6	การสลายด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์.....	30
2.3.7	การสลายด้วยอัลคาไลไฮดรอกไซด์.....	30
2.3.8	การสลายด้วยกรด.....	31
2.4	กระบวนการสลายวูลแฟรมไคต์ที่ใช้ในการวิจัย.....	32
3	การศึกษาลักษณะทางแร่วิทยา.....	33
3.1	ตัวอย่างแร่ที่นำมาวิจัย.....	33
3.2	การศึกษาตัวอย่างเม็ดแร่ภายใต้กล้องขยายสองตา.....	37
3.3	การศึกษาตัวอย่างขั้วมันภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง.....	43
3.4	การศึกษาลักษณะ ชนิด และส่วนประกอบทางเคมีของแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรือง เอ็นีเอ็มเอ.....	50

	หน้า
3.5 การศึกษาจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน.....	60
3.6 ส่วนประกอบทางเคมีของแร่ตัวอย่าง.....	64
3.7 สรุปผล และข้อคิดเห็นในการศึกษาทางแร่วิทยา.....	65
4 การศึกษาการชะละลายด้วยวิธีไฮดรอลิก และการผลิตทั้งสติกออกไซด์.....	68
4.1 การชะละลายด้วยวิธีไฮดรอลิก.....	69
4.1.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการชะละลาย.....	72
4.1.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	72
4.1.1.2 สารที่ใช้ในการวิจัย.....	72
4.1.1.3 วิธีการวิจัย.....	72
4.1.1.4 ผลการวิจัย.....	74
4.1.1.5 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย.....	85
4.2 การการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	87
4.2.1 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการชะละลาย.....	88
4.2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	88
4.2.1.2 สารที่ใช้ในการวิจัย.....	88
4.2.1.3 วิธีการวิจัย.....	88
4.2.1.4 ผลการวิจัย.....	89
4.2.1.5 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย.....	100
4.3 การผลิตทั้งสติกออกไซด์.....	102
4.3.1 อุปกรณ์ และสารที่ใช้ในการวิจัย.....	103
4.3.2 วิธีการวิจัย.....	103
4.3.3 ผลการวิจัย.....	104
4.3.4 สรุปผลการวิจัย.....	104
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	105
เอกสารอ้างอิง.....	112
ภาคผนวก.....	118

	หน้า
ก การจำแนกชนิดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ส่องตา.....	119
ข การจำแนกชนิดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง	122
ค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกนนิ่ง ร่วมกับการวิเคราะห์โดยวิธี อีพีเอ็มเอ	126
ง การจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เดี่ยวเบน.....	128
จ การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของไนโอเบียมเพนตอกไซด์ และ แทนทาลัมเพนตอกไซด์.....	131
ฉ การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กำมะถันออกไซด์.....	135
ช การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เหล็กออกไซด์.....	138
ซ การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์แมงกานีสออกไซด์.....	143
ฅ การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไทเทเนียมออกไซด์.....	132
ฉ การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ตะกั่วออกไซด์.....	151
ณ การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธีรังสีเอกซ์เรือง.....	153
ประวัติผู้เขียน.....	157

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 คุณสมบัติบางประการของโคัลมไบต์ - แทนทาลไซด์ และวิธีการแยกแร่.....	3
2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของโคัลมไบต์ จากแหล่งต่างๆ.....	10
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแทนทาลไซด์ จากแหล่งต่างๆ.....	11
2.3 ปริมาณสำรองของไนโอเบียม - แทนทาลัม หน่วยงานด้านปอนด์.....	14
2.4 คุณสมบัติของโคัลมไบต์ - แทนทาลไซด์ ที่ซื้อขาย ในอเมริกา และประเทศไทย.	16
2.5 ปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้ไนโอเบียมของโลก.....	17
2.6 ปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้แทนทาลัมของโลก.....	18
2.7 ผลผลิต การส่งออก และมูลค่า โคัลมไบต์ - แทนทาลไซด์ ของประเทศไทย ระหว่าง ปี พ.ศ. 2526-2531.....	19
2.8 ส่วนประกอบทางเคมี ของวุลแฟรมไนด์ จากแหล่งต่างๆ	21
2.9 ปริมาณสำรองทั้งสแตนของโลก.....	23
2.10 คุณสมบัติของวุลแฟรมไนด์ที่ซื้อขาย ในสหรัฐอเมริกา และประเทศไทยในปัจจุบัน....	24
2.11 ปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้ทั้งสแตนของโลก.....	25
2.12 การผลิต และมูลค่าของวุลแฟรมไนด์ของประเทศไทยระหว่าง ปี.ศ.2526-2531	26
2.13 การส่งออก และมูลค่าของวุลแฟรมไนด์ ของประเทศไทย ระหว่าง ปี พ.ศ.2526-2531.....	27
3.1 การกระจายตัวของขนาด และการกระจายตัวของไนโอเบียมเพนตอกไซด์ (Nb ₂ O ₅) แทนทาลัมเพนตอกไซด์ (Ta ₂ O ₅) และทังสเตนออกไซด์ (WO ₃) ของตัวอย่างที่ทำการศึกษา	35
3.2 ปริมาณแร่แต่ละชนิด ในแต่ละช่วงขนาด.....	42
3.3 ผลวิเคราะห์ จุด Co-1 ในรูปที่ 3.23 ของโคัลมไบต์-แทนทาลไซด์ ของ ตัวอย่างที่นำมาวิจัย เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของโคัลมไบต์ จาก แหล่งอื่น ๆ.....	54
3.4 ผลการวิเคราะห์ของคอโรนาไดต์ ที่จุด Co-1 (รูปที่ 3.23) และจุด Co-2 (รูปที่ 3.28) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ คอโรนาไดต์ จากแหล่งอื่น ๆ ..	55

ตารางที่	หน้า
3.5 ผลวิเคราะห์ จุด W-1 ของวูลแฟรมม์ ในรูปที่ 3.29 เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์วูลแฟรมม์ จากแหล่งอื่นๆ.....	57
3.6 ผลวิเคราะห์ ที่จุด I-1 ของอิลเมไนด์ (รูปที่ 3.31) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของอิลเมไนด์ของแหล่งอื่นๆ.....	59
4.1 ผลการชะละลายวูลแฟรมม์ที่ปนอยู่กับหิวแรดค็อก.....	70
4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างจากวิธีการชะละลายทั้งหมด (เวลาที่ใช้ในการชะละลาย 4 ชั่วโมง).....	70
4.3 ผลวิเคราะห์ตัวอย่าง จากวิธีชะละลายเฉพาะผิวหน้า (เวลาที่ใช้ในการชะละลาย 4 ชั่วโมง) ร่วมกับวิธีการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า...	71
4.4 ผลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย NaOH.....	75
4.5 ผลของความเข้มข้นของ NaOH ที่มีผลต่อการชะละลาย.....	77
4.6 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย NaOH.....	79
4.7 ผลของอัตราการสั่น ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย NaOH.....	81
4.8 ผลของเวลาที่ใช้ ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย NaOH.....	83
4.9 ผลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย HCl.....	90
4.10 ผลของความเข้มข้นของ HCl ที่มีผลต่อการชะละลาย.....	92
4.11 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำหนักรวม ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย HCl.....	94
4.12 ผลของอัตราการสั่น ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย HCl.....	96
4.13 ผลของเวลาที่ใช้ ที่มีผลต่อการชะละลายด้วย HCl.....	98
4.14 ผลการวิจัยการผลิตทั้งสคิกออกไซด์.....	104
5.1 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่ผ่านการชะละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก.....	109
ก-1 ลักษณะ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่.....	120
ข-2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ที่ใช้ในการจำแนกชนิดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง	124

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 รูปผลึกโคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์.....	8
2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ และส่วนประกอบ Nb_2O_5 และ Ta_2O_5 ในโคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์.....	8
2.3 แหล่งโคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ วุลแฟรมไต์ และการแพร่กระจายตัวของหินแกรนิต...	13
2.4 รูปผลึกวุลแฟรมไต์.....	20
3.1 แผนผังการตั้งแร่ค้ำบูกแบบทั่วไปในประเทศไทย.....	34
3.2 แผนผังการตั้งแร่พลอยไซด์แบบทั่วไป.....	34
3.3 การกระจายตัวของขนาด Na_2O , Ta_2O_5 และ WO_3 ของตัวอย่างที่นำมาวิจัย	36
3.4 โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์.....	38
3.5 วุลแฟรมไต์.....	39
3.6 โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ และ วุลแฟรมไต์.....	39
3.7 อิลเมไนต์ และค้ำบูก.....	40
3.8 คอโรนาโดต์ และควอซซ์.....	40
3.9 โมนาไซต์ และซีโมไทต์.....	41
3.10 เซอร์คอน และ ควอซซ์.....	41
3.11 โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์.....	44
3.12 โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ Cross-nicol.....	44
3.13 โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์.....	45
3.14 วุลแฟรมไต์.....	45
3.15 อิลเมไนต์.....	46
3.16 อิลเมไนต์ cross-nicol.....	46
3.17 คอโรนาโดต์	47
3.18 คอโรนาโดต์ cross-nicol.....	47
3.19 คอโรนาโดต์ (Co) รูไทล์ (Ru) ในควอซซ์ (Qtz).....	48
3.20 ไพไรต์ (Py) ในคอโรนาโดต์ (Co)	48

รูปที่	หน้า
3.21 คีบิก (Cas) รูไทล์ (Ru) ในควออตซ์ (Qtz).....	49
3.22 คีบิก (Cas) รูไทล์ (Ru) ในควออตซ์ (Qtz) cross-nicol.....	49
3.23 ลักษณะของโคลัมไบต์ (Col) อิลเมนิต์ (Il) คอโรนาไคต์ (Co) รูไทล์ (Ru) แทรกอยู่ในควออตซ์ (Qtz) ภายใต้อิเล็กตรอนและจุดที่ทำการวิเคราะห์ โดยวิธีอีเอ็มเอ (Col-1) และ (Co-1).....	51
3.24 การกระจายตัวของธาตุไนโอเบียม.....	51
3.25 การกระจายตัวของธาตุแทนทาลัม.....	52
3.26 การกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม.....	52
3.27 การกระจายตัวของธาตุแมงกานีส.....	53
3.28 ลักษณะคอโรนาไคต์ และจุดที่ทำการวิเคราะห์ (Co-2) ภายใต้อิเล็กตรอน.....	55
3.29 ลักษณะวุลแฟรมิต์ และจุดที่ทำการวิเคราะห์ (W-1) ภายใต้อิเล็กตรอน.....	56
3.30 การกระจายของธาตุทั้งสี่เตน.....	57
3.31 ลักษณะอิลเมนิต์ และจุดที่ทำการวิเคราะห์ (I-1) ภายใต้อิเล็กตรอน.....	58
3.32 การกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม.....	59
3.33 ผลการวัด (Measurement) และค่า d-spacing โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน..	61
3.34 ผลการจำแนกชนิดแร่ (Search match) โดย XRD ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ JDX.....	62
3.35 ผลการจำแนกชนิดแร่โดยการตรวจสอบค่า 2 θ จากค่า d-spacing จากตาราง JCPDS.....	63
4.1 กราฟแสดงการสูญเสีย (loss) WO ₃ ที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ของ NaOH (จากวิธีการละลายเฉพาะผิวหน้า).....	71
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการการวิจัย.....	73
4.3 ตัวอย่างภาพหลังการชะละลาย.....	73

รูปที่	หน้า
4.4 ผลของอุณหภูมิในการชะละลายด้วย NaOH.....	76
4.5 ผลของความเข้มข้นของ NaOH ในการชะละลาย.....	78
4.6 ผลของเปอร์เซ็นต์ของของแข็งในน้ำหนักรวม ในการชะละลายด้วย NaOH.....	80
4.7 ผลของอัตราการกวน ในการชะละลายด้วย NaOH.....	82
4.8 ผลของเวลาที่ใช้ในการชะละลายด้วย NaOH.....	84
4.9 ผลการจำแนกชนิดแร่โดยการตรวจสอบ มุม 2θ จากค่า d-spacing ใน JCPDS card ของตัวอย่างที่ผ่านการชะละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	86
4.10 ผลของอุณหภูมิในการชะละลายด้วย HCl.....	91
4.11 ผลของความเข้มข้นของ HCl ในการชะละลาย.....	93
4.12 ผลของเปอร์เซ็นต์ของของแข็งในน้ำหนักรวม ในการชะละลายด้วย HCl.....	95
4.13 ผลของอัตราการกวนในการชะละลายด้วย HCl.....	97
4.14 ผลของเวลาที่ใช้ในการชะละลายด้วย HCl.....	99
4.15 ผลการจำแนกชนิดแร่โดยการตรวจสอบ มุม 2θ จากค่า d-spacing ใน JCPDS card ของตัวอย่างที่ผ่านการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	101
ง-1 ความยาวคลื่นของรังสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานต่างๆ	128
ง-2 หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	129
ฉ-1 ระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบอีดีเอส(EDS).....	154
ฉ-2 ระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบดับเบิลยูดีเอส(WDS).....	155

คำอธิบายคำย่อ

SEM	:	Scanning Electron Microscope
EPMA	:	Electron Probe Micro-Analysis
XRD	:	X-Ray Diffraction
XRF	:	X-Ray Fluorescence
s	:	Solid
l	:	Liquid
g	:	Gas
มล.	:	มิลลิลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย