

การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก
และการลอยแร่



นายไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

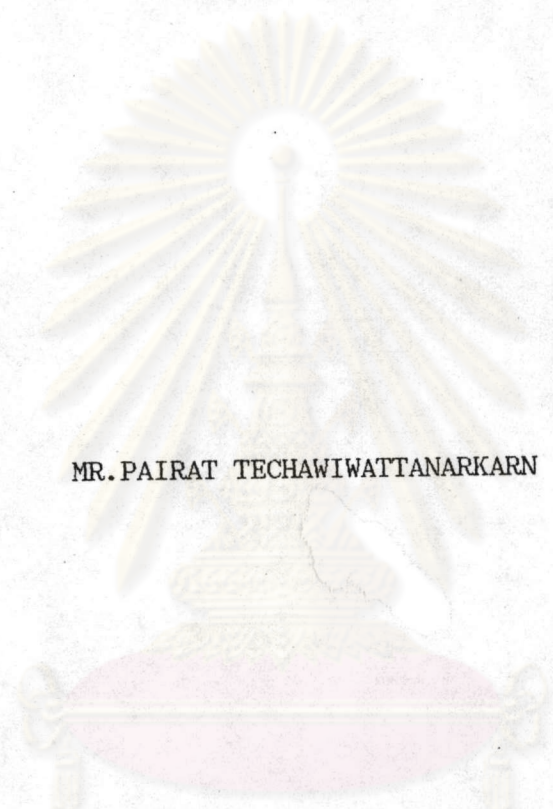
ISBN 974 - 577 - 154 - 6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016557

I10809147

PROCESSING OF FELDSPAR BY WET HIGH INTENSITY MAGNETIC SEPARATION
AND FLOTATION TECHNIQUES



MR. PAIRAT TECHAWIWATTANARKARN

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mining Engineering and Mining Geology

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974 - 577 - 154 - 6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นสูง
แบบเปียกและการลอยแร่
โดย นายไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ
ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยุ โฉมดี



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรวิชัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวัลชัย ลีเผ่าพันธ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยุ โฉมดี)

..... กรรมการ
(นายกวี เพิ่มพูล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุรพล ภูวิจิตร)

นายไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ : การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกและการลอยแร่ (PROCESSING OF FELDSPAR BY WET HIGH INTENSITY MAGNETIC SEPARATION AND FLOTATION TECHNIQUES) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ภิญโญ มีษานะ, 257 หน้า. ISBN 974-577-154-6

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก โดยทำการแยกแร่แม่เหล็กดินแม่เหล็กอย่างอ่อนออกไป ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดตั้งคาร์บูเซล แล้วจึงทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอร์ตซ์

ผลการวิจัยพบว่า แร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งเป็นแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำ ชนิดแร่กะเย (0.38 %CaO, 5.57 %Na₂O, 4.60 %K₂O, 0.260 %Fe₂O₃) มีแร่เฟลด์สปาร์ ร้อยละ 76.20, แร่แม่เหล็ก คือ แร่ควอร์ตซ์ ร้อยละ 21.98 และแร่แม่เหล็กดินแม่เหล็กอย่างอ่อน (เช่น การ์เน็ต, ทิวร์มาลีน, ไพไรต์, มัลโคไวต์) อยู่รวมกันร้อยละ 1.98 และมีขนาดแร่ที่เป็นอิสระที่เหมาะสมในการบดลดขนาดคือ มีขนาดเล็กกว่า 60 เมช

ณ ที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมในการแยกแร่ที่บดแล้ว ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดตั้งคาร์บูเซล ในการผ่าน 1 ครั้ง คือ เมื่อทำการบ่อน% ของแข็งในแร่บ่อนผลน้ำเท่ากับ 20 ที่อัตราการบ่อนของผล 10 ลิตร/นาที่ ณ อัตราเร็วตั้งคาร์บูเซล 3.38 เมตร/นาที่ ซึ่งให้ผลการเก็บแร่ได้ (% Yield) เท่ากับ 92.26, % การลดปริมาณ Fe₂O₃ (% Reject of Fe₂O₃) เท่ากับ 75.17, ที่คุณภาพ (% Grade) 0.070 % Fe₂O₃ ในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอร์ตซ์โดยส่วนใหญ่

สำหรับการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอร์ตซ์ สภาวะการทำงานที่เหมาะสมคือ เมื่อทำการลอยแร่ ณ ค่า pH 2.50 โดยใช้กรดกัดแก้ว, ใช้ปริมาณสารเคลือบผิวประเภทเกลือของอะมีน ชนิดโดเดซิลแอมโมเนียมอะซิเตต (Dodecylammonium Acetate, DAA) เท่ากับ 300 กรัม/ตันแร่บ่อน, เวลาปรับสภาพ 5 นาที และเวลาการลอยแร่ 8 นาที ซึ่งให้ หิวแร่เฟลด์สปาร์มีคุณภาพ (% Grade) ร้อยละ 98.63 (0.44 %CaO, 7.17 %Na₂O, 6.06 %K₂O, 0.041 %Fe₂O₃), การเก็บแร่ได้ (% Recovery) ร้อยละ 98.41 และมีแร่ควอร์ตซ์ปะปนอยู่ด้วยซึ่งมีคุณภาพร้อยละ 1.25 ซึ่งสามารถนำไปใช้งานทางอุตสาหกรรมเซรามิกได้



ภาควิชา ...วิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่
ปีการศึกษา ...2532.....

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

MR. PAIRAT TECHAWIWATTANARKARN : PROCESSING OF FELDSPAR BY WET HIGH INTENSITY MAGNETIC SEPARATION AND FLOTATION TECHNIQUES.
THESIS ADVISOR : ASSIT. PROF. PINYO MEECHUMNA, Ph.D., 257 pp.

The content of this research is the processing of feldspar ore for ceramic industry. Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS) of Carousel-type was used to reject paramagnetic gangues followed by froth flotation to separate feldspar from quartz.

It has been found that the low grade feldspar (0.38 %CaO, 5.57 %Na₂O, 4.60 %K₂O, 0.260 %Fe₂O₃) contains 76.20 % feldspar minerals, 21.98 % quartz and 1.98 % paramagnetic gangues (such as garnet, tourmaline, pyrite, muscovite). Liberation size of the ore to be ground is about less than 60 mesh.

The optimum condition to treat the ground ore through WHIMS of Carousel-type at one pass is to prepare the pulp feed 20 % solids at the flowrate of 10 litre per minute and carousel speed of 3.38 metre per minute to obtain 92.26 % yield at 75.17 % reject of Fe₂O₃ with non magnetic mixture of feldspar and quartz containing 0.070 % Fe₂O₃.

To float feldspar from quartz, the optimum condition must be adjusted at pH 2.50 by hydrofluoric acid (HF) using Dodecylammonium Acetate (DAA) as collector at 300 gram per ton feed, conditioning time at about 5 minutes and flotation time of about 8 minutes. The feldspar concentrate contains 98.63 % feldspar minerals (0.44 %CaO, 7.17 %Na₂O, 6.06 %K₂O, 0.041 %Fe₂O₃) at the recovery of 98.41 with 1.25 % quartz in concentrate which is suitable to be used for ceramic industry.



ภาควิชา MINING ENGINEERING AND MINING GEOLOGY

สาขาวิชา MINING ENGINEERING

ปีการศึกษา 1989

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



กิตติกรรมประกาศ

การทำงานที่ล่วงของ โครงการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความสนับสนุนและช่วยเหลือ
ให้กำลังใจสม่ำเสมออย่างดีเยี่ยมจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ ประกอบกับการ
ส่งเสริมด้านจิตใจ และด้านการเงินจากคุณพ่อคุณแม่ที่เห็นความสำคัญของการศึกษาอย่างแท้จริง
ประเด็นสำคัญของความช่วยเหลือ คือ การวิเคราะห์ผลการวิจัยของเจ้าหน้าที่ศูนย์
วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (STREC) อาจารย์และบุคลากรของภาควิชาวัสดุ-
ศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันทำให้ผลการวิจัยแล้วเสร็จทุกประการ
นอกเหนือที่กล่าวมา ผู้มีส่วนช่วยเหลือในการทำงาน ของทรพยากรธรณีจังหวัด และ
วิศวกรเหมืองแร่ประจำสำนักงานราชบุรี ในการอำนวยความสะดวกการเก็บตัวอย่างแร่
ทรพยากรธรณีจังหวัด และเจ้าหน้าที่ของสำนักงานทรพยากรธรณีจังหวัดพังงา ที่ให้
โอกาสการทำงานและการนิมนต์
รวมทั้งวิศวกรเหมืองแร่ประจำสำนักงานทรพยากรธรณีจังหวัดต่าง ๆ และกองการ
เหมืองแร่ กรมทรพยากรธรณี ประกอบกับเพื่อน ๆ ต่างสาขาวิชาซึ่งที่คอยกระตุ้น, เร่งเร้า ให้
กำลังใจเสมอมา
ท้ายสุดขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่มีได้เอื้อเฟื้อมีส่วนช่วยเหลือในการทำงานจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ล่วง

นายไพรัตน์ เตชะวัตตนาการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิทยานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิทยานิพนธ์	5
2 ธรรมชาติของแร่เฟลด์สปาร์	6
2.1 โครงสร้าง, องค์ประกอบ, คุณสมบัติแร่และการใช้ประโยชน์ ของแร่เฟลด์สปาร์	8
2.1.1 โครงสร้าง (Structure) ของแร่เฟลด์สปาร์	10
2.1.2 องค์ประกอบ (Composition) ของแร่เฟลด์สปาร์	11
2.1.3 คุณสมบัติทั่วไปของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน	15
2.1.4 การใช้ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์	17
2.2 การกำเนิดและชนิดของแหล่งแร่เฟลด์สปาร์	19
2.2.1 การกำเนิดแร่เฟลด์สปาร์	19
2.2.2 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย	20
2.2.3 ศักยภาพแร่ (Mineral Potential)	22
2.3 ภาวะการผลิต, การส่งออกและการใช้งานภายในประเทศ ...	23
3 การศึกษาลักษณะทางแร่วิทยาและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกัน	25
3.1 การศึกษาลักษณะทางแร่วิทยาเพื่อการจำแนกชนิดแร่	27

	3.1.1 การศึกษาจากแร่ตัดบาง (Thin Section)	27
	3.1.2 การศึกษาการจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์ เลี้ยวเบน	37
	3.2 การศึกษาสัดส่วน, ขนาดแร่ที่อยู่ร่วมกันและผลวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมี	38
	3.2.1 การศึกษาลักษณะการอยู่ร่วมกันของขนาดแร่บดโดย การนับเม็ด	45
	3.2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	50
	3.3 การเตรียมตัวอย่างแร่โดยการบดลดขนาดที่เหมาะสมเพื่อ การแยกแร่	53
4	การแยกแร่เฟลด์สปาร์ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซลล์	58
	4.1 กลุ่มของแร่ตามคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก	58
	4.2 ทฤษฎีและกลไกในการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก	60
	4.2.1 การเป็นแม่เหล็กของวัสดุ (Magnetisation of Material)	60
	4.2.2 แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดบนเม็ดวัสดุ (Tractive Magnetic Force on Particle of Material)	65
	4.2.3 แรงต่อต้านที่เกิดบนเม็ดวัสดุ (Competing Forces on Particle of Material)	72
	4.2.4 แรงระหว่างเม็ดวัสดุ (Interparticle Force on Particle of Material)	73
	4.3 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ใช้ในการแยกหัวแร่และแยกแร่ให้สะอาด แบบเปียก (Wet Magnetic Separator)	74
	4.3.1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator เขียนย่อว่า WHIMS)	78
	4.3.2 สมรรถนะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความ	

	เพิ่มความเข้มสูงแบบเปียก (Performance of Wet High Intensity Magnetic Separator)	90
4.3.3	การประยุกต์ใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกในอุตสาหกรรมการแยกแร่	92
4.4	การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแยกแร่เฟลด์สปาร์ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเชล	95
4.4.1	อุปกรณ์	95
4.4.2	วิธีการวิจัย	100
4.4.3	ผลการวิจัยและอภิปราย	102
4.4.4	สรุปผลการวิจัย	131
5	การลอยแร่เฟลด์สปาร์	133
5.1	พื้นฐานและกลไกการลอยแร่	133
5.1.1	เคมีของการลอยแร่ (Chemistry of Flotation) ..	133
5.1.2	ชั้นคู่ทางไฟฟ้า (Electrical Double Layer, EDL)	139
5.1.3	สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่	142
5.2	การลอยแร่ชนิดที่เกิดด้วยสารเคลือบผิวประจุบวก	144
5.2.1	ชนิดของสารเคลือบผิวประจุบวก	144
5.2.2	กลไกการดูดซับของสารเคลือบผิวประจุบวก (Mechanism of Adsorption of Cationic Surfactant)	146
5.2.3	มอดูเลชันบางประการของการลอยแร่ด้วยสารเคลือบผิวประจุบวก (Some Modulation of Cationic Flotation)	147
5.3	การทดสอบการลอยแร่ขั้นต้น	156
5.3.1	การทดสอบการลอยแร่ด้วยเซลล์ลอยแร่ขนาดห้องปฏิบัติการ (Bulk of Laboratory or Bulk Froth Test)	157
5.3.2	ข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการออกแบบการลอยแร่	160

5.4	การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้ กรดกัดแก้ว	163
5.4.1	อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	165
5.4.2	วิธีการวิจัย	167
5.4.3	ผลการวิจัยและอภิปราย	169
5.4.4	สรุปผลการวิจัย	186
6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	187
6.1	สรุปผลการวิจัย	187
6.2	ข้อเสนอแนะ	188
	เอกสารอ้างอิง	190
	ภาคผนวก	211
ก.	วิธีการเตรียมตัวอย่างแร่ตัดบาง (Thin Section) เพื่อการศึกษา ทางแร่วิทยา	211
ข.	การกัดผิวตัวอย่างแร่ (Staining Surface of Minerals) ...	213
ค.	การจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (Mineral Identification by X-Ray Diffraction)	215
ง.	การจำแนกชนิดแร่ด้วยคุณสมบัติการติดแม่เหล็กด้วยเครื่องแยก แม่เหล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ชนิด Frantz Isodynamic	231
จ.	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยรังสีเอกซ์เรือง (Chemical Analysis by X-Ray Fluorescent)	235
ฉ.	การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็กด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสง โดยวิธีอะตอมมิค แอบซอร์บชั่น	242
ช.	การหาปริมาณความชื้นและการสูญเสียจากการเผาไหม้	246
ซ.	การทดสอบตัวอย่างแร่โดยการเผารูปกรวยที่อุณหภูมิ 1200 °C	247
ณ.	การปรับค่าความเข้มข้นแม่เหล็กและความเร็วถึงคาร์บูเชลของ เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียก	249
ญ.	ค่าสัมพัทธ์ของการติดแม่เหล็ก (Relative Attractability) ของแร่ชนิดต่าง ๆ	256
	ประวัติผู้เขียน	257



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	โคออร์ดิเนชันของธาตุในแร่ซิลิเกต	7
2.2	การแบ่งชนิดแร่เฟลด์สปาร์	14
2.3	ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีทางทฤษฎี	14
2.4	คุณสมบัติบางประการของแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน	16
2.5	ข้อกำหนดแร่ควอร์ตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ทางการค้า	18
2.6	การผลิต, การส่งออกและการใช้แร่ภายในประเทศ ปี พ.ศ. 2527-2531	24
3.1	ขนาดแร่วัดจากแร่ตัดบาง	36
3.2	การกระจายตัวของขนาดแร่บด (Crushed Ore)	41
3.3	ร้อยละ Fe_2O_3 และการหัดตัวโดยปริมาตรของแร่บดรวมหลังการเผา รูปกรวย	42
3.4	ร้อยละ Fe_2O_3 และการหัดตัวโดยปริมาตรของแร่แต่ละช่วงขนาด	44
3.5	การกระจายตัวของ เหน.แร่ที่อยู่ร่วมกันของแร่บด (Crushed Ore) คิด เป็นร้อยละ โดยน้ำหนักจากการนับเม็ดแร่	47
3.6	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่บด (Crushed Ore) และสัดส่วน แร่ที่อยู่ร่วมกัน	52
3.7	การเปรียบเทียบขนาดแร่จากการวัดจากแร่ตัดบางกับการนับเม็ดแร่	54
3.8	การกระจายตัวของขนาดแร่ที่เป็นอิสระ (- 60 เมช, F2)	55
3.9	ร้อยละ Fe_2O_3 และการหัดตัวโดยปริมาตรของแร่บดละเอียด (Ground Ore) รูปกรวยที่ผ่านการเผาที่ช่วงขนาดต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.8	56
4.1	แร่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยกได้ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กต่าง ๆ กัน	94
4.2	สภาวะการทำงานของ WHIMS ชนิดถังคาร์บูเซลล์ในการแยกแร่เฟลด์สปาร์ .	101
4.3	ตัวแปรของการวิจัยแยกแร่ด้วย WHIMS ชนิดถังคาร์บูเซลล์	102
4.4	ผลการแยกแร่ด้วย WHIMS ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ	104
4.5	ผลการแยกแร่ด้วย WHIMS โดยการผ่าน 2 ครั้ง ที่สภาวะซึ่งเหมาะสม สูงสุด	127

ตารางที่	หน้า
4.6	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกันของแร่ป้อนและแร่ไม่ติดแม่เหล็กผ่าน WHIMS 128
4.7	การกระจายตัวของขนาดแร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมสูงสุด 129
5.1	ลำดับความมีขั้ว (Polarity) ของแร่ชนิดต่าง ๆ 134
5.2	จุดประจุเป็นศูนย์ของแร่ออกไซด์และซิลิเกตบางชนิด 137
5.3	ประจุพื้นผิวของกลไกการละลายได้มากกว่าของพื้นผิว (Surface Charge of Preferential Dissolution of Surface) 138
5.4	สารเคลือบผิวประจุบวกชนิดอะมีน 145
5.5	ค่าคงที่ทางกายภาพของสารเคลือบผิวประจุบวกชนิดอะมีนที่มีจำนวน 12 คาร์บอน 145
5.6	ค่าการละลายได้และค่า CMC ของอะมีนปฐมภูมิ 146
5.7	ความสัมพันธ์ของ pH ที่มีต่อการลอยได้, มุมสัมผัส และการตกตะกอนของโมเลกุลชนิดต่าง ๆ สำหรับสารเคลือบผิวประจุบวก 12 คาร์บอน 149
5.8	ตัวแปรในการลอยแร่ 164
5.9	ตัวแปรในการวิจัยการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้กรดกัดแก้ว 168
5.10	ตัวแปรในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ของแต่ละค่า pH 170
5.11	ผลการลอยแร่เฟลด์สปาร์ของแต่ละค่า pH 171
5.12	ผลการลอยแร่เฟลด์สปาร์ที่ค่า pH 2.00, 2.25 และ 2.50, สารเคลือบผิว 200, 300, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน, เวลาปรับสภาพ 5 นาที .. 174
5.13	ผลการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน ที่เวลาปรับสภาพต่าง ๆ กัน 177
5.14	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกันของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน, เวลาปรับสภาพ 5 นาที 182
5.15	การเก็บแร่ได้ (Recovery), คุณภาพแร่ (Grade) และค่าคงที่ของอัตราการลอยแร่ (Flotation Rate Constant, K) ของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน, เวลาปรับสภาพ 5 นาที 183



สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างเตตระฮีดรอน (Tetrahedron Structure)	6
2.2	โครงสร้างเทคโทซิลิเกตของแร่ซิลิกา, SiO_2	7
2.3	ชนิดแร่เฟลด์สปาร์ของระบบไตรภาค	9
2.4	เฟสไดอะแกรมของระบบแอลไบต์ (Ab) กับออร์โทเคลส (Or)	11
2.5	เฟสไดอะแกรมของแร่เพลจีโอเคลสเฟลด์สปาร์	12
2.6	ความสัมพันธ์ของผลึกผสมเนื้อเดียวของระบบ Or-Ab-An ที่ความดัน $P_{\text{H}_2\text{O}}$ เท่ากับ 1 กิโลบาร์	13
2.7	แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศไทยและการแพร่กระจายของทิกแกริต ...	21
3.1	แผนที่แสดงจุดที่ตั้งแหล่งแร่ มาตรฐาน 1:50,000 ลำดับชุด L 7017 ระวางที่ 4836 III	26
3.2	แร่ไมโครไคลน์ (Mi) แสดงผลึกผสมเนื้อแยก (Exsolution) ของแร่ แอลไบต์ (Ab) และแร่เซริไซต์ (Se) ที่กระจายไปทั่ว (แร่ตัดบาง, 50X , X-Nicol)	28
3.3	แร่แอลไบต์ (Ab) แสดงผลึกแฝดแอลไบต์ (แร่ตัดบาง, 25X, X-Nicol)	29
3.4	แร่การ์เนต (G), มัสโคไวต์ (Mv), ควออตซ์ (Q) ในแร่แอลไบต์ (Ab) (แร่ตัดบาง, 25X, แสงโพลาไรซ์)	30
3.5	แร่การ์เนต (G), มัสโคไวต์ (Mv), ควออตซ์ (Q), ในแร่แอลไบต์ (Ab) (แร่ตัดบาง, 25X, X-Nicol)	30
3.6	แร่มัสโคไวต์ (Mv) แสดงสีแทรกสอด (Interference Color) (แร่ตัด บาง, 50X, X-Nicol)	31
3.7	แร่ไพไรต์ (Pr) (แร่ตัดบาง, 25X, แสงโพลาไรซ์)	32
3.8	แร่ทิวร์มาลีน (T1) ฝังประในหินแร่หน้าเหมือง เช่น แอลไบต์ (Ab) และควออตซ์ (Q)	33
3.9	แร่ทิวร์มาลีน (T1) (แร่ตัดบาง, 25X, แสงโพลาไรซ์)	33
3.10	แร่ทิวร์มาลีน (T1) (แร่ตัดบาง, 25X, X-Nicol)	34
3.11	ก) ผลการเพาปรูวแร่เฟลด์สปาร์ตัดด้วยมือ (Hand Sorting),	

รูปที่

หน้า

	ข) ภาพแร่ตัดบางของไมโครโคลน-ไมโครเพอร์ไทต์,	
	ค) ทินตัดเรียบผ่านการกัดผิว (Stained Rock Slab)	35
3.12	ก) ผลการเพารูปกรวยของสินแร่หน้าเหมือง ตามรูปที่ 3.8,	
	ข) ภาพแร่ตัดบางของแร่ทัวร์มาลีน (Tl), 25X, ภายใต้ X-Nicol,	
	ค) ทินตัดเรียบผ่านการกัดผิว (Stained Rock Slab)	35
3.13	ผลการวัด (Measurement) ของแร่ป้อน (Bulk Feed, FR-1) โดย รังสีเอกซ์เลี้ยวเบน	39
3.14	ผลการจำแนกชนิดแร่ (Search Match) ของแร่ป้อน (Bulk Feed, FR-1) โดยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน	40
3.15	การกระจายตัวของขนาดของแร่บด (Crushed Ore)	42
3.16	ผลการเพารูปกรวยของแร่บดรวม (Bulk Crushed Ore)	43
3.17	ผลการเพารูปกรวยของแร่บด (Crushed Ore) ตามขนาดการกระจายตัว	43
3.18	การกระจายตัวของแร่ผ่านการบดที่ขนาดเป็นเอิสระ (-60 เมช, F2) ...	56
3.19	ผลการเพารูปกรวยของแร่บดละเอียด (Ground Ore) ที่ช่วงขนาด ต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.9	57
4.1	เส้นโค้งแสดงการเป็นแม่เหล็กของวัสดุไม่ติดแม่เหล็ก (แร่ควอร์ตซ์), วัสดุ ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (แร่ฮีมาไทต์) และวัสดุติดแม่เหล็กอย่างแรง (แร่ แมกนีไทต์) จะสังเกตเห็นความแตกต่างของมาตราส่วนแกน Y (ค่า J) ระหว่าง (a) กับ (b)	64
4.2	Magnetic Hyteresis ของวัสดุติดแม่เหล็กอย่างแรง จะสังเกตเห็นว่า การเป็นแม่เหล็ก (Magnetisation) ของวัสดุนี้จะถึงจุดอิ่มตัว J_{∞} ที่ ความเข้มสนามแม่เหล็ก H_{∞}	65
4.3	นิยามของ r และ θ ในระบบพิกัดขั้วขั้ว ซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่ สม่ำเสมอ	69
4.4	แรงแม่เหล็กสัมพัทธ์ ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลาง ของเส้นลวดกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดแร่ทรงกลม	70
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก, ความชันของสนามแม่เหล็ก และแรงซึ่งกระทำต่อเม็ดแร่ทรงกลม ซึ่งมีขนาด 1 ใน 3 ของเส้นผ่าศูนย์กลาง กลางของเส้นลวด	70

รูปที่	หน้า	
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงดูดแม่เหล็ก (F_m) แรงโน้มถ่วง (F_g) และแรงออกจลน์ (F_d) กับขนาดของอนุภาควัสดุติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (ในที่นี้เมทริกซ์ (Matrix) ที่ใช้มีรูปร่างทรงกระบอกเรียวทำจากวัสดุติดแม่เหล็กอย่างแรงมีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 3 เท่า ของเม็ดทองแดงออกไซด์ (CuO) ซึ่งติดแม่เหล็กอย่างอ่อนภายใต้สนามแม่เหล็กความเข้ม 10 KOe และมีความเร็วของเม็ด CuO ผสมน้ำ 5 ซม./วินาที) และกราฟด้านล่างได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเกาะติดของเม็ดแร่กับขนาดของเม็ดแร่	75
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเป็นแม่เหล็กของเม็ดแร่กับขนาดของเม็ดแร่ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าจะสามารถแยกแร่ชนิดนั้นออกมาได้หรือไม่ ..	75
4.8	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดกิลล์	79
4.9	เมทริกซ์ซึ่งมีรูปร่างแบนเป็นที่บรรจุในเครื่องแยกแร่ของโจนส์	80
4.10	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูงของโจนส์ ซึ่งทำงานเป็นจังหวะ 3 ขั้นตอน	81
4.11	ลักษณะที่สำคัญของเครื่องแยกแร่ความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคาร์บูเซล ...	82
4.12	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซล Carpco Separator	83
4.13	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซล Krupp Sol Separator, A คือ แร่ป้อนผสมน้ำ, B คือ ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก, C คือ ส่วนที่ติดแม่เหล็ก, W คือ น้ำ, Z คือ บริเวณกึ่งกลาง, และ N-S คือ ขั้วเหนือ-ใต้ ของแม่เหล็ก	83
4.14	(a) รูปร่างและการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซล Jones Separator (b) เมทริกซ์รูปร่างแบนเป็นที่บรรจุใน Jones Separator	84
4.15	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดถังคาร์บูเซล Boxmag-Rapid Separator	86
4.16	เมทริกซ์รูป Wedge-Bar ที่รูปทรงแข็งแรง ซึ่งใช้ใน Boxmag-Rapid Separator	87
4.17	เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดกระบอกกลม MRVK-1 Separator	87

รูปที่	หน้า
4.18 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์	90
4.19 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก ชนิดคานิสเตอร์ อันได้แก่ (a) ขนาดของเม็ดแร่, (b) ความเร็วของแร่ป้อนผสมน้ำ, (c) เวลาที่ใช้ในการแยก	91
4.20 แสดงผลการแยกมลทินออกจากแร่ดินขาวด้วยเครื่องแยกคานิสเตอร์	91
4.21 ส่วนประกอบโดยทั่วไป ของเครื่องแยกแร่ WHIMS ชนิดถึงคารูเชล	96
4.22 WHIMS ชนิดถึงคารูเชล ของ Eriez Megnetic Co., Ltd. รุ่น CF-5	97
4.23 อุปกรณ์ของ WHIMS ชนิดถึงคารูเชล รุ่น CF-5	
ก) เมทริกซ์ชนิดตาข่ายสเตนเลส (Mx) รุ่น EX-4Z	
ข) อุปกรณ์ช่วยเหลือในการทำงาน, ถึงกวแร่ป้อนผสมน้ำ (A), ระบบ-สูบลของผสม (P)	
ค) ตู้ควบคุมการผลิตสนามแม่เหล็กและความเร็วถึงคารูเชล (C)	98
4.24 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	106
4.25 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) แร่ไม่ติดแม่เหล็กที่อัตราการป้อนของผสม 5(A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	106
4.26 ผลการเผาปรุกของแร่ไม่ติดแม่เหล็กซึ่งผ่าน WHIMS ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	107
4.27 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	108
4.28 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	108

รูปที่	หน้า
4.29 ผลการเผาปรุกย่อยของแร่ไมติตแม่เหล็กซึ่งผ่าน WHIMS ที่อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	109
4.30 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไมติตแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 15 (C) ลิตร/นาที ณ ความเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	110
4.31 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไมติตแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	110
4.32 ผลการเผาปรุกย่อยของแร่ไมติตแม่เหล็ก ซึ่งผ่าน WHIMS ที่อัตราการป้อนของผสม 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที	111
4.33 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) ของแร่ไมติตแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Yield ของกราฟรูปที่ 4.24 + 4.27 + 4.30)	112
4.34 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไมติตแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Reject Fe_2O_3 ของกราฟรูปที่ 4.24 + 4.27 + 4.30)	113
4.35 ผลของ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไมติตแม่เหล็ก ที่อัตราการป้อนของผสม 5 (A), 10 (B) และ 15 (C) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเชล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Fe_2O_3 ของกราฟรูปที่ 4.25 + 4.28 + 4.31)	113
4.36 ผลการเผาปรุกย่อยของแร่ไมติตแม่เหล็ก ซึ่งผ่านการแยกโดย WHIMS ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ แสดงรวมกันไว้ทั้งหมด (รูปที่ 4.26 + 4.29 + 4.32)	114
4.37 ผลของอัตราการป้อนของผสมที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การ	

รูปที่

หน้า

	ลดปริมาณ Fe_2O_3 ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ..	115
4.38	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 10 (H1NM1) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ..	115
4.39	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 20 (H1NM2) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ..	116
4.40	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 20 (H1NM2) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ..	117
4.41	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ..	118
4.42	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe_2O_3) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที ..	119
4.43	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Yield ของกราฟรูปที่ 4.37 + 4.39 + 4.41) ..	120
4.44	ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อ % การลดปริมาณ Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคาร์บูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Reject Fe_2O_3 ของกราฟรูปที่ 4.37 + 4.39 + 4.41) ..	121

รูปที่	หน้า
4.45 ผลของอัตราการป้อนของผสม ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe ₂ O ₃) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 10 (H1NM1), 20 (H1NM2), 30 (H1NM3) ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 0.60 (R2) และ 3.38 (R10) เมตร/นาที (% Fe ₂ O ₃ ของกราฟรูปที่ 4.38 + 4.40 + 4.42)	121
4.46 การเปรียบเทียบผลการเผารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 0.60 (R2) เมตร/นาที ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ (ดัดแปลงจากรูปที่ 4.36)	123
4.47 การเปรียบเทียบผลการเผารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 3.38 (R10) เมตร/นาที ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ (ดัดแปลงจากรูปที่ 4.36)	124
4.48 ผลของอัตราเร็วถึงคารูเซล ที่มีต่อการเก็บแร่ได้ (% Yield) และ % การลดปริมาณ Fe ₂ O ₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็ง เท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที	124
4.49 ผลของอัตราเร็วถึงคารูเซล ที่มีต่อคุณภาพ (% Fe ₂ O ₃) ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที	125
4.50 ผลการเผารูปกรวยของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 0.60 (R2), 1.98 (R6), 3.38 (R10) ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 20 (H1NM2) โดยมีอัตราการป้อนของผสม 10 (B)	125
4.51 ผลการเผารูปกรวยของสินแร่จากหน้าเหมือง (FRG 4.1-1), แร่มีสโคไวต์ (MICA) และแร่ติดแม่เหล็ก (H1MG4AR2) ซึ่งแยกด้วย WHIMS ที่ % ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำเท่ากับ 40 (H1MG4) อัตราการป้อนของผสม 5 (A) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 0.60 (R2) เมตร/นาที	126
4.52 % Fe ₂ O ₃ ของแร่ไม่ติดแม่เหล็กต่อจำนวนครั้งที่ผ่านเข้าไปแยกด้วย WHIMS	127
4.53 การกระจายตัวของขนาดแร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 (H1NM2BR10) และครั้งที่ 2 (H2NM2BR10) ที่สภาวะการทำงานเหมาะสมสูงสุด (% ของแข็งในแร่ป้อนผสมน้ำ เท่ากับ 20 (H1NM2 และ H2NM2), อัตราการป้อนของผสม 10 (B) ลิตร/นาที ณ อัตราเร็วถึงคารูเซล 3.38 (R10) เมตร/นาที	130

รูปที่	หน้า
4.54 ผลการเพาะปกรวยของแร่ไมต์ติแม่เหล็ก ที่สภาวะการทำงานเหมาะสม สูงสุด ผ่านการแยกด้วย WHIMS ครั้งที่ 1 (H1NM2BR10) และครั้งที่ 2 (H2NM2BR10)	131
5.1 สมดุลย์ของมมสัมพันธ์ระหว่างฟองอากาศและผิวของแข็ง ในของเหลว	134
5.2 ประจุที่ผิวที่เกิดชั้นเมมเบรนแร่ควอร์ตซ์เมื่ออยู่ในน้ำ	136
5.3 ลักษณะชั้นคูกางไฟฟ้า	
a) ชั้นที่ผิว (Surface Layer),	
b) ชั้นสเตอร์น (Stern Layer),	
c) ชั้นแพร่กระจาย (Diffuse Layer)	139
5.4 การเกิดไมเซลล์ (Micellization)	140
5.5 ลักษณะการดูดซับที่ผิวแร่เกิดเป็นเฮมิไมเซลล์ โดยสารเคลือบผิว	
a) การดูดซับด้วยไอออนเดี่ยวที่ความเข้มข้นสารเคลือบผิวต่ำ	
b) การเกิดเฮมิไมเซลล์ที่ความเข้มข้นสารเคลือบผิวสูง	
c) การดูดซับร่วม (CO-adsorption) ด้วยไอออนสารเคลือบผิว (Collector Ion) และโมเลกุลเป็นกลาง (Neutral Molecule)	141
5.6 การแยกประเภททั่ว ๆ ไปของสารเคลือบผิวแร่	143
5.7 ไดอะแกรมล็อกความเข้มข้น (Log Concentration) ของโคเดซิลอะมีน ที่ความเข้มข้น 1×10^4 โมลาร์ (M)	149
5.8 การเก็บแร่ได้ (Flotation Recovery) ของแร่ควอร์ตซ์ ที่เป็นฟังก์ชัน ต่อความเข้มข้นของอะมีนที่มีความยาวโซ่ไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ กัน ณ ค่า pH 6 ถึง 7	150
5.9 ความสัมพันธ์ที่แสดงถึงมมสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันของ pH ในการลอยแร่ควอร์ตซ์ ด้วยโคเดซิลอะมีน ในสภาวะที่มี และไม่มีแอลกอฮอล์	151
5.10 ความสัมพันธ์ของ pH และความเข้มข้นของสารเคลือบผิวโคเดซิลอะมีน ที่มี ต่อการลอยแร่เฟลด์สปาร์ (ออร์โทเคลส) ในสภาวะทั้งที่มี และ ไม่มีไอออน ของฟลูออไรด์	153
5.11 ความสัมพันธ์ที่แสดงถึงมมสัมพันธ์ของแร่ไมโครไคลน์ และแร่ควอร์ตซ์เป็น ฟังก์ชันของ pH ที่ความเข้มข้นสารเคลือบผิวโคเดซิลอะมีน 4×10^{-5} โมลาร์ (M) ในสภาวะทั้งที่มี และ ไม่มีไอออนของฟลูออไรด์	154

รูปที่	หน้า
5.12	เซลล์ลอยแร่ขนาดห้องปฏิบัติการ 158
5.13	การเก็บแร่ได้ (Recovery) ที่เวลาลอยแร่ต่าง ๆ กัน 158
5.14	ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ของอัตราการลอย (Flotation Rate Constant, K) ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับขนาดเม็ดแร่ (Mineral Size) 162
5.15	เซลล์ลอยแร่ขนาดห้องปฏิบัติการ ชนิด WEMCO รุ่น 71250-1-Agitair .. 166
5.16	ผลของความเข้มข้นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อปริมาณการใช้สารปรับ pH (HF) และสารเคลือบผิว (DAA) ในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ 172
5.17	ปริมาณการใช้สารเคลือบผิว (DAA) ต่อการลอยได้ (% Floatability or Cumulative % Weight of Floated Product) แต่ละค่า pH 172
5.18	ผลของค่าความเข้มข้นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อการลอยได้ 175
5.19	ผลของค่าความเข้มข้นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่ออัตราการลอย 175
5.20	ผลของเวลาปรับสภาพที่มีต่อการลอยได้ของแร่เฟลด์สปาร์ ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน 178
5.21	ผลของเวลาปรับสภาพที่มีต่อขนาดแร่ลอยได้ที่น้ำที่สกัดร้อยละ 80 ผ่านตะแกรง ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน 178
5.22	ผลการหารูปกรวยของแร่ลอยได้ [(FFI-(1+2).3M, เวลาลอย 1+2 นาที), (FFI-3.3M, เวลาลอย 3 นาที), (FFI-4.3M, เวลาลอย 4 นาที), (FFI-(5+6).3M, เวลาลอย 5+6 นาที)] และแร่จม (FSI-1.3M) ณ เวลาปรับสภาพ 3 นาที, ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน 180
5.23	ผลการหารูปกรวยของแร่ลอยได้ [(FFI-1, เวลาลอย 1+2 นาที), (FFI-2, เวลาลอย 3+4 นาที), (FFI-3, เวลาลอย 5+8 นาที)] และแร่จม (FSI-1) ณ เวลาปรับสภาพ 5 นาที, ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน 181
5.24	ผลของการเก็บแร่ได้ (Recovery) และคุณภาพแร่ (Grade) ของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน, เวลาปรับสภาพ 5 นาที 184
5.25	ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ของอัตราการลอย (Flotation Rate Constant, K) กับขนาดแร่ลอยได้ (ที่น้ำที่สกัดร้อยละ 80 ผ่านตะแกรง) ของ

รูปที่

หน้า

การลอยแร่เฟลด์สปาร์ ณ ค่า pH 2.50, 300 กรัม DAA/ตันแร่ป้อน,
เวลาปรับสภาพ 5 นาที

185



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย