

การเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดโดยกระบวนการลอยแร่



นายณัฐศาสตร์ สุนทรวิภาต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VALUE-ADDING OF FELDSPAR SLIME WASTE BY FLOTATION PROCESS

Mr. Natatsawas Soonthornwiphat



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดโดย
	กระบวนการลอยแร่
โดย	นายณัฐศาสตร์ สุนทรวิภาต
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พรทิพย์ ปริณายก)

ณัฐศวัส สุทรวิภาต : การเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดโดยกระบวนการลอยแร่ (VALUE-ADDING OF FELDSPAR SLIME WASTE BY FLOTATION PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 134 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดโดยกระบวนการลอยแร่ หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด เกิดจากกระบวนการแต่งแร่หลักของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ตั้งอยู่ในพื้นที่ ตำบลประดาง อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดตาก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 230 เมช (63 ไมครอน) คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของแร่ป้อนทั้งหมด โดยตั้งแต่ พ.ศ. 2528 ทางบริษัทฯมีปริมาณหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดนี้ ประมาณ 350,000 ตัน เมื่อทำการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) พบว่าองค์ประกอบสำคัญคือ แร่ควอตซ์ (Quartz) แร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) แร่แอลไบต์ (Albite) และแร่มลทินติดแม่เหล็ก เช่น ไบโอไทต์ (Biotite) หรือ ไมกาดำ (Black Mica) เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) พบว่าประกอบด้วย 72.53% SiO₂, 15.70% Al₂O₃, 1.56% Fe₂O₃, 0.16% TiO₂, 0.40% CaO, 0.07% MgO, 4.87% K₂O และ 4.38% Na₂O ซึ่งสัดส่วนของแร่นี้ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณสมบัติทางเคมี ที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิกได้ จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพผ่านกระบวนการคัดแยกแร่ติดแม่เหล็ก และทำการลอยแร่ในสภาวะต่าง ๆ พบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการลอยแร่ที่ pH 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด ที่ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) 2.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ให้ผลการเก็บแร่กลับคืนแร่ที่ 79.03% มีองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ คือ 67.42% SiO₂, 18.48% Al₂O₃, 0.97% Fe₂O₃, 0.08% TiO₂, 0.55% CaO, 0.09% MgO, 6.04% K₂O และ 5.49% Na₂O โดยมีค่าสัดส่วนของแร่ส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก อย่างไรก็ตามยังมีปริมาณของมลทิน Fe₂O₃ ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งควรต้องทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น เข้ากระบวนการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กอีกครั้ง และทำการลอยแร่เพื่อคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก ต่อไป

นอกจากนั้นได้มีการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุนในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยการประเมินโครงการทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการดำเนินงานของผู้ผลิตอีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5770407321 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: FELDSPAR / FELDSPAR SLIME WASTE / FLOTATION / ADD VALUE

NATATSAWAS SOONTHORNWIPHAT: VALUE-ADDING OF FELDSPAR SLIME WASTE BY FLOTATION PROCESS. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMSAK SAISINCHAI, 134 pp.

The purpose of this research is to add value of feldspar slime waste by flotation process. Feldspar slime waste, which is from the main processes of feldspar flotation plant at Attanee International Co., Ltd., Tak province, is 20% percent of the total ore feed with particle size less than 230 mesh (63 microns). Since 1985, company has produced the slime waste approximately around 350,000 tons, causing a huge pile of stock and obstructing the operation area.

The mineral compositions characteristic of feldspar slime waste using X-Ray Diffraction (XRD) showed that it consisted of albite, orthoclase, quartz, and impurity minerals such as biotite or black mica. The elemental chemical analysis by using X-Ray Fluorescent (XRF) showed 72.53% SiO_2 , 15.70% Al_2O_3 , 1.56% Fe_2O_3 , 0.16% TiO_2 , 0.40% CaO , 0.07% MgO , 4.87% K_2O and 4.38% Na_2O , which is unsuitable to use in ceramic industries. Then, this slime was conducted to magnetic separation and flotation process to improve feldspar's specifications to meet the requirement of ceramic industries.

Study of size feldspar slime waste flotation, which is used for removing quartz from feldspar, showed that the optimum condition is at 50% solids and must be adjusted to pH 2 by hydrofluoric acid (HF), using A-TD as a collector at 2.6 kilograms per ton feed. The results of the study showed that the recovery of feldspar attained 79.03% with grading 67.42% SiO_2 , 18.48% Al_2O_3 , 0.97% Fe_2O_3 , 0.08% TiO_2 , 0.55% CaO , 0.09% MgO , 6.04% K_2O and 5.49% Na_2O . The mineral compositions meet that is suitable for ceramic industry's specifications standard; however the impurity of Fe_2O_3 is high and required magnetic separation process and flotation.

Furthermore, there is the pre-feasibility study of the recovery and value - adding processes of feldspar slime waste by the economic evaluation. This is to guide decisions on initial investment of manufacturer as well.

Department: Mining and Petroleum Student's Signature

Engineering Advisor's Signature

Field of Study: Georesources Engineering

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานที่ลุล่วงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหน่วยงาน และบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ข้อผิดพลาด ตลอดจนว่ากล่าวตักเตือน และผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และ ดร. พรทิพย์ ปริณายก คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลา ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่างๆ ตรวจสอบแก้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ บุคลากรทุกฝ่าย ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล จำกัด สำหรับตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานวิจัย ผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ข้อมูลทั้งหลายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือในหลายๆด้าน

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร เจ้าหน้าที่ มิตรสหาย ของ Division of Sustainable Resources Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido University และภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาต่าง ๆ รวมทั้งประสบการณ์ชีวิตที่ดี และควมค่าที่จะอยู่ในความทรงจำ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการให้กำลังใจ การสอบถามต่างๆ คอยช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ รวมทั้งสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ลุล่วงสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ หามีข้อผิดพลาดประการใด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำการวิจัยขออภัยอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ ในการให้ข้อมูล และความรู้ทั่วไปในวงการเหมืองแร่ และบุคคลทั่วไป ไม่มากก็น้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้น ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แร่เฟลด์สปาร์.....	6
2.1.1 ชนิดของแร่เฟลด์สปาร์.....	7
2.1.1.1 แอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspar) หรือ โพแทสเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar).....	7
2.1.1.2 แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar) หรือ โซดา - ไลม์ เฟลด์สปาร์ (Soda - lime Feldspar).....	10
2.1.1.3 เฟลด์สปาร์ผสม (Mixed Feldspar).....	13
2.1.2 คุณสมบัติของแร่อื่นๆที่อยู่รวมกันกับแร่เฟลด์สปาร์.....	13
2.1.3 การเรียงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา การเกิดทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์.....	15
2.1.3.1 การเรียงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาของแร่เฟลด์สปาร์.....	15

2.1.3.2 การกำเนิดทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์	16
2.1.4 ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์ และการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม.....	17
2.1.5 แหล่งแร่ การผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ใน ประเทศไทย	20
2.1.5.1 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย.....	20
2.1.5.2 การผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ใน ประเทศไทย.....	25
2.1.6 ปริมาณคนงานที่ต่ำกว่าจ้าง จำนวนเหมือง ราคาการซื้อขาย และค่าภาคหลวงของ แร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย.....	29
2.1.7 แร่เฟลด์สปาร์ในตลาดโลก	31
2.2 หลักการการคัดแยกด้วยกระบวนการลอยแร่	32
2.2.1 คุณสมบัติของแร่และสารประกอบที่ใช้ในการลอย	33
2.2.2 ปฏิกิริยาบนพื้นผิวและสภาวะของพื้นผิว (Surface reactivity and conditions) และความต่างศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวกับสารละลาย	37
2.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ (Flotation Reagents)	39
2.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด และแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ ของบริษัทฯ	46
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	56
3.1 กรรมวิธีการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	56
3.2 กรรมวิธีการแต่งหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (Feldspar slime waste) ในการคัดแยกแร่ มลทินติดแม่เหล็ก ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	62
3.3 แผนการศึกษาวิจัยการเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดโดยกระบวนการลอยแร่	63
3.3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย	63

3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	64
3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	65
3.3.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยละเอียด.....	65
3.3.4.1 การวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์ เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)	65
3.3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของตัวอย่าง ด้วยเครื่อง วิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF).....	66
3.3.4.3 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture) ของแร่ที่ใช้ในการดำเนินการ วิจัย.....	66
3.3.4.4 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Particle size distribution)	66
3.3.4.5 การเตรียมน้ำยาเคมีที่ใช้ในการลอยแร่.....	67
3.3.4.6 การวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่ม มูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่	67
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	69
4.1 ผลการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD).....	69
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์การ เรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)	70
4.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Particle size distribution).....	71
4.4 ผลการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่ เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่	75
บทที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของโครงการ และการตัดสินใจลงทุน.....	89
5.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกการลงทุน	89
5.2 การประมาณราคาค่าใช้จ่ายลงทุนและค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้น.....	90

5.2.1 ค่าใช้จ่ายลงทุน (capital costs).....	91
5.2.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (operating costs).....	92
5.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินการตัดสินใจในการลงทุน	94
5.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP)	94
5.3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)	95
5.3.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR).....	96
5.3.4 ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI).....	97
5.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการการเก็บกลับคืน และ เพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด	98
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	100
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	100
6.2 ข้อเสนอแนะ	102
รายการอ้างอิง	103
ภาคผนวก.....	107
ภาคผนวก ก ข้อมูลเพิ่มเติม และมาตรการต่าง ๆ ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด	108
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	111
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	114
ภาคผนวก ง ข้อมูลกระแสเงินสดของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่ เฟลด์สปาร์ละเอียด ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	134

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของปริมาณ Anorthite (An) และ Albite (Ab) ส่วนประกอบทางเคมี และความถ่วงจำเพาะของ แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar)	10
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมของแร่เฟลด์สปาร์ และเป็นไปตามมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องแก้ว เครื่องปั้นดินเผา และเซรามิก	19
ตารางที่ 2.3 ปริมาณการผลิต และมูลค่าของแร่เฟลด์สปาร์ของจังหวัดต่างๆในแต่ละภาค ในปี พ.ศ. 2553 – 2557	25
ตารางที่ 2.4 ปริมาณและมูลค่าการใช้แร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557.....	26
ตารางที่ 2.5 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557	27
ตารางที่ 2.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557 ...	27
ตารางที่ 2.7 ปริมาณคนงานที่ต่ำกว่าจ้างในเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557	29
ตารางที่ 2.8 จำนวนเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557	29
ตารางที่ 2.9 ราคาประกาศ และพิกัดค่าภาคหลวงของแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในประเทศไทย	30
ตารางที่ 2.10 ค่าภาคหลวงโดยรวมของแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557	30
ตารางที่ 2.11 ปริมาณสำรองแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศต่างๆในโลก ในปีพ.ศ. 2556.....	31
ตารางที่ 2.12 ปริมาณการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ทั้งหมดของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2556.....	32
ตารางที่ 2.13 ปริมาณจากการคาดการณ์แนวโน้มทางตลาดในด้านการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 – 2561	32
ตารางที่ 2.14 ค่า pH ที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลัทธิบนผิวแร่เป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ของแร่เฟลด์สปาร์ชนิดต่าง ๆ และแร่ควอตซ์	39
ตารางที่ 2.15 โครงสร้างของน้ำยาเคลือบฟอง (Frother) แต่ละชนิด	42
ตารางที่ 2.16 องค์ประกอบและตัวแปรต่าง ๆ ในการลอยแร่	45
ตารางที่ 2.17 ร้อยละการกระจายตัวของขนาดผลิตภัณฑ์และลักษณะทั่วไป หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์	49

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลัก	70
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดในการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กทั้งขนาด +325เมช และ -325เมช.....	71
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กขนาด +325 เมช	72
ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กขนาด -325 เมช	72
ตารางที่ 4.5 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2.....	76
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 60, 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2.....	77
ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยการปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60%.....	79
ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่	80
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่.....	80
ตารางที่ 4.10 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่.....	83
ตารางที่ 4.11 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณ	

สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่.....	83
ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ค่าความหนาแน่นแร่ ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่.....	84
ตารางที่ 4.13 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่าปริมาณ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อ ตันแร่.....	86
ตารางที่ 4.14 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อ ตันแร่.....	86
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ค่าความหนาแน่นแร่ ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่.....	87
ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างแนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น.....	92
ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างแนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายทำงานเบื้องต้น.....	93
ตารางที่ 5.3 สมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ.....	98

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Oxygen-silicon tetrahedron.....	7
รูปที่ 2.2 รูปผลึกของแร่ออร์โทเคลส	8
รูปที่ 2.3 รูปผลึกของแร่ไมโครไคลน์.....	9
รูปที่ 2.4 รูปผลึกของแร่ซานิดิน.....	9
รูปที่ 2.5 รูปผลึกของกลุ่มแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar).....	12
รูปที่ 2.6 แผนภูมิรูปสามเหลี่ยม แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (Manser, R.M., 1975).....	12
รูปที่ 2.7 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ของมูลค่าของการผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557.....	29
รูปที่ 2.8 กลไกของการลอยแร่	33
รูปที่ 2.9 ภาวะสมดุลระหว่างเม็ดแร่ กับฟองอากาศและน้ำ	34
รูปที่ 2.10 ชั้นคู่ทางไฟฟ้าระหว่างผิวแร่กับสารละลาย.....	38
รูปที่ 2.11 ลักษณะการดูดซึมของโมเลกุลน้ำยาเคลือบเม็ดแร่บนผิวของเม็ดแร่	40
รูปที่ 2.12 ชนิดของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่.....	41
รูปที่ 2.13 แผนที่ตามมาตราส่วนของที่ตั้งสถานที่แต่งแร่และเขตแต่งแร่.....	47
รูปที่ 2.14 แผนที่แสดงเขตการแต่งแร่ และการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบเขตการแต่งแร่.....	47
รูปที่ 2.15 ที่ตั้งประธานบัตรของบริษัท อรรธูนิ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	48
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการบดหยาบ (Crushing) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธูนิ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.....	56
รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการบดละเอียด (Grinding) และการคัดขนาด (Sizing and Classification) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธูนิ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	58
รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการแยกแร่โดยอาศัยความแตกต่างทางคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic Separation) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธูนิ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.....	59

รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการลอยแร่ 1 (Flotation) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธনী อินเทอร์เน็ต จำกัด	60
รูปที่ 3.5 แผนผังขั้นตอนการลอยแร่ 2 (Flotation) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธনী อินเทอร์เน็ต จำกัด	62
รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนกรรมวิธีการแต่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (Feldspar slime waste) ของบริษัท อรรธনী อินเทอร์เน็ต จำกัด	63
รูปที่ 3.7 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	64
รูปที่ 3.8 เซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง 4 ลิตร ในห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ Denver รุ่น D12.....	64
รูปที่ 3.9 เครื่องบด Laboratory disc mill ยี่ห้อ Kawasaki	64
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์ เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD).....	69
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาค (Particle size, μm) กับ เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของแร่สะสม (Cumulative % passing) ของการกระจายตัวของขนาดของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่เมล็ดหินติดแม่เหล็กขนาด +325 เมช	74
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาค (Particle size, μm) กับ เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของแร่สะสม (Cumulative % passing) ของการกระจายตัวของขนาดของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่เมล็ดหินติดแม่เหล็กขนาด - 325 เมช.....	74
รูปที่ 4.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ลอยขึ้นมาพร้อมฟองอากาศ (Floated product) และ ผลิตภัณฑ์ที่จมอยู่ (Sink product) ในการลอยแร่ที่ pH 2 และ pH 10 ตามลำดับ.....	75
รูปที่ 4.5 ค่าความต่างศักย์ซีตา (Zeta potential) ของแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์.....	76
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO_2 ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่าง ๆ ในการลอยแร่ที่ pH 2 ..	78

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของ
 ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid)
 ต่างๆ 81

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของ
 ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD
 (Cationic collector) ต่างๆ 85



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) หรือแร่ฟันม้า เป็นแร่ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก แก้ว เครื่องปั้นดินเผา เครื่องเคลือบ พลาสติก ยาง สี ลวด เชื่อมไฟฟ้า ไม้ขีดไฟ สารทำความสะอาด และขัดเงา เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมแก้ว ในประเทศไทยมีปริมาณความต้องการในการใช้แร่เฟลด์สปาร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากแร่เฟลด์สปาร์สามารถทำหน้าที่เป็น Fluxing Agent ช่วยลดจุดหลอมเหลวของส่วนผสม ทำให้การพลังงานต่างๆที่ใช้ในการผลิตลดลง รวมทั้งทำหน้าที่เป็น Glass Matrix ซึ่งช่วยในการเชื่อมส่วนประกอบอื่นๆของงานเซรามิกเข้าด้วยกัน และช่วยในการทำให้แก้วและเซรามิกที่ได้มีความเหนียว คงทนต่อการกระแทก มีความโปร่งแสง ทนทานต่อความร้อนและความเป็นกรดต่างได้ดี (M.E. Gaied & W. Gallala, 2015; V. Buzkurt, Y. Ucbas, S. Koca, & H. Ipek, 2006)

แร่เฟลด์สปาร์จัดเป็นแร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate Minerals) ที่พบมากที่สุดในโลก ประกอบไปด้วยธาตุต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิคอน (Silicon) และออกซิเจน (Oxygen) รวมทั้งมีธาตุอื่นๆที่รวมกำเนิดอยู่ด้วย เช่น อลูมิเนียม (Aluminum), เหล็ก (Iron), แมกนีเซียม (Magnesium), ไททาเนียม (Titanium), โพแทสเซียม (Potassium), โซเดียม (Sodium), แคลเซียม (Calcium) เป็นต้น โดยสามารถแบ่งแร่เฟลด์สปาร์ได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ โซเดียมเฟลด์สปาร์ หรือ แอลไบต์ (Albite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ หรือออร์โทเคลส (Orthoclase) มีสูตรทางเคมีคือ KAlSi_3O_8 และแคลเซียมเฟลด์สปาร์ หรืออะนอร์ไทต์ (Anorthite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (C. Karaguzel, I. Gulgonul, C. Demir, M. Cinar, & M.S. Celik, 2006; S. Bulatovic, 2010)

ในประเทศไทยสามารถพบแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ได้ในหลายจังหวัด ยกตัวอย่างเช่น จังหวัดตาก นครศรีธรรมราช ราชบุรี กาญจนบุรี อุทัยธานี เชียงใหม่ ลำพูน สุโขทัย เป็นต้น ซึ่งการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่จะทำด้วยวิธีเหมืองเปิด (Open Pit Mine) ตามบริเวณแหล่งกำเนิด เช่น สายเพกมาไทต์ (Pegmatite), หินกราฟิกแกรนิต (Graphic Granite), แอไพลิต (Aplite), หินเฟลด์สปาร์ (Feldspathic Rock) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด โดยอนุญาตให้ผู้จัดทำการศึกษาโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก โรงงานแห่งนี้ผลิตแร่เฟลด์สปาร์จากสายแร่เพกมาไทต์ บริเวณตำบลทุ่งกระเซาะ อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก โดยทั่วไปแร่เฟลด์สปาร์ที่พบในบริเวณดังกล่าว จะเป็นแร่เฟลด์สปาร์ผสม สามารถพบได้ทั้ง โซเดียมเฟลด์สปาร์ และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ รวมทั้งมีแร่มลทินอื่นๆปะปนอยู่ เช่น แร่ควอตซ์ (Quartz), มัสโคไวต์ (Muscovite), ไบโอไทต์ (Biotite), ไมกา (Mica), การ์เน็ต (Garnet) เป็นต้น (S. Somsak, B. Thitisak, & M. Pinyo, 2015) โรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์นี้ จึงดำเนินการกระบวนการการคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์จากแร่มลทินต่างๆ รวมไปถึงทำการพัฒนาคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้ให้เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานคุณสมบัติทางเคมี ที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม โดยมีคุณสมบัติคือ $\text{SiO}_2 < 70\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 17\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.1\%$, K_2O และ $\text{Na}_2\text{O} > 5\%$ (P. Chadub, 1989) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวประกอบไปด้วย กระบวนการบดหยาบ (Crushing Process), กระบวนการบดละเอียด (Grinding Process), กระบวนการคัดแยกแร่โดยอาศัยความแตกต่างทางคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic Separation Process) และกระบวนการการลอยแร่ (Flotation Process) จากกระบวนการข้างต้นทำให้เกิดทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่ถูกกำจัดออกจากแต่ละกระบวนการจำนวนมาก ซึ่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดดังกล่าว จะมีขนาดเล็กกว่า 230 ไมครอน คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของแร่ป้อนทั้งหมด ตั้งแต่ พ.ศ. 2528 ทางบริษัทฯมีปริมาณทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดนี้ประมาณ 350,000 ตัน และได้ทำการเก็บกลับคืนทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยทำการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก และนำออกจำหน่ายในรูปแบบของแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำ นั่นคือยังมีแร่ควอตซ์และแร่มลทินอื่นๆปะปนอยู่ในปริมาณที่เกินกว่ามาตรฐาน

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษากระบวนการต่างๆ ในกระบวนการการคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์ และกระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ทั้งจากงานวิจัยก่อนหน้า (C. Karaguzel et al., 2006; E.C. Orhan & I. Bayraktar, 2006; H.H. Buckenham & J. Rogers, 1954; I. Bayraktar, S. Ersayin, & O.Y. Gulsoy, 1997; I. Gulgonul, C. Karaguzel, & M.S. Celik, 2008; M.S. Celik, R.H. Eren, G. Uztek, C. Gurcuoglu, & M.Z. Dogan, 1999; M.S. Elsalrawy, Y. Nakahiro, & T. Wakamatsu, 1993; V. Buzkurt et al., 2006; Z. Sekulic, N. Canic, Z. Bartulovic, & A. Dakovic, 2004) และจากโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ รวมทั้งศึกษากระบวนการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก ซึ่งเป็นการเก็บกลับคืนทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด และทำการปรับปรุงและ

พัฒนาคุณภาพ เพื่อเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยกระบวนการลอยแร่ ให้ได้แร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก และศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุนในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด จากโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการการคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งศึกษากระบวนการการเก็บกลับคืนหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด ตำบลประตาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก

1.2.2 เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก และเพิ่มมูลค่าให้หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด

1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด จากโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด ตำบลประตาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก

1.3.2 ศึกษากระบวนการการคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์ รวมทั้งกระบวนการการเก็บกลับคืนหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดของโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด

1.3.3 ศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ลักษณะทางแร่วิทยา ของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ (Instrumental Analysis)

1.3.4 ศึกษาวิจัยการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด เพื่อเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยกระบวนการลอยแร่

1.3.5 เก็บรวบรวมข้อมูลทางการเงินต่างๆจากโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ และศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการลงทุน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 ศึกษากระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ กระบวนการการเก็บกลับคืนทางแร่เฟลด์สปาร์ ละเอียด และเก็บตัวอย่างทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดจากโรงงานลอยแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก มาวิเคราะห์แร่ทั้งในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ

- การกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution)
- วิเคราะห์ผ่านเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)
- วิเคราะห์ผ่านเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)

1.4.3 หาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ ละเอียดด้วยวิธีการลอยแร่ ดังนี้

1.4.3.1 ชั่งแร่ตัวอย่าง 1,000 กรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ใส่ลงไปในเซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง เติมน้ำปริมาณ 4 ลิตร (ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %)

1.4.3.2 ปรับค่า pH ที่ใช้ในการลอยแร่ โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) และโซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) ให้มีค่า pH ตั้งแต่ 2 – 12

1.4.3.3 เติม A-TD เป็น Collector โดยปรับค่าตั้งแต่ 20 – 200 มิลลิลิตร (ละลายสาร A-TD 1 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงใช้สาร A-TD 0.2 – 2.0 กิโลกรัมต่อตันแร่)

1.4.3.4 นำแร่ที่ได้จากการลอยมาวิเคราะห์โดยการหา % yield และวิเคราะห์ผ่านเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)

1.4.3.5 นำสภาวะที่เหมาะสมจากการปรับค่าข้างต้น (ข้อ 1.4.3.2 – 1.4.3.4) มาใช้ในการลอยแร่โดยปรับค่าในการป้อนแร่ผสมน้ำ ตั้งแต่ 10 – 60% และทำซ้ำข้อ 1.4.3.5

1.4.3.6 นำสภาวะที่เหมาะสมจากการปรับค่าข้อ 1.4.3.2, 1.4.3.5 มาใช้ในการลอยแร่โดยปรับค่าปริมาณ การใช้ A-TD collector โดยปรับค่าตั้งแต่ 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่และทำซ้ำข้อ 1.4.3.5 อีกครั้ง เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่

1.4.4 ศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการลงทุน โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล เผยแพร่ผลงาน และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์ ทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด และวิธีการลอยแร่

1.5.2 ได้ทราบข้อมูล เทคนิคการวิจัย ที่เป็นแนวทางในการแต่งหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณภาพสำหรับไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก และเพิ่มมูลค่าให้หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด

1.5.3 สามารถประเมินมูลค่าทั้งหมดในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าและพัฒนาแร่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด



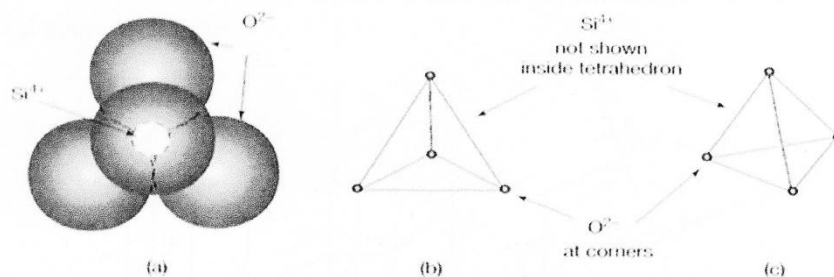
บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้น ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แร่เฟลด์สปาร์ (C. Klein & S.C. Hurlbut, 1993; ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539; วุฒิกานต์ สุขเสริม, 2529; สุจิตร์ พิจิตรากุล, 2530)

แร่เฟลด์สปาร์ หรือ แร่ฟันม้า เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ของกลุ่มโลหะแอลคาไลน์ (Alkali metals) และแอลคาไลน์เอิร์ธ (Alkali earth metals) โดยเฉพาะสารประกอบของโซเดียม (Sodium), โพแทสเซียม (Potassium) และแคลเซียม (Calcium) ซึ่งสารประกอบบริสุทธิ์ของโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียมจะหาได้ยาก ในแร่เฟลด์สปาร์จะมีทั้งโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างออกไป เนื่องจากสารประกอบทั้งสามตัวนี้สามารถละลายซึ่งกันและกันในขณะที่เป็นของแข็ง

โครงสร้างแร่เฟลด์สปาร์ มีลักษณะเป็นร่างแห 3 มิติ เกิดจากการเชื่อมโยงกันของออกซิเจนทั้ง 4 อะตอมของ oxygen-silicon tetrahedron ดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ Al^{3+} ยังสามารถเข้าไปแทนที่ Si^{4+} บางส่วน และช่องว่างร่างแหยังถูก K^+ , Na^+ , Ca^{2+} เข้าไปอยู่ ซึ่งขนาดของอนุภาค Na^+ เท่ากับ 0.98 Å, Ca^{2+} เท่ากับ 1.06 Å และ K^+ เท่ากับ 1.33 Å เนื่องจาก Na^+ และ Ca^{2+} มีขนาดใกล้เคียงกัน สารประกอบของทั้งคู่จึงมีการละลายกันได้ดี ส่วน K^+ มีขนาดใหญ่ จึงละลายกับสารประกอบของ Na^+ และ Ca^{2+} ได้เพียงบางส่วน เฟลด์สปาร์ที่มี Na^+ และ Ca^{2+} เป็นองค์ประกอบจะมีโครงสร้างเป็น Triclinic และเฟลด์สปาร์ที่มี K^+ เป็นองค์ประกอบจะมีโครงสร้างเป็น Monoclinic ซึ่งโครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีแนวแตกเรียบ (Cleavage) 2 แนว เกือบจะตั้งฉากหรือตั้งฉากกัน มีความวาวคล้ายแก้วและมุก อาจมีสีต่างๆ เช่น สีขาว ไร้สี เทา ครีมน เหลือง ชมพูถึงแดงอิฐ เขียว น้ำเงิน ขึ้นอยู่กับสารเจือปน ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 – 6.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.54 - 2.76 มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 1,100 – 1,522 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Oxygen-silicon tetrahedron

แร่เฟลด์สปาร์สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อย หรือแบ่งออกเป็นแร่ชนิดต่างๆ ได้หลายชนิด โดยมีเพียง 2 กลุ่มเท่านั้นที่พบและมีการผลิตขึ้นมาใช้ประโยชน์กันมาก คือ กลุ่มแร่แอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspar) และ แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar)

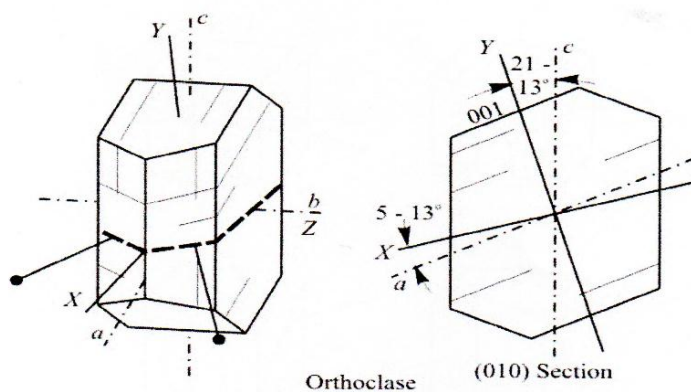
2.1.1 ชนิดของแร่เฟลด์สปาร์ (C. Klein & S.C. Hurlbut, 1993; กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (The Feldspars group); วุฒิกานต์ สุขเสริม, 2529; สุจิตร์ พิจิตรากุล, 2530; आयुวัฒน์ สว่างผล, 2543)

2.1.1.1 แอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspar) หรือ โพแทสเฟลด์สปาร์ (Potash Feldspar)

เป็นกลุ่มแร่ที่ประกอบด้วยโพแทสเซียม และโซเดียมมาก มีแคลเซียมน้อยมาก โดยจะมีปริมาณ K_2O ในเนื้อแร่มากกว่า 10% รวมถึงเฟลด์สปาร์ที่มีปริมาณของ K_2O ในเนื้อแร่มากกว่า Na_2O มากๆ สภาพผลึก (Crystalline phase) อาจมีส่วนประกอบทางเคมีแปรผันได้ ทั้งนี้โครงสร้างที่มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นเอกลักษณ์ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์นี้มักจะเกิดในหินกลุ่ม Felsic igneous rocks ซึ่งมีแร่หลักคือ ควอตซ์ (Quartz), ออร์โทเคลส (Orthoclase) และไมโครไคลน์ (Microcline) เป็นแร่สำคัญในการจัดกลุ่มหิน ส่วนแร่รองที่เกิดเป็นส่วนประกอบในหิน มีปริมาณน้อยและไม่มีความสำคัญในการเรียกชื่อหิน ได้แก่ ไบโอไทต์ (Biotite), มัสโคไวต์ (Muscovite) แร่เฟลด์สปาร์ที่มีโพแทสเซียมมาก มีสูตรทางเคมีคือ $KAlSi_3O_8$ ได้แก่ ออร์โทเคลส (Orthoclase), ไมโครไคลน์ (Microcline) และที่พบได้น้อย ได้แก่ ซานิดีน (Sanidine), อะดูลาเรีย (Adularia) และอะนอร์โทเคลส (Anorthoclase)

- แร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) มีสูตรทางเคมีคือ $KAlSi_3O_8$ รูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic) ดังรูปที่ 2.2 มักเกิดผลึกแฝด ขนาดใหญ่ เนื้อสมานแน่น หรือเป็นมวลเม็ด พบยากในสภาพแร่บริสุทธิ์ เนื่องจากพบ Albite เป็นชั้นบางๆ ในผลึกของ Orthoclase ที่เรียกลักษณะเนื้อเป็นแบบ Pertistic ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.57 ดัชนีหักเหแสง 1.518 – 1.526 วาวแบบแก้ว โปร่งแสงถึงโปร่งใส มีสีขาว สีครีม ไร้สี เหลืองอ่อน ชมพู แดงอม

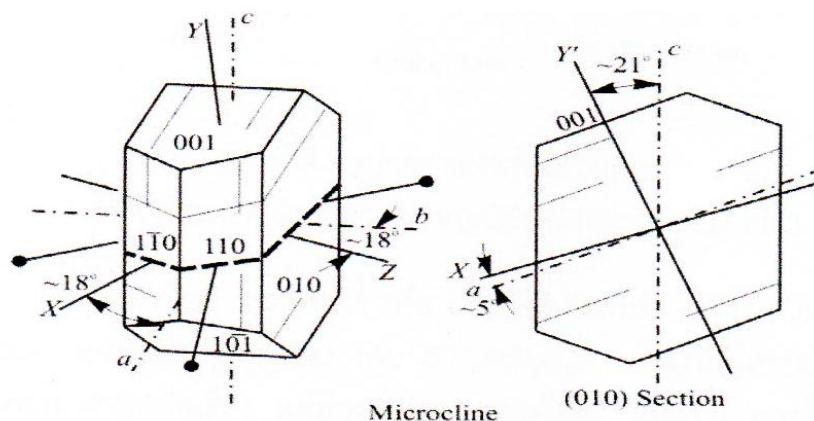
น้ำตาล หรือเทา เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญในหินแกรนิต (Granite), หินอะแลสไกต์ (Alaskite), หินเพกมาไทต์ (Pegmatite), หินแอลไฟลต์ (Aplite) และในหินแปรชนิดหินไนส์ (gneiss) ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกและผงขัด



รูปที่ 2.2 รูปผลึกของแร่อร์โทเคลส

(<http://hays.outcrop.org/GSCI1310/lecture37.html>)

- แร่ไมโครไคลน์ (Microcline) มีสูตรทางเคมีคือ $KAlSi_3O_8$ รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) ดังรูปที่ 2.3 เกิดเป็นแท่งสั้น ผลึกแฝด เนื้อสมานแน่น บ่อยครั้งเกิดร่วม (Intergrown) กับ Albite โดยที่ Albite เกิดเป็นชั้นบางๆ ในผลึกของ Microcline เป็นลักษณะเนื้อที่เรียกว่า Perthitic และมักเรียก Alkaline Feldspar ที่เกิดลักษณะนี้ว่า เป็นชนิด Perthite ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.54 – 2.57 ดัชนีหักเหแสง 1.522 – 1.530 วาวแบบแก้ว โปร่งแสงถึงโปร่งใส มีสีขาวยถึงเหลืองอ่อน ครีมน้ำใส ชมพู อาจมีสีแดงหรือเขียว ชนิดที่มีสีเขียวหรือสีฟ้าอมเขียว มีชื่อว่า แอมะซอนไนต์ (Amazonite) หรือ แอมะซอนสโตน (Amazon Stone) ใช้เป็นรัตนชาติ แร่ Microcline เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญในหินแกรนิต (Granite), หินอะแลสไกต์ (Alaskite), หินไซอีไนต์ (Syenite), หินเพกมาไทต์ (Pegmatite), หินแอลไฟลต์ (Aplite) ในหินแปรชนิดหินไนส์ (gneiss) และหินชีสต์ (Schist) ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกและผงขัด

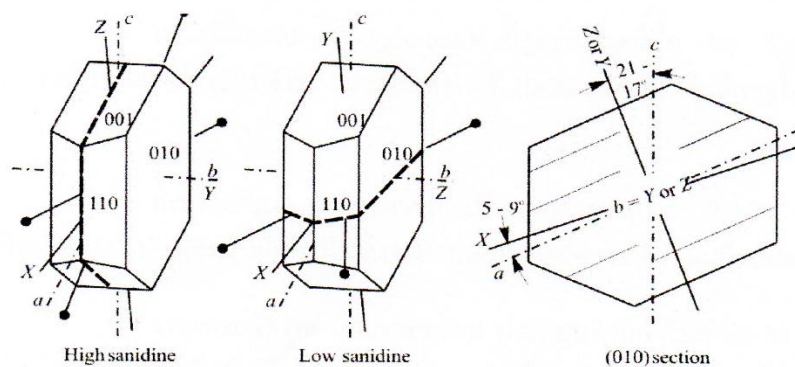


รูปที่ 2.3 รูปผลึกของแร่ไมโครไคลน์

(<http://hays.outcrop.org/GSCI1310/lecture37.html>)

- แร่ที่พบบได้น้อยเช่น

- แร่ซานิติน (Sanidine) สูตรทางเคมีคือ KAlSi_3O_8 รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) ดังรูปที่ 2.4 มีเนื้อคล้ายแก้ว หรือคล้ายมุก โปรงใส มีสีขาว ไร้สีเทา เหลือง มักมีขนาดเล็กหรือเล็กมาก เป็นแร่ที่เกิดที่อุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.4 รูปผลึกของแร่ซานิติน

(<http://hays.outcrop.org/GSCI1310/lecture37.html>)

- แร่อะดูลาเรีย (Adularia) ไม่มีสี เนื้อโปรงใสถึงโปรงแสง มีคุณสมบัติในการเล่นสีเหลืองขาวนวล เป็นแร่ที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ
- แร่อะนอร์โทเคลส (Anorthoclase) เป็นแร่ที่มีปริมาณของโซเดียม มากกว่าโพแทสเซียม มีลักษณะเป็นชั้นบางๆรวมตัวกัน (Lamellar aggregates) เกิดเป็นผลึกผสมเนื้อแยก (Exsolution)

2.1.1.2 แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar) หรือ โซดา - ไลม์เฟลด์สปาร์ (Soda - lime Feldspar)

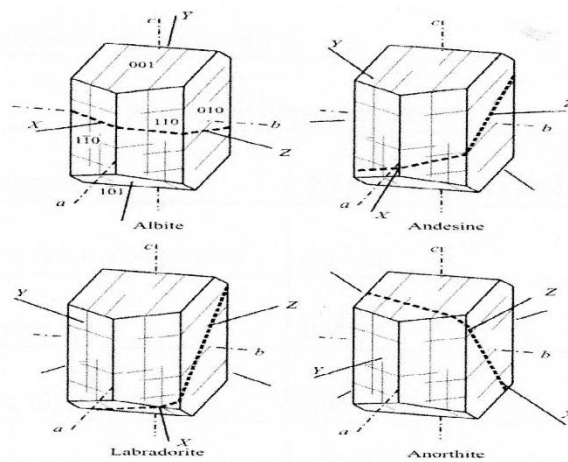
เป็นกลุ่มแร่ที่ประกอบด้วยโซเดียม และแคลเซียม มีโพแทสเซียมน้อยมาก โดยจะมีปริมาณของ Na_2O ในเนื้อแร่มากกว่า 7% มีสมบัติเป็นผลึกผสมเนื้อเดียว (Solid Solution) มีองค์ประกอบของโซดา (Na_2O) และไลม์ (CaO) เป็นสัดส่วนต่าง ๆ กัน ประกอบด้วยแร่ 6 ชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีจากโซเดียมมาก (แอลไบต์ : Albite) ไปจนถึงแคลเซียมมาก (อะนอร์ไทต์ : Anorthite) อุณหภูมิการเกิดแร่จะเพิ่มสูงขึ้นจาก Albite ไปยัง Anorthite ได้แก่ แอลไบต์ (Albite), โอลิโกเคลส (Oligoclase), แอนดีซีน (Andesine), แลบราโดไรต์ (Labradorite), ไบโทว์ไนต์ (Bytonite) และอะนอร์ไทต์ (Anorthite) แร่แต่ละชนิดมีส่วนประกอบของ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Albite หรือ Ab) และ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Anorthite หรือ An) ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ทั้งนี้ จะมีส่วนประกอบของ Albite รวมกับ Anorthite เท่ากับ 100 ($\text{Ab} + \text{An} = 100$) ซึ่งโดยปกติจะแสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักโมเลกุลของ Albite และ Anorthite ที่มีอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของปริมาณ Anorthite (An) และ Albite (Ab) ส่วนประกอบทางเคมี และความถ่วงจำเพาะของ แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar)

ชื่อแร่	Anorthite %	Albite %	Al_2O_3 %	SiO_2 %	CaO %	Na_2O %
แอลไบต์ (Albite)	0 - 10	100 - 90	19.6	68.6	--	11.8
โอลิโกเคลส (Oligoclase)	10 - 30	90 - 70	24.2	61.9	5.2	8.7
แอนดีซีน (Andesine)	30 - 50	70 - 50	28.5	55.4	10.4	5.7
แลบราโดไรต์ (Labradorite)	50 - 70	50 - 30	32.8	41.9	15.3	2.8
ไบโทว์ไนต์ (Bytonite)	70 - 90	30 - 10	34.4	46.6	17.4	1.6
อะนอร์ไทต์ (Anorthite)	90 - 100	10 - 0	36.9	43.0	20.1	--

- แร่แอลไบต์ (Albite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) เกิดเป็นแท่งหรือแผ่น (Platy) ผลึกแผด เนื้อสมานแน่น ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.62 ดัชนีหักเหแสง 1.527 – 1.538 วาวแบบแก้ว โปร่งแสงถึงโปร่งใส มีสีขาว ไร้สี อมเหลือง ชมพู หรือ เขียว พบในหินอัคนีสีอ่อน หรือ Felsic igneous rocks เช่น หินแกรนิต (Granite), หินอะแลสไกต์ (Alaskite), หินเพกมาไทต์ (Pegmatite), หินแอลไฟลต์ (Aplite), หินไซอีไนต์ (Syenite), หินไรออลไลต์ (Rhyolite) และหินแปรเกรดต่ำ มักเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์ (Quartz), ทัวร์มาลีน (Tourmaline), มัสโคไวต์ (Muscovite) และไบโอไทต์ (Biotite) เป็นแร่ที่สำคัญในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการค้า ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก แก้ว และเตาเผาทนไฟ
- แร่โอลิโกเคลส (Oligoclase) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{NaCaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.64 วาวแบบแก้ว หากมีการผุพังจะมีความต้านคล้ายดิน มีสีเทา เขียวอ่อน น้ำตาล หรือ เหลือง
- แร่แอนดีซีน (Andesine) รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) อาจเกิดเป็นผลึกแผด ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.65 วาวแบบแก้ว หรือ ด้านคล้ายดิน พบในหินอัคนีชนิดไดออไรต์ (Diorite) และหินแอนดีไซต์ (Andesite)
- แร่แลบราโดไรต์ (Labradorite) รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) มักเกิดเป็นผลึกแผด ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.68 วาวแบบแก้วแต่หากมีการผุพังจะมีความต้านคล้ายดิน โปร่งใสจนถึงโปร่งแสง มีสีเทาจนถึงสีควันไฟ มักเกิดร่วมกับแร่ไบโอไทต์ (Biotite), ไพรอกซีน (Pyroxene) และฮอร์นเบอร์น (Hornblende)
- แร่ไบโทวไนต์ (Bytownite) รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.72 เป็นแร่ที่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก มีคุณสมบัติคล้ายกับแร่แลบราโดไรต์ (Labradorite)

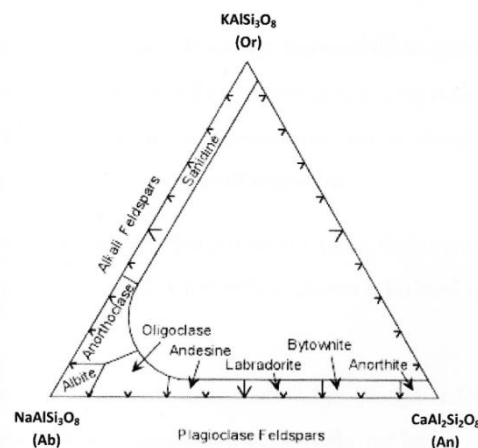
- แร่อะนอร์ไทต์ (Anorthite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง (Triclinic) มักเกิดเป็นผลึกแบน ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 – 6.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.76 ดัชนีหักเหแสง 1.577 – 1.590 ความวาวคล้ายแก้วแต่หากมีการพองจะมีความด้านคล้ายดิน เปราะ โปร่งใสถึงโปร่งแสง มีสีขาว ไร้สี เทาปนแดง มักเกิดร่วมกับแร่ไบโอไทต์ (Biotite), ออไกต์ (Augite), ไพรอกซีน (Pyroxene) และฮอร์นเบรน (Hornblende)



รูปที่ 2.5 รูปผลึกของกลุ่มแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar)

(<http://hays.outcrop.org/GSCI1310/lecture37.html>)

ความสัมพันธ์โดยทั่วไปของเฟลด์สปาร์ สามารถแสดงในแผนภูมิรูปสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.6 เฟลด์สปาร์ชนิดที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ อยู่ในช่วงที่เป็นแอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspar) – แอลไบต์ (Albite)



รูปที่ 2.6 แผนภูมิรูปสามเหลี่ยม แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (Manser, R.M., 1975)

2.1.1.3 เฟลด์สปาร์ผสม (Mixed Feldspar)

เฟลด์สปาร์ผสม (Mixed Feldspar) หรือ เฟลด์สปาร์กระเทย มีปริมาณของ K_2O ในเนื้อแร่ น้อยกว่า 10% Na_2O ในเนื้อแร่น้อยกว่า 7% รวมถึงเฟลด์สปาร์ที่มีปริมาณของ K_2O ใกล้เคียงกับ ปริมาณของ Na_2O

โดยคุณสมบัติทั่วไปของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเหมือนกันคือ มีความเปราะ (Brittle) ลักษณะของสีผงละเอียด (Streak) มีสีขาว ไม่ติดแม่เหล็ก ไม่นำไฟฟ้า จัดอยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่มีการเปื่อยก้ำน้ำได้ดี

2.1.2 คุณสมบัติของแร่อื่นๆที่อยู่รวมกันกับแร่เฟลด์สปาร์ (Manser, 1975; กรมทรัพยากรธรณี, 2543)

- การ์เนต (Garnet) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $A_3B_2(SiO_4)_3$ โดย $A = Ca, Mg, Fe, Mn$ และ $B = Al, Fe, Cr, Ti$ ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์เนตซึ่งมีหลายชนิด เช่น ไพโรป (Pyrope) สูตรทางเคมีคือ $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$, แอลมันไดต์ (Almandite) สูตรเคมีคือ $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$, สเปสซาร์ไทต์ (Spessartite) สูตรเคมีคือ $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$, กรอสซูลาไรต์ (Grossularite) สูตรเคมีคือ $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, แอนดราไดต์ (Andradite) สูตรเคมีคือ $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$, อุวาโรไวต์ (Uvarovite) สูตรเคมีคือ $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$ เป็นต้น มีรูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเท่า (Isometric) มักเกิดเป็นผลึกเดี่ยวๆ เม็ดกลม ขนาดมีทั้งใหญ่และเล็ก ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 – 7.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 3.5 – 4.2 ขึ้นกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โปร่งแสงกับโปร่งใส สีโดยทั่วไปจะมีสีแดง เรียกว่า โกเมน และสีอื่นๆ เช่น สีน้ำตาล ดำ ขาว เขียว และเหลือง การติดแม่เหล็กค่อนข้างแรง ไม่นำไฟฟ้า ใช้ทำเป็นหินขัด และกระดาดขูด
- ไบโอไทต์ (Biotite) หรือ ไมกาดำ (Black Mica) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ รูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic) เป็นแผ่นหนาคล้ายสีเหลี่ยมขนมเปียกปูน ปกติมักเกิดเป็นแผ่นซ้อนกันเป็นเกล็ด หรือแผ่นบางๆ แนวแตกเรียบสมบูรณ์ ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 2.5 – 3.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.8 – 3.2 วาวสะท้อนแสงคล้ายกระจก (Splendent) มีสีเขียวแก่ น้ำตาล และดำ การติดแม่เหล็กมีลักษณะอ่อนมาก ไม่นำไฟฟ้า ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนและเสียง

- มัสโคไวต์ (Muscovite) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ รูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic) เป็นแผ่นบางๆซ้อนกันจนหนา รูปหกเหลี่ยม มีผลึกขนาดเล็กมาก เนื้อสमानแน่น แนวแตกเรียบสมบูรณ์มากจนผลึกจะถูกลอกเป็นแผ่นบางๆได้ ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 2.0 – 2.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.7 – 3.1 วาวแบบแก้ว หรือมุก โปรงใสและไม่มีสีเมื่อเป็นแผ่นบางๆ สำหรับแร่ที่ซ้อนกันหนาๆ จะโปรงแสงและมีสีต่างๆกันคือ สีเหลือง น้ำตาล เขียว และแดง การติดแม่เหล็กมีลักษณะอ่อนมาก ไม่นำไฟฟ้า ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้า ทำเป็นวัตถุโปรงใสในการทำตะเกียงและเตา ใช้ผสมกับน้ำมันทำเป็นตัวหล่อลื่น เป็นตัวนำความร้อนที่แยจจึงใช้เป็นวัตถุทนไฟ
- ควอตซ์ (Quartz) มีสูตรทางเคมีคือ SiO_2 มี Si ประมาณ 46.7% และ O 53.3% รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนราบ (Hexagonal) มักจะเกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัวและท้าย บางครั้งเกิดเป็นผลึกแผ่ เนื้อสमानแน่น ผลึกมีหลายขนาด รอยแตกเว้า ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 7.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.65 วาวคล้ายแก้ว เนื้อโปรงใสถึงโปรงแสง มีสีขาว หรือไม่มีสี ถ้ามีมลทินเจือปนอยู่จะให้สีแตกต่างกัน ไม่ติดแม่เหล็ก ไม่นำไฟฟ้า ควอตซ์ที่อยู่ในรูปของทราย นำมาใช้ผสมทำคอนกรีต ทำครก ใช้เป็น flux และวัสดุสำหรับขัดสี ในอุตสาหกรรมแก้วและอิฐ ควอตซ์ที่เป็นผงใช้ทำเครื่องเคลือบ (porcelain) กระดาษทราย สบู่ และเติมลงไปไม้ (wood filler)
- ทัวร์มาลีน (Tourmaline) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $XY_3Al_6(BO_3)_3(OH)_4(Si_6O_{18})$ โดย $X = Na, Ca$ และ $Y = Al, Fe, Li, Mg$ และ F รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนราบ (Hexagonal) แท่งยาว เนื้อสमानแน่น ผลึกมีหลายขนาด ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 7.0 – 7.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 3.0 – 3.2 วาวแบบแก้ว สีมืดได้หลายสีขึ้นอยู่กับธาตุที่ประกอบอยู่ โดยปกติทั่วไปไม่มีสีดำเนื่องจากมีเหล็กปนอยู่มาก เรียกว่า ซอร์ไลต์ (Schorlite) ชนิดที่มีสีน้ำตาลจะมีธาตุแมกนีเซียมปนอยู่ เรียกว่า ดรามาไวต์ (Dravite) ชนิดที่มีธาตุลิเทียมปนอยู่จะมีสีแดงอ่อน สีชมพู เรียกว่า รูเบลไลต์ (Rubellite) ชนิดสีขาวและไม่มีสี เรียกว่า อะครอยต์ (Achroite) นอกจากนี้ ในก้อนเดียวกันอาจมีหลายสีสลับกันเป็นวงๆ (Concentric band) หรือปลายหนึ่งมีสีเขียว และ

อีกปลายหนึ่งมีสีแดงในแท่งเดียวกันก็เป็นได้ การติดแม่เหล็กมีลักษณะอ่อน ไม่นำไฟฟ้า ใช้เป็นรัตนชาติ ทำหินประดับได้โดยนำมาตัดให้เห็นสีแตกต่างกัน

- ฮอร์นเบลนด์ (Hornblende) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{H}_2\text{O})_2$ รูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic) ผลึกเป็นแท่งยาวหรือเป็นเส้นใย เนื้อสมานแน่น มีขนาดทั้งใหญ่และเล็ก แนวแตกเรียบสองแนว ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 5.0 – 6.0 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 3.1 – 3.3 วาวแบบแก้ว สำหรับผลึกที่เป็นเส้นใยจะวาวแบบใยไหม โปร่งแสง มีสีเขียวแก่จนถึงดำ การติดแม่เหล็กมีลักษณะอ่อน ไม่นำไฟฟ้า เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญในหินอัคนีและหินแปร
- ไพไรต์ (Pyrite) มีสูตรทางเคมีคือ FeS_2 รูปผลึกอยู่ในระบบสามแกนเท่า (Isometric) มักเกิดเป็นรูปลูกเต๋าหรือรูป Pyritohedron เกิดเป็นมวลเมล็ด หรือเป็นก้อนผิวเรียบเป็นมัน เนื้อสมานแน่น รอยแตกเว้าโค้งหรือไม่เรียบ มีร่องขนานถี่ (Striation) บนผิวหน้าผลึกชัดเจน ความแข็งตาม Moh's scale เท่ากับ 6.0 – 6.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 5.0 วาวโลหะ มีสีทองเหลือง ผงละเอียดสีดำออกเขียว การติดแม่เหล็กมีลักษณะอ่อนมาก ไม่นำไฟฟ้า ใช้เพื่อทำการดักมะถันในการทำสีย้อม ทำหมึก ยารักษาเนื้อไม้ และยาฆ่าเชื้อโรค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 การเรียงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา การเกิดทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์ (ธงชัย พึ่งรัมย์, วชิราภรณ์ ปิสิตโร, สุกิจ อติพันธ์, & ภาณุพงษ์ ลิ้มอุสันโน, 2558; วิสุทธิ์ โชติกเสถียร, 2546)

2.1.3.1 การเรียงลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาของแร่เฟลด์สปาร์

เหตุการณ์ทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นในบริเวณแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ เรียงลำดับการเกิดก่อน – หลัง ได้ดังนี้

- การสะสมของตะกอนในยุค Cambrian, Ordovician, Silurian, Devonian และ Carboniferous จนกลายเป็นหินตะกอนในยุคดังกล่าว
- Granitic magma ดันตัวและเย็นตัวอย่างช้าๆ เกิด Biotite granite ทำให้เกิดการโก่งตัวคดโค้ง บริเวณรอยสัมผัสของชั้นหินตะกอนกับหิน Biotite granite และเกิดการแปรสภาพไปเป็นหินแปรชนิดต่างๆ

- หลังจากการเกิดมวลหิน Biotite granite แล้วของเหลวที่เหลือจาก Differentiation ของ Magma ซึ่งยังมีส่วนประกอบมาทาง Na, K, และ Si ถูกบีบให้แทรกเข้าบรรจุตามรอยแตกและขอบของมวลหิน Biotite granite พบเป็น Dikes และ Sills ของหิน Alaskite ในหิน Biotite Granite
- หลังการเกิด Alaskite แล้วก็ยังมีการเคลื่อนไหว ทำให้ Alaskite dikes แตกหักก่อให้เกิด Alaskite ที่มีสีเทาอมเขียวในบริเวณ Shear zones
- สารเหลว Silica ที่เหลือ ทำให้เกิด Quartz dikes และ Veins เข้าแทรกตามรอยแตกของหินต่างๆ ที่เกิดก่อนสาย Quartz
- เกิดการเคลื่อนไหวทำให้เกิดรอยเลื่อนอีก

2.1.3.2 การกำเนิดทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญ พบได้ทั่วไปทั้งในหินอัคนี หินแปร และหินตะกอน แต่แร่เฟลด์สปาร์ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ได้มาจากสายเพกมาไทต์ (Pegmatite) หินกราฟิกแกรนิต (Graphic granite) หินแอลไฟลิต์ (Aplite) หินแกรนิตสีขาว (Leucocratic granite) และหินเฟลด์สปาร์ (Feldspathic rock) ดังมีรายละเอียดดังนี้

- สายเพกมาไทต์ (Pegmatite) เป็นหินที่มีความสัมพันธ์กับหินแกรนิต มักจะพบอยู่ในตัวหินแกรนิต หรือบริเวณรอบๆ ขนาด รูปร่าง และทิศทางของสายเพกมาไทต์ ขึ้นอยู่กับรอยแตกในหินแกรนิต หรือหินข้างเคียง สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินแปรจะพบในพื้นที่ที่มีการแปรสภาพสูง ในประเทศไทยพบสายเพกมาไทต์แทรกอยู่ในหินแกรนิต หินไนต์ และหินชีสต์เป็นส่วนใหญ่ มักเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์ ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ และแร่อื่นๆ เช่น ทัวร์มาลีน เบอริล และการ์เน็ต เป็นต้น
- หินกราฟิกแกรนิต (Graphic granite) เป็นหินเพกมาไทต์ที่มีแร่ควอตซ์ และแร่แอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ ยึดประสานกัน แร่ที่เกิดร่วมด้วยคือ มัสโคไวต์ ทัวร์มาลีน และการ์เน็ต
- หินแอลไฟลิต์ (Aplite) เป็นหินอัคนีที่เย็นตัวในระดับต้น มีสีอ่อนจาง ลักษณะคล้ายหินแกรนิตแต่เนื้อละเอียดกว่า มีแร่ควอตซ์และแร่ออร์โทเคลสเป็นแร่หลัก

- หินแกรนิตสีขาว (Leucocratic granite) เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แร่แอลคาไลน์ เฟลด์สปาร์ และแร่ควอตซ์ มีแร่แพลจิโอเคลสเกิดรวมด้วยในจำนวนน้อย มีแร่สีด้าที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดรวมด้วยน้อยมาก
- หินเฟลด์สปาร์ (Feldspathic rock) เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ และแร่ควอตซ์ เนื้อหินพบทั้งส่วนที่มีเนื้อละเอียดจนถึงเนื้อหยาบ พบทั้งเนื้อผลึกขนาดเดียว จนถึงเนื้อผลึกสองขนาดหรือเนื้อดอก ในบางบริเวณพบส่วนที่แสดงริ้วขนาน (Foliation) ในเนื้อหิน

นอกจากแหล่งทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์ทั้ง 5 ชนิดนี้แล้ว แหล่งทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์ยังมีการกำเนิดได้อีกหลายชนิด แต่ในประเทศไทยยังไม่พบแหล่งที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ เช่น การผลิตแร่เฟลด์สปาร์จากหินเนเฟลินไซอิไนต์ (Nepheline syenite) โฟโนไลต์ (Phonolite) ทรายเฟลด์สปาร์ (Feldspathic sand) และอะนอร์โทไซต์ (Anorthosite)

2.1.4 ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์ และการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม (เชิดพงษ์ สิริวิรัช, 2544; สุจิตร์ พิจิตรากุล, 2530)

แร่เฟลด์สปาร์ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมหลัก เพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นแร่เฟลด์สปาร์จึงเป็นตัวส่งเสริมให้มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น ซึ่งเป็นแร่ที่มีราคาถูก และเป็นสารประกอบแอลคาไลน์ที่ไม่ละลายน้ำ

การนำแร่เฟลด์สปาร์ไปใช้ประโยชน์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นสำคัญ ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานของเฟลด์สปาร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การกำหนดอัตราส่วนหรือผลรวมของปริมาณ K_2O และ Na_2O ในเนื้อแร่ การจำกัดปริมาณร้อยละของ SiO_2 , Al_2O_3 , CaO และ Fe_2O_3 การกำหนดปริมาณร้อยละขั้นต่ำสุดของ K_2O , Na_2O , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 และการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น จุดหลอมตัว สีก่อน - หลังเผา เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติหลักๆที่สำคัญมี 2 ประการคือ

1.) จุดหลอมตัวต่ำ เมื่อเทียบกับสารประกอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกอื่นๆ ผงเฟลด์สปาร์ที่ผสมอยู่จะทำหน้าที่คล้ายฟลักซ์ (Flux) คือจะหลอมตัวเป็นแก้วภายในเนื้อเซรามิก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแข็งแกร่ง คุณสมบัตินี้ได้จากธาตุองค์ประกอบแอลคาไลน์ คือ K_2O และ Na_2O ที่มีอยู่ในแร่ ทำให้แร่เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเครื่องถ้วยชาม เครื่องเคลือบดินเผา กระเบื้องต่างๆ เครื่องสุขภัณฑ์ ลูกถ้วยไฟฟ้า ตลอดจนเครื่องเคลือบโลหะ โดยที่ตัวแผ่นกระเบื้องหรือถ้วยชามจะใช้

เฟลด์สปาร์ 5 – 30% ของส่วนผสมทั้งหมด และใช้น้ำยาเคลือบประมาณ 30 – 55% ทั้งนี้โซดาเฟลด์สปาร์จะมีจุดหลอมตัวต่ำ จึงนิยมใช้ทำแก้ว และมีความหนืดน้อยกว่าโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ในขณะที่หลอมละลาย อาจทำให้ตัวเครื่องเคลือบดินเผาเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม จึงนิยมใช้โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ในการทำเป็นน้ำยาเคลือบและตัวเครื่องเคลือบชนิดที่ทนความร้อนสูงมากกว่า

2.) ส่วนประกอบของแร่ที่เป็นอะลูมินา (Al_2O_3) เมื่อหลอมตัวกับแก้วในอุตสาหกรรมแก้ว Al สามารถเข้าไปแทนที่ Si ในส่วนประกอบที่เป็น SiO_2 ได้ คุณสมบัตินี้ทำให้ผลิตภัณฑ์แก้วมีความเหนียว ทนทานต่อการกระทบกระแทก ความกดดัน ความร้อนเฉียนพลัน ทนกรดต่างได้สูง นอกจากนี้ยังทำให้อยู่ตัวไม่กลายเป็นผลึกแร่ขณะเย็นตัว ดังนั้นจึงสามารถจัดรูปร่างได้ ผลิตภัณฑ์แก้วดังกล่าว ได้แก่ ขวดน้ำอัดลม แก้วทนไฟ กระจกหน้าต่างรถยนต์ เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วจะต้องมีปริมาณของอะลูมินา (Al_2O_3) ไม่ต่ำกว่า 17% และใช้ได้ทั้งโพแทสเซียมและโซดาเฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์แต่ละชนิด จะมีความเหมาะสมในอุตสาหกรรมแตกต่างกัน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายอุตสาหกรรม ซึ่งแต่ละอุตสาหกรรมมีข้อกำหนดและมาตรฐานของแร่เฟลด์สปาร์ดังนี้

- อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา และเซรามิก ใช้เฟลด์สปาร์เป็นส่วนผสมทั้งในเนื้อดินปั้น และน้ำยาเคลือบเครื่องปั้น สำหรับเครื่องปั้นคุณภาพสูง กำหนดให้มีค่า K_2O มากกว่า 8% และในผลิตภัณฑ์ถ้วยชามบางชนิด กำหนดให้มีค่า K_2O มากกว่า 10% ปริมาณ Na_2O ต่ำกว่า 2% ควอตซ์มีได้ไม่เกิน 5% สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพรองลงมา เช่นกระเบื้องปูพื้น สามารถใช้ได้ทั้งโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และโซดาเฟลด์สปาร์ อาจมีควอตซ์ได้ถึง 30% ในผลิตภัณฑ์สีขาว Fe_2O_3 ควรมีปริมาณน้อยกว่า 0.1% แต่อาจมีได้ถึง 0.5% ในผลิตภัณฑ์ที่มีสีสีก่อนเผาควรมีสีขาว หรือสีชมพูอ่อน เมื่อเผาแล้วควรมีสีสม่ำเสมอ ไม่มีจุด เฟลด์สปาร์ที่ผสมลงไปเนื้อดินปั้น จะช่วยลดจุดหลอมละลายของเนื้อดินปั้นให้สุกตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ในผลิตภัณฑ์กระเบื้องมีเฟลด์สปาร์ 5 – 10% ของส่วนผสมทั้งหมด ในเนื้อผลิตภัณฑ์เอิร์ทเธนแวร์ (Earthenware) มีเฟลด์สปาร์ 10 – 15% ถ้วยชามพอร์ซเลน (Porcelain) มีเฟลด์สปาร์ 25 – 31% และในน้ำยาเคลือบผลิตภัณฑ์มีเฟลด์สปาร์ประมาณ 40 – 55% โดยปริมาตร
- อุตสาหกรรมเครื่องแก้ว ใช้เฟลด์สปาร์เป็นส่วนผสมในวัตถุดิบ เนื่องจากต้องการอะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียว ทนทานต่อการกระทบ ทนต่อความร้อน ความกดดัน และทนทานต่อกรดและด่างได้สูง นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ตัว โดยไม่

กลายเป็นผลึกแร่ขณะเย็นตัวและสามารถจัดทำเป็นรูปร่างได้ แร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ต้องจะต้องมีปริมาณของอะลูมินา (Al_2O_3) ไม่น้อยกว่า 17% ในอุตสาหกรรมแก้วใส ไม่มีสี เฟลด์สปาร์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ จะต้องมี Fe_2O_3 น้อยกว่า 0.1% แต่อาจมีได้ถึง 0.5% ในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีสี เช่น ขวดเบียร์ เป็นต้น

- อุตสาหกรรมอื่นๆ เฟลด์สปาร์ละเอียดใช้ทำผงทำความสะอาดและขัดเงา สำหรับทำความสะอาดผลิตภัณฑ์เครื่องแก้วและเครื่องเคลือบโดยไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนภาชนะ อีกทั้งยังเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมทำสี อุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลง ใช้เป็นตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง ใช้ผสมทำสบู่ซักผ้า อุตสาหกรรมลวดเชื่อมไฟฟ้า และในวงการทันตกรรม ใช้โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์คุณภาพสูงในการทำฟันปลอม
- แร่เฟลด์สปาร์หลายชนิดยังสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องประดับได้ โดยจัดเป็นแร่กึ่งรัตนชาติ เช่น
 - แอเมซอไนต์ (Amazonite) ซึ่งเป็นแร่เฟลด์สปาร์ชนิดไมโครไคลน์ มีสีเขียวอมฟ้า
 - มุกดา (Moonstone) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ที่มีคุณสมบัติเล่นแสงคล้ายโอปอ (Opal) พบในแอลไบต์ โอลิโกเคลส และออร์โทเคลสชนิดอะดูลาเรีย (Adularia)
 - ซันสโตน (Sunstone) เป็นเฟลด์สปาร์ที่มีคุณสมบัติเล่นแสงระยิบระยับเป็นประกายสีทอง พบในโอลิโกเคลสชนิดอะเวนจูริน (Aventurine)

ฯลฯ

โดยสรุปแล้วแร่เฟลด์สปาร์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม และเป็นไปตามมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องแก้ว เครื่องปั้นดินเผา และเซรามิก มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.2 (S. Somsak et al., 2015)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมของแร่เฟลด์สปาร์ และเป็นไปตามมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องแก้ว เครื่องปั้นดินเผา และเซรามิก

องค์ประกอบทางเคมี	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O
%	< 70	> 17	< 0.1	> 5	> 5

2.1.5 แหล่งแร่ การผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย

2.1.5.1 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย (ธงชัย พังรัตมี et al., 2558; วรกุล แก้วยานะ & เกียรติชัย ตูลาธรรมกุล, 2539)

แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ทั้งโซเดียม และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ในประเทศไทย และผลผลิตรวมตั้งเริ่มเปิดการจนปิดการอย่างถาวร แหล่งบางแหล่งไม่มีการทำเหมือง บางแหล่งมีการทำเหมืองอยู่ไม่นานก็ปิดทำการไป ที่จัดเป็นแหล่งใหญ่มีหลายบริเวณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการกำเนิดของแหล่งแร่ โดยที่ประเทศไทยมีหินกลุ่ม Granite ตั้งแต่เหนือจรดใต้ จึงมีพื้นที่ศักยภาพที่จะพบแร่เฟลด์สปาร์ทั้งสองชนิดนี้ตามแนวหิน Granite ที่สัมผัสกับหินท้องที่ หินเพกมาไทต์ที่มีแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เกิดร่วมด้วย รวมทั้งหิน Alaskite ที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์ล้วนแต่สัมพันธ์กับหิน Granite ทั้งสิ้น โดยแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย พบในบริเวณดังต่อไปนี้

- ภาคเหนือ

○ จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลิตแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์

- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหินแปรชนิด Calc – silicate ที่ดอยห้วยหวาย และห้วยกองนา ต.กองก่อ อ.สบเมย
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Muscovite granite ที่บ้านท่าผาย ต.กองก่อ อ.สบเมย

มีรายงานผลผลิตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 – 2549 โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์บด 593 ตัน และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ก้อน 7,107 ตัน

○ จังหวัดเชียงใหม่ ผลิตแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์

- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Quartz - mica schist ที่บ้านแพร่ ต.หาดง อ.หาดง
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Gneiss และหิน Marble ที่บ้านตาดหมื่น ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหินปูน ที่บ้านเชิงดอย ต.สบเตี๊ยะ อ.จอมทอง
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Gneiss และหินปูน ที่ ต.บ้านแปะ อ.จอมทอง

- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Gneiss และหิน Marble ที่ต.บ่อหลวง อ.ฮอด
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite gneiss และหิน Biotite granite ที่บ้านท่าเรือ ต.หางดง และบ้านแม่ลอนใต้ ต.หางดง อ.ฮอด
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite gneiss ที่บ้านอมชูด ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite granite ที่น้ำแม่คงคา และน้ำแม่ขาน ต.ท่าผา อ.แม่แจ่ม

ผลผลิตโพแทสเซิลด์สปาร์ก้อนในจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2517- 2544 รวม 14,413 ตัน ระหว่างนั้นหยุดการไป 4 ปี

○ จังหวัดลำพูน ผลิตแร่โพแทสเซิลด์สปาร์

- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite granite ที่ห้วยตาดลิก บ้านแม่ป๋อก และห้วยโป่ง ต.แม่ตื่น อ.ลี้

ผลผลิตโพแทสเซิลด์สปาร์ก้อนในจังหวัดลำพูน ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2517 - 2532 รวม 1,315 ตัน ระหว่างนั้นหยุดการไป 8 ปี

○ จังหวัดลำปาง

ในปีพ.ศ. 2521 - 2522 ผลิตโพแทสเซิลด์สปาร์ก้อน 122 ตัน และปีพ.ศ. 2535 - 2537 ผลิตโซเดียมเฟิลด์สปาร์ก้อน 260 ตัน ไม่มีข้อมูลทางแหล่งแร่

- จังหวัดตาก เป็นจังหวัดที่มีศักยภาพของแร่เฟิลด์สปาร์สูง มีทั้งแหล่งโพแทสเซิลด์สปาร์ และโซเดียมเฟิลด์สปาร์ แหล่งทางตะวันตกของลำน้ำปิง เป็นพวกโพแทสเซิลด์สปาร์ และแหล่งทางตะวันออกเป็นพวกโซเดียมเฟิลด์สปาร์ เคยมีเหมืองแร่เฟิลด์สปาร์ถึง 31 เหมือง เปิดการ 10 เหมือง และหยุดการ 21 เหมือง ช่วงปีพ.ศ. 2517 - 2519 มีผลผลิตเฟิลด์สปาร์มากที่สุดในประเทศ ในปีพ.ศ. 2528 แหล่งการผลิตที่ ต.ท้องฟ้า และต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก เป็นแหล่งผลิตโพแทสเซิลด์สปาร์ที่มากกว่าแหล่งอื่น ศักยภาพทางแร่โซเดียมเฟิลด์สปาร์จัดได้ว่าเป็นที่ 2 รองจากจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยทำการผลิต

- โพลแทสเฟลด์สปาร์ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite granite และหิน Mica schist ที่ต.ห้องฟ้า ต.เกาะตะเภา และต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก
 - โซเดียมเฟลด์สปาร์ในหินเฟลด์สปาร์เนื้อละเอียดขาวที่แทรกในหิน Quartz monzonite หรือ หิน Granite สีชมพู ที่ต.บ้านสลิด อ.บ้านตาก
 - โพลแทสเฟลด์สปาร์ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite schist ที่ต.ย่านรี อ.สามเงา
 - โซเดียมเฟลด์สปาร์ในหินเฟลด์สปาร์ที่แทรกในหิน Biotite – muscovite granite พบบริเวณแทรกหิน Metatuff ความหนาเฉลี่ยของหินเฟลด์สปาร์ ประมาณ 10 เมตร คลุมพื้นที่ประมาณ 2 ตร.กม. ปริมาณสำรองไม่น้อยกว่า 10 ล้านตัน พบที่ต. วังประจวบ บริเวณเขาน้ำดิบ ดอยเวียง อ.เมืองตาก
 - เฟลด์สปาร์ผสม หรือ เฟลด์สปาร์กระเทย ที่ต.น้ำริม คลุมพื้นที่ประมาณ 2 ตร.กม. สายแร่หนาเฉลี่ย 10 เมตร ปริมาณสำรองไม่น้อยกว่า 40 ล้านตัน
- ผลผลิตตั้งแต่ปีพ.ศ. 2516 เริ่มผลิตแร่เฟลด์สปาร์มาจนถึงปัจจุบัน ผลผลิตรวม โพลแทสเฟลด์สปาร์บด 639 ตัน โพลแทสเฟลด์สปาร์ก้อน 278,975 ตัน โซเดียมเฟลด์สปาร์บด 523,457 ตัน โซเดียมเฟลด์สปาร์ก้อน 5,370,771 ตัน
- ภาคกลาง
 - จังหวัดอุทัยธานี ผลิตแร่โพลแทสเฟลด์สปาร์
 - ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite – muscovite granite ที่ให้แร่ดีบุก ที่บ้านบุง ต.ห้วยแห้ง อ.บ้านไร่

ผลผลิตโพลแทสเฟลด์สปาร์ก้อนในปี พ.ศ. 2516 – 2535 จำนวน 4,629 ตัน อยู่นั้นหยุดการไป 9 ปี
 - จังหวัดกาญจนบุรี ผลิตแร่โพลแทสเฟลด์สปาร์
 - ในหินเพกมาไทต์ซึ่งสัมพันธ์กับหิน Granite ที่ให้แร่ดีบุก แนวเดียวกับหิน Granite ทางอ.สวนผึ้ง และอ.บ้านคา จ.ราชบุรี ซึ่งแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ที่เกิดร่วมกับแร่ดีบุกได้แก่บริเวณต.เขาโจด อ.ศรีสวัสดิ์, ต.เขาสามสิบหาบ อ.ท่ามะกา, ต.ศรีมวงคล อ.ไทรโยค, ต.หนองรี อ.บ่อพลอย, ต.วังไผ่ อ.ห้วยกระเจา

จังหวัดกาญจนบุรี เป็นจังหวัดที่มีศักยภาพทางแร่โพแทสเฟลด์สปาร์สูงที่สุดในประเทศ ผลิตแร่โพแทสเฟลด์สปาร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปีพ.ศ. 2534 มาจนถึงปัจจุบัน ผลิตโพแทสเฟลด์สปาร์ก้อน 224,043 ตัน ปีพ.ศ. 2517 – 2556 ผลิตแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ก้อน 80,285 ตัน ระหว่างนั้นหยุดการไป 5 ปี

- จังหวัดราชบุรี เป็นจังหวัดที่ผลิตแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2513 บริเวณตะวันตกของห้วยท่าเคย ซึ่งมีลำห้วยเล็กๆไหลลงสู่ห้วยท่าเคย ได้แก่ ห้วยเสือ ห้วยกา และห้วยไผ่ สายเพกมาไทต์จำนวนมากกว่า 6 สาย แทรกหิน Porphyritic granite แร่โพแทสเฟลด์สปาร์ในบริเวณนี้ขออนุญาตโรงงานเซรามิกในช่วงเวลานั้น ภายหลังมีเหมืองดีบุกเปิดลึกเข้าไปทางตะวันตกของอ.สวนผึ้ง และอ.บ้านคา จึงพบแร่โพแทสเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์เพิ่มมากขึ้น โดยผลิตแร่เฟลด์สปาร์

- ในหินเฟลด์สปาร์ที่แทรกในหิน Biotite – muscovite granite ที่บ้านโป่งกระทิงล่าง ต.บ้านบึง อ.บ้านคา
- ในหินเฟลด์สปาร์ที่แทรกในหิน Mica – schist ที่ห้วยเจียงเจ้าย ต.บ้านคา อ.บ้านคา
- ในหินเพกมาไทต์ และหินเฟลด์สปาร์ที่แทรกในหิน Biotite – muscovite granite ที่บ้านมะกรูด ต.บ้านบึง อ.บ้านคา
- ในหินเฟลด์สปาร์ที่แทรกในบริเวณของของ Porphyritic biotite – muscovite granite ที่แทรกหินท้องที่ ที่ต.บ้านบึง อ.บ้านคา
- ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Biotite – granite อีกทั้งยังผลิตแร่ดีบุก วุลแฟรม ซีไลต์ ไมก้า และควอตซ์ ที่ตะโกปิดทอง ต.สวนผึ้ง อ.สวนผึ้ง

ผลิตตั้งแต่ปีพ.ศ. 2515 – 2556 ผลิตรวมโพแทสเฟลด์สปาร์บด 14,946 ตัน โพแทสเฟลด์สปาร์ก้อน 260,450 ตัน โซเดียมเฟลด์สปาร์บด 83,132 ตัน โซเดียมเฟลด์สปาร์ก้อน 1,112,511 ตัน

- จังหวัดเพชรบุรี เริ่มผลิตแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ก้อนในปีพ.ศ. 2530 – 2533 จำนวน 1,799 ตัน ไม่มีข้อมูลทางแหล่งแร่
- จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผลิตแร่โพแทสเฟลด์สปาร์

- ในหินเพกมาไทต์ ที่สัมพันธ์กับแร่ดีบุกที่ต.ห้วยยาง และต.หูกวาง อ.ทับสะแก
 - ผลผลิตตั้งแต่ปีพ.ศ. 2521 – 2556 มีผลผลิตรวมโพแทสเซิลด์สปาร์ก้อน 30,760 ตัน ระหว่างนั้นหยุดการไป 11 ปี
 - ภาคตะวันออก
 - จังหวัดชลบุรี ผลิตแร่เฟลด์สปาร์
 - ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Gneiss ที่เขาพระบาท ต.บางทราย อ.เมืองชลบุรี
 - จังหวัดระยอง ผลิตแร่เฟลด์สปาร์
 - ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Porphyritic granite ที่ต.พลา อ.เมืองระยอง
 - ภาคใต้
 - จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลิตแร่เฟลด์สปาร์ทั้งสองชนิด
 - โซเดียมเฟลด์สปาร์ ในหิน Alaskite ซึ่งเป็นพนักหินขนาดต่างๆ แทรกตามบริเวณขอบทางใต้ของเขาลวง Granite pluton รวมทั้งหินเพกมาไทต์ที่แทรกบริเวณส่วนบนของหิน Granite ด้วย ที่ต.นบพิตำ ต.กรุงชิง อ.นบพิตำ
 - โพแทสเซิลด์สปาร์ ในหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Granite ที่บ้านเขาเหล็ก อยู่ระหว่างต.ทุ่งปรัง และต.สี่ขีด อ.สิชล เริ่มผลิตปีพ.ศ. 2554 ปริมาณ 500 ตัน
- ผลผลิตตั้งแต่ปีพ.ศ. 2521 – 2556 ผลิตแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ก้อน 10,726,979 ตัน โซเดียมเฟลด์สปาร์บด 122,440 ตัน ในปีพ.ศ. 2543 แหล่งโซเดียมเฟลด์สปาร์ในบริเวณอ.นบพิตำ มีศักยภาพสูงที่สุดในประเทศไทย และทำให้ประเทศไทยผลิตแร่เฟลด์สปาร์ติดอยู่ในอันดับ 3 ถึง 7 ของโลก
- จังหวัดตรัง

ผลิตแร่เฟลด์สปาร์ผสม หรือแร่เฟลด์สปาร์กระเทย จากหินเพกมาไทต์ที่ต.ห้วยยอด อ.ห้วยยอด เป็นบริเวณที่เคยทำเหมืองแร่ดีบุก ผลผลิตเพียง 2 ปี (พ.ศ. 2546 - 2547) 720 และ 1,240 ตัน

○ จังหวัดปัตตานี

มีรายงานการพบหินเพกมาไทต์ที่แทรกในหิน Granite ที่เขามะรวด อ.ปานาเระ ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2515 แต่ไม่มีการสำรวจเพิ่มเติม

2.1.5.2 การผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย (J. Somnuck, 2015)

การผลิตแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย มีการผลิตทั้งแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ทั้งแร่ก้อนและแร่บด โดยมีปริมาณการผลิต และมูลค่าของแร่เฟลด์สปาร์ของจังหวัดต่างๆ ในแต่ละภาค ในปีพ.ศ. 2553 - 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการผลิต และมูลค่าของแร่เฟลด์สปาร์ของจังหวัดต่างๆในแต่ละภาค ในปีพ.ศ. 2553 - 2557

หน่วย : ตัน

	ปี (พ.ศ.)				
	2553	2554	2555	2556	2557
1. แร่โพแทสเฟลด์สปาร์ (ก้อน)					
ภาคกลาง					
กาญจนบุรี	8,920	138,500	2,000	3,000	11,000
ประจวบคีรีขันธ์	140	169	210	168	-
ภาคใต้					
นครศรีธรรมราช	-	500	3,500	1,690	4,220
ผลผลิตรวม	9,060	139,169	5,710	4,858	15,220
มูลค่า (ล้านบาท)	15.4	236.6	9.7	8.3	25.9
2. แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ (บด)					
ภาคเหนือ					

ตาก	120	-	-	-	-
ผลผลิตรวม	120	-	-	-	-
มูลค่า (ล้านบาท)	0.2	-	-	-	-
3.แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ (ก้อน)					
ภาคเหนือ					
ตาก	164,047	132,493	204,930	183,098	273,346
ภาคกลาง					
กาญจนบุรี	920	460	630	500	900
ราชบุรี	90,900	98,350	71,253	108,700	92,402
ภาคใต้					
นครศรีธรรมราช	376,853	670,500	818,200	775,500	1,031,560
ผลผลิตรวม	632,720	901,983	1,095,013	1,067,798	1,398,208
มูลค่า (ล้านบาท)	442.9	631.4	766.5	747.5	978.7

การใช้งานของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย มีปริมาณและมูลค่าการใช้งานแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณและมูลค่าการใช้แร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557

หน่วย : ตัน

	ปี (พ.ศ.)				
	2553	2554	2555	2556	2557
1. แร่โพแทสเฟลด์สปาร์ (ก้อน)	3,330	13,935	2,618	1,856	9,950
มูลค่า (ล้านบาท)	5.7	23.7	4.5	3.1	15.3
2. แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ (บด)	171,233	165,403	162,716	172,043	212,094
มูลค่า (ล้านบาท)	239.7	231.6	227.8	240.8	296.9

3. แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ (ก้อน)	239,877	214,211	175,272	100,401	155,867
มูลค่า (ล้านบาท)	167.9	150.0	122.7	70.3	109.1

การนำเข้าแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย มีปริมาณและมูลค่าการนำเข้าแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557

หน่วย : ตัน

	ปี (พ.ศ.)				
	2553	2554	2555	2556	2557
1. แร่โพแทสเฟลด์สปาร์	25,928	33,342	35,505	30,395	36,000
มูลค่า (ล้านบาท)	81.4	104.6	115.1	94.6	117.6
2. แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์	3,010	3,772	2,410	5,871	2,807
มูลค่า (ล้านบาท)	11.1	13.8	10.4	20.9	11.6
3. แร่เฟลด์สปาร์อื่นๆ	3,891	3,935	3,900	5,612	8,275
มูลค่า (ล้านบาท)	24.0	22.1	28.0	35.9	53.6

การส่งออกแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557

หน่วย : ตัน

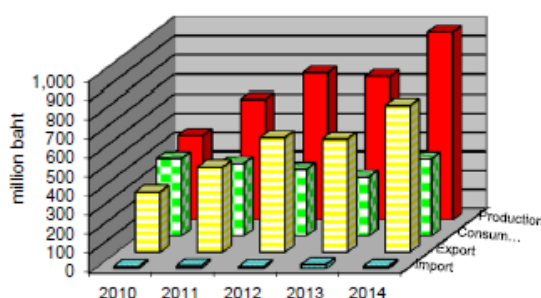
	ปี (พ.ศ.)				
	2553	2554	2555	2556	2557
1. แร่โพแทสเฟลด์สปาร์ (บด)					
ทวีปเอเชีย					
เวียดนาม	-	72	-	-	-

ผลผลิตรวม	-	72	-	-	-
มูลค่า (ล้านบาท)	-	0.2	-	-	-
2. แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ (บด)					
ทวีปเอเชีย					
บังคลาเทศ	23,300	24,700	84,240	115,769	126,722
จีน	-	-	-	96	-
ฮ่องกง	62,900	-	-	-	-
อินเดีย	15,800	56,800	57,200	39,386	25,700
อินโดนีเซีย	60,452	71,189	114,008	113,228	171,716
มาเลเซีย	108,732	186,903	191,130	111,411	98,910
พม่า	-	14	-	3,600	-
ซาอุดีอาระเบีย	-	-	-	-	15,000
สหรัฐอเมริกา	87,537	243,874	212,770	321,230	369,500
เวียดนาม	24,461	24,817	37,217	30,973	46,574
ทวีปยุโรป					
เบลเยียม	-	-	-	-	28,950
ทวีปอเมริกาเหนือ					
แคนาดา	-	-	21,000	-	-
ผลผลิตรวม	383,181	608,297	717,565	735,693	883,072
มูลค่า (ล้านบาท)	317.6	449.0	603.0	596.0	770.5
3. โซเดียมเฟลด์สปาร์ (ก้อน)					
ทวีปเอเชีย					
อินเดีย	-	8,200	-	-	-
อินโดนีเซีย	17,500	-	-	-	-
มาเลเซีย	17,300	-	-	-	-
สหรัฐอเมริกา	31,500	-	-	-	-

ผลผลิตรวม	66,300	8,200	-	-	-
มูลค่า (ล้านบาท)	50.9	3.6	-	-	-

โดยสรุปแล้วมีมูลค่าของการผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557 ดังแสดงในรูปที่ 2.7

Values of Sodium Felspar : 2010-2014



รูปที่ 2.7 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ของมูลค่าของการผลิต การใช้งาน การนำเข้า และการส่งออกของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557

2.1.6 ปริมาณคนงานที่ต่ำกว่าจ้าง จำนวนเหมือง ราคาการซื้อขาย และค่าภาคหลวงของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย (J. Somnuck, 2015; สรุปประกาศราคาแร่และพิกัดค่า ภาคหลวงแร่)

ปริมาณคนงานที่ต่ำกว่าจ้าง และจำนวนเหมืองของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย มีปริมาณคนงานที่ต่ำกว่าจ้าง และจำนวนเหมืองของแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 ปริมาณคนงานที่ต่ำกว่าจ้างในเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557

ปี (พ.ศ.)	2553	2554	2555	2556	2557
จำนวนคนงาน	327	330	324	330	288

ตารางที่ 2.8 จำนวนเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557

ปี (พ.ศ.)	2553	2554	2555	2556	2557
จำนวนเหมือง	23	22	23	22	20

ราคาการซื้อขายแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย มีราคาประกาศ และพิกัดค่าภาคหลวงของแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ราคาประกาศ และพิกัดค่าภาคหลวงของแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในประเทศไทย
(1 เมษายน พ.ศ.2559)

ชื่อแร่	วันที่ประกาศ	ราคาประกาศ (บาท/ เมตริกตัน)	วันบังคับ		พิกัดค่าภาคหลวง แร่	
			วันที่	เวลา	ร้อยละ	เป็นเงิน
โพแทสเฟลด์สปาร์ (บด)	1 ต.ค. 2528	2,400	2 ต.ค. 2528	00.00 น.	2.00	48.00
โพแทสเฟลด์สปาร์ (ก้อน)	1 ต.ค. 2528	1,700	2 ต.ค. 2528	00.00 น.	4.00	68.00
โซเดียมเฟลด์สปาร์ (บด)	1 ต.ค. 2528	1,400	2 ต.ค. 2528	00.00 น.	2.00	28.00
โซเดียมเฟลด์สปาร์ (ก้อน)	1 ต.ค. 2528	700	2 ต.ค. 2528	00.00 น.	4.00	28.00

ในพื้นที่ที่มีการซื้อขายโซเดียมเฟลด์สปาร์ก้อน ที่ราคา 700 – 900 บาทต่อเมตริกตัน ในขณะที่โพแทสเฟลด์สปาร์บด มีราคาซื้อขายมากกว่า 3,000 บาทต่อเมตริกตัน โดยมีค่าภาคหลวงโดยรวมของแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2553 – 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ค่าภาคหลวงโดยรวมของแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศไทย ในปีพ.ศ 2553 – 2557

หน่วย : ล้านบาท

ชื่อแร่	ปี (พ.ศ.)				
	2553	2554	2555	2556	2557

โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (บด)	24.00	-	96.00	145.92	192.96
โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (ก้อน)	212.84	1,180.82	189.18	784.49	676.60
โซเดียมเฟลด์สปาร์ (บด)	9,709.42	7,155.24	10,591.08	10,936.02	13,184.47
โซเดียมเฟลด์สปาร์ (ก้อน)	9,842.18	17,424.37	22,526.08	20,526.08	26,398.65

2.1.7 แร่เฟลด์สปาร์ในตลาดโลก (Merchant Reserch & Consulting Ltd., 2014)

ปริมาณสำรองแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศต่างๆในโลก ในปีพ.ศ. 2556 มีปริมาณสำรองดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ปริมาณสำรองแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศต่างๆในโลก ในปีพ.ศ. 2556

ประเทศ	ปริมาณสำรอง (ล้านตัน)
บราซิล	320,000
ตุรกี	240,000
อินเดีย	44,000
สาธารณรัฐเช็ก	25,000
โปแลนด์	14,000
โปรตุเกส	11,000
อียิปต์	5,000

โดยปริมาณการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ของแต่ละประเทศในโลก ประเทศตุรกีเป็นผู้นำในการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ของโลก โดยผลิตทั้งหมดประมาณ 30.9% ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก

รองลงมาคือประเทศอิตาลี จีน ไทย อิหร่าน มีปริมาณการผลิต 20.4%, 9.1%, 4.3% และ 2.8% ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ทั้งหมดของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2556 จะมีปริมาณการผลิตดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ปริมาณการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ทั้งหมดของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2556

ปี (พ.ศ.)	2553	2554	2555	2556
ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)	20,600	21,200	22,700	23,000

แนวโน้มตลาดของแร่เฟลด์สปาร์จนถึงปี พ.ศ. 2561 มีแนวโน้มว่าอุตสาหกรรมแก้วจะเป็นอุตสาหกรรมหลักในการใช้งานของแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งค่อยเปลี่ยนจากการใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิกมายังอุตสาหกรรมแก้ว ตลาดแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องและเครื่องสุขภัณฑ์ ในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตก ยังคงซบเซา เนื่องจากตลาดแร่เฟลด์สปาร์ภายในประเทศค่อย ๆ ฟื้นตัวอย่างช้า ๆ เนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจถดถอย มีการปิดโรงงานบางแห่ง รวมทั้งเพิ่มการนำเข้าแร่เฟลด์สปาร์จากต่างประเทศ การผลิตเครื่องสุขภัณฑ์โดยใช้แร่เฟลด์สปาร์ขยายออกไปยังประเทศจีน เม็กซิโก ตะวันออกกลาง อเมริกาใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อย่างต่อเนื่อง โดยสรุปแล้วแนวโน้มทางตลาดในด้านการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ของโลกจะเพิ่มขึ้น 2.7% ในทุก ๆ ปี โดยมีการคาดการณ์แนวโน้มทางตลาดในด้านการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ของโลก ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2557 – 2561 ดังแสดงในตารางที่ 2.13

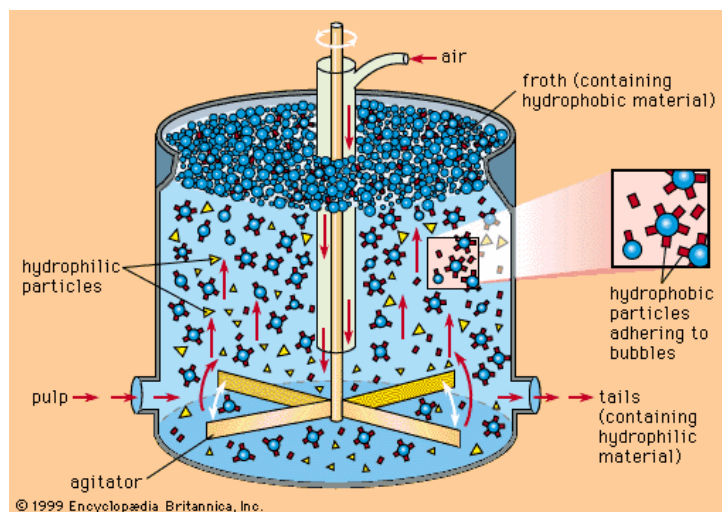
ตารางที่ 2.13 ปริมาณจากการคาดการณ์แนวโน้มทางตลาดในด้านการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 – 2561

ปี (พ.ศ.)	2557	2558	2559	2560	2561
ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)	24,000	25,000	26,000	27,000	28,000

2.2 หลักการการคัดแยกด้วยกระบวนการลอยแร่ (B.A. Wills & Napier-Munn, 2006; Errol G. Kelly & David J. Spottiswood, 1982; ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2553; ภิญโญ มีชำนาญ, 2551; วิชาญ อมตาริยกุล, 2533)

กระบวนการลอยแร่ (Flotation Process) อาศัยคุณสมบัติที่แตกต่างทางเคมี และฟิสิกส์ที่ผิวของเม็ดแร่ ซึ่งจะเปลี่ยนไปหลังจากทำปฏิกิริยากับสารเคมี ทำให้แร่บางชนิดไม่เปียกน้ำ

(Hydrophobic) เมื่อทำให้เกิดฟองอากาศเข้าไปในเม็ดแร่ปนน้ำนี้ เม็ดแร่ที่ไม่เปียกน้ำมีโอกาสเกาะติดฟองอากาศได้ดีกว่าเม็ดแร่ที่เปียกน้ำ (Hydrophilic) ฟองอากาศจะพองเอาเม็ดแร่ที่ไม่เปียกน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำของเซลล์ลอยแร่ และสะสมเป็นชั้นฟองอากาศปนแร่ ซึ่งสามารถแยกแร่ที่ไม่เปียกน้ำออกจากแร่ที่เปียกน้ำได้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กลไกของการลอยแร่

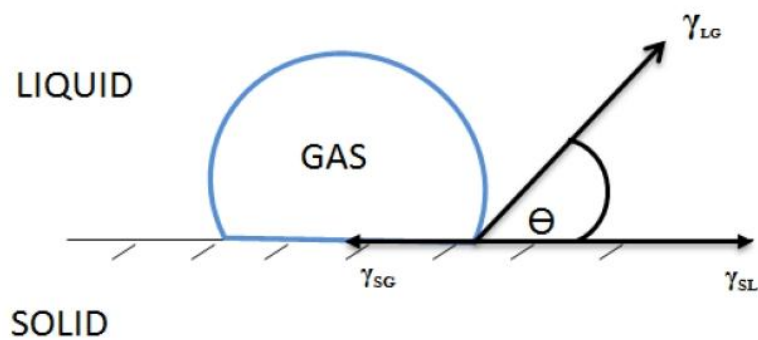
2.2.1 คุณสมบัติของแร่และสารประกอบที่ใช้ในการลอย

แร่เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลภายในแร่จะยึดจับกันอย่างสมดุลง ในขณะที่มีโมเลกุลที่อยู่ผิวนอกจะมีพันธะที่เหลื่ออยู่ที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลอื่นที่มาสัมผัสได้ โดยพลังงานที่ผิวแร่นี้เรียกว่า พลังงานผิวอิสระ (Free Surface Energy) ซึ่งในแต่ละแร่มีพลังงานที่ผิวไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ชนิดโครงสร้าง และวิธีการจับกันในการสร้างพันธะของโมเลกุล การบดแร่ให้แตกออกจากกันหรือละเอียดยิ่งขึ้น จะทำให้มีพลังงานผิวอิสระมากยิ่งขึ้น กล่าวคือทำให้มีปริมาณแขนของโมเลกุลที่ใช้ในการสร้างพันธะกับโมเลกุลอื่นๆที่มาสัมผัสได้มากยิ่งขึ้น ถ้าการสร้างพันธะของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของแร่แต่ละชนิดมีการสร้างพันธะในพลังงานที่สูงหรือการจับตัวกันด้วยพันธะเคมี (Chemical bond) การที่จะทำให้พันธะในการจับกันนี้ขาดออกจากกันก็ต้องใช้พลังงานที่สูงเช่นกัน และเกิดแขนอิสระที่ผิวที่มีพลังงานสูง ทำให้เมื่อนำแร่ที่มีพลังงานผิวอิสระที่สูงใส่ลงไปใต้น้ำ หรือของเหลว จะทำให้แร่เปียกน้ำได้ง่าย ชั้นน้ำที่ห่อหุ้มผิวแร่จะหนา จำเป็นต้องใช้น้ำยาเคมีในการปรับสภาพผิว เพื่อใช้ในการลอยแร่ แร่ประเภทนี้ได้แก่ แก้ว ควอตซ์ ซิลิกา แร่ส่วนใหญ่ และสารประกอบออกไซด์ต่าง ๆ เป็นต้น ส่วนแร่ที่มีการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลด้วยพลังงานที่ต่ำ การที่จะทำให้พันธะแยกหลุดออกจากกันก็อาจทำได้ง่ายหรือใช้แรงเพียงเล็กน้อย โดยมากจะเป็นแร่ที่เปราะและแตกตามรอยผลึก แขนของการจับกันเป็นแบบพันธะทางกายภาพ

(Physical bond) เมื่ออยู่ในน้ำจะทำให้เปียกน้ำได้ยาก ทำให้ลอยแร่ได้ดี แร่ประเภทนี้ได้แก่ แกรไฟต์ ถ่านหิน และแร่ซัลไฟด์ต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้พลังงานผิวอิสระยังขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น สภาพการเกิดทางธรณีวิทยาของแร่ สภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายน้ำ ก๊าซ และอากาศที่สัมผัสแร่ เป็นต้น ดังนั้นคุณสมบัติในการลอยแร่แต่ละชนิด ชนิดของน้ำยาเคมีเคลือบผิวแร่ และปริมาณน้ำยาเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ อาจแตกต่างกันในการลอยแร่แต่ละชนิด และแต่ละแหล่งแร่

ขนาดของแร่ที่ใช้ในการลอยแร่ก็มีส่วนสำคัญ แร่ที่ใช้ในการลอยแร่ต้องมีขนาดไม่ใหญ่หรือเล็กเกินไป ถ้าแร่มีขนาดใหญ่เกินไป ฟองอากาศจะไม่สามารถรับน้ำหนักแร่ได้ หรือฟองอากาศจะแตกก่อนที่จะพาแร่ขึ้นมาบนผิวน้ำ ทำให้การแยกแร่ไม่ได้ผล ถ้าเม็ดแร่มีขนาดเล็ก หรือละเอียดเกินไป จะมีความสมบัติแขวนลอยได้ดี ทำให้แร่ลนที่ละเอียดเป็นฝุ่นบางส่วนสามารถเกาะติดฟองอากาศและลอยขึ้นมาพร้อมกับแร่ที่ลอย หรืออาจจะทำให้แร่ลนที่ละเอียดที่เราไม่ต้องการไปคลุมผิวแร่ที่เราต้องการให้ลอยขึ้นมา ทำให้ฟองอากาศมีโอกาสสัมผัสกับผิวแร่ได้น้อย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการลอยแร่ลดต่ำลง อีกทั้งแร่ที่มีขนาดเล็กมากจะมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองในการใช้น้ำยาเคมีต่าง ๆ อีกด้วย

การลอยแร่จะต้องใช้หลักฟิสิกส์เคมีของเม็ดแร่ (Physico - chemical Properties of Minerals) โดยใช้ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเม็ดแร่ น้ำ สารเคมี และฟองอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และดังสมการที่ 2.1 ดังนี้



รูปที่ 2.9 ภาวะสมดุลระหว่างเม็ดแร่ กับฟองอากาศและน้ำ

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \Theta \quad (2.1)$$

โดยที่	γ_{SG}	=	แรงตึงผิวระหว่างผิวของของแข็งและอากาศ
	γ_{SL}	=	แรงตึงผิวระหว่างผิวของของแข็งและของเหลว
	γ_{LG}	=	แรงตึงผิวระหว่างผิวของของเหลวและอากาศ
	Θ	=	มุมสัมผัสระหว่างฟองอากาศ และผิวของแข็งในของเหลว

พลังงานที่จะใช้แยกฟองอากาศออกจากเม็ดแร่เรียกว่า Work of Adhesion, W_{SG} ซึ่งเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการแยกของแข็งกับฟองอากาศ เพื่อสร้างการแยกระหว่างผิวของแข็งกับน้ำ และฟองอากาศกับน้ำ ดังสมการที่ 2.2

$$W_{SG} = \gamma_{LG} + \gamma_{SL} - \gamma_{SG} \quad (2.2)$$

และเมื่อรวมกับสมการที่ 2.1 จะได้ว่า

$$W_{SG} = \gamma_{LG} - \gamma_{LG} \cos \Theta$$

$$W_{SG} = \gamma_{LG} (1 - \cos \Theta) \quad (2.3)$$

จะเห็นว่าเมื่อ Θ มีค่ามากขึ้น ค่า Work of Adhesion, W_{SG} จะมากขึ้นตาม จึงแยกผิวระหว่างเม็ดแร่กับอากาศได้ยากขึ้น นั่นคือการลอยแร่จะทำได้ง่ายขึ้น หรือ Floatability ของเม็ดแร่จะเพิ่มขึ้นตามค่ามุมสัมผัส เรียกว่าเม็ดแร่เกาะติดฟองอากาศได้ดี (Aerophillic)

การลอยแร่ในทางปฏิบัติสามารถแบ่งแร่และสารประกอบออกเป็น 7 ประเภทคือ

1. แร่และสารประกอบซัลไฟด์ของโลหะ ได้แก่ แร่และสารประกอบซัลไฟด์ของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว สังกะสี พลวง ทองแดง และบิสมีท เป็นต้น แร่และสารประกอบพวกนี้สามารถแยกแต่ละประเภทออกจากกันได้ผลดีด้วยวิธีลอย สารเคมีที่ใช้มักจะถูกอยู่ในกลุ่มของแซนเทต (Xanthate) ไดไทโอฟอสเฟต (Dithiophosphate) และไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamate) แร่และสารประกอบกลุ่มนี้ถ้าบดทิ้งไว้ในอากาศนานๆ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นออกไซด์คลุมผิว ทำให้ยากต่อการเคลือบผิวเพื่อการลอย ระยะเวลาของการเปลี่ยนสภาพเป็นออกไซด์ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่และสารประกอบ เรียงตามลำดับความยากไปง่ายดังนี้ ชาลโคไซด์ (Chalcocite, Cu_2S) กาลีนา (Galena, PbS) สังกะสีซัลไฟด์ (Sphalerite, ZnS) บอร์ไนท์ (Bornite, Cu_3FeS_2) ไพไรต์ (Pyrite, FeS_2) และอาร์ซีนไพไรต์ (Arsenopyrite, $FeAsS$) โดยแร่ชาลโคไซด์จะออกไซด์ได้ยากที่สุด และอาร์ซีนไพไรต์จะถูกออกไซด์ได้เร็วที่สุด เพราะฉะนั้นในการลอยแร่กลุ่มนี้จึงไม่ควรบดทิ้งไว้นาน

2. แร่และสารประกอบออกไซด์ เช่น โมลิบดีไนต์ (Molybdenite, MoO_3) ฮีมาไทต์ (Hematite, Fe_2O_2) แมกนีไทต์ (Magnetite, Fe_3O_4) ดีบุก (Cassiterite, SnO_2) ไพโรลูไซต์ (Pyrolusite, MnO_2) รูไทล์ (Rutile, TiO_2) คอร์รันดัม (Corundum, Al_2O_3) หรือออกไซด์ผสม เช่น อิลมีไนต์ (Ilmenite, $FeTiO_3$) เป็นต้น การลอยแร่และสารประกอบพวกนี้ไม่ค่อยได้ผลดี เนื่องจากตามธรรมชาติเป็นสารประกอบที่เปียกน้ำง่าย ไม่เหมาะแก่การลอย สารเคมีที่ใช้ในการเคลือบผิวต้องเป็นสารเคมีชนิดแรงและควรมีอะตอมของคาร์บอนที่แขนไม่เปียกน้ำมากกว่า 10 อะตอม และต้องมีประจุที่ตรงกันข้ามกับประจุบนผิวหน้าของออกไซด์ ออกไซด์เหล่านี้จะดูดซับสารเคลือบผิวประเภทให้ประจุบวก (Cationic) ที่ pH เหนือจุดสะเทินหรือจุดไร้ประจุ (Point Zero Charge, PZC) และดูด

ซิมสารเคลือบผิวประเภทให้ประจุลบ (Anionic) ต่ำกว่าจุดไร้ประจุ สารเคมีที่มักใช้เคลือบผิว ได้แก่ กรดไขมันชนิดต่างๆ ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจง และเนื่องจากแร่และสารประกอบกลุ่มนี้มักเกิดปนกันอยู่หลายชนิด ทำให้การแยกไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

3. แร่และสารประกอบซิลิเกต เช่น ทราย (Silica, SiO_2) เซอร์คอน (Zircon, ZrSiO_4) ไคยาไนต์ (Kyanite, Al_2SiO_5) เฟลด์สปาร์ (Feldspar, $(\text{Na,K,Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$) สปอร์ดูมิน (Sporidumene, $\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$) ไมกา (Mica, $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH,F})_4$) ดินขาว (Clay, $2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) แร่ใยหิน (Chrysotile, $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และเบอริล (Beryl, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) เป็นต้น เป็นสารประกอบกลุ่มนี้มีปริมาณมากในเปลือกโลก จึงมักพบเป็นมลทินหรือเป็นชนิดแร่ที่ต้องคัดแยกนำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการลอย และต้องการสารเคลือบผิวเช่นเดียวกับออกไซด์ แต่เนื่องจากผิวหน้าของโครงสร้างซิลิเกตให้ประจุลบ จึงมักใช้สารเคลือบผิวประเภทเอมีน (Amine) ที่ให้ประจุบวกเมื่อละลายน้ำ

4. แร่และสารประกอบของเกลือที่ละลายน้ำได้บางส่วน เช่น แร่และสารประกอบคาร์บอเนต และซัลเฟตของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี การลอยแร่และสารประกอบพวกนี้ต้องเปลี่ยนผิวหน้าให้กลายเป็นซัลไฟด์เสียก่อน ได้แก่ ยิปซัม (Gypsum, CaSO_4) ซีไลต์ (Scheelite, CaWO_4) อะพาไทต์ (Apatite, $\text{Ca}(\text{F,Cl})(\text{PO}_4)_3$) ฟลูออไรต์ (Fluorite, CaF_2) แคลไซต์ (Calcite, CaCO_3) แบไรต์ (Barite, BaSO_4) แมกนีไซต์ (Magnesite, MgCO_3) โดโลไมต์ (Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นต้น ซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถลอยได้ผลค่อนข้างดี แต่ต้องเลือกใช้สารเคลือบผิวและควบคุมสภาพการลอยให้เหมาะสม สารเคลือบผิวที่เหมาะสมได้แก่ สารเคมีกลุ่มกรดไขมัน เช่น โซเดียมโอเลต (Sodium Oleate) เป็นต้น

5. แร่และสารประกอบเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ เกลือเฮไลต์ (Helite : NaCl) ซิลไวต์ (Sylvite : KCl) และคานาลไลต์ (Carnallite : $\text{KMgCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น การลอยเกลือเหล่านี้ต้องทำงานในสารละลายที่อิ่มตัวและใช้สารเคมีเคลือบผิวที่เหมาะสม สารเคลือบผิวสำหรับการลอยแร่กลุ่มนี้ ได้แก่ สารเคมีอินทรีย์จำพวกเอมีน (Amine) ที่เป็นสารเคลือบผิวประเภทที่ให้ประจุบวกเมื่อแตกตัวในน้ำ ตัวอย่างเช่น ในการลอยแร่ซิลไวต์ซึ่งเป็นแร่โพแทสที่สำคัญ สารเคลือบผิวที่ให้ประสิทธิภาพดีเป็นสารเคมีประเภททาลโลเอมีน (Hydrogenated Tallow Amine) การใช้สารเคมีประเภทนี้โดยปกติจะทำให้อยู่ในรูปของไฮโดรคลอไรด์ (Hydrochlorides) หรือ อะซิเตต (Acetates) โดยใช้กรดมาทำให้เป็นกลาง ในกรณีที่อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการสูงกว่าปกติ มักจะใช้เอมีนที่มีโซ่คาร์บอนยาวมากขึ้น เพื่อให้มีเสถียรภาพดีขึ้นเนื่องจากสารเคมีประเภทนี้ละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการเตรียมสารละลายที่จะใช้ในกระบวนการจึงต้องใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 - 70 องศาเซลเซียส ละลายในถังผสมให้ได้ความเข้มข้นสารละลายที่ต้องการ

6. แร่และสารประกอบซึ่งมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำโดยธรรมชาติ ได้แก่ แร่ทัลก์ (Talc) ถ่านหิน (Coal) แอนทราไซต์ (Anthracite) แกรไฟต์ (Graphite) กำมะถัน (Sulphur) โมลิบดีนัม

(Molybdenum) และพลาสติก แร่และสารประกอบพวกนี้ลอยได้ง่ายด้วยตัวเองอยู่แล้ว ใช้เพียงสารเคลือบฟองอย่างเดียวก็สามารถแยกออกจากแร่อื่น ๆ ได้

7. สารประกอบอินทรีย์และอื่น ๆ เช่น หมึกพิมพ์ น้ำมัน และสารประกอบอินทรีย์บางประเภท ตัวอย่างเช่น น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิต ขนถ่าย ขนส่ง การใช้น้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่จำเป็นต้องกำจัดออกให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ละอองน้ำมันขนาดเล็กที่แขวนลอยในน้ำเสีย ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีการแยกชั้นด้วยแรงโน้มถ่วงตามปกติ แต่ต้องใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การลอยโดยใช้อากาศอัดละลายหรืออากาศที่ดูดหรือพ่นเข้าที่ต้องควบคุมตัวแปรอย่างดี

หมึกพิมพ์ในเศษกระดาษเก่าเป็นผงวัสดุที่สามารถแยกอย่างได้ผลด้วยวิธีการลอยเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผงหมึกประเภทที่มีสารประกอบโพลีเมอร์ที่ใช้โดยทั่วไปในเครื่องพิมพ์เลเซอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น นอกจากนี้การลอยแยกสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กเป็นสารประกอบไม่มีขั้ว (non - polar) ที่ลอยแขวนในน้ำเสียออกจากน้ำเสีย เป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้ได้ผลโดยใช้อุปกรณ์อย่างง่าย เช่น คอลัมน์สร้างฟอง (Bubble column) หรืออุปกรณ์ที่ซับซ้อนขึ้นมาอีก เช่น เครื่องลอยอากาศอัดละลายที่ใช้ในการลอยแยกตะกอนแขวน น้ำมัน ไขมัน เส้นใยและสารประกอบอินทรีย์ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ เป็นต้น

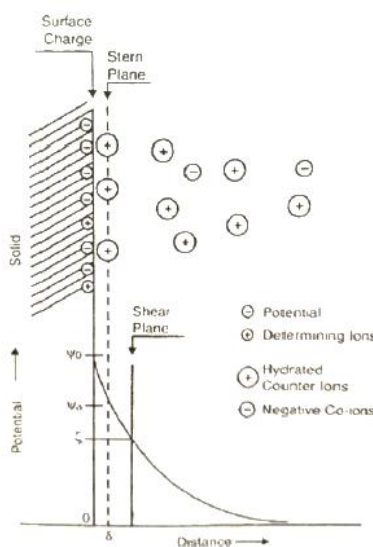
2.2.2 ปฏิกริยาบนพื้นผิวและสภาวะของพื้นผิว (Surface reactivity and conditions) และความต่างศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวกับสารละลาย

เมื่อเกิดพื้นผิวใหม่ขึ้นมาโดยการบดลดขนาด พื้นผิวนี้อาจทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อม เช่น น้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอออนที่อยู่ในระบบนั้น ๆ ปฏิกริยาเหล่านี้อาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมี หรือการดูดซับทางกายภาพก็ได้ โดยอาจเกิดเป็นชั้นบาง ๆ โดยรอบผิว ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาพื้นผิวเดิมของเม็ดอนุภาคนั้นเปลี่ยนไป ส่งผลให้พฤติกรรมของการดูดซับสารเคลือบผิวเปลี่ยนแปลงไปได้ ดังนั้นคุณสมบัติของเม็ดแร่และวัสดุแต่ละชนิดก็ขึ้นอยู่กับการศึกษาเตรียมก่อนลอยแร่เช่น

- สารประกอบที่เป็นโลหะออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นชั้นบาง ๆ ของไฮดรอกไซด์
- สารประกอบที่เป็นโลหะซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นซัลไฟด์หรือซัลเฟต
- สารประกอบที่เป็นโลหะออกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นชั้นบาง ๆ ของคาร์บอเนต

- ฝุ่นมลพิษละเอียดจําพวกสารอินทรีย์อาจเคลือบผิวเม็ดอนุภาคทำให้มีคุณสมบัติเป็นสารจําพวกไม่มีขั้ว (non - polar)

ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็งหรือผิวแร่กับสารละลาย เรียกว่า ความต่างศักย์ชั้นคู่รวม (Total Double Layer Potential) ส่วนค่าความต่างศักย์ระหว่าง Stern layer กับสารละลาย เรียกว่า ความต่างศักย์ซีตา (Zeta Potential) ซึ่งความต่างศักย์ซีตามักจะใช้แทนความต่างศักย์พื้นผิว โดยการวัดค่าความต่างศักย์ซีตามักใช้การเคลื่อนที่เข้าสู่ขั้วไฟฟ้า (Electrophoresis) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้บ่งบอกถึงลักษณะของประจุพื้นผิวของแร่ในสารละลายนั้น ๆ โดยมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับค่า pH ในสารละลาย ถ้าค่า pH ในสารละลายค่าหนึ่ง ๆ ทำให้พื้นผิวแร่มีประจุบวกและประจุลบบนผิวอนุภาคเท่ากัน จะทำให้เกิดลักษณะพื้นผิวแร่ที่ไม่มีประจุ หรือประจุไฟฟ้าลัพท์เป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ซึ่งค่า pH ที่ทำให้เกิด PZC ของแร่เฟลด์สปาร์ชนิดต่าง ๆ และแร่ควอตซ์ จะแสดงในตารางที่ 2.14 หากเราทราบค่า PZC ของแร่ทั้งสองชนิดที่ต้องการแยกออกจากกัน จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการกำหนดวิธีการลอยแร่ ยกตัวอย่างเช่น ในการแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ เราทราบค่า PZC ของแร่เฟลด์สปาร์ชนิด Orthoclase คือมีค่า PZC ที่ pH 1.7 ส่วนแร่ควอตซ์มีค่า PZC ที่ pH 2.2 ดังนั้นสารละลายที่ใช้ในการลอยแร่ควรอยู่ที่ค่า pH ประมาณ 2 เพื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของแร่ควอตซ์เปลี่ยนจากเดิมที่มีประจุลบเป็นประจุบวก ส่วนศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของแร่เฟลด์สปาร์ยังคงเป็นประจุลบอยู่ ที่ให้นํ้ายาเคมีเคลือบผิวที่เป็นประจุบวก สามารถไปจับกับแร่เฟลด์สปาร์ที่เป็นลบอย่างเฉพาะเจาะจง (Selectivity) แล้วลอยขึ้นมาที่ฟองอากาศ ทำให้สามารถแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้



รูปที่ 2.10 ชั้นคู่ทางไฟฟ้าระหว่างผิวแร่กับสารละลาย

ตารางที่ 2.14 ค่า pH ที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลัทธิบนผิวแร่เป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ของแร่เฟลด์สปาร์ชนิดต่าง ๆ และแร่ควอตซ์

ชื่อแร่	PZC ที่ค่า pH
Microcline	1.7 – 1.9
Orthoclase	1.4, 1.7
Sanidine	1.7
Albite	1.9
Anorthite	2.0, 2.4, 3.6
Oligoclase	1.5
Anothoclase	1.6
Quartz	2.2, 3.7

2.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ (Flotation Reagents)

ขั้นตอนหลักในกระบวนการการลอยแร่ คือ การทำให้ผิวเม็ดแร่และวัสดุที่ต้องการแยกออกมาไม่เปียกน้ำ (ในบางกรณีอาจทำให้เม็ดแร่ที่ไม่ต้องการไม่เปียกน้ำ เพราะจะลอยเอามลทิน เม็ดแร่ หรือวัสดุที่ปนเปื้อนที่เป็นส่วนน้อยออกมาแทน) การทำให้เกิดการผสมผสานกระจายและให้พลังงานแก่เม็ดแร่โดยสม่ำเสมอ และทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กละเอียดจำนวนมากในเวลาเดียวกันเพื่อทำให้เกิดการชนกันระหว่างเม็ดแร่และฟองอากาศ รวมทั้งทำให้เกิดการแยกระหว่างเม็ดแร่ที่ไม่เปียกน้ำและที่เปียกน้ำ และการถ่ายเทมวลสารเอามวลส่วนที่ลอยขึ้นออก โดยมีเงื่อนไขสำคัญในการทำงานอยู่ 2 ประการคือ

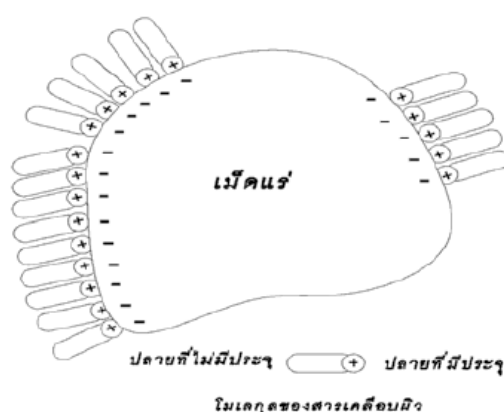
1. ฟองอากาศจะต้องสามารถเกาะกับผิวหน้าเม็ดแร่ได้ โดยต้องมีการชนกันระหว่างฟองอากาศกับเม็ดแร่เกิดขึ้น และฟองอากาศสามารถขับน้ำออกไปจากผิวหน้านั้น ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อผิวหน้านั้น ๆ ถูกปรับสภาพให้มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ

2. ฟองอากาศซึ่งลอยขึ้นมาสู่ผิวหน้าของของผสมในถังลอยจะต้องสามารถพุงเม็ดแร่ไว้ให้ได้ โดยมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะไม่แตกก่อน

เนื่องจากเงื่อนไขสำคัญเหล่านี้ ในทางปฏิบัติ การลอยแร่จึงจะต้องใช้น้ำยาเคมี (Chemical Reagent) หลายชนิดเข้าช่วยเพื่อเปลี่ยนสภาพของผิวแร่ ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการลอยแร่ได้ดียิ่งขึ้น เช่น ทำให้เม็ดแร่ที่ต้องการลอยมีคุณสมบัติเกาะฟองอากาศ ป้องกันไม่ให้ผิวของเม็ดแร่ที่ไม่ต้องการลอยขึ้นมาไม่เปียกน้ำ ทำให้ฟองอากาศมีความเหนียวเพียงพอ ไม่แตกง่าย เหมาะที่จะทำให้

แร่เกาะพองฟองอากาศขึ้นมา และมักต้องใช้สารเคมีบางชนิด เพื่อช่วยปรับสภาพความเป็นกรดต่างให้เหมาะสม สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ แบ่งตามหน้าที่การใช้ออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. น้ำยาเคลือบเม็ดแร่ (Collector) ทำหน้าที่เคลือบเม็ดแร่ที่ต้องการให้ติดฟองอากาศลอยขึ้นมา โดยทำให้เม็ดแร่ที่ลอยขึ้นมามีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic) น้ำยาเคลือบเม็ดแร่ส่วนใหญ่เป็นกรดอ่อน ต่าง หรือเกลือ และเป็นสารประกอบขั้วผสม (Hetero - polar) มีสองขั้ว ได้แก่ ขั้วที่มีประจุที่สามารถถูกดูดซึมเกาะติดบนผิวหน้าของเม็ดแร่โดยปฏิกิริยาทางเคมี กับประจุบนผิวแร่หรือโดยแรงยึดทางไฟฟ้าสถิตหรือแรงยึดทางกายภาพ (Physical adsorption) และขั้วที่เป็นแขนหรือกลุ่มของโมเลกุลอินทรีย์ที่สัมผัสกับสารละลายรอบข้างและให้ผิวหน้าที่ไม่เปียกน้ำแก่ผิวหน้าเม็ดอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการดูดซึมของโมเลกุลน้ำยาเคลือบเม็ดแร่บนผิวของเม็ดแร่

น้ำยาเคลือบเม็ดแร่บางชนิดเป็นสารประกอบที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนในน้ำ แต่เมื่อถูกดูดซึมเกาะติดบนผิวหน้าเม็ดอนุภาคแล้วทำให้ไม่เปียกน้ำได้เหมือนกัน เช่น น้ำมัน ดังนั้นน้ำยาเคลือบผิวแร่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ได้แก่

- น้ำยาเคลือบผิวที่ให้ประจุลบเมื่อละลายแตกตัวในน้ำ (Anionic collector)

เป็นน้ำยาเคลือบผิวที่ให้ประจุลบอยู่ข้างหนึ่งและมีแขนหรือกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นกลุ่มไม่เปียกน้ำอยู่ปลายหนึ่ง สารเคลือบผิวประเภทนี้ใช้มากที่สุดในการลอย ใช้กับแร่ส่วนใหญ่เช่น

- แร่หรือสารประกอบกลุ่มซัลไฟด์ ใช้น้ำยาเคลือบผิวเช่น แขนเทต (Xanthate) ไดไทโอฟอสเฟต (Dithiophosphate) ไดอัลคิลไทโอโนคาร์บาเมต (Dialkyl Thionocarbamate) ไทคาร์บานิลไธด์เมอร์แคปตobenโซไท

ไอโซล (Thiocarbanilide Mercaptobenzothiozole) แซนโทเจนฟอร์เมต (Xanthogen format) และไดแซนโทเจน (Dizanthogen) เป็นต้น

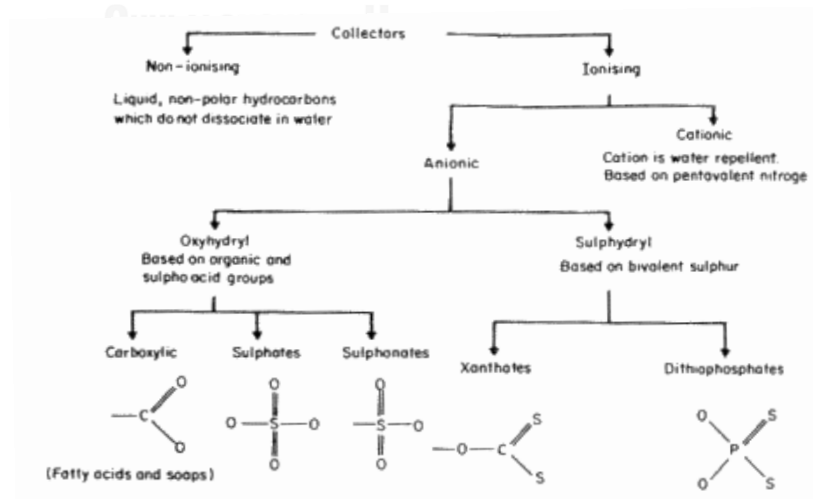
- แร่หรือสารประกอบกลุ่มที่ไม่ใช่ซัลไฟด์ ใช้น้ำยาเคลือบผิวเช่น กลุ่มออกซีไฮดริล (Oxyhydril group) คาร์บอกซิเลต (Carboxylate) ซัลเฟตของสารอินทรีย์ (Organic Sulphate) และซัลโฟเนต (Sulphonate) เป็นต้น

- น้ำยาเคลือบผิวที่ให้ประจุบวกเมื่อละลายในตัวน้ำ (Cationic collector)

เป็นน้ำยาเคลือบผิวที่ให้ประจุบวกอยู่ข้างหนึ่งและมีแขนหรือกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นกลุ่มที่ไม่เปียกน้ำอยู่อีกปลายหนึ่ง ได้แก่ สารประกอบเอมีน (Amine) ซึ่งส่วนใหญ่สกัดมาจากไขมันธรรมชาติ และเรียกชื่อตามประเภทไขมันที่ใช้กลุ่มไฮโดรคาร์บอนมีทั้งอัลคิล (Alkyl) และเอริล (Aryl) ซึ่งความยาวของแขนถูกจำกัดโดยความสามารถในการละลายของเอมีน โดยอาจอยู่ในรูปของคลอไรด์หรืออะซีเตต เพื่อให้การละลายดีขึ้น

- น้ำยาเคลือบผิวที่ไม่มีประจุ (Non – ionic collector)

เป็นน้ำยาเคลือบผิวที่เติมลงไปเพื่อให้เคลือบผิวหน้าที่มีน้ำยาเคลือบผิวเคลือบอยู่แล้วหรือเคลือบบนผิวหน้าเม็ดอนุภาคที่ไม่มีประจุ ดังนั้น น้ำยาเคลือบผิวชนิดนี้จึงช่วยเพิ่มความไม่เปียกน้ำของเม็ดอนุภาค แต่ไม่สามารถเลือกทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเจาะจงได้ น้ำยาเคลือบผิวประเภทนี้เป็นน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันเครื่องครีโอสต์ (Creosote) เป็นต้น ใช้ในการลอยในบางกรณีเช่น การลอยถ่านหิน เป็นต้น



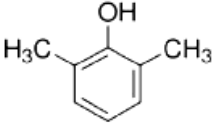
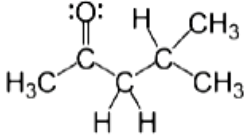
รูปที่ 2.12 ชนิดของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่

2. น้ำยาเคลือบฟอง (Frother) เป็นสารเคมีที่ช่วยทำให้เกิดฟองอากาศ มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การเกาะติดของเม็ดแร่ ทำให้ฟองอากาศเหนียว ไม่แตกง่าย เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และถูกดูดซับบนผิวสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ เป็นสารที่มีโมเลกุลหลายขั้ว (Hetero - polar molecule) โดยขั้วที่มีประจุจะละลายน้ำได้ และขั้วที่ไม่มีประจุเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ทำหน้าที่จับกับผิวของฟองอากาศทำให้ผิวน้ำและฟองอากาศมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำมากขึ้น ฟองที่สร้างขึ้นมาต้องไม่เหนียวจนเกินไปและแตกพอสีเมื่อนำเม็ดแร่ออกจากฟองลอย น้ำยาเคลือบฟองไม่ควรจะถูกดูดซับหรือเคลือบบนผิวหน้าเม็ดแร่ สารเคมีแต่ละชนิดมีโครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 2.15 ได้แก่

- Pine oil หรือ น้ำมันสน เป็นสารประกอบอะโรมาติกแอลกอฮอล์ (Aromatic alcohol) ที่มี Terpeneoil ($C_{10}H_{17}OH$) ให้ฟองอากาศซึ่งมีขนาดเล็กและค่อนข้างเปราะ เหมาะสำหรับการแยกที่ต้องการ Recovery สูง แต่ไม่เหมาะสำหรับการแยกที่เฉพาะเจาะจง (Selective) เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ด้วย ใช้ในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ มีราคาถูก ข้อเสียคือมักมีคุณภาพไม่คงที่
- กรดกลีซีลิก (Cresylic acid) ได้จากการสกัดน้ำมันจากถ่านหิน มีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอน ให้ฟองใหญ่กว่า Pine oil และใช้ได้ผลดีสำหรับการแยกเฉพาะเจาะจง โดยเฉพาะในการลอยแร่ซัลไฟด์บางชนิด
- กลุ่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ เมธิลไอโซบิวริลคาร์บินอล (Methyl Isobutyl Carbinol, MIBC) เฮปทานอล (Heptanol) เป็นต้น และพวกอีเธอร์ ได้แก่ ไกลคอลอีเธอร์ (Glycol Ethers) โพลีโพรพิลีนไกลคอลอีเธอร์ (Polypropylene Glycol Ethers) เป็นต้น จะให้ฟองอากาศขนาดใหญ่แต่ขนาดลดลงได้เร็วกว่า Pine oil และ กรดกลีซีลิก ถ้าต้องการให้ขนาดคงที่ ต้องหมั่นเติมลงไปบ่อยครั้ง การที่ฟองอากาศมีขนาดลดลงรวดเร็ว ทำให้ปริมาณแร่ลทินในหัวแร่ลดลงได้

ตารางที่ 2.15 โครงสร้างของน้ำยาเคลือบฟอง (Frother) แต่ละชนิด

ชนิดน้ำยาเคลือบฟอง (Frother)	ส่วนประกอบ	โครงสร้าง
น้ำมันสน (Pine oil)	Terpeneoil	

กรดกลีซีลิก (Cresylic acid)	Xylenol	
เมธิลไอโซบิวทิลคาร์บินอล (Methyl Isobutyl Carbinol, MIBC)	Methyl Isobutyl Carbinol	

3. น้ำยาปรับสภาพ (Modifier) เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไป เพื่อช่วยให้การลอยแร่เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่

3.1 ตัวกดแร่ (Depressant) เป็นสารเคมีที่ช่วยกดแร่ ป้องกันไม่ให้แร่ที่ไม่ต้องการลอยขึ้นมา โดยสารเคมีนี้จะไปคลุมเม็ดผิวแร่ที่ไม่ต้องการให้ลอยขึ้นมา ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับน้ำยาเคลือบผิวแร่หรือไปทำให้น้ำยาลอยแร่ซึ่งเคลือบผิวแร่นั้นละลายออก ตัวอย่างเช่น สารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide Solution) ในการลอยแร่ซัลไฟด์ด้วยแซนเทท (Xanthate) แร่ซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับแซนเททเกิดเป็นโลหะแซนเททที่บริเวณผิวแร่ ทำให้เม็ดแร่นั้นมีสภาพไม่เปียกน้ำและเกาะติดฟองอากาศได้ แต่ถ้าเติมสารไซยาไนด์ลงไปด้วย น้ำยาไซยาไนด์จะสามารถละลายโลหะแซนเททบางชนิดออกจากผิวแร่ได้ ทำให้แร่นั้นไม่เกาะติดฟองและจมอยู่ในเซลล์ลอยแร่ นอกจากนี้ไซยาไนด์ยังมีสารเคมีซึ่งเป็นตัวกดแร่ชนิดต่าง ๆ อีกหลายชนิด เช่น

- ปูนขาว (Lime) ใช้กดแร่ไฟไรต์ ในการลอยแร่ทองแดง
- กรดกำมะถัน (Sulfuric acid, H_2SO_4) หรือ Sodium silicate ใช้กดแร่ควอตซ์ SiO_2 ในการลอยแร่ด้วยน้ำยาเคลือบผิวเอมีน
- กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric acid, HF) ใช้กดแร่ควอตซ์ ในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์
- ฟลูอออินทรีย์ เช่น แป้ง กาวต่างๆ ซึ่งจะเป็นสารแขวนลอย และเคลือบผิวเม็ดแร่และวัสดุ ป้องกันไม่ให้ทำปฏิกิริยากับน้ำยาเคลือบผิว

3.2 น้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง (pH Regulator) เป็นสารเคมีที่ช่วยปรับ pH ให้กับผิวแร่ โดยทำหน้าที่สำคัญคือ ควบคุมการแตกตัวของสารเคมี ควบคุมการดูดซึมของสารเคมีบนผิวเม็ดแร่ และควบคุมปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีในระบบ เนื่องจากคุณสมบัติของผิวเม็ดแร่ส่วนมากจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความเป็นกรด - ด่าง การที่แร่จะทำปฏิกิริยากับน้ำยาลอยแร่ หรือตัวเร่ง ตัวกดต่าง ๆ ได้ดีหรือไม่เพียงใด ขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำปบนแร่นั้นเป็นสำคัญ ฉะนั้นการควบคุม pH ให้เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลอย

แบบเจาะจงเฉพาะแร่และการลอยแร่ซึ่งไม่ใช่แร่ซัลไฟด์ นอกจากนี้ pH ที่เหมาะสมจะช่วยกำจัดปฏิกิริยาแทรกซ้อนอันเกิดจากเกลือแร่ซึ่งละลายปนอยู่ในน้ำกับน้ำยาลอยแร่ ทำให้การลอยแร่ได้ผลดีและไม่สิ้นเปลืองน้ำยาลอยแร่โดยไม่จำเป็น

น้ำยาปรับสภาพที่ใช้ในการลอยแร่ ได้แก่ กรดและด่างต่าง ๆ น้ำยาเคมีที่ใช้ปรับสภาพให้เป็นอย่างอื่น ได้แก่ ปูนขาว (Lime) โซดาไฟ (Sodium Hydroxide) และโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) สำหรับน้ำยาเคมีที่ใช้ปรับสภาพให้เป็นกรด ได้แก่ กรดกำมะถัน (Sulfuric acid, H_2SO_4) กรดเกลือ (Hydrochloric acid, HCl) และกรดกัดแก้ว (Hydrofluoric acid, HF) เป็นต้น

3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Activator) เป็นสารเคมีซึ่งเติมลงไป เพื่อให้เม็ดแร่ที่ต้องการจะให้ลอยขึ้นมาทำปฏิกิริยากับน้ำยาเคลือบผิวได้ดียิ่งขึ้น หรือทำให้เม็ดแร่ที่ถูกกดด้วยตัวกด (Depressant) สลายตัวออกไป ทำให้ลอยขึ้นมาใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง น้ำยาเคมีที่ใช้เป็นตัวเร่งส่วนมาก ได้แก่ เหลือของโลหะหนัก เช่น

- Sodium Sulphide เป็นตัวเร่งของโลหะออกไซด์ เช่น ตะกั่ว และทองแดงคาร์บอนเนต
- Lead Acetate หรือ Lead Nitrate เป็นตัวเร่งในการลอยแร่พลวงซัลไฟด์ (Stibnite)
- Copper Sulphide เป็นตัวเร่งในการลอยแร่สังกะสีซัลไฟด์ (Sphalerite)

เป็นต้น

ในทางปฏิบัติ น้ำยาหรือสารเคมีเหล่านี้มักใส่ลงในถังผสมแร่ก่อนที่จะเข้าเครื่องลอยแร่ ปริมาณของสารที่ใช้และเวลาของการทำปฏิกิริยากับแร่ เป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องคำนึงและต้องทำการทดลองเพื่อหาเวลาและปริมาณที่เหมาะสมก่อนเสมอ

3.4 น้ำยากระจายฝุ่นเม็ดแร่ (Dispersant or Defloculant) ใช้เพื่อกระจายให้เม็ดแร่ไม่รวมกลุ่มเกาะตัวกัน ทำให้ผิวหน้าแร่เป็นอิสระต่อกัน การดูดซับบนผิวแร่ของแต่ละเม็ดอนุภาคจึงเกิดขึ้นได้มากที่สุด

3.5 ตัวเติมซัลไฟด์ (Sulphidizer) น้ำยาเคมีประเภทนี้จะทำให้ผิวแร่ซึ่งต้องการจะลอยมีสภาพเป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งเหมาะแก่การลอยแร่ยิ่งขึ้น ใช้ในการลอยแร่โลหะออกไซด์ หรือแร่ซัลไฟด์ซึ่งเปลี่ยนสภาพกลายเป็นออกไซด์ น้ำยาเคมีนี้ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium Sulphide) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulphide) เป็นต้น

3.6 สารเคมีที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่อาจใช้ดูดซับกำจัดไอออนหรือโมเลกุลที่ไม่ต้องการออกจากสารละลายหรือน้ำ เนื่องจากมีผลกระทบต่อการทำปฏิกิริยาดูดซับและลดประสิทธิภาพการลอย

เป็นต้น

ซึ่งประสิทธิภาพการลอยแร่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และตัวแปรต่าง ๆ เช่น ชนิดของแร่และมลทิน วิธีการบด ขนาดของเม็ดแร่ ปริมาณการใช้น้ำยาเคมีต่าง ๆ ลักษณะของเครื่องลอยแร่ เป็นต้น โดยสรุปดังแสดงในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 องค์ประกอบและตัวแปรต่าง ๆ ในการลอยแร่

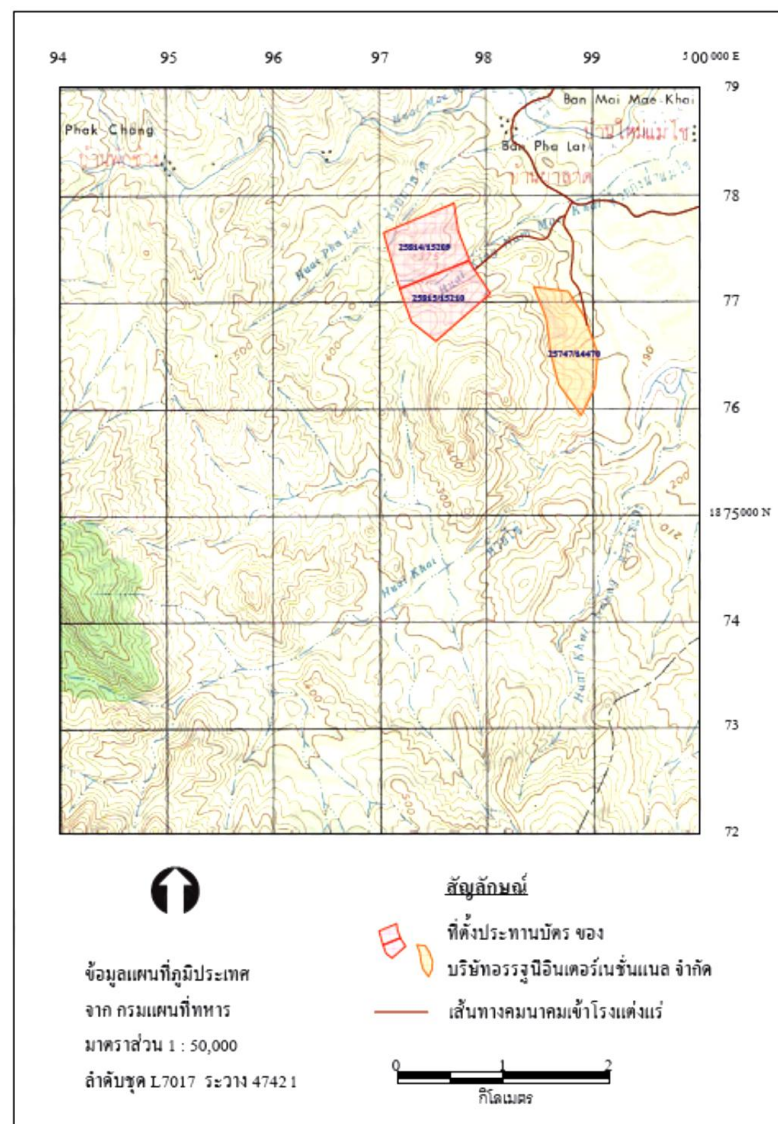
องค์ประกอบที่ใช้ในการลอยแร่	ตัวแปรต่างๆ
วัตถุดิบ	ลักษณะของเม็ดแร่ และมลทินที่ปะปนอยู่
	ส่วนประกอบของแร่ที่ละลายน้ำได้
	ความมากน้อยของการได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนมาแล้ว
	ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการลอยแร่
	มลทินที่ละลายได้ในน้ำ โดยเฉพาะเกลือของโลหะหนัก
	การมีแก๊สบางชนิดเช่น H ₂ S หรือ SO ₂ ในน้ำที่ใช้
	ความเป็นกรด - ด่างของน้ำที่ใช้
การบดและการคัดขนาด	ความละเอียดของอนุภาค และการอยู่ร่วมกันอย่างใกล้ชิด
	ขนาดความแข็งของแร่และมลทิน
	เวลาสัมผัสสำหรับแร่ชนิดต่าง ๆ ในขณะทำการบด
	ชนิดของเครื่องบด
	ชนิดของตัวกลางในการบด เช่น ลูกกลมเหล็ก แท่งเหล็กกลม เป็นต้น
	สารเคมีที่เติมระหว่างการบด
	ความหนาแน่นของของผสมระหว่างการบด
การกวนของของผสม	ความเข้มข้นของของผสม
	น้ำยาเคมีที่เติมขณะกวนแร่
	อุณหภูมิขณะกวนแร่
	เวลาในการกวนแร่

	ความแรงของการกวนแร่
การลอย	ความถ่วงจำเพาะของแร่
	ขนาดของอนุภาค
	อุณหภูมิขณะลอยแร่
	สภาพความเป็นกรด - ด่าง
	แร่ที่หมุนเวียนเข้าออกในเครื่องลอยแร่
	เวลาที่ใช้ในการลอยแร่
	ลักษณะหรือประเภทของเครื่องลอยแร่
	ความเร็วของใบพัดกวนแร่
	ลักษณะการผลิตฟองอากาศ และปริมาณฟองอากาศ

2.3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด และแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทฯ

บริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด มีสำนักงานตั้งอยู่เลขที่ 356 ถนนนราธิวาสราชนครินทร์ แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10120 มีสถานที่ตั้งโรงแต่งแร่ พิกัดตำแหน่งที่ตั้ง โชน 47 Q 523787 E 184981 N ตั้งอยู่เลขที่ 162 หมู่ที่ 3 ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก โดยมีแผนที่ตามมาตราส่วน แสดงสถานที่แต่งแร่และเขตแต่งแร่กับบริเวณใกล้เคียง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 แผนที่แสดงเขตการแต่งแร่ และการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบเขตการแต่งแร่ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เส้นทางเข้าเขตแต่งแร่ จุดหลักกิโลเมตรที่ 501 ถนนพหลโยธิน ด้านฝั่งทิศตะวันออกของถนน อยู่ติดกับสถานีควบคุมไฟฟ้าจังหวัดตาก ข้างเนินเขามีสก๊อก โดยชนิดแร่ที่มีการแต่งแร่ ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ แร่ไมกา แร่การ์เน็ต

แร่เฟลด์สปาร์ที่นำมาแต่ง เป็นแร่จากเหมืองแปลงประทานบัตรเลขที่ 25747/14470, 25814/15209 และ 25815/15210 ตั้งอยู่ที่ดอยเก็ง บ้านใหม่แม่ไข ต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก จังหวัดตาก ซึ่งเป็นของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด มีเนื้อที่ทั้งหมด 268 ไร่ 68 ตารางวา และ 499 ไร่ 2 งาน 50 ตารางวา สามารถเข้าถึงแหล่งแร่โดยทางรถยนต์จากตัวเมืองตากตามทางหลวงหมายเลข 1 ถึงหลักกิโลเมตรที่ 440 เลี้ยวซ้ายไปทางบ้านตากประมาณ 3 กิโลเมตร ไปตามทางหลวงหมายเลข 1107 แยกขวาไปบ้านทุ่งกระเซาะ ประมาณ 8 กิโลเมตร เดินทางตามถนนลูกรังอีก 20 กิโลเมตร ถึงแหล่งแร่ซึ่งตั้งอยู่ไหล่เขาด้านตะวันออกของดอยเก็ง แหล่งแร่ตั้งอยู่บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L 7017 ระวัง 4742 I จุดพิกัด 497000 – 498000 E และ 1876000 – 1878000 N ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ที่ตั้งประทานบัตรของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ในการปรับปรุงคุณภาพของแร่ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ของอุตสาหกรรมเซรามิก บริษัทฯ อาจต้องจัดหาแร่จากแหล่งประทานบัตรอื่นเพิ่มเติมมาผสม โดยกรรมวิธีการแต่งแร่ แยกเป็นการแต่งโดยใช้แร่ก่อนจากเหมืองเป็นวัตถุดิบ และการนำแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่ได้จากการแต่งแร่ก่อนเป็นวัตถุดิบ ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. การบดหยาบ (Crushing)
2. การบดละเอียด (Grinding)
3. การคัดขนาด (Sizing and Classification)
4. การแต่งแร่โดยเอาแร่ที่ติดแม่เหล็กออก (Magnetic Separation)
5. การลอยแยกแร่เฟลด์สปาร์ และแร่ควอตซ์ (Feldspar and Quartz Flotation)
6. การแต่งแร่ที่อาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (Gravity Concentration)
7. การย่างแห้ง (Drying)

แร่เฟลด์สปาร์จากเหมืองของบริษัทฯ จะขนส่งมาโดยรถบรรทุก มากองรวมไว้ที่โรงงานเพื่อทำการแต่งแร่ แยกเอาแร่เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ ไมกา และคาร์เนต ออกจากกัน แร่ควอตซ์จะเก็บกองรวมไว้เพื่อการจัดจำหน่ายต่อไป ส่วนแร่เฟลด์สปาร์จะใช้เตาหมุนทำให้แห้ง และอาจผ่านเข้าเครื่องแยกแม่เหล็กเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้นก่อนการจัดจำหน่าย ส่วนมลทินอื่นๆนำกลับเข้าแต่งอีกครั้ง ทั้งนี้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แร่ทางด้านฟิสิกส์ มีการกระจายตัวของขนาดและลักษณะทั่วไป หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ ตามรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.17 ร้อยละการกระจายตัวของขนาดผลิตภัณฑ์และลักษณะทั่วไป หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์

ผลิตภัณฑ์	% การกระจายตัวของขนาดผลิตภัณฑ์				ลักษณะทั่วไป
	+ 50 #	- 50 # + 100 #	- 100 # + 230 #	- 230 #	
แร่ก่อน	-	-	-	-	ก้อน ขนาด 4 – 8 นิ้วจากเหมือง
FGw	0.78	30.55	58.12	10.55	เป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล
FG	0.55	30.38	56.73	12.34	เป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน
FH	0.64	28.74	56.37	13.96	เป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน

QG	3.83	42.07	46.41	7.64	เป็นผงละเอียดสีขาวขุ่น
	+ 200 #	- 200 # + 325 #	- 325 #		
FP200	8.22	57.42	34.36		เป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน
QG200	3.19	47.89	48.93		เป็นผงละเอียดสีขาวขุ่น

หมายเหตุ : FGw คือ แร่เฟลด์สปาร์ที่ทำการคัดแยกแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงชนิดเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator, WHIMS), FG คือ แร่เฟลด์สปาร์ที่ผ่านกระบวนการปกติ, FH คือ แร่เฟลด์สปาร์ที่มีการปรุงแต่งทางการค้า, QG คือ แร่ควอตซ์ที่ผ่านกระบวนการปกติ, FP200 คือแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด, QG200 คือ แร่ควอตซ์ละเอียด

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลของงานวิจัยก่อนหน้าในการศึกษาคุณสมบัติของแร่เฟลด์สปาร์ และกรรมวิธีในการแยกแร่เฟลด์สปาร์จากแร่ลทินต่าง ๆ เพื่อนำหลักการและวิธีการมาประยุกต์ และศึกษาทดลองให้ได้วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด เพื่อสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากงานวิจัยในเรื่องของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ดังนี้

ในปี 1989 ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ (ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ, 2533) ได้ทำการศึกษาวิจัยการแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแต่งแร่แม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียกและการลอยแร่ (Processing of Feldspar by Wet High Intensity Magnetic Separation and Flotation Techniques) มีวัตถุประสงค์ในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก โดยทำการแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กอย่างอ่อนด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) ชนิดถังคารูเซล (Carousel type) แล้วจึงทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดกัดแก้ว (HF) ในการปรับสภาพแร่

จากการศึกษาแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำจากแหล่งแร่เพกมาไทต์ของเหมืองแร่คงสวัสดิ์ ตำบลโป่งกระทิง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี พบว่ามีแร่เฟลด์สปาร์ 76.20%, แร่ควอตซ์ 21.98%, แร่ลทินติดแม่เหล็ก 1.98% และองค์ประกอบทางเคมีของแร่ป้อนได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 0.38%, โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) 5.57%, โพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) 4.60% ซึ่งจัดได้ว่าเป็นแร่เฟลด์สปาร์ผสม

ผลการศึกษาและวิจัยแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กอย่างอ่อนด้วย WHIMS ชนิดถังคารูเซล ได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสม เมื่อทำการป้อนแร่ผสมน้ำ 20% ด้วยอัตราการป้อนของผสมเท่ากับ 10

ลิตร/นาที่ ซึ่งให้ผลการแยกแร่ที่เก็บได้ (%Yield) เท่ากับ 92.26%, เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ Fe_2O_3 (%Reject of Fe_2O_3) เท่ากับ 75.17%, คุณภาพ (Grade) เท่ากับ 0.070% Fe_2O_3 ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งเป็นแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ และมีคุณภาพ (Grade) เท่ากับ 0.26% Fe_2O_3 ในแร่ป้อน

ผลการศึกษาและวิจัยการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดกัดแก้ว (HF) ได้สภาวะการลอยแร่ที่เหมาะสม เมื่อทำการลอยแร่ที่ค่า pH 2.50 โดยใช้สารเคลือบผิวประจุบวก โดเดซิลอะมิโนเนียมอะซิเตต (Dodecylammonium Acetate (DDA)) ปริมาณ 300 กรัม/ตันแร่ป้อน เวลาในการปรับสภาพพื้นผิวแร่ก่อนการลอยเท่ากับ 5 นาที โดยใช้เวลาในการลอยแร่ 8 นาที ซึ่งให้หัวแร่เฟลด์สปาร์มีคุณภาพ (Grade) 98.63% ,การเก็บกลับคืนแร่ได้ (Recovery) 98.41% และมีแร่ควอตซ์ปะปนอยู่ 5.20% ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมได้

ในปี 1994 ศิวโรดม์ ศิริลักษณ์ (ศิวโรดม์ ศิริลักษณ์, 2547) ได้ทำการศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำในสภาวะเป็นกลาง (Flotation of Low Grade Feldspar in Neutral Condition) โดยใช้แร่จากเหมืองพาแคท อำเภอยะโยค จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าเป็นสินแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำ (6.65% Na_2O , 3.74% K_2O และ 0.7% Fe_2O_3) ประกอบด้วยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ โซเดียมเฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ และแร่มลทินติดแม่เหล็ก ซึ่งได้แก่ การเนต ทัวร์มาลีน ไบโธไทด์ มัสโคไวต์ นำมาทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง การนำแร่เฟลด์สปาร์มาทำการแยกมลทินกลุ่มเหล็กด้วยเครื่อง แยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) หลังจากนั้นนำส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กไปทำการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ในสภาวะที่เป็นกลาง โดยใช้ Lead (II) Nitrate เป็นตัวปรับสภาพผิวแร่เฟลด์สปาร์ แล้วจึงทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้ Na-Oleate เป็น Collector กับ การนำแร่เฟลด์สปาร์มาแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กโดยใช้ Na-Oleate เป็น Collector ทำการลอยเอาส่วนของมลทินแร่กลุ่มเหล็กออกมา หลังจากนั้นนำแร่ส่วนที่จม (แร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์) ไปทำการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ในสภาวะเป็นกลาง โดยใช้ Lead (II) Nitrate เป็นตัวปรับสภาพผิวแร่ และทดลองลอยแร่โดยใช้ Na-Oleate เป็น Collector เพื่อแยกโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ออกจากแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ โดยผลการวิจัยการแต่งแร่มลทินกลุ่มเหล็กซึ่งแยกโดยใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) ได้ปัจจัยที่ดีที่สุดคือที่ 15% Solids ซึ่งได้ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก 98.51% Weight และมี 0.0795% Fe_2O_3 ซึ่งจัดเป็นค่าที่ดีที่สุด ส่วนการแต่งแร่มลทินกลุ่มเหล็กซึ่งแยกโดยวิธีการลอยแร่ ได้ปัจจัยที่ดีที่สุดคือ ปริมาณ Na-Oleate 2,000 กรัม/ตันแร่ ซึ่งได้ส่วนที่จม (ไม่ติดแม่เหล็ก) 88.08% Weight และมี 0.0923% Fe_2O_3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแยกแร่มลทินกลุ่มแม่เหล็กโดยใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) เป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าการแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กโดยวิธีการลอยแร่ด้วย Na-Oleate

เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องปรับสภาพประจุของผิวแร่ ทำให้ค่าประจุไฟฟ้าบนผิวแร่ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับการใช้ Na-Oleate เป็นตัวเคลือบผิวแร่ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่จำนวนมาก และหากใช้ปริมาณ Na-Oleate มากเกินไปจะมีผลทำให้ไปเคลือบผิวแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์ทำให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนต่อไปในการแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์

ผลการวิจัยการแต่งแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์และควอตซ์ ออกจากแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กหลังจากผ่านเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) ได้สภาวะที่ดีที่สุดในการเก็บกลับคืน K_2O และ Na_2O คือ ใช้ปริมาณสารละลาย Lead (II) Nitrate ที่ปริมาณ 300 กรัม/ตันแร่ และใช้ Na-Oleate ที่ 2,000 กรัม/ตันแร่ ได้ส่วนที่ลอย 49.22% Weight โดยมี %Recovery ของ K_2O เท่ากับ 93.44 และ %Recovery ของ Na_2O เท่ากับ 27.09 และการแต่งแร่โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์และควอตซ์ ออกจากแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ หลังจากการแยกแร่กลุ่มเหล็กโดยใช้วิธีการลอยแร่ด้วย Na-Oleate ได้ปัจจัยที่ดีที่สุดคือ ใช้ปริมาณ Lead (II) Nitrate ที่ปริมาณ ปริมาณ 300 กรัม/ตันแร่ และใช้ Na-Oleate ที่ 2,000 กรัม/ตันแร่ ได้ส่วนที่ลอย 49.56% Weight โดยมี %Recovery ของ K_2O เท่ากับ 95.28 และ %Recovery ของ Na_2O เท่ากับ 28.04 จะเห็นได้ว่าการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ในสภาวะเป็นกลางเป็นไปได้ยาก เนื่องจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนผิวแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์มีความต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้การลอยแร่ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร นอกจากนี้ขนาดของเม็ดแร่ควรจะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามขนาดของเม็ดแร่เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยากในอุตสาหกรรม

ในปี 2006 C. Karaguzel, I. Gulgonal, C. Demir, M. Cinar, M.S. Celik (C. Karaguzel et al., 2006) ได้ทำการศึกษาการแต่งแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จากหินแร่เพกมาไทต์ด้วยวิธีการลอยแร่ (Concentration of K-Feldspar from a Pegmatite Feldspar Ore by Flotation) โดยมีวัตถุประสงค์ในการคัดแยกแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จากหินแร่เพกมาไทต์ที่บริเวณ Gordes-Manisa ประเทศตุรกี โดยใช้กระบวนการลอยแร่ที่ pH 2.5-2.8 ที่ปรับสภาพด้วยกรดกัดแก้ว และกรดซัลฟิวริก

ผลการวิจัยพบว่า แร่เพกมาไทต์ในบริเวณดังกล่าวมีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 77.43% SiO_2 , 3.37% Na_2O , 3.78% K_2O , 1.40% Fe_2O_3 , 0.03% TiO_2 , 12.23% Al_2O_3 , 0.13% MgO , 0.71% CaO , 0.06% P_2O_5 , 0.04% MnO และ 0.013% Cr_2O_3 จะเห็นว่ามียัตราส่วนของ K_2O ต่อ Na_2O (3.78:3.37) เท่ากับ 1.12 เมื่อทำการลอยแร่โดยใช้กรดกัดแก้ว พบว่าในสภาวะที่ดีที่สุด มี % K_2O เพิ่มขึ้นจาก 3.78% เป็น 10.51% และ % Na_2O ลดลงจาก 3.37% เป็น 3.02% ทำให้มียัตราส่วนของ K_2O ต่อ Na_2O เพิ่มขึ้นเป็น 3.48 (10.51:3.02) ในขณะที่เมื่อทำการลอยแร่ด้วยกรดซัลฟิวริก

พบว่าในสถานะที่ดีที่สุด มี 10.27% K_2O , 3.98% Na_2O ทำให้มีอัตราส่วนของ K_2O ต่อ Na_2O (10.27:3.98) เท่ากับ 2.48 จะเห็นได้ว่าการลอยแร่โดยใช้กรดกัดแก้วมีประสิทธิภาพมากกว่า นอกจากนี้ยังได้แร่อื่นๆ เช่น แร่ควอตซ์ ที่เป็นทางแร่สำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแก้วได้

ในปี 2008 เบญจพล ถาคำ (เบญจพล ถาคำ, 2551) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์เชิงสมบัติ และพารามิเตอร์ของการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้เซลล์คอลัมน์ (Properties and Parametric Analyses of Feldspar Flotation by Column Cell Technique) โดยมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์ผสมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ด้วยกรรมวิธีลอยแร่ โดยใช้เซลล์แบบกลไก และ เซลล์คอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการเพื่อแยกแร่ลทินออกจากแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเซลล์ลอยแร่แบบกลไก ประกอบด้วยใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ปรับความเร็วใบพัดได้ในช่วง 1,000 - 1,800 รอบ/นาที ใช้มอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้า 115 - 230 โวลต์/เฟส 50 - 60 เฮิร์ตซ์ สามารถให้อากาศแก่เซลล์ลอยแร่ผ่านทางวาล์วเปิด-ปิดตรงกลางแกนหมุนใบพัด ปริมาณอากาศถูกควบคุมโดยความเร็วใบพัด ส่วนเซลล์คอลัมน์มีลักษณะเป็นท่อ มีความสูงประมาณ 8 - 15 เมตร แร่ที่ปรับสภาพด้วยสารเคมีเรียบร้อยแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่เซลล์ที่ส่วนกลางของทรงกระบอก อนุภาคแร่จะกระจายและเคลื่อนตัวลงมาสู่ด้านล่างสัมผัสกับฟองอากาศที่ลอยขึ้นแบบทวนกระแส (Countercurrent) ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดฟองอากาศทางด้านล่างของเซลล์คอลัมน์ อนุภาคแร่เปียกน้ำจะชนและเกาะติดกับฟองอากาศไหลแล้วขึ้นสู่ด้านบนเพื่อเข้าสู่ชั้นแยกแร่ ซึ่งในชั้นนี้จะมีท่อน้ำสำหรับล้างฟองอากาศและหัวแร่ ก่อนปล่อยออกทางช่อง Overflow ข้อดีของเซลล์ลอยแร่แบบคอลัมน์คือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และต้นทุนการดำเนินการ การติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถทำได้ง่าย การกระจายตัวของฟองอากาศทำได้ดี ซึ่งแตกต่างจากเซลล์ลอยแร่แบบกลไกคือ ไม่มีใบพัดกวนของผสม มีระบบฟองอากาศ และใช้น้ำล้างแร่

ผลการวิจัยพบว่า การลอยแร่ด้วยเซลล์แบบกลไกที่สถานะที่เหมาะสมที่สุดจะมีผลการเก็บแร่เฟลด์สปาร์ได้ 40.39% มีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 68.53% SiO_2 , 6.60% Na_2O , 5.69% K_2O , 0.12% Fe_2O_3 , 0.01% TiO_2 , 17.87% Al_2O_3 , 0.05% MgO , 0.81% CaO และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากการเผาไหม้ (LOI) 0.32% และผลการลอยแร่ด้วยเซลล์คอลัมน์ที่สถานะที่เหมาะสมที่สุดจะมีผลการเก็บแร่เฟลด์สปาร์ได้ 33.44% มีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 67.83% SiO_2 , 6.39% Na_2O , 5.89% K_2O , 0.13% Fe_2O_3 , 0.01% TiO_2 , 18.62% Al_2O_3 , 0.05% MgO , 0.72% CaO และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากการเผาไหม้ (LOI) 0.36% ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการเก็บแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากเซลล์ลอยแร่แบบคอลัมน์จะต่ำกว่าแบบกลไกประมาณ 7% แต่คุณภาพแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากการลอยแร่ทั้งสองแบบค่อนข้างใกล้เคียงกัน (% Na_2O , % K_2O , % Fe_2O_3 ค่อนข้างใกล้เคียงกัน)

ในปี 2011 นุชรี สองรักษ์ (นุชรี สองรักษ์, 2554) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จากทรายเหลือทิ้ง (Pre-Feasibility Study of Potassium

Feldspar Flotation from Waste Sand) โดยมีวัตถุประสงค์ในการคัดแยกแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์กลับคืนจากทรายเหลือทิ้งจากแหล่งทรายบ้านโป่ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี โดยใช้กระบวนการลอยแร่ ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพของแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้ได้ตามข้อกำหนดและมาตรฐานของแร่ตามความต้องการของอุตสาหกรรมเซรามิก รวมทั้งประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างต้นทุนการผลิต และรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ โดยเลือกใช้ทรายเหลือทิ้งขนาด -30 เมช และ -60 เมช มาใช้ในการลอยแร่ เนื่องจากมีการกระจายตัวมากที่สุด และมีเม็ดแร่ที่คาบเกี่ยวกันของแร่ควอตซ์กับแร่เฟลด์สปาร์ในปริมาณที่น้อย

ผลการวิจัยพบว่า ทรายเหลือทิ้งมีส่วนประกอบของแร่เฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ แร่มีสโคไวต์ และแร่แคลไซต์ โดยมีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 84.45% SiO₂, 0.74% Na₂O, 6.45% K₂O, 1.30% Fe₂O₃, 0.24% TiO₂, 6.15% Al₂O₃, 0.26% MgO, 0.23% CaO และ 0.08% P₂O₅ ผลการวิเคราะห์แร่เฟลด์สปาร์ที่ลอยได้จากตัวอย่างขนาด -30 เมช พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีคือ 76.87% SiO₂, 1.48% Na₂O, 11.06% K₂O, 0.73% Fe₂O₃, 0.17% TiO₂, 8.65% Al₂O₃, 0.08% MgO, 0.18% CaO และ 0.10% P₂O₅ ส่วนผลการวิเคราะห์แร่เฟลด์สปาร์ที่ลอยได้จากตัวอย่างขนาด -60 เมช พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีคือ 76.10% SiO₂, 1.04% Na₂O, 8.37% K₂O, 0.95% Fe₂O₃, 0.31% TiO₂, 12.34% Al₂O₃, 0.15% MgO, 0.19% CaO และ 0.12% P₂O₅

แม้ว่าปริมาณของ K₂O รวมกับ Na₂O เกินมาตรฐานของแร่เฟลด์สปาร์ที่กำหนด แต่แร่เฟลด์สปาร์ที่ได้ไม่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากปริมาณของ SiO₂ และ Fe₂O₃ มีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐานที่อุตสาหกรรมต้องการ มีปริมาณ Al₂O₃ มีปริมาณน้อยกว่าขั้นต่ำที่อุตสาหกรรมต้องการ

โครงการนี้มีค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 9.056 ล้านบาท อัตราการตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการ คือ 15% และดัชนีราคา (PI) อยู่ที่ 1.14 จากการพิจารณาดังกล่าวพบว่า โครงการนี้น่าลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการ 4 ปี 1 เดือน 12 วัน

ในปี 2013 ชินดนัย ไชยโกษฐ (ชินดนัย ไชยโกษฐ, 2556) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีการลอยแร่ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว: กรณีศึกษาทุ่งกระเซาะ จังหวัดตาก (Upgrading of Feldspar by Non-HF Flotation Method: Case Study of Thung Kra So Deposit Tak Province) โดยมีวัตถุประสงค์ในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ด้วยวิธีการลอยแร่ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพร่างกายที่มาจากกรดกัดแก้วในการแยกแร่ขั้นตอนสุดท้าย โดยใช้แร่เฟลด์สปาร์จากแหล่งแร่บ้านใหม่แม่ไข ตำบลทุ่งกระเซาะ อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ผลการวิจัยพบว่าแร่ที่ใช้มีส่วนประกอบของแร่เฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ แร่ไมคอลไลต์ และแร่แอลไบต์เป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งพบแร่มีสโคไวต์เล็กน้อย โดยมีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 71.87% SiO₂,

4.60% Na₂O, 4.94% K₂O, 0.12% Fe₂O₃, 0.02% TiO₂, 17.01% Al₂O₃, 0.05% MgO, 0.08% CaO และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากการเผาไหม้ (LOI) 0.31%

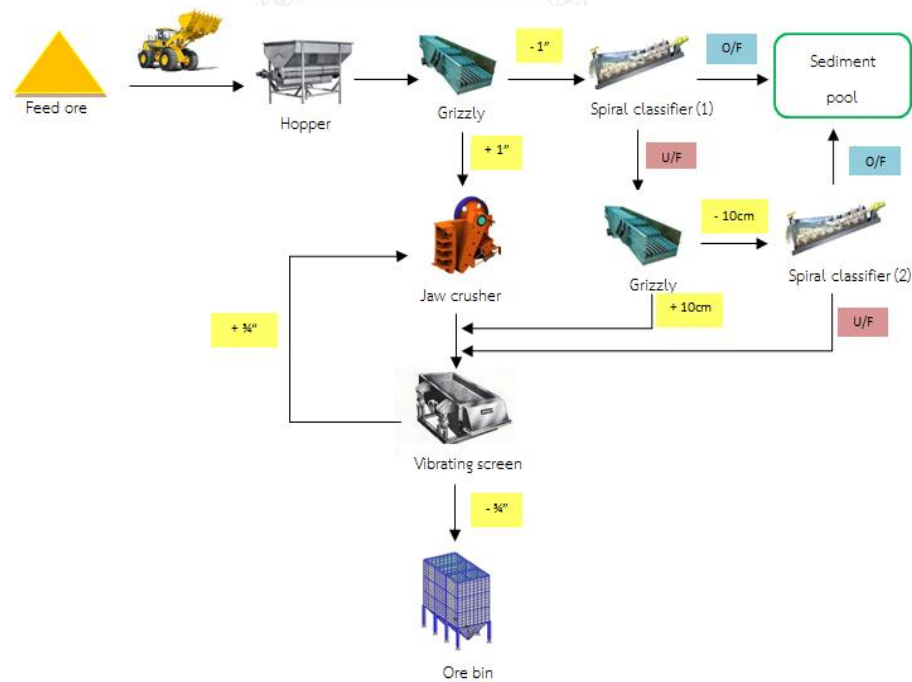
ผลการวิจัยพบว่า การลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้ว ได้สภาวะที่เหมาะสม ที่ pH 2.8 ใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัม/ตันแร่ป้อน มีผลการเก็บกลับคืนแร่ได้ 53.80% และผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 68.90% SiO₂, 6.49% Na₂O, 6.01% K₂O และการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก ได้สภาวะที่เหมาะสม ที่ pH 2.5 ใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่ 3.2 กิโลกรัม/ตันแร่ป้อน มีผลการเก็บกลับคืนแร่ได้ 53.48% และผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ 68.52% SiO₂, 5.51% Na₂O, 6.38% K₂O กล่าวได้ว่าการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก เมื่อเทียบกับกรดกัดแก้ว ได้ผลการลอยแร่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าผลการเก็บแร่ได้และผลวิเคราะห์ทางเคมีของการใช้กรดกัดแก้วจะดีกว่ากรดซัลฟิวริกเล็กน้อย แต่ผลการเก็บแร่ได้และผลวิเคราะห์ทางเคมีของการใช้กรดซัลฟิวริกก็เพียงพอต่อการนำแร่ที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก เพียงแต่ราคากรดซัลฟิวริกมีราคาสูงกว่ากรดกัดแก้วมากจึงต้องคำนึงถึงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรรมวิธีการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

แร่ก้อนขนาด 8 นิ้ว จากหน้าเหมืองจะถูกลำเลียงมากองไว้ที่ลานแร่ของโรงแต่งแร่ โดย Wheel loader และจะถูกทำการป้อนเข้าสู่ Hopper แล้วทำการคัดขนาดและป้อนแร่ด้วย Reciprocating grizzly feeder โดย แร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 นิ้วจะถูกส่งไปยัง Jaw crusher เพื่อบดย่อยต่อ ด้วยอัตรา 20 – 25 ตันต่อชั่วโมง ส่วนแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 นิ้ว จะส่งเข้าสู่ Spiral classifier (1) เพื่อล้างกำจัดฝุ่นดินออกจากผิวแร่ แร่ที่ Overflow จะถูกส่งไปยังบ่อดักตะกอน ในขณะที่แร่ที่ Underflow จะถูกส่งเข้าสู่ Reciprocating grizzly feeder อีกครั้ง หลังจากขั้นตอนนี้ แร่ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 10 เซนติเมตร จะถูกส่งไปรวมกับแร่ที่บดด้วย Jaw crusher ส่วนแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 เซนติเมตร จะถูกส่งเข้าสู่ Spiral classifier (2) แร่ที่ Overflow จะถูกส่งไปยังบ่อดักตะกอน ในขณะที่แร่ที่ Underflow จะถูกส่งไปรวมกับแร่ที่บดด้วย Jaw crusher เช่นกัน แร่ที่ผ่าน Jaw crusher ทั้งหมด จะถูกป้อนเข้า Vibrating screen เพื่อคัดขนาด เม็ดแร่ที่เล็กกว่า $\frac{3}{4}$ นิ้ว จะเก็บไว้ในถังเก็บแร่ (Ore bin) ส่วนเม็ดแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า $\frac{3}{4}$ นิ้ว จะถูกส่งกลับไปบดย่อยด้วย Jaw crusher อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

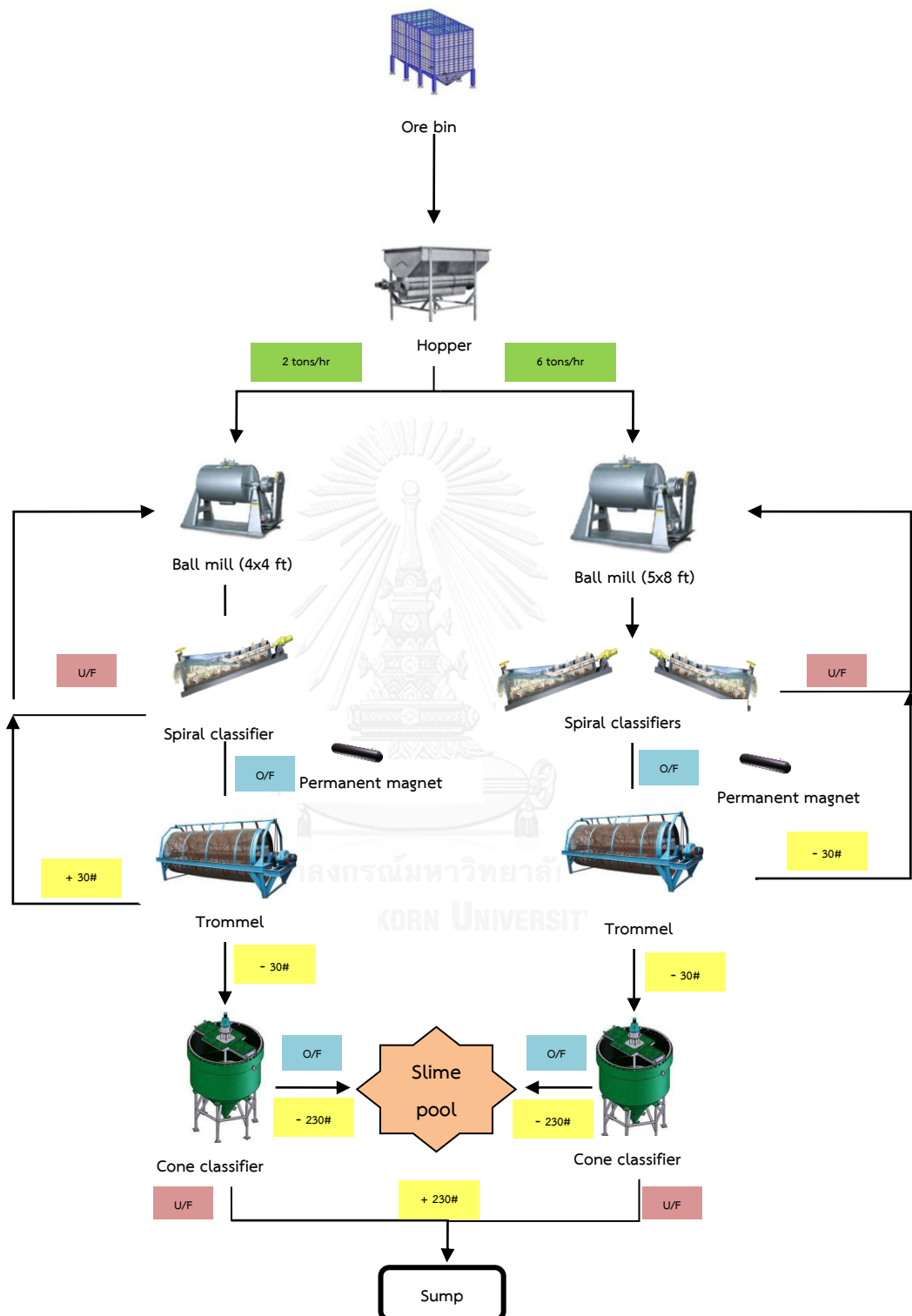


รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการบดหยาบ (Crushing) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

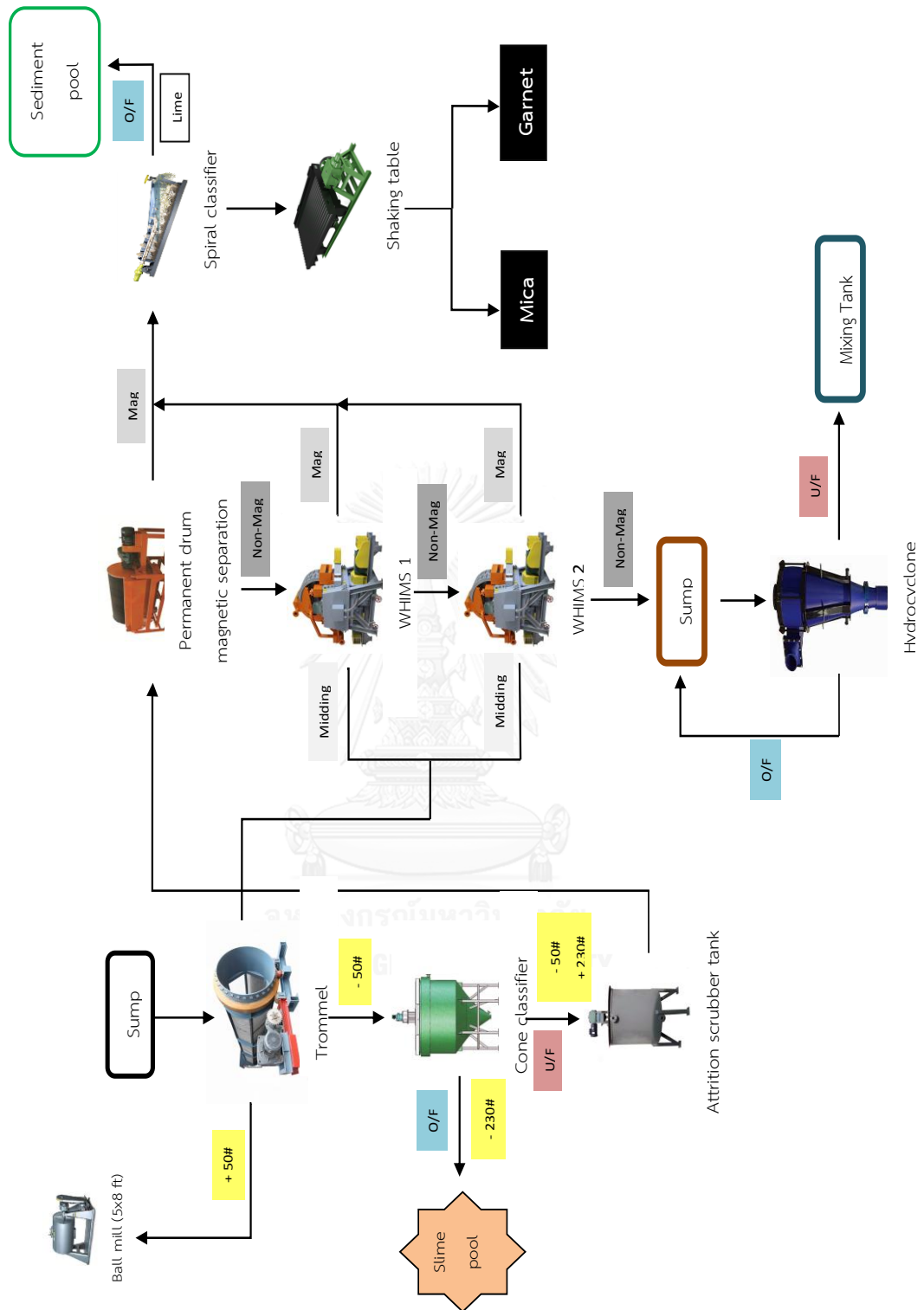
แร่ที่บดหยาบและเก็บไว้ในถังเก็บแร่ (Ore bin) แล้ว จะถูกป้อนเข้า Hopper เพื่อส่งเข้าในขั้นตอนการบดละเอียดด้วย Ball mill ขนาด 5x8 ฟุต และ 4x4 ฟุต หลังจากบดแล้วแร่จะถูกส่งไปยัง Spiral classifier คัดขนาดที่ใหญ่กว่า 30 เมช (Underflow) ให้นำไปบดด้วย Ball mill อีกครั้ง แร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 30 เมช (Overflow) จะไหลออกทางด้านท้ายของ Spiral classifier โดยจะมี Permanent magnet ดูดแร่มลทินติดแม่เหล็กไว้ส่วนหนึ่ง ก่อนที่จะผ่านไปยังตะแกรงหมุน (Trommel) เพื่อคัดแร่ที่มีขนาดโตกว่า 30 เมช ไปบดซ้ำด้วย Ball mill ในขณะที่แร่ที่ผ่านรูตะแกรง (ขนาดเล็กกว่า 30 เมช) จะป้อนเข้า Cone classifier เพื่อคัดแร่ที่ละเอียดกว่า 230 เมชออก (Deslime) และนำไปทิ้งลงบ่อพัก Slime ส่วนแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 230 เมช จะตกตะกอนลงด้านล่าง และถูกดึงโดยเดือยหมุน (Screw) เข้าลงสู่ถัง Sump ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2

- หมายเหตุ**
- Ball mill ขนาด 4x4 มีอัตราการป้อนแร่ 2 ตัน/ชั่วโมง ใช้ 1 Spiral classifier และ Cone thickener จะทำการคัดแร่ที่ละเอียดกว่า 230 เมช (Slime) ออกในอัตรา 0.4 ตัน/ชั่วโมง
 - Ball mill ขนาด 5x8 มีอัตราการป้อนแร่ 6 ตัน/ชั่วโมง ใช้ 2 Spiral classifiers และ Cone thickener จะทำการคัดแร่ที่ละเอียดกว่า 230 เมช (Slime) ออกในอัตรา 1.2 ตัน/ชั่วโมง

แร่ในถัง Sump จะถูกป้อนขึ้นไปยังตะแกรงหมุน (Trommel) เพื่อทำการคัดขนาด แร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 เมช จะถูกส่งกลับมากบดด้วย Ball mill อีกครั้ง ส่วนขนาดเล็กกว่า 50 เมช จะผ่านรูตะแกรงไปยัง Cone classifier เพื่อทำการไล่ Slime อีกครั้ง แร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 230 เมช จะไหลลงสู่บ่อพัก Slime แร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 230 เมช จะผ่านลงไปถังขัด (Attrition scrubber tank) เพื่อทำการขัดทำความสะอาดผิวแร่ และส่งเข้าเครื่องแยกแม่เหล็กถาวร (Permanent drum magnetic separator) เพื่อทำการแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก รวมถึง ไมกา การ์เน็ตด้วย และ ส่งไปยังเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 แร่ที่มีมลทินติดแม่เหล็ก จะถูกส่งไปผ่าน Spiral classifier เพื่อคัดเอาน้ำทิ้ง เมื่อได้เนื้อแร่แล้วจะนำไปแยกด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table) เพื่อทำการแยกแร่ ไมกาและการ์เน็ตออกจากกัน กลายเป็นผลพลอยได้ ส่วน Overflow จะทำการผสมปูนขาวและส่งไปยังบ่อพักตะกอน แร่ที่ละเอียดจะส่งไปยังตะแกรงหมุน (Trommel) คัดขนาด 50 เมชอีกครั้ง ในขณะที่แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะผ่านลงสู่ถัง Sump เพื่อป้อนขึ้นผ่าน Hydrocyclone คัดขนาด แร่ Overflow จะกลับลงไปที่ถัง Sump ส่วนแร่ Underflow จะเข้าสู่กระบวนการลอยแร่ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3

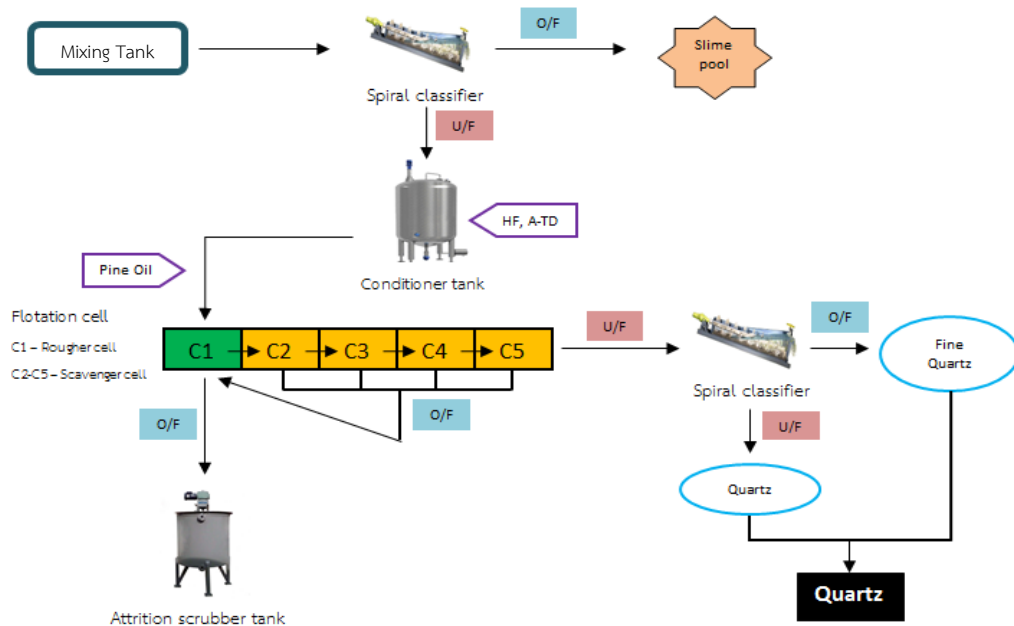


รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการบดละเอียด (Grinding) และการคัดขนาด (Sizing and Classification) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท ออร์รูนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด



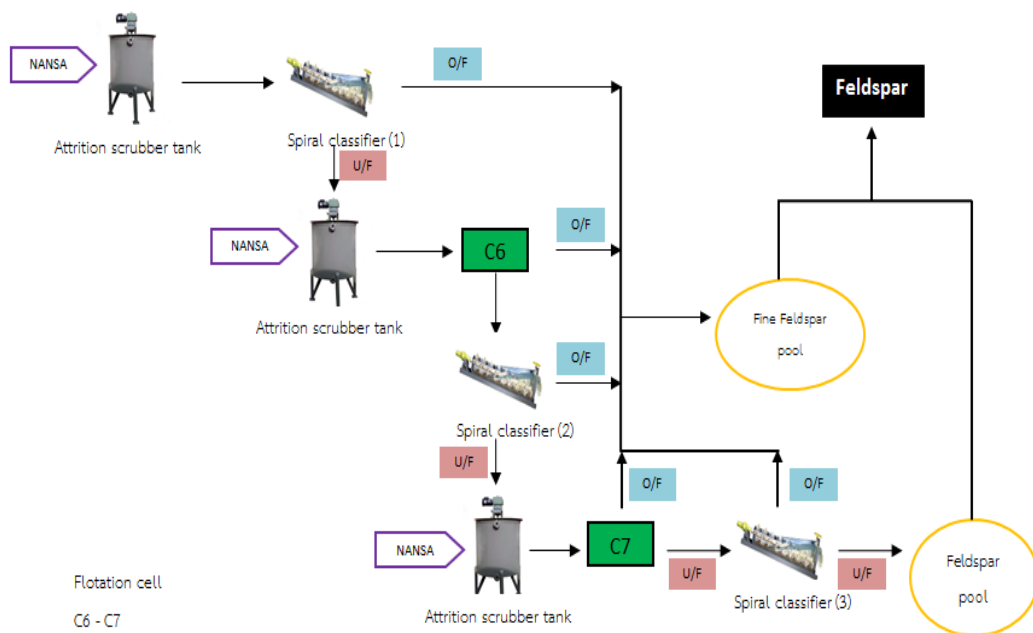
รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการแยกแร่โดยอาศัยความแตกต่างทางคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic Separation) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรจูนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

แร่ Underflow ที่ผ่าน Hydrocyclone จะถูกป้อนเข้าสู่ถังพักแร่ และจะถูกป้อนเข้า Spiral classifier เพื่อขัดล้างผิวแร่ให้สะอาด ก่อนจะส่งเข้าถังกวนปรับสภาพ (Conditioner tank) เพื่อปรับ pH โดยใช้ HF ให้ได้ pH ประมาณ 2 ใช้เวลาประมาณ 15 นาที และให้ HF ทำหน้าที่เป็น Depressant ตัวกดแร่ควอตซ์ ปรับความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent solid) ให้เป็น 25 % รวมทั้งเติมน้ำยา A-TD จำพวก Amine ทำหน้าที่เป็นน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ (Collector) ที่ต้องการลอย ทำให้แร่มีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำ น้ำยาเคลือบผิวแร่ที่มีประจุบวกจะเคลือบผิวเฟลด์สปาร์ที่มีประจุลบ ก่อนไหลผ่านเข้าเซลล์ลอยแร่เซลล์แรก (Rougher cell) และทำการเติมน้ำยา Pine Oil ทำหน้าที่เป็นน้ำยาเคลือบฟอง (Frother) เพื่อช่วยเคลือบฟองให้มีความเหนียว ไม่แตกง่ายขณะพาแร่ลอยขึ้น แร่ที่เข้าเซลล์ลอยแร่เซลล์แรก (Rougher cell) ฟองแร่เฟลด์สปาร์จะลอยขึ้นด้านบนและถูกปาดออกด้วยที่ปาดแบบหมุนแร่เฟลด์สปาร์จะกลายเป็นหัวแร่ (Concentrate) ส่วนหางแร่ (Tailing) จะมีแร่เฟลด์สปาร์บางส่วนและแร่ควอตซ์ปนกันอยู่ จึงต้องลอยอีกครั้งในเซลล์ลอยแร่ถัดไป (Scavenger cell) อีก 4 เซลล์ (เซลล์ลอยแร่ที่ 2, 3, 4 และ 5) จนหางแร่ไม่มีแร่เฟลด์สปาร์ปนอยู่เลย แร่ส่วนที่ถูกปาดออกในเซลล์ลอยแร่ที่ 2, 3, 4 และ 5 จะนำกลับมาผ่าน เซลล์แรกเพื่อลอยเอาแต่หัวแร่อีกครั้ง แร่ส่วนที่ไม่ลอยในเซลล์ลอยแร่ที่ 5 จะเป็นหางแร่ซึ่งคือแร่ควอตซ์บริสุทธิ์ ซึ่งจะส่งผ่านไปยัง Spiral classifier เพื่อคัดเอาน้ำทิ้ง และแยกแร่ละเอียด ส่วน Overflow จะไหลลงสู่บ่อพักตะกอนแร่ควอตซ์ละเอียด ส่วนแร่ที่ Underflow จะไหลลงสู่บ่อพักแร่ควอตซ์ แล้วสูบขึ้นเพื่อตากแร่ให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการลอยแร่ 1 (Flotation) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธনী อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

หัวแร่ (Concentrate) เฟลด์สปาร์ ที่ลอยได้ จะผ่านเข้าสู่ถังขัด (Attrition scrubber tank) จะทำการเติมน้ำยา NANSA ซึ่งเป็นสารประเภท Petroleum Sulfonate ชนิด Anionic collector เพื่อใช้กำจัดสิ่งสกปรกตกค้างและกำจัดสารเคลือบฟอง Pine Oil หลังจากนั้นแร่จะไหลผ่านไปยัง Spiral classifier (1) เพื่อล้างทำความสะอาดแร่ ส่วน Overflow ซึ่งเป็นแร่ละเอียด จะออกท้าย Spiral classifier ลงบ่อพักแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ส่วน Underflow จะผ่านเข้าสู่ถังขัด (Attrition scrubber tank) จะทำการเติมน้ำยา NANSA อีกครั้ง ก่อนปล่อยเข้าสู่เซลล์ลอยแร่ที่ 6 เพื่อลอยสิ่งสกปรก สิ่งสกปรกที่ลอยจะไหลไปยังบ่อพักตะกอน ส่วนแร่ที่จมอยู่จะผ่านไปยัง Spiral classifier (2) เพื่อล้างทำความสะอาดแร่และคัดแร่ละเอียด ส่วน Overflow ซึ่งเป็นแร่ละเอียด จะออกท้าย Spiral Classifier ลงบ่อพักแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ส่วน Underflow จะผ่านเข้าสู่ถังขัด (Attrition scrubber tank) และทำการเติมน้ำยา NANSA ครึ่งสุดท้าย ก่อนปล่อยเข้าสู่เซลล์ลอยแร่ที่ 7 เพื่อลอยสิ่งสกปรก ครึ่งสุดท้าย สิ่งสกปรกที่ลอยได้จะไหลไปบ่อพักตะกอน ส่วนแร่ที่จมอยู่จะผ่านไปยัง Spiral classifier (3) ตัวสุดท้าย ส่วน Overflow ซึ่งเป็นแร่ละเอียดจะออกท้าย Spiral classifier ลงบ่อพักแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ส่วน Underflow จะไหลลงสู่บ่อพักแร่เฟลด์สปาร์ ก่อนสูบน้ำขึ้นลานตากเพื่อตากแร่ให้แห้ง ก่อนทำการส่งจำหน่ายต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.5 หลังจากกระบวนการลอยแร่เสร็จสิ้นแล้ว จะทำการเติมปูนขาวลงไปในน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องปั่นน้ำผสมกับปูนขาวก่อนปล่อยลงร่องน้ำ เพื่อปรับสภาพน้ำให้เป็นกลาง น้ำที่เติมปูนขาวแล้วจะไหลลงสู่บ่อน้ำหมุนเวียน เพื่อที่จะได้นำน้ำวนกลับมาใช้ในกระบวนการลอยใหม่อีกครั้ง

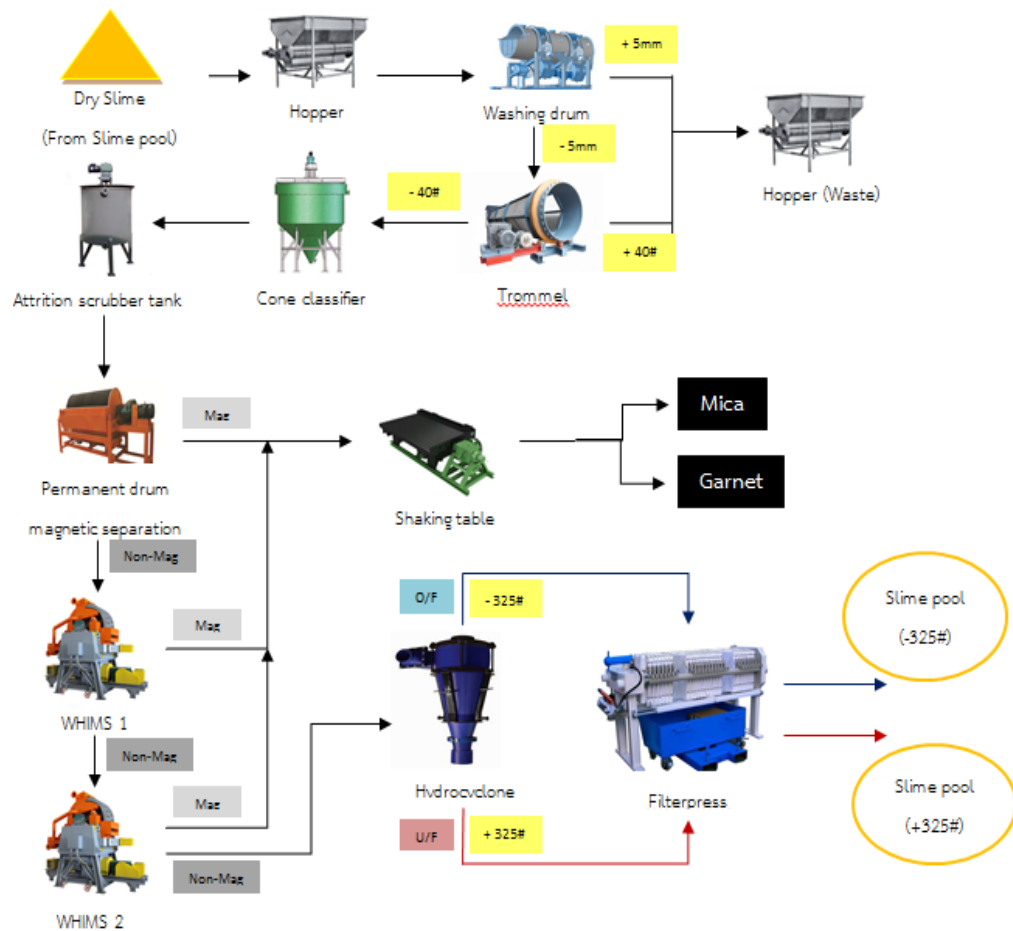


รูปที่ 3.5 แผนผังขั้นตอนการลอยแร่ 2 (Flotation) ของแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

3.2 กรรมวิธีการแต่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (Feldspar slime waste) ในการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลัก มีประมาณ 20% ของแร่ป้อนทั้งหมด โดยตั้งแต่ปีพ.ศ. 2528 มีหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดกองทิ้งไว้ประมาณ 350,000 ตัน จึงมีเศษหิน เศษไม้ และวัตถุต่างๆเจือปน จึงมีกรรมวิธีที่แตกต่างจากการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ในกระบวนการปกติ โดยแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (Slime) จากบ่อพักแร่ จะถูกสูบขึ้นลานตากเพื่อตากให้แห้ง และทำการป้อนเข้าสู่ Hopper โดย Wheel loader หลังจากนั้นจะส่งเข้าสู่ Washing drum เพื่อล้างทำความสะอาดแร่และกำจัดสิ่งสกปรก สิ่งที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร รวมถึงขยะ กรวด ซากไม้ จะถูกส่งออกไปเก็บไว้ใน Hopper ที่ใส่ Waste สิ่งที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร จะส่งเข้าสู่ตะแกรงหมุน (Trommel) เพื่อทำการคัดขนาด แร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 เมช จะทำการถูกคัดออก ในขณะที่แร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 40 เมช จะผ่านรูตะแกรงไปยัง Cone classifier เพื่อทำการแยกดินและปรับ %Solids และถูกส่งไปยังถังขัด (Attrition scrubber tank) เพื่อทำการขัดทำความสะอาดผิวแร่ รวมทั้งแยกเฟลด์สปาร์ละเอียดที่จับกันเป็นก้อน ก่อนที่จะส่งเข้าเครื่องแยกแม่เหล็กถาวร (Permanent drum magnetic separator) เพื่อกำจัดเศษเหล็ก ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้เศษเหล็กเข้าไปติดใน เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS)) ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ที่แร่จะถูกส่งเข้าไปในลำดับถัดไป แร่ที่มีมลทินติดแม่เหล็กจะนำไปแยกด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table) เพื่อทำการแยกแร่ ไมกาและการเนตออกจากกัน ซึ่งแร่ทั้ง 2 นี้ เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ให้กับทางเหมือง ในขณะที่แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกป้อนขึ้นไปผ่าน Hydrocyclone แยกขนาดของแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ส่วน Overflow ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 325 เมช และส่วน Underflow ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 325 เมช จะถูกส่งเข้าสู่ Filter press เพื่อลดความชื้นให้ต่ำกว่า 15% และทำการจำหน่ายแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.6

โดยที่ % yield ของแร่ Underflow ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 325 เมช เท่ากับ 50.97% ในขณะที่ % yield ของแร่ Overflow ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 325 เมช เท่ากับ 38.97% และบริษัทนำแร่ที่ได้จากกระบวนการนี้ ไปขายในราคาต่ำกว่าราคาแร่เฟลด์สปาร์จากกระบวนการหลัก เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมียังไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ ผู้วิจัยจึงทำการเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดนี้ด้วยกระบวนการลอยแร่ต่อไป



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนกรรมวิธีการแต่งหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (Feldspar slime waste) ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

3.3 แผนการศึกษาวิจัยการเพิ่มมูลค่าของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดโดยกระบวนการลอยแร่

3.3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลักของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก หลังจากผ่านกรรมวิธีการแต่งหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก ซึ่งขนาดของแร่ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 230 เมช ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วัสดุดิบที่ใช้ในการวิจัย

3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.3.2.1 เซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง 4 ลิตร ยี่ห้อ Denver รุ่น D12 ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง 4 ลิตร ในห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ Denver รุ่น D12

3.3.2.2 เตอบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFE 700

3.3.2.3 เครื่องซังน้ำหนักไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ (ไม่มีตำแหน่งทศนิยม)

3.3.2.4 เครื่องบด Laboratory disc mill ยี่ห้อ Kawasaki ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องบด Laboratory disc mill ยี่ห้อ Kawasaki

3.3.2.5 ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve) ขนาด 100, 120, 140, 170, 200, 230, 270 และ 325 เมช

3.3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance

3.3.2.7 เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) ยี่ห้อ Bruker รุ่น S2 Ranger EDXRF

3.3.2.8 ปลั๊กตักแร่

3.3.2.9 นาฬิกาจับเวลา

3.3.2.10 กระดาษวัดค่า pH

3.3.2.11 กระจกบอทวง

3.3.2.12 ปีกเกอร์

3.3.2.13 หลอดหยด

3.3.2.14 ภาดอะลูมิเนียม

3.3.2.15 ไม้พายปาดแร่

3.3.2.16 แปรงปิดฝุ่น

3.3.2.17 ถังพลาสติก

3.3.2.18 ถูขีปลือกพลาสติก

3.3.2.19 สายยาง

3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.3.3.1 น้ำยาเคลือบเม็ดแร่ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector)

3.3.3.2 กรดก่ดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF)

3.3.3.3 โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH)

3.3.3.4 น้ำมันสน (Pine Oil)

3.3.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยละเอียด

3.3.4.1 การวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)

โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

1. นำตัวอย่างที่อบจนแห้งไปบดด้วยเครื่องบด Laboratory disc mill ให้มีขนาดเล็กกว่า 325 เมช
 2. นำตัวอย่างมาอัดใส่แผ่นหลุมใส่ตัวอย่าง แล้วนำเข้าเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)
 3. วิเคราะห์ชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบ บันทึกผล และวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)

โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

1. นำตัวอย่างที่อบจนแห้งไปบดด้วยเครื่องบด Laboratory disc mill ให้มีขนาดเล็กกว่า 325 เมช
 2. นำตัวอย่างที่บดแล้ว 8 กรัม ใส่ถุงผสม XRF wax powder 2 กรัม เขย่าให้เข้ากัน
 3. อัดขึ้นรูปตัวอย่างในภาชนะอะลูมิเนียมขนาดเล็ก โดยอัดให้ได้ความดันที่ 4000 psi แล้วนำเข้าเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)
 4. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ตัวอย่าง บันทึกผล และวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.3.4.3 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture) ของแร่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ชั่งแร่ตัวอย่าง 1,000 กรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ใส่ลงในภาชนะอะลูมิเนียม แล้วนำเข้าเตาอบไฟฟ้า อบจนแห้ง
 2. นำแร่ตัวอย่างที่อบจนแห้งแล้วไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
 3. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%Moisture) โดยใช้สูตรที่ 3.1
- $$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%Moisture)} = ((1,000 - \text{น้ำหนักหลังอบจนแห้ง})/1000) \times 100 \quad (3.1)$$
- 3.3.4.4 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Particle size distribution)

โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ชั่งแร่ตัวอย่างที่อบจนแห้ง 200 กรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ แล้วทำการคัดขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 100, 120, 140, 170, 200, 230, 270 และ 325 เมช ตามลำดับ โดยคัดขนาดแบบเปียก (Wet sieve)
2. นำแร่ที่ค้างตะแกรงมาตรฐานในแต่ละขนาด ใส่ลงในภาชนะอะลูมิเนียม เขียนขนาดกำกับไว้ แล้วนำเข้าเตาอบไฟฟ้า อบจนแห้ง
3. นำแร่ในแต่ละภาชนะอะลูมิเนียม ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล และวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.4.5 การเตรียมน้ำยาเคมีที่ใช้ในการลอยแร่

ในการลอยแร่มีการใช้น้ำยาเคมีโดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) และ โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) ในการปรับค่า pH และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็นน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

1. การเตรียมกรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF)

ผสมกรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 30 ลิตร กับน้ำ 170 ลิตร นั่นคือทำให้ สารละลายมีความเข้มข้น 15% โดยปริมาตร

2. การเตรียมโซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) ผสมโซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) 30 ลิตร กับน้ำ 170 ลิตร นั่นคือทำให้สารละลายมีความเข้มข้น 15% โดยปริมาตร

3. การเตรียมสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector)

ผสมสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD 2 กิโลกรัม ลงในน้ำ 200 ลิตร

3.3.4.6 การวิจัยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทาง เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่

การดำเนินการวิจัยโดยใช้เซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง 4 ลิตร มีความเร็วรอบของ ใบพัดกวน 1,500 รอบต่อนาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ชั่งแร่ตัวอย่าง 1,000 กรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ใส่ลงไปใน เซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง เติมน้ำปริมาณ 4 ลิตร (ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %) และเปิดเครื่องเซลล์ลอยแร่

2. ปรับค่า pH ที่ใช้ในการลอยแร่ โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) และโซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) ให้มีค่า pH ตั้งแต่ 2 – 12 และใช้กระดาษวัด ค่า pH ในการวัด ใช้เวลาในการกวนของผสม 5 นาที

3. เติมน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) โดยปรับค่าตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มิลลิลิตร (เทียบได้กับการใช้สาร A-TD 0.2 – 1.8 กิโลกรัมต่อตันแร่) ใช้เวลาในการกวนของผสม 5 นาที

4. เติมน้ำมันสน (Pine oil) ลงไป 10 หยด ใช้เวลาในการกวนของผสม 2 นาที

5. หมุนวาล์วให้อากาศเข้าไปในเซลล์ลอยแร่ แล้วใช้ไม้พายปาดแร่ ปาดแร่ เฟลด์สปาร์ที่ลอยขึ้นมา ใส่ลงในถาดอะลูมิเนียม จนหมดฟองที่ลอยขึ้นมา

6. แร่ที่ไม่ลอย ทำการแยกใส่ไว้ในถาดอะลูมิเนียมอีกถาดหนึ่ง

7. นำเข้าเตาอบไฟฟ้า อบจนแห้งตัวอย่างแห้ง
8. นำแร่ตัวอย่างที่อบจนแห้ง มาชั่งบนเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ คำนวณหา % yield และนำเข้าวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)
9. บันทึกผล และวิเคราะห์ข้อมูล
10. นำสถานะที่เหมาะสมจากการปรับค่าในข้อ 2 และ 3 มาใช้ในการลอยแร่ โดยปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60% และทำการทดลองข้อ 4 – 9 อีกครั้งหนึ่ง
11. นำสถานะที่เหมาะสมจากการปรับค่าในข้อ 2 และ 10 มาใช้ในการลอยแร่ โดยปรับค่าปริมาณของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่และทำซ้ำข้อ 4 - 9 อีกครั้ง เพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่

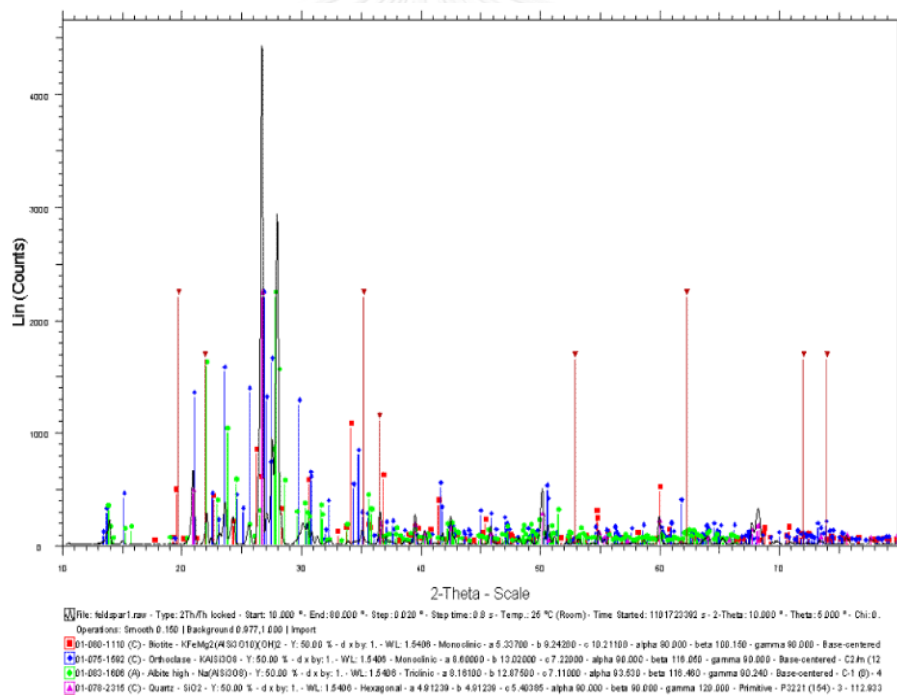


บทที่ 4

ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)

การวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของแร่ตัวอย่าง ซึ่งเป็นทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลักของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) พบว่าองค์ประกอบสำคัญของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดคือ แร่ควอตซ์ (Quartz) แร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) แร่แอลไบต์ (Albite) และแร่มิลทินิติดแม่เหล็ก เช่น ไบโอไทต์ (Biotite) หรือ ไมกาดำ (Black Mica) เป็นต้น ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าแร่เฟลด์สปาร์จากแหล่งแร่ที่ดอยเก็ง บ้านใหม่แม่ไข ต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก จังหวัดตาก ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด อาจจะเป็นแร่เฟลด์สปาร์ผสม (Mixed Feldspar) หรือ เฟลด์สปาร์กะเทย เนื่องจากมีองค์ประกอบของทั้งแร่อร์โทเคลส (Orthoclase) ซึ่งเป็นแอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspar) หรือ โพแทสเฟลด์สปาร์

(Potash Feldspar) และแร่แอลไบต์ (Albite) ซึ่งเป็นแพลจีโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar) หรือ โซเดียมเฟลด์สปาร์ (Sodium Feldspar) ทั้งนี้จะสามารถยืนยันว่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นแร่เฟลด์สปาร์ประเภทใด ได้โดยการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) ในขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของแร่ตัวอย่าง ทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) ทำให้สามารถทราบถึงปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด พบว่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลักมีผลวิเคราะห์ทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลัก

องค์ประกอบทางเคมี (%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
72.53	15.70	1.56	0.16	0.40	0.07	4.87	4.38

จากผลการวิเคราะห์สามารถทราบได้ว่าแร่เฟลด์สปาร์จากแหล่งแร่ที่ดอยเก็ง บ้านใหม่แม่ไข ต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก จังหวัดตาก ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เป็นแร่เฟลด์สปาร์ผสม (Mixed Feldspar) หรือ เฟลด์สปาร์กะเทย เนื่องจากมีปริมาณของ K₂O ในเนื้อร่น้อยกว่า 10% Na₂O ในเนื้อร่น้อยกว่า 7% รวมถึงมีปริมาณของ K₂O ใกล้เคียงกับปริมาณของ Na₂O และพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่เกิดจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์หลัก มีปริมาณรวมของ SiO₂ และ Al₂O₃ เป็นส่วนใหญ่ประมาณ 90% และเห็นได้ว่ามีปริมาณของ SiO₂ และ Fe₂O₃ มากกว่าค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ ต้องมีปริมาณน้อยกว่า 70% และ 0.1% ตามลำดับ อีกทั้งปริมาณของ Al₂O₃, K₂O และ Na₂O มีปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ ต้องมีปริมาณมากกว่า 17% 5% และ 5% ตามลำดับ จึงจำเป็นต้องปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพผ่านกระบวนการแต่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดในการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก โดยหลังจากผ่านกระบวนการ

ดังกล่าว และนำแร่ตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) อีกครั้ง ได้ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ทั้งขนาด +325 เมช และ -325 เมช ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดในการคัดแยกแร่ มลทินติดแม่เหล็กทั้งขนาด +325เมช และ -325เมช

ขนาด (เมช)	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
+325	74.43	15.15	0.12	0.04	0.43	0.007	4.73	4.75
-325	73.70	15.45	0.62	0.06	0.35	0.08	4.87	4.60

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยก แร่มลทินติดแม่เหล็ก ทั้ง 2 ขนาดยังคงมีปริมาณของ SiO₂ และ Fe₂O₃ มากกว่าค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม และปริมาณของ Al₂O₃, K₂O และ Na₂O มีปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม แต่ปริมาณของแร่มลทินติดแม่เหล็กที่มี Fe₂O₃ เป็นองค์ประกอบทางเคมี ลดลงเป็นอย่างมาก โดยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดขนาด -325 เมชจะมีปริมาณ Fe₂O₃ สูงกว่า ซึ่งจะนำมาทำการวิจัยในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ต่อไป เพื่อให้มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม และเป็นไปตามมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมมากที่สุด

4.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง (Particle size distribution)

การศึกษากการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่างแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษากการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่าง นั่นคือหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กทั้งขนาด +325 เมช และ -325 เมช โดยผู้ทำการวิจัยได้ใช้หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดดังกล่าว ขนาด +325 เมช ในการวิจัยการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ โดยปรับค่า pH และปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ และใช้ขนาด -325 เมช ในการวิจัยการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ โดยปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ และปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กขนาด +325 เมช

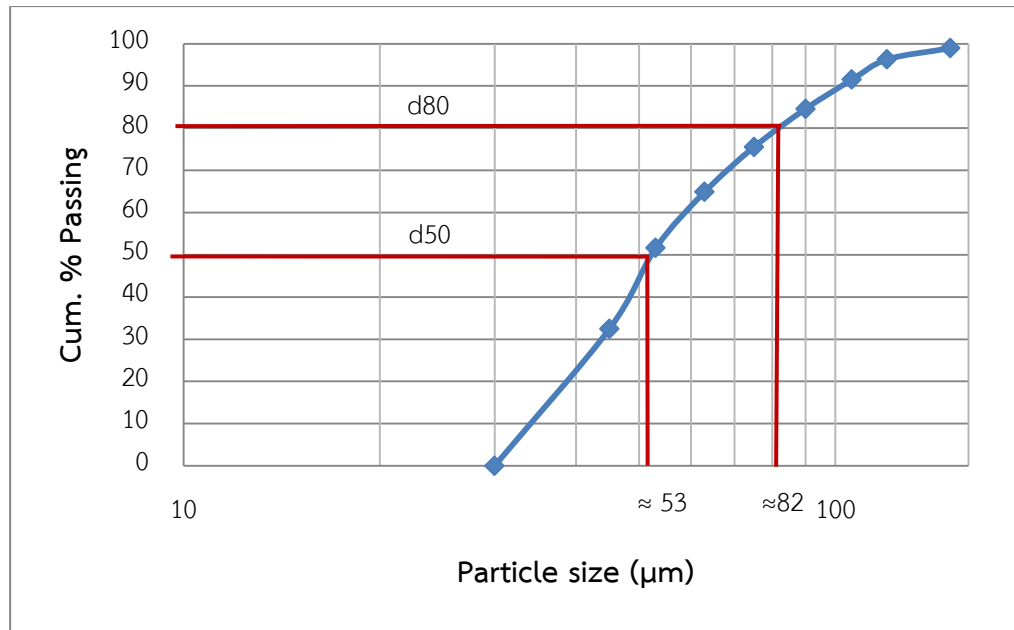
Sieve No.	Aperture (µm)	Weight Retained (g.)	Weight % Retained	Cumulative Retained (g.)	Cumulative % Retained	Weight % Passing
+100	150	2	1.06	2	1.06	98.94
-100 +120	120	5	2.66	7	3.72	96.28
-120 +140	106	9	4.79	16	8.51	91.49
-140 +170	90	13	6.91	29	15.43	84.57
-170 +200	75	17	9.04	46	24.47	75.53
-200 +230	63	20	10.64	66	35.11	64.89
-230 +270	53	25	13.30	91	48.40	51.60
-270 +325	45	36	19.15	127	67.55	32.45
-325	Pan	61	32.45	188	100.00	0.00
Total		188	Weight of ore sieved = 200 g. (Wet sieve), Error = 12 g., Percent error = 6%			

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กขนาด -325 เมช

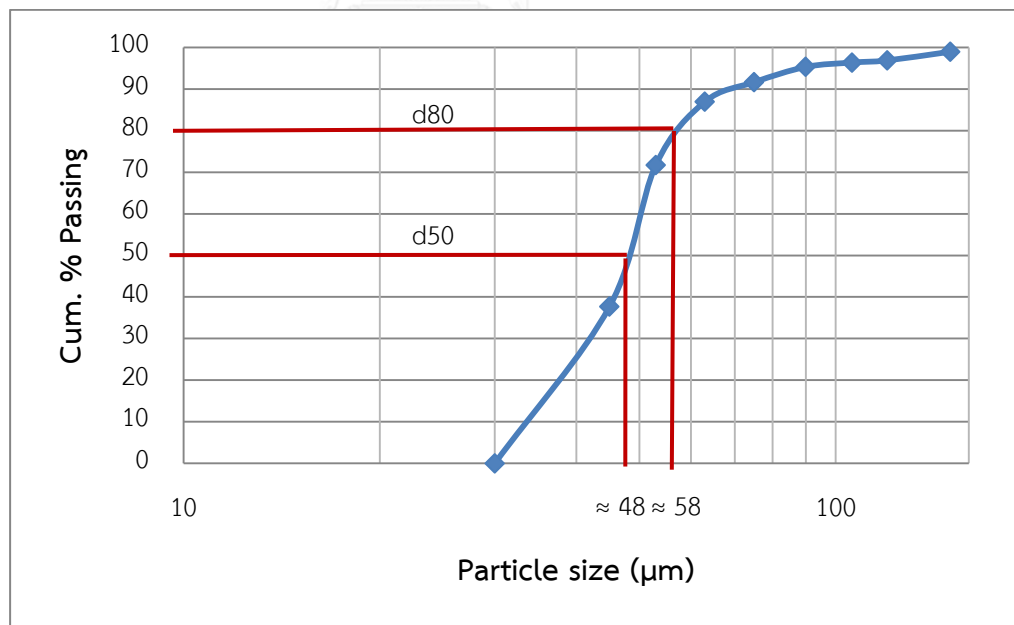
Sieve No.	Aperture (µm)	Weight Retained (g.)	Weight % Retained	Cumulative Retained (g.)	Cumulative % Retained	Weight % Passing
+100	150	2	1.05	2	1.05	98.95

-100 +120	120	4	2.09	6	3.14	96.86
-120 +140	106	1	0.52	7	3.66	96.34
-140 +170	90	2	1.05	9	4.71	95.29
-170 +200	75	7	3.66	16	8.38	91.62
-200 +230	63	9	4.71	25	13.09	86.91
-230 +270	53	29	15.18	54	28.27	71.73
-270 +325	45	65	34.03	119	62.30	37.70
-325	Pan	72	37.70	191	100.00	0.00
Total		191	Weight of ore sieved = 200 g. (Wet sieve), Error = 12 g., Percent error = 4.5%			

จากผลการศึกษการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดปริมาณ 200 กรัม คัดขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 100, 120, 140, 170, 200, 230, 270 และ 325 เมช ตามลำดับ โดยคัดขนาดแบบเปียก (Wet sieve) จะเห็นว่าขนาดส่วนใหญ่ของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดคือ ขนาดเล็กกว่า 230 เมช โดยสามารถหาขนาด Mean size (d80 และ d50) จากการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาค (Particle size, μm) กับ เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของแร่สะสม (Cumulative % passing) ของการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด หลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กทั้งขนาด +325 เมช และ -325 เมช ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กขนาด +325 เมช มีขนาด Mean size d80 และ d50 ประมาณ 82 μm และ 53 μm ตามลำดับ ในขณะที่ขนาด -325 เมช มีขนาด Mean size d80 และ d50 ประมาณ 58 μm และ 48 μm ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาค (Particle size, μm) กับ เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของแร่สะสม (Cumulative % passing) ของการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กขนาด +325 เมช



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาค (Particle size, μm) กับ เปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงของแร่สะสม (Cumulative % passing) ของการกระจายตัวของขนาดของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กขนาด -325 เมช

4.4 ผลการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่ เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่

4.4.1 การปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ โดยปรับค่า pH ตั้งแต่ 2 – 12 และปรับค่าปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มิลลิลิตร (เทียบได้กับการใช้สาร A-TD 0.2 – 2.0 กิโลกรัม/ตันแร่)

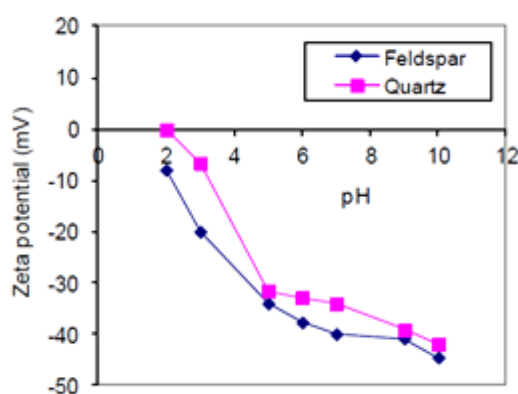
การศึกษาการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ เพื่อทำการลอยแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยปรับค่า pH ตั้งแต่ 2 – 12 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) และโซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง (pH Regulator) และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็นน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ในปริมาณตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มิลลิลิตร โดยทำการชั่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ มลทินติดแม่เหล็กขนาด +325 เมช 1,000 กรัม ใส่ลงไปในเซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง เติมน้ำปริมาณ 4 ลิตร (ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %) พบว่า การลอยแร่ในสภาวะกรด โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพ ผลิตภัณฑ์ที่ลอยขึ้นมาพร้อมฟองอากาศ (Floated product) จะมีความเหนียวข้นมาก ที่ pH 2 floated product จะมีสีเหลือง นวลอมเทา และผลิตภัณฑ์ที่จมอยู่ (Sink product) จะมีสีขาวเทา ในขณะที่การลอยแร่ในสภาวะเบส โดยใช้โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) เป็นน้ำยาปรับสภาพ floated product จะมีลักษณะเหนียวข้นเล็กน้อย ที่ pH 10 floated product จะมีสีเหลืองอ่อนอมเทา และ sink product จะมีสีขาวเทา ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ลอยขึ้นมาพร้อมฟองอากาศ (Floated product) และผลิตภัณฑ์ที่จมอยู่ (Sink product) ในการลอยแร่ที่ pH 2 และ pH 10 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ที่ pH 3 – 12 ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มิลลิลิตร แร่จะลอยขึ้นมาทั้งหมดเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ไม่สามารถแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้ ทำให้มีอัตราส่วนของ % floated product (% yield) และ

% sink product สูงมาก และมีผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม ในขณะที่ที่ pH 2 การลอยแร่โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด ปริมาณประมาณ 100 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการเก็บแร่ลอย (Conditioning time) ประมาณ 7 นาที สามารถลอยแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้ โดยมีอัตราส่วนของ % floated product (% yield) และ % sink product อยู่ในค่าที่เหมาะสม นั่นคือประมาณ 2 – 4 ซึ่งจากทฤษฎี (H.H. Buckenham & J. Rogers, 1954) ที่ว่า แร่ควอตซ์มีค่าประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ที่ pH 2.2 ส่วนแร่ Orthoclase และแร่ Albite ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแร่เฟลด์สปาร์ มีค่าประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ที่ pH 1.7 และ 1.9 ตามลำดับ ค่าความต่างศักย์ซีตา (Zeta potential) ของแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์ จะแสดงดังรูปที่ 4.5 ดังนั้น ที่ pH ประมาณ 2 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของแร่ควอตซ์เปลี่ยนจากเดิมที่มีประจุลบเป็นประจุบวก ส่วนศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของแร่เฟลด์สปาร์ยังคงเป็นประจุลบอยู่ ทำให้น้ำยาเคมีเคลือบเม็ดแร่ที่เป็นประจุบวก สามารถไปจับกับแร่เฟลด์สปาร์ที่เป็นลบอย่างเฉพาะเจาะจง (Selectivity) แล้วลอยขึ้นมากับฟองอากาศ จึงสามารถแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ % yield ของการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 60, 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร จะแสดงดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ค่าความต่างศักย์ซีตา (Zeta potential) ของแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์

ตารางที่ 4.5 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ตั้งแต่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2

pH 2 (ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 100 มิลลิลิตร)				
A-TD	% Floated	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)

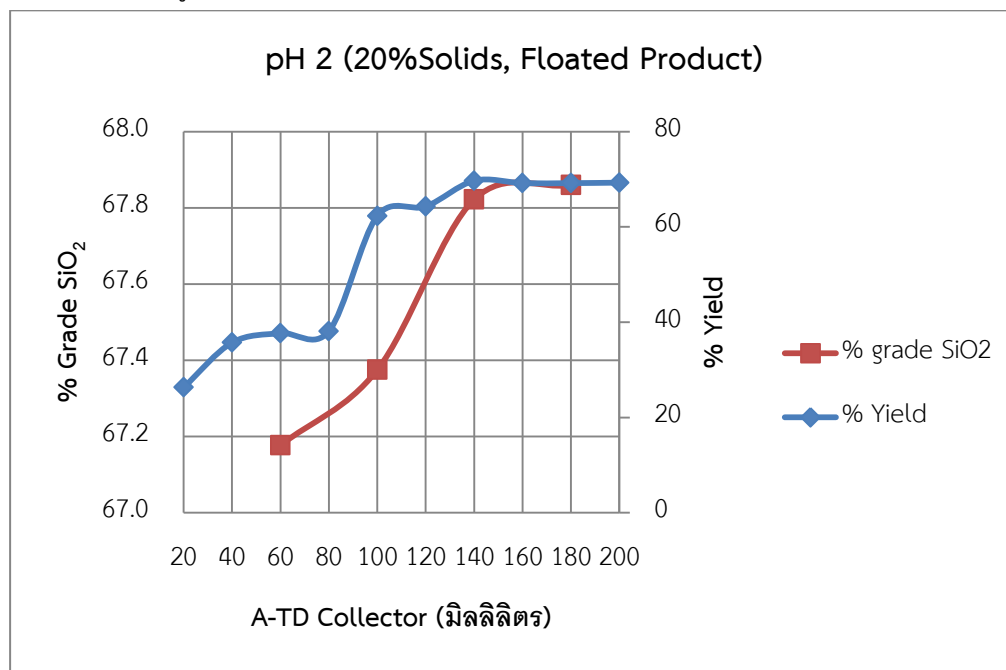
(มิลลิลิตร)	(% yield)			
20	26.3	69.0	4.7	0.38
40	35.7	58.1	6.2	0.61
60	37.7	56.8	5.5	0.66
80	38.1	56.4	5.5	0.68
100	62.3	34.4	3.3	1.81
120	64.3	31.3	4.4	2.05
140	69.7	24.8	5.5	2.81
160	69.2	24.9	5.9	2.78
180	69.2	24.4	6.4	2.84
200	69.5	23.7	6.8	2.93

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 60, 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2

A-TD (มล.)	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
60	67.18	18.86	0.12	0.02	0.48	0.008	7.43	5.90
100	67.38	18.69	0.12	0.02	0.48	0.008	7.41	5.90
140	67.82	18.54	0.14	0.03	0.52	0.006	6.88	6.07
180	67.86	18.54	0.19	0.02	0.51	0.008	6.77	6.10
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
60	90.91	6.86	0.16	0.02	0.42	0.013	1.37	0.25
100	90.83	7.10	0.17	0.05	0.90	0.013	0.61	0.33
140	99.40	0.23	0.13	0.01	0.14	0.009	0.06	0.02
180	99.36	0.30	0.13	0.01	0.09	0.008	0.08	0.02

โดยข้อมูลหลักที่ใช้ในการตัดสินใจในการเลือกสถานะที่ดีที่สุดในการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ ละเอียดยนี้ จะวิเคราะห์จาก 2 ปริมาณหลัก ๆ นั่นคือ ผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (%)

grade) ของ SiO_2 จากการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) โดยต้องมีค่าน้อยกว่า 70% และค่ายิ่งน้อยยิ่งได้ทางแร่เฟลด์สปาร์ที่มีคุณภาพ โดยที่การวิจัยในสภาวะนี้ มีความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO_2 ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO_2 ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่าง ๆ ในการลอยแร่ที่ pH 2

ที่ pH 2 มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอยแร่ ที่ปริมาณการใช้ยาเคลือบเม็ดแร่ตั้งแต่ 120 มิลลิลิตรขึ้นไป ทราบได้จากมีผลการเก็บแร่ % yield ที่เหมาะสม และมีอัตราส่วนของ % floated product (% yield) และ % sink product อยู่ในค่าที่เหมาะสม โดยมีผลการเก็บแร่ที่มี % yield สูงสุด อยู่ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 140 มิลลิลิตร เท่ากับ 69.7% มี % sink เท่ากับ 24.8%, % loss เท่ากับ 5.5% และมีอัตราส่วนของ % floated product ต่อ % sink product เท่ากับ 2.81% ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 140 มิลลิลิตร ให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกัน นั่นคือมีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ คือ 67.82% SiO_2 , 18.54% Al_2O_3 , 0.14% Fe_2O_3 , 0.03% TiO_2 , 0.52% CaO , 0.006% MgO , 6.88% K_2O และ 6.07% Na_2O โดยมีค่าส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ มีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่า 70%, Al_2O_3 มากกว่า 17%, K_2O และ Na_2O มากกว่า 5% ส่วนปริมาณของ Fe_2O_3 พบว่ายังมีปริมาณมากกว่าค่า

มาตรฐาน (น้อยกว่า 0.1%) เล็กน้อย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อไป เช่น เข้ากระบวนการคัดแยกแรมลทินติดแม่เหล็กอีกครั้ง ทำการลอยแร่เพื่อคัดแยกแรมลทินติดแม่เหล็ก เป็นต้น

ในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด 1,000 กรัม ใส่ลงไปในเซลล์ลอยแร่ขนาดทดลอง เต็มน้ำปริมาณ 4 ลิตร (ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด นั่นคือ การลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่า pH เท่ากับ 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็นน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ในปริมาณ 140 มิลลิลิตร ในการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป (การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 140 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ 1,000 กรัม ส่งผลให้เมื่อเทียบกับการลอยแร่ 1 ตัน ต้องใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 140,000 มิลลิลิตร โดยที่ในน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 100 มิลลิลิตร มีสัดส่วนการใช้สาร A-TD 1 กรัม จึงสามารถเทียบได้ว่า ใช้สาร A-TD 1,400 กรัม หรือ 1.4 กิโลกรัม ในการลอยแร่ 1 ตัน)

4.4.2 การปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ ในสภาวะ pH เท่ากับ 2 ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่ โดยปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60%

การศึกษาการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ เพื่อทำการลอยแยกแรมลทินออกจากแร่ควอตซ์ โดยปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่ โดยทำการซังหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแรมลทินติดแม่เหล็กขนาด -325 เมช และทำการวิจัยโดยใช้ข้อมูลต่างๆ ในการปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60% ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยการปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60%

% Solids	น้ำ (ลิตร)	แร่ (กรัม)	A-TD (มิลลิลิตร)	HF (มิลลิลิตร)	Conditioning time (นาที)
10	4	444	62.2	100	7
20	4	1,000	140.0	100	7
30	4	1,714	240.0	100	7
40	3	2,000	280.0	100	10

50	3	3,000	420.0	100	10
60	2	3,000	420.0	100	10

โดยผลการวิเคราะห์ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 - 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่ จะแสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ รวมทั้งการวิจัยในสภาวะนี้ มีความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

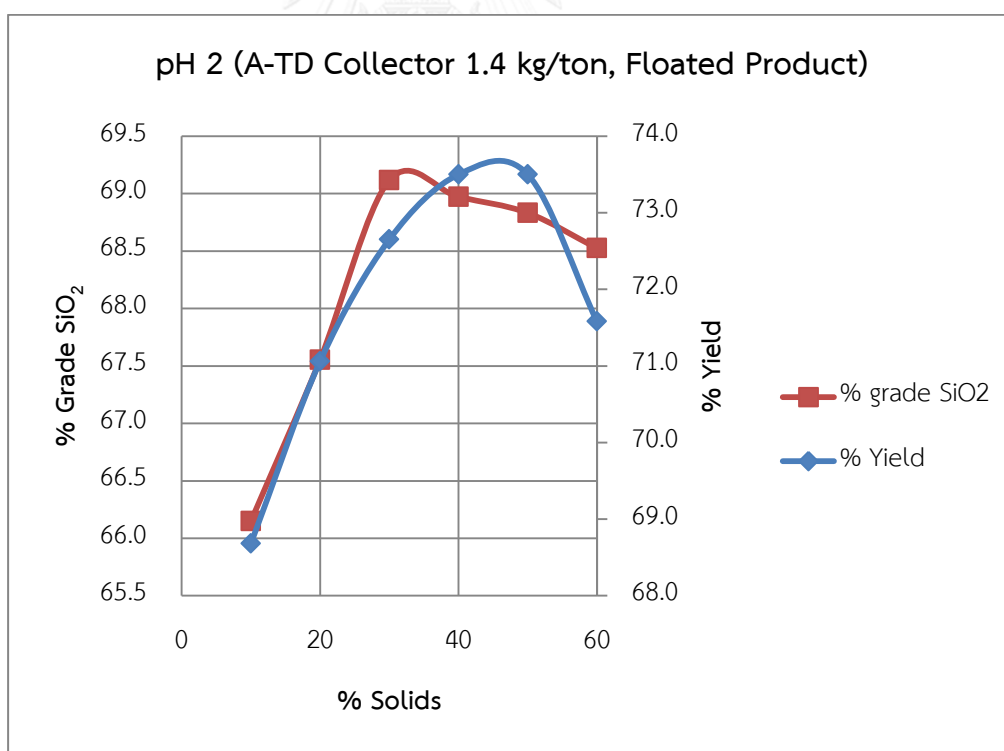
ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 - 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่

% Solids	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
10	68.68	28.02	3.30	2.45
20	71.06	25.28	3.66	2.81
30	72.65	24.72	2.63	2.93
40	73.50	24.97	1.53	2.94
50	73.50	25.03	1.47	2.94
60	71.58	26.84	1.58	2.67

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 - 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่

% Solids	องค์ประกอบทางเคมี (%) @ A-TD 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
10	66.15	19.68	0.60	0.08	0.55	0.09	6.12	6.12

20	67.55	18.86	0.63	0.08	0.56	0.08	5.65	5.96
30	69.12	18.00	0.63	0.07	0.52	0.07	5.32	5.69
40	68.97	18.15	0.61	0.07	0.50	0.08	5.30	5.75
50	68.83	18.19	0.69	0.07	0.50	0.08	5.33	5.67
60	68.52	17.93	0.90	0.08	0.50	0.09	6.16	5.23
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
10	98.66	0.84	0.12	0.01	0.07	0.01	0.08	0.02
20	98.80	0.63	0.21	0.01	0.10	0.01	0.05	0.01
30	98.94	0.50	0.24	0.00	0.08	0.01	0.03	0.01
40	98.27	0.90	0.38	0.01	0.13	0.01	0.09	0.02
50	97.59	1.60	0.28	0.01	0.11	0.01	0.16	0.04
60	95.38	3.29	0.39	0.02	0.19	0.02	0.51	0.10



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของ ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ต่างๆ

จากผลการวิจัยพบว่า ยิ่งความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ยิ่งมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) จะยิ่งมีความเหนียวข้น มีสีเหลืองอมเทา ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product) จะมีสีขาวเทา โดยก่อนทำการลอยแร่ได้ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture) ของแร่ พบว่ามีความชื้นของแร่ประมาณ 18.1% ในทุก ๆ ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) สามารถลอยแร่แยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้ และให้ผลค่อนข้างมีประสิทธิภาพ แต่ที่ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) น้อยๆ จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการปรับปรุงคุณภาพแร่ที่มีปริมาณมาก ๆ และสิ้นเปลืองทรัพยากรน้ำอย่างมากอีกด้วย แต่ทั้งนี้ ผลการวิจัยการเก็บแร่ที่มี % yield สูงสุด อยู่ที่ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 40% และ 50% เท่ากับ 73.50% เท่ากัน โดยที่ 40% Solids มี % sink เท่ากับ 24.97%, % loss เท่ากับ 1.53% และมีอัตราส่วนของ % floated product ต่อ % sink product เท่ากับ 2.94% และ 50% Solids มี % sink เท่ากับ 25.03%, % loss เท่ากับ 1.47% และมีอัตราส่วนของ % floated product ต่อ % sink product เท่ากับ 2.94% แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางเคมีแล้ว การวิจัยที่ใช้ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% มีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ ที่ดีที่สุด คือ 68.83% SiO₂, 18.19% Al₂O₃, 0.69% Fe₂O₃, 0.07% TiO₂, 0.50% CaO, 0.08% MgO, 5.33% K₂O และ 5.67% Na₂O โดยมีค่าส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ มีปริมาณ SiO₂ น้อยกว่า 70% และน้อยกว่าการลอยแร่ที่ใช้ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 40%, Al₂O₃ มากกว่า 17%, K₂O และ Na₂O มากกว่า 5% แต่ยังพบว่ามีปริมาณของ Fe₂O₃ มากกว่าค่ามาตรฐาน (น้อยกว่า 0.1%) ซึ่งต้องทำการแก้ปัญหาต่อไป

ในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด นั่นคือ การการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่า pH เท่ากับ 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% ในการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป

4.4.3 การปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ ในสภาวะ pH เท่ากับ 2 ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% โดยปรับค่าปริมาณของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

การศึกษาการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ เพื่อทำการลอยแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 โดย

ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% โดยปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ โดยทำการซังหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กขนาด -325 เมช และทำการวิจัยโดยใช้ข้อมูลต่างๆ ในการปรับค่าปริมาณของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

A-TD (กิโลกรัม/ตัน แร่)	น้ำ (ลิตร)	แร่ (กรัม)	A-TD (มิลลิลิตร)	HF (มิลลิลิตร)	Conditionin g time (นาที)
1.4	3	3,000	420.0	100	10
1.8	3	3,000	540.0	100	10
2.2	3	3,000	660.0	100	10
2.6	2	2,000	520.0	100	10
3.0	2	2,000	600.0	100	10

โดยผลการวิเคราะห์ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ จะแสดงดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ รวมทั้งการวิจัยในสถานะนี้ มีความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ที่ค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

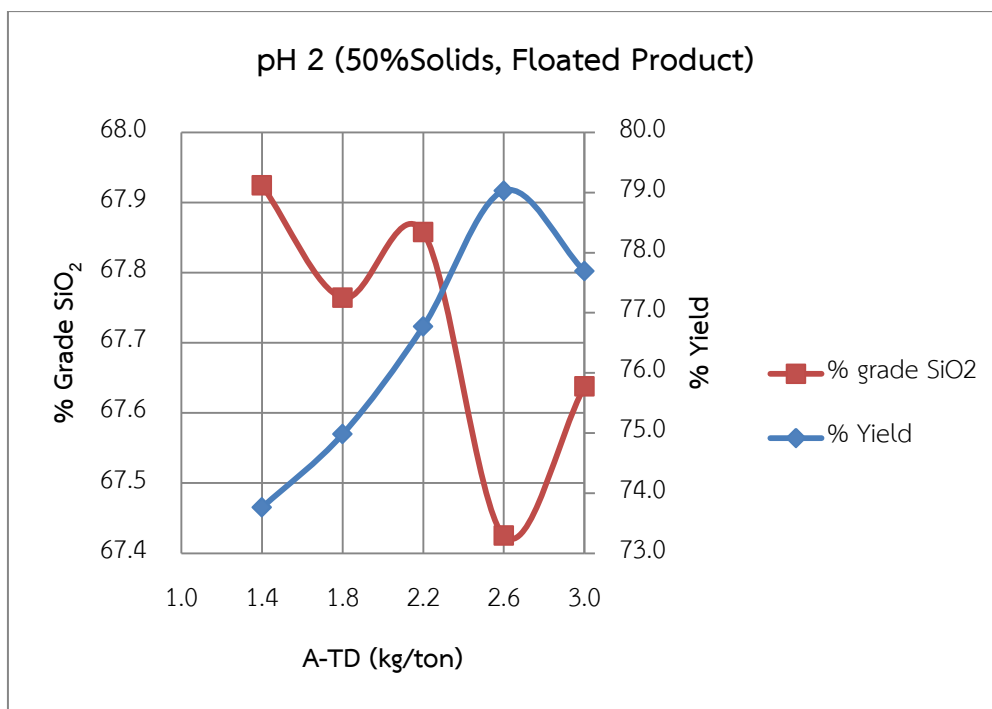
ตารางที่ 4.11 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

50 % Solids				
A-TD (กิโลกรัม/ตัน)	% Floated	% Sink	% Loss	Ratio

แร่)	(%yield)			(%F/%S)
1.4	73.76	25.39	0.86	2.91
1.8	74.98	24.25	0.77	3.09
2.2	76.77	22.49	0.73	3.41
2.6	79.03	20.11	0.86	3.93
3.0	77.69	20.90	1.41	3.72

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ค่าความหนาแน่นแร่ ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

A-TD (กิโลกรัม/ ตันแร่)	องค์ประกอบทางเคมี (%) @ 50%Solids							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
1.4	67.92	18.32	0.88	0.08	0.53	0.08	6.02	5.57
1.8	67.76	18.36	0.99	0.09	0.52	0.09	6.08	5.52
2.2	67.86	18.17	1.08	0.08	0.52	0.08	5.85	5.47
2.6	67.42	18.48	0.97	0.08	0.55	0.09	6.04	5.49
3.0	67.64	18.46	0.86	0.08	0.52	0.09	6.12	5.49
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
1.4	97.20	1.81	0.44	0.01	0.13	0.01	0.19	0.05
1.8	98.29	0.96	0.40	0.01	0.10	0.01	0.10	0.03
2.2	98.27	0.88	0.48	0.01	0.11	0.01	0.09	0.02
2.6	97.58	1.37	0.65	0.02	0.11	0.01	0.13	0.03
3.0	97.54	1.55	0.44	0.01	0.13	0.01	0.18	0.04



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ต่างๆ

จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD ในการลอย หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่มีความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% ใน pH 2 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) มีความเหนียวขึ้นมากยิ่งขึ้น มีสีเหลืองอมเทา จนถึงที่ปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ พบว่าความเหนียวขึ้นเริ่มลดน้อยลง และความสามารถในการลอยแร่ต่ำลง มีสีเหลืองอมเทา สันนิษฐานได้ว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่มีค่าสูงเกินไป น้ำยาเคลือบเม็ดแร่อาจจับตัวกันเอง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจับกับตัวเม็ดแร่ลดลง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product) จะมีสีขาวเทา โดยก่อนทำการลอยแร่ได้ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture) ของแร่ พบว่ามีความชื้นของแร่ประมาณ 18.2% ในทุกปริมาณของสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD สามารถลอยแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้ ซึ่งผลการวิจัยการเก็บแร่ที่มี % yield สูงสุด อยู่ที่การใช้ปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD 2.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ มี % yield 79.03%, % sink เท่ากับ 20.11%, % loss เท่ากับ 0.86% และมีอัตราส่วนของ % floated product ต่อ % sink product เท่ากับ 3.93% ซึ่งมีผลวิเคราะห์ทางเคมีที่เหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกัน นั่นคือมีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ คือ 67.42% SiO₂, 18.48% Al₂O₃, 0.97% Fe₂O₃, 0.08% TiO₂, 0.55% CaO, 0.09% MgO, 6.04% K₂O และ 5.49% Na₂O โดยมีค่า

ส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ มีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่า 70%, Al_2O_3 มากกว่า 17%, K_2O และ Na_2O มากกว่า 5% แต่ยังมีปริมาณของ Fe_2O_3 มากกว่าค่ามาตรฐาน (น้อยกว่า 0.1%) ซึ่งต้องทำการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

จากผลการวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยจึงทำการวิจัยการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ อีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ โดยเพิ่มปริมาณน้ำในเซลล์ทดลอง และปรับค่าปริมาณของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด โดยปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

A-TD (กิโลกรัม/ตัน แร่)	น้ำ (ลิตร)	แร่ (กรัม)	A-TD (มิลลิลิตร)	HF (มิลลิลิตร)	Conditionin g time (นาที)
2.6	2.5	2,500	650.0	100	10
3.0	2.5	2,500	750.0	100	10

ทั้งนี้ได้ทำการวิจัยโดยใช้หางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดหลังจากผ่านกรรมวิธีการคัดแยกแร่ผลหินติดแม่เหล็กทั้งขนาด -325 เมช และ +325 เมช อย่างละเอียด การโดยผลการวิเคราะห์ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ จะแสดงดังตารางที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ผลการเก็บแร่ % yield ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

50% Solids				
A-TD (กิโลกรัม/ตันแร่)	% Floated (%yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
-325 เมช				

2.6	79.38	19.95	0.67	3.98
3.0	78.00	20.62	1.38	3.78
+325 เมช				
2.6	78.42	20.33	1.25	3.86
3.0	77.05	21.38	1.57	3.60

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในการลอยแร่ที่ pH 2 ค่าความหนาแน่นแร่ ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

A-TD (กิโลกรัม /ตันแร่)	องค์ประกอบทางเคมี (%) @ 50% Solids							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
-325 เมช								
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
2.6	67.47	18.50	0.95	0.07	0.50	0.09	6.11	5.53
3.0	67.71	18.07	0.99	0.074	0.48	0.07	5.62	5.57
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
2.6	98.41	0.76	0.41	0.006	0.11	0.01	0.04	0.02
3.0	98.32	0.90	0.41	0.005	0.11	0.01	0.08	0.02
+325 เมช								
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
2.6	69.06	18.22	0.17	0.056	0.51	0.09	6.21	5.47
3.0	69.69	18.33	0.16	0.06	0.49	0.07	5.12	5.32
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
2.6	98.57	0.91	0.03	0.024	0.09	0.01	0.09	0.02
3.0	98.36	1.04	0.03	0.025	0.12	0.01	0.12	0.03

จากผลการวิเคราะห์เพื่อยืนยันการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ พบว่า ที่ทางแร่

เฟลด์สปาร์ละเอียดขนาด -325 เมช และ $+325$ เมช มีความชื้นของแร่ประมาณ 15.8% และ 10.7% ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการลอยแร่ทั้งการใช้ปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 2.6 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ แร่ทั้ง 2 ขนาด มีความเหมาะสม ซึ่งแร่ขนาด $+325$ เมช มีปริมาณ SiO_2 สูงกว่าขนาด -325 เมช แต่ยังคงอยู่ในค่าที่เหมาะสม โดยที่ที่ 2.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ มีความเหมาะสมที่สุด และมีผลใกล้เคียงกับการวิจัยในครั้งแรก

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ ในสภาวะ pH เท่ากับ 2 ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% โดยปรับค่าปริมาณของน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ มีสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่การลอยแร่ โดยใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) 2.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางเคมี โดยส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ มีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่า 70%, Al_2O_3 มากกว่า 17%, K_2O และ Na_2O มากกว่า 5% แต่ยังคงพบว่ามีปริมาณของ Fe_2O_3 มากกว่าค่ามาตรฐาน (น้อยกว่า 0.1%) ซึ่งต้องทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีต่างๆ เช่น เข้ากระบวนการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กอีกครั้ง ทำการลอยแร่เพื่อคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็ก เป็นต้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพ ในโรงงานจริง เพื่อให้ได้ทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่มีคุณภาพ เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม และเพิ่มมูลค่าก่อนการส่งออกจำหน่ายต่อไป

บทที่ 5

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของโครงการ และการตัดสินใจลงทุน

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (Feldspar slime waste) ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ซึ่งเป็นกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ที่ถูกกำจัดทิ้งจากกระบวนการหลักในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทอรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ซึ่งกองอยู่ในพื้นที่ เพื่อให้เกิดคุณค่า และเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างยั่งยืน

ภายหลังกระบวนการการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก และการไล่น้ำเพื่อทำให้แห้ง ผู้วิจัยได้ทำการลอยแร่เพื่อคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์อีกครั้ง เพื่อเพิ่มมูลค่าและทำให้แร่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการลอยแร่ส่งผลให้ได้แร่เฟลด์สปาร์จากทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดที่ค่อนข้างมีคุณภาพ แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้ โดยส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม นั่นคือ มีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่า 70%, Al_2O_3 มากกว่า 17%, K_2O และ Na_2O มากกว่า 5% แต่ยังมีพบว่ามีปริมาณของ Fe_2O_3 มากกว่าค่ามาตรฐาน (น้อยกว่า 0.1%) ซึ่งต้องทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีต่างๆ เช่น เข้ากระบวนการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กอีกครั้ง ทำการลอยแร่เพื่อคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก เป็นต้น หากผ่านกระบวนการดังกล่าว เชื่อได้ว่า แร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด จะมีผลวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งมีค่าเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด เป็นการวิเคราะห์เพียงเบื้องต้น เนื่องจากอ้างอิงจากผลการวิจัยที่ได้จากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ที่ให้สภาวะในการลอยแร่ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งข้อมูลอาจผิดพลาดเมื่อนำไปใช้ในการลงทุนในโรงงานจริง ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนเพียงเบื้องต้นเท่านั้น

5.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกการลงทุน (ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2553; เรืองศักดิ์ วัชรพงศ์ & ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2550)

การลงทุนในโครงการการเก็บกลับคืน และนำมาใช้ใหม่ในทางธุรกิจมีความคล้ายคลึงกับการลงทุนในกิจการทั่วไปที่ต้องมีระยะเวลาการคืนทุนที่เหมาะสม และมีผลตอบแทนการลงทุนที่จูงใจเพียงพอ ทางเลือกในการดำเนินโครงการหรือการเลือกใช้เทคโนโลยีเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาตัดสินใจ ซึ่งเกณฑ์ทั่วไปในการเปรียบเทียบจะพิจารณาประเด็นต่าง ๆ ในแต่ละด้าน ได้แก่ ความเหมาะสม

ทางด้านวิศวกรรม ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ และความเหมาะสมทางด้านสิ่งแวดล้อม เมื่อมีความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม และไม่มีข้อจำกัดสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อม ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์จะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ตัดสินความเป็นไปได้ของกิจกรรมหรือโครงการในเชิงพาณิชย์ การพิจารณาเปรียบเทียบการลงทุนมีตั้งแต่การลงทุนเปลี่ยนเครื่องจักรอุปกรณ์ชุดใหม่ ทดแทนชุดเดิม การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือการลงทุนก่อสร้างติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ทั้งหมด และดำเนินการตัดแยกและปรับปรุงคุณภาพวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในกรณีทั่วไปที่เป็นโครงการลงทุนของเอกชนในเชิงพาณิชย์ การวิเคราะห์จะเน้นการเปรียบเทียบทางการเงินเป็นหลัก แต่ในกรณีอื่นที่เป็นการลงทุนของภาครัฐหรือมีส่วนร่วมจากภาครัฐ การวิเคราะห์จะครอบคลุมตัวชี้วัดในทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

5.2 การประมาณราคาค่าใช้จ่ายลงทุนและค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้น (ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2553; เรื่องศักดิ์ วัชรพงศ์ & ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2550)

ในการประเมินประสิทธิภาพทางการเงินอาจใช้วิธีการหลัก ๆ ได้แก่

- การหาค่าใช้จ่ายต้นทุนเฉลี่ยต่อปี ซึ่งเป็นต้นทุนที่รวมค่าใช้จ่ายและรายได้เฉลี่ยในระยะเวลา 1 ปีเท่านั้น โดยรวมค่าลงทุนที่กระจายต่อปี (annuity payment) หรือเป็นค่าเสื่อมราคาและดอกเบี้ย
- การหากระแสเงินสดในอัตราลดโดยบันทึกค่าใช้จ่ายและรายได้ทั้งหมด รวมทั้งค่าลงทุนในแต่ละปีทุกปีตลอดอายุโครงการ และคำนวณอัตราผลตอบแทนโครงการหรือคำนวณมูลค่าปัจจุบันของรายได้สุทธิ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างการลงทุนของโครงการที่อาจไม่เท่ากันได้ ในกรณีของโครงการจัดการของเสียหรือการเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่ ผลลัพธ์ที่ได้อาจอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิหรือค่าใช้จ่ายต่อตันของซากอุปกรณ์หรือแร่ป้อน หรือของผลผลิตที่ได้

การใช้วิธีหากระแสเงินสดในอัตราลดเป็นวิธีการที่ใช้ได้แพร่หลายและต้องพิจารณาอัตราคิดลดที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสม ในการประกอบธุรกิจของภาคเอกชน อัตราคิดลดจะสูงกว่าโครงการของภาครัฐ เนื่องจากต้องรวมเอาผลกำไร ความเสี่ยง และอัตราภาษีเข้าไว้ด้วย

ค่าใช้จ่ายลงทุนและค่าใช้จ่ายในการทำงานเป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นสำหรับการประเมินวิเคราะห์ทางการเงิน

5.2.1 ค่าใช้จ่ายลงทุน (capital costs)

การประมาณค่าใช้จ่ายลงทุนในเบื้องต้นอาจมีความไม่แน่นอนสูง เนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่ตั้ง การออกแบบ มาตรฐานการทำงาน การก่อสร้าง และวิธีการประมาณการ วิธีการที่ปฏิบัติโดยทั่วไปควรประมาณจากราคาเครื่องจักรอุปกรณ์หลัก โครงสร้าง ค่าใช้จ่ายของระบบสาธารณูปโภค และไฟฟ้าเครื่องจักรกลที่คิดจากสัดส่วนของค่าลงทุนเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้น ค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนครั้งแรก เช่น ค่าที่ปรึกษาออกแบบกระบวนการและโรงงาน ค่าควบคุมงานก่อสร้าง ค่าศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินระบบ และเงินทุนหมุนเวียน ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายลงทุน โดยสรุปค่าใช้จ่ายลงทุนสามารถจำแนกได้ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายเพื่อการลงทุนเริ่มแรก (Initial expenditures) เป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการจัดตั้งหรือเริ่มทำโครงการ เป็นมูลค่าของปัจจัยการผลิตที่จำเป็นต้องใช้ในโครงการเพื่อเป็นฐานการผลิต เช่น เครื่องจักร อุปกรณ์ ยานพาหนะ โรงงาน รวมถึงค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน เช่น ค่าที่ดิน ค่าติดตั้งไฟฟ้า ค่าโทรศัพท์ ค่าที่ปรึกษา ค่าใช้จ่ายต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งประทานบัตร ค่าภาษีค่าธรรมเนียม เป็นต้น ค่าใช้จ่ายดังกล่าวอาจเรียกว่าเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับปัจจัยคงที่ มักจะไม่ผันแปรตามปริมาณการผลิต ค่าใช้จ่ายเพื่อการลงทุนเริ่มแรกเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง
- ค่าใช้จ่ายลงทุนทดแทน (Replace expenditures) เป็นค่าลงทุนด้านเครื่องมือและรายการลงทุนอื่นที่เกิดขึ้นในช่วงดำเนินการของโครงการ เพื่อให้มีกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพราะเครื่องจักร อุปกรณ์ อาจหมดอายุการใช้งานก่อนโครงการจะสิ้นสุดลง
- มูลค่าคงเหลือ (Residual values) เป็นมูลค่าของรายการลงทุนทั้งหมดเมื่อสิ้นอายุโครงการ

การประมาณค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้นอาจใช้สัดส่วนจากราคาเครื่องจักรเพื่อประมาณค่าใช้จ่ายส่วนอื่น ๆ ตามตัวอย่างแนวทางดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างแนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น

ลำดับ	รายการ	หมายเหตุ
1.	ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์หลัก (รวม)	
2.	ค่าติดตั้ง	
3.	ระบบท่อรวมติดตั้ง	
4.	ระบบไฟฟ้ารวมติดตั้ง (ไม่รวมระบบไฟฟ้าในสำนักงาน)	
5.	ระบบวัดคุม	
6.	อาคารโรงงานรวมระบบไฟฟ้าเครื่องกล	
7.	อาคารอื่น ๆ (โรงซ่อม สำนักงาน ฯลฯ)	
8.	ระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการสนับสนุน	
9.	ค่าปรับพื้นที่และองค์ประกอบ (เช่น รั้ว ถนน ฯลฯ)	
10.	ค่าบริหารจัดการการก่อสร้าง	
11.	ค่าบริหารโครงการรวมค่าวิศวกรรม	
12.	ค่าเผื่อขาด	
13.	ค่าใช้จ่ายลงทุนคงที่	รวม (1.) ถึง (12.)
14.	ค่าที่ดิน	
15.	ค่าดอกเบี้ยระหว่างการก่อสร้าง	
16.	เงินทุนหมุนเวียน (ประมาณเท่ากับค่าใช้จ่ายทำงาน 3 เดือน)	
17.	ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินระบบ	
18.	ค่าใช้จ่ายลงทุนทั้งหมด	รวม (13.) ถึง (17.)

5.2.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (operating costs)

ค่าใช้จ่ายทำงานของโรงงานโดยทั่วไปมักจะประมาณการเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี และค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต หรือวัสดุป้อน ค่าใช้จ่ายทำงานที่ประมาณการจะต้องปรับจากราคาปัจจุบันที่ประเมินให้เป็นราคาที่เวลาเริ่มเดินระบบของโรงงาน และคงที่ตลอดช่วงเวลาที่เหลือของอายุโครงการ เนื่องจากอัตราเพิ่มของมูลค่าเงินในด้านรายจ่ายในการทำงานและรายได้ถือว่าเท่ากันและหักล้างกัน การประมาณค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้นสามารถพิจารณาจากรายการค่าใช้จ่ายแปรผันที่รู้ราคาได้

และประมาณค่าใช้จ่ายรายการอื่นที่ไม่รู้ราคาเป็นสัดส่วนตามความเหมาะสม ค่าใช้จ่ายทำงานแบ่งออกได้เป็น

- ค่าใช้จ่ายตรง (direct costs) ได้แก่ ค่าวัตถุดิบและค่าน้ำใช้ ค่าพลังงาน (ไฟฟ้า เชื้อเพลิง) ค่าจ้างแรงงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าวัสดุสิ้นเปลืองและสารเคมี ค่าเผื่อขาด เป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ โดยอ้อม (indirect costs) ได้แก่ ค่าเงินเดือนและค่าจ้างในส่วนอื่น เช่น ฝ่ายบริหาร ฝ่ายสนับสนุนด้านเทคนิค ห้องวิเคราะห์ ฝ่ายบุคลากร ค่าใช้จ่ายสำนักงาน ค่าติดต่อสื่อสารและยานพาหนะ ค่าภาษีและค่าประกันภัย ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ค่าวิจัยและพัฒนา ค่าใช้จ่ายโฆษณาประชาสัมพันธ์ ค่าการตลาด และค่าจัดการของเสียเหลือทิ้ง เป็นต้น

ค่าใช้จ่ายทำงานจะประมาณการจากจำนวนวันทำงานใน 1 ปี ตามที่ได้กำหนดในเกณฑ์การออกแบบ ค่าใช้จ่ายทำงานจะแสดงเป็นค่าใช้จ่ายต่อปีและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต ซึ่งเมื่อรวมค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี จะได้เป็นค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ ตามตัวอย่างแนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างแนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายทำงานเบื้องต้น

ลำดับ	รายการ	หมายเหตุ
ค่าใช้จ่ายตรงในการผลิต (ต่อปี)		
1.	ค่าวัตถุดิบ	
	วัตถุดิบในการผลิต	จากราคาวัตถุดิบต่อหน่วยและอัตราการป้อนต่อปี
	วัสดุพลอยได้และซาก	จากราคาวัสดุต่อหน่วยและอัตราที่ได้ต่อปี
2.	ค่าพลังงานและน้ำใช้	จากมวลสมดุลกระบวนการ
3.	ค่าจ้างแรงงาน	จากแผนกำลังคน
4.	ค่าควบคุมงานหรือหัวหน้างาน	10 – 15% ของ (3.)
5.	ค่าใช้จ่ายสวัสดิการ	30 – 50% ของ (3.) และ (4.)
6.	ค่าบำรุงรักษา	2 – 10% ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
7.	ค่าวัสดุสิ้นเปลือง	0.5 – 1.0% ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี

8.	ค่าวิเคราะห์ทดสอบ	10 – 20% ของ (3.)
9.	ค่ากำจัดของเสีย	จากปริมาณของเสียและค่ากำจัดต่อหน่วย
10.	ค่าธรรมเนียมต่าง ๆ	1 – 5% ของรายได้จากการขาย
11.	ค่าเผื่อขาด	1 – 5% ของ (1.) ถึง (10.)
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ		
12.	ภาษี	3% ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
13.	ค่าประกันภัย	0.5 – 1% ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
14.	ค่าบริหารจัดการ	50 – 70% ของ (3) (4) และ (6)
15.	ค่าการตลาดและการขาย	10% ของรายได้จากการขาย

5.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินการตัดสินใจในการลงทุน (ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2553; ปพน หลวงทุมมา, 2558; เรื่องศักดิ์ วัชรพงษ์ & ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2550)

ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกที่ใช้ในการประเมินการตัดสินใจในการลงทุน มักดูจากระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) และ ดัชนีกำไร (Profitability Index) ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาของการลงทุนที่ได้รับเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการกลับคืน นั่นคือที่กระแสเงินสดรับสุทธิของโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิ เป็นเกณฑ์ที่คำนึงถึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานซึ่งคือผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกัน เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก โดยกำไรดังกล่าวเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษีดอกเบี้ยและค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน ดังนั้นหากดำเนินการแล้วผลประโยชน์สามารถคืนทุนได้เร็วย่อมเป็นผลดีต่อผู้ลงทุนเป็นตัวกำหนดการสนใจแบบไม่คำนึงถึงค่าเงินสดตามงวดเวลา สามารถประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นของโครงการได้อย่างง่าย ไม่ซับซ้อน และรวดเร็ว โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 5.1 หรือ 5.2

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (5.1)$$

หรือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีนับตั้งแต่เริ่มลงทุนที่ให้ผลตอบแทนรวมทั้งหมด มีค่าเท่ากับเงินที่ลงทุนเริ่มแรก} \quad (5.2)$$

เมื่อคำนวณค่า ระยะเวลาคืนทุน ออกมาแล้ว องค์กรธุรกิจต้องเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ก่อนว่าต้องการจะได้เงินลงทุนคืนภายในระยะเวลาเท่าใด ยิ่งระยะเวลาคืนทุนที่สั้น ยิ่งมีประโยชน์ต่อการประกอบธุรกิจ โดยหลักเกณฑ์การตัดสินใจด้วย ระยะเวลาคืนทุน เป็นดังนี้

- ระยะเวลาคืนทุน \leq เกณฑ์ระยะเวลาคืนทุนสูงสุดที่กิจการจะยอมรับได้ ยอมรับโครงการ สมควรลงทุน
- ระยะเวลาคืนทุน $>$ เกณฑ์ระยะเวลาคืนทุนสูงสุดที่กิจการจะยอมรับได้ ปฏิเสธโครงการ ไม่สมควรลงทุน

5.3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นมูลค่าสุทธิระหว่างค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ หรือรายได้ของโครงการ สามารถใช้เปรียบเทียบทางเลือกการดำเนินโครงการ และเป็นดัชนีชี้วัดผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นตลอดช่วงอายุโครงการหรืออายุใช้งาน มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคตลบด้วยค่าใช้จ่ายปัจจุบันของการลงทุน ดังแสดงในสมการที่ 5.3

$$NPV = PVNCF - I \quad (5.3)$$

โดยที่ $PVNCF =$ ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n ที่คิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ ($i\%$)

$$I = \text{ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายลงทุน}$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว โดยคำนวณจากผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ และกระแสเงินสดจ่าย โดยคิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน ดังแสดงในสมการที่ 5.4

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1-k)^1} + \frac{CF_2}{(1-k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1-k)^n} \quad (5.4)$$

โดยที่ $CF_n =$ กระแสเงินสด ณ ปีที่ n

$n =$ 1, 2, 3, ..., n (ปีที่)

$k =$ อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ หรือ ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

เมื่อคำนวณค่า NPV ออกมาแล้ว โครงการหรือทางเลือกที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิน่าจะหมายถึงโครงการหรือทางเลือกที่ได้รับผลประโยชน์มาก โดยหลักเกณฑ์การตัดสินใจด้วย NPV เป็นดังนี้

- $NPV > 0$ ยอมรับโครงการ คุ่มค่าในการลงทุน เพราะผลรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการซึ่งคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน มีค่ามากกว่าจำนวนเงินลงทุน หรือกระแสเงินสดจ่ายของโครงการ นั่นคือโครงการลงทุนนั้นให้ผลตอบแทนสูงกว่าจำนวนเงินลงทุน
- $NPV < 0$ ปฏิเสธโครงการ ไม่สมควรลงทุน เพราะผลรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการซึ่งคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน มีค่าน้อยกว่าจำนวนเงินลงทุน หรือกระแสเงินสดจ่ายของโครงการ นั่นคือโครงการลงทุนนั้นให้ผลตอบแทนต่ำกว่าจำนวนเงินลงทุน
- $NPV = 0$ แสดงว่าเท่าทุน ผู้ลงทุนจะลงทุนหรือไม่ก็ให้ผลไม่ต่างกัน

5.3.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในเป็นอัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของรายได้หรือผลประโยชน์ เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย ผลตอบแทนในอัตรานี้เป็นผลตอบแทนที่จะได้ตลอดช่วงอายุของโครงการ ดังแสดงในสมการที่ 5.5

$$PVNCF = I \quad (5.5)$$

โดยที่ $PVNCF =$ ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n ที่คิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ ($i\%$)

$$I = \text{ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายลงทุน}$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย หรือ $NPV = 0$ ดังแสดงในสมการที่ 5.6

$$NPV = 0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1-IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1-IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1-IRR)^n} \quad (5.6)$$

โดยที่ $CF_n =$ กระแสเงินสด ณ ปีที่ n

$n =$ 1, 2, 3, ..., n (ปีที่)

IRR = อัตราผลคิดลด (Discounted rate)

การหาค่าอัตราผลตอบแทน สามารถใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) ควบคู่กับการประมาณค่าในช่วง (Interpolate) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากอัตราผลคิดลด ที่ใช้เพื่อหาค่า NPV เช่น หากอัตราผลคิดลด ให้ค่า NPV เป็นบวก หมายถึง อัตราผลคิดลดดังกล่าวมีค่าต่ำเกินไป การจะให้ NPV เข้าใกล้ 0 ต้องเพิ่มค่าอัตราผลคิดลด เป็นต้น

เมื่อคำนวณค่า IRR ออกมาแล้ว โครงการที่มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงกว่าอัตราขั้นต่ำที่กำหนด จะเป็นโครงการหรือทางเลือกที่เหมาะสมที่จะดำเนินการต่อไป อัตราคิดลดควรมากกว่าอัตราดอกเบี้ยในขณะนั้น หรือเป็นอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่โครงการควรได้รับในการบริหารเงินจำนวนเดียวกัน โดยหลักเกณฑ์การตัดสินใจด้วย IRR เป็นดังนี้

- $IRR >$ อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน หรือ อัตราค่าเสียโอกาสของเงินลงทุนที่ผู้ลงทุนกำหนด ควรยอมรับโครงการ คุ่มค่าในการลงทุน เพราะถือว่าผลตอบแทนสูงกว่าค่าเสียโอกาสของการใช้เงินทุน
- $IRR <$ อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน หรือ อัตราค่าเสียโอกาสของเงินลงทุนที่ผู้ลงทุนกำหนด ควรปฏิเสธโครงการ ไม่สมควรลงทุน เพราะถือว่าผลตอบแทนต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของการใช้เงินทุน
- $IRR =$ อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน หรือ อัตราค่าเสียโอกาสของเงินลงทุนที่ผู้ลงทุนกำหนด ผู้ลงทุนจะลงทุนหรือไม่ก็ให้ผลไม่ต่างกัน

5.3.4 ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI)

ดัชนีกำไร หรือ ดัชนีความสามารถในการทำกำไร เป็นอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิรวมตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนสุทธิ ดังแสดงในสมการที่ 5.7

$$PI = PVNCF / I \quad (5.7)$$

โดยที่ $PVNCF =$ ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n ที่คิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ ($i\%$)

$$I = \text{ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายลงทุน}$$

ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 5.8 และ 5.9

$$PI = \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ} / \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย} \quad (5.8)$$

$$\text{หรือ} \quad PI = (NPV / \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย}) + 1 \quad (5.9)$$

เมื่อคำนวณค่า PI ออกมาแล้ว โครงการที่ให้ค่า PI มากกว่า 1 และมากที่สุด ย่อมให้ผลตอบแทนการลงทุนที่ดี เนื่องจากการคำนวณค่าดัชนีกำไร จะให้แนวความคิดในการลงทุนอย่างง่ายว่า เมื่อเราลงทุน 1 บาท จะได้ผลตอบแทนกลับมากกว่า 1 บาท โดยหลักเกณฑ์การตัดสินใจด้วยดัชนีกำไรเป็นดังนี้

- $PI > 1$ ยอมรับโครงการ สมควรลงทุน
- $PI \leq 1$ ปฏิเสธโครงการ ไม่สมควรลงทุน

5.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล จำกัด

แนวทางการวิเคราะห์การลงทุนในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ของบริษัท อรรธนี อินเทอร์เน็ตเซ็นแนล จำกัด เป็นการประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้น เพื่อให้ทราบว่าการลงทุนโครงการนี้ คຸ້ມคຸ້ມ นຳลงทุนหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์ในการประเมินการตัดสินใจในการลงทุน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) และดัชนีกำไร (Profitability Index, PI)

ซึ่งการลงทุนส่วนใหญ่เป็นการลงทุนส่วนเพิ่มจากกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์กระบวนการหลักของบริษัท อาคาร สิ่งปลูกสร้าง เครื่องจักร อุปกรณ์ และยานพาหนะ บางส่วนจึงมีใช้ในกระบวนการอยู่แล้ว มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนบางส่วนที่ต้องลงทุนเพิ่มเติม โดยมีสมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ

ตัวแปร	สมมติฐาน
ราคาแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด	7,000 บาทต่อตัน
ปริมาณทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (แร่ป้อน) [50.97% ของ 35,000 ตัน]	17,840 ตันต่อปี
แร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากแร่ป้อน [79.03% ของแร่ป้อน]	14,099 ตันต่อปี
ค่าใช้จ่ายลงทุน	27,473,500 บาท
อัตราคิดลด	12 %
อัตราภาษี	30 % ต่อปี
ระยะเวลาโครงการ	10 ปี
ค่าภาคหลวงแร่เฟลด์สปาร์	28 บาทต่อตันแร่
ค่าเสื่อมราคา	10 ปี

จากการประมาณกระแสเงินสดของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการเท่ากับ 115.1 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน

(Internal Rate of Return, IRR) เท่ากับ 96% ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI) ของโครงการ เท่ากับ 5.19

เมื่อพิจารณาค่าต่าง ๆ ที่ได้จากเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินการตัดสินใจในการลงทุน แสดงให้เห็นว่า โครงการสมควรยอมรับโครงการ นำตัดสินใจลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการ มีค่ามากกว่าศูนย์ รวมทั้งอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) มีค่ามากกว่าอัตราคิดลดของโครงการ (12%) และดัชนีกำไร (Profitability Index, PI) ของโครงการ มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ของโครงการ นี้ คือ 1 ปี 7 วัน



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษากระบวนการการคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์ กระบวนการการเก็บกลับคืนทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด เพื่อนำมาปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุนตั้งแต่กระบวนการหลักในการคัดแยกแร่เฟลด์สปาร์ รวมถึงกระบวนการเก็บกลับคืนทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ว่ามีความคุ้มค่า และนำลงทุนเพียงใด

ทางแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในการวิจัย เป็นแร่เฟลด์สปาร์ผสมจากแหล่งแร่แปลงประทานบัตร เลขที่ 25747/14470, 25814/15209 และ 25815/15210 ตั้งอยู่ที่ตอยกิ่ง บ้านใหม่แม่ไข ต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก จังหวัดตาก ซึ่งเป็นของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 162 หมู่ที่ 3 ตำบลประดาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก ซึ่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดดังกล่าว จะถูกกำจัดออกจากการแต่งแร่เฟลด์สปาร์กระบวนการหลัก จะมีขนาดเล็กกว่า 230 เมช (63 ไมครอน) คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของแร่ป้อนทั้งหมด โดยตั้งแต่ พ.ศ. 2528 ทางบริษัทฯมีปริมาณทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดนี้ประมาณ 350,000 ตัน

ผลการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) พบว่าองค์ประกอบสำคัญของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดคือ แร่ควอตซ์ (Quartz) แร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) แร่แอลไบต์ (Albite) และแร่มลทินติดแม่เหล็ก เช่น ไบโอไทต์ (Biotite) หรือ ไมกาดำ (Black Mica) เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเชิงปริมาณของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) พบว่ามี 72.53% SiO₂, 15.70% Al₂O₃, 1.56% Fe₂O₃, 0.16% TiO₂, 0.40% CaO, 0.07% MgO, 4.87% K₂O และ 4.38% Na₂O ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมของแร่เฟลด์สปาร์ และเป็นไปตามมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม ต้องมีปริมาณ < 70% SiO₂, > 17% Al₂O₃, < 0.1% Fe₂O₃, > 5% ของทั้ง K₂O และ Na₂O (ดังแสดงในตารางที่ 2.2) จึงต้องทำการปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพผ่านกระบวนการการแต่งทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดในการคัดแยกแร่มลทินติดแม่เหล็ก โดยหลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าว ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด พบว่า Mean size (d50) ของทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดขนาด -325 เมช และ +325 เมช มีขนาด 48 μm และ 53 μm ตามลำดับ และนำแร่ตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วย

เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) อีกครั้ง ได้ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดขนาด -325 เมช คือ 73.70% SiO₂, 15.45% Al₂O₃, 0.62% Fe₂O₃, 0.06% TiO₂, 0.35% CaO, 0.08% MgO, 4.87% K₂O และ 4.60% Na₂O และขนาด +325 เมช คือ 74.43% SiO₂, 15.15% Al₂O₃, 0.12% Fe₂O₃, 0.04% TiO₂, 0.43% CaO, 0.007% MgO, 4.73% K₂O และ 4.75% Na₂O ซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ จึงต้องทำการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ต่อไป

การปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ ที่ความความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 % สภาวะที่เหมาะสมมากที่สุดคือ การลอยแร่ที่ pH 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็นน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ในปริมาณ 140 มิลลิลิตร (140,000 มิลลิลิตรต่อตันแร่ หรือ ใช้สาร A-TD 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่) ให้ผลการเก็บแร่ที่มี % yield เท่ากับ 69.7% มีองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ คือ 67.82% SiO₂, 18.54% Al₂O₃, 0.14% Fe₂O₃, 0.03% TiO₂, 0.52% CaO, 0.006% MgO, 6.88% K₂O และ 6.07% Na₂O ซึ่งค่าส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม แต่ปริมาณของ Fe₂O₃ พบว่ายังมีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐาน เล็กน้อย

การปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ ที่ pH 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่ โดยทำการปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การลอยแร่ที่ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% ให้ผลการเก็บแร่ที่มี % yield เท่ากับ 73.50% มีองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ คือ 68.83% SiO₂, 18.19% Al₂O₃, 0.69% Fe₂O₃, 0.07% TiO₂, 0.50% CaO, 0.08% MgO, 5.33% K₂O และ 5.67% Na₂O ซึ่งค่าส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม แต่ปริมาณของ Fe₂O₃ พบว่ายังมีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน

การปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ด้วยวิธีการลอยแร่ ที่ pH 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด และค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% โดยทำการปรับปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การลอยแร่โดยใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) 2.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ให้ผลการเก็บแร่ที่มี % yield เท่ากับ 79.03% มีองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) หรือแร่เฟลด์สปาร์ คือ 67.42% SiO₂, 18.48% Al₂O₃, 0.97% Fe₂O₃, 0.08% TiO₂, 0.55% CaO, 0.09% MgO,

6.04% K_2O และ 5.49% Na_2O โดยมีค่าส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม แต่ยังมีปริมาณของ Fe_2O_3 มากกว่าค่ามาตรฐาน

ดังนั้นการศึกษการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด พบสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือ การลอยแร่ที่ pH 2 โดยใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) เป็นน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด ใช้ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) 2.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ซึ่งพบว่าองค์ประกอบทางเคมีค่าส่วนใหญ่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม แต่ยังมีปริมาณของ Fe_2O_3 มากกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งต้องทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีต่างๆ เช่น เข้ากระบวนการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็กอีกครั้ง ทำการลอยแร่เพื่อคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็ก เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ตั้งแต่การนำทางแร่เฟลด์สปาร์ที่ถูกคัดแยกออกจากกระบวนการหลัก มาเข้ากระบวนการคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็ก และปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าให้ทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการนี้เท่ากับ 115.1 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) ของโครงการคือ 96% ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI) ของโครงการเท่ากับ 5.19 ซึ่งถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน ควรลงทุนในโครงการนี้ และมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ของโครงการ 1 ปี 7 วัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษการปรับปรุง พัฒนาคุณภาพ และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ควรทำการทดลองที่ในสถานะจริงในโรงงานต่อไป รวมทั้งคัดแยกแร่ลทินติดแม่เหล็ก เพื่อทำให้ปริมาณของ Fe_2O_3 เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ทางแร่เฟลด์สปาร์ และทำให้ทางแร่เฟลด์สปาร์ที่เหลือทิ้ง เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างยั่งยืน

ในการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด เป็นการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนเพียงเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากอ้างอิงจากผลการวิจัยที่ได้จากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ที่ให้สถานะในการลอยแร่ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งข้อมูลอาจผิดพลาดเมื่อนำไปใช้ในการลงทุนในโรงงานจริง

รายการอ้างอิง

- B.A. Wills, & Napier-Munn, T. J. (2006). *Wills' Mineral Processing Technology*: Elsevier Ltd.
- C. Karaguzel, I. Gulgonul, C. Demir, M. Cinar, & M.S. Celik. (2006). Concentration of K-feldspar from a pegmatitic feldspar ore by flotation. *International journal of mineral processing*, 81, 122-132.
- C. Klein, & S.C. Hurlbut. (1993). *Manual of Mineralogy*: John Wiley and Sons, Inc.
- E.C. Orhan, & I. Bayraktar. (2006). Amine-oleate interactions in feldspar flotation. *Minerals Engineering*, 19(48-55).
- Errol G. Kelly, & David J. Spottiswood. (1982). *Introduction to Mineral Processing*: A Wiley-interscience Publication.
- H.H. Buckenham, & J. Rogers. (1954). Flotation of quartz and feldspar by dodecylamine. *Tran. Instn. Min. Metall.*, 64, 11-30.
- Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, & John A. Dean. (1969). *Instrumental methods of analysis* (4 ed.): D. Van Nostrand Company (Canada), Ltd.
- I. Bayraktar, S. Ersayin, & O.Y. Gulsoy. (1997). Upgrading titanium bearing Na-feldspar by flotation using sulphonates, succinamate and soaps of vegetable oils. *Minerals Engineering*, 1(12), 1363-1374.
- I. Gulgonul, C. Karaguzel, & M.S. Celik. (2008). Surface vs. bulk analyses of various feldspars and their significance to flotation. *International journal of mineral processing*, 86, 68-74.
- J. Somnuck. (2015). *Mineral Statistics of Thailand 2010 - 2014*: Information Technology and Communication Center, Department of Primary Industries and Mines.
- M.E. Gaied, & W. Gallala. (2015). Beneficiation of feldspar ore for application in the ceramic industry: Influence of composition on the physical characteristics. *Arabian Journal of Chemistry*, 8, 186-190

- M.S. Celik, R.H. Eren, G. Uztekin, C. Gurcuoglu, & M.Z. Dogan. (1999). *Beneficiation of nepheline syenite by magnetic separation and flotation techniques*. Paper presented at the The 8th Balkan Mineral Processing Conference, Belgrade.
- M.S. Elsalawy, Y. Nakahiro, & T. Wakamatsu. (1993). The role of alkaline earth cations in flotation separation of quartz from feldspar. *Minerals Engineering*, 19(12), 1231-1243.
- Manser, R. M. (1975). *Handbook of silicate flotation: DOB services (Hitchin) Ltd., Merchant Reserch & Consulting Ltd. (2014). Feldspar : Global market trends and prospects: Merchant Reserch & Consulting Ltd.,*
- P. Chadub. (1989). *Feldspar flotation for ceramic industry*. Paper presented at the The 3rd Conference on Mining, Pattaya, Thailand.
- S. Bulatovic. (2010). Beneficiation of feldspar ore. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*, 2, 107-119.
- S. Somsak, B. Thitisak, & M. Pinyo. (2015). Upgrading feldspar by WHIMS and flotation techniques. *Engineering Journal*, 19(4), 83-92.
- V. Buzkurt, Y. Ucbas, S. Koca, & H. Ipek. (2006). Recovery of feldspar from trachyte by flotation. *Minerals Engineering*, 19, 1216-1217.
- Z. Sekulic, N. Canic, Z. Bartulovic, & A. Dakovic. (2004). Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand. *Minerals Engineering*, 17, 77-80.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2543). แร่ (Vol. 4): ฝ้ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ สำนักงานเลขานุการ กรมทรัพยากรธรณี ถนนพระราม 6.
- กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (The Feldspars group). Retrieved 20 March, 2016, from <http://cpairat.tripod.com/feldspars.htm>
- ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์. (2553). การเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชินดนัย ไชยโกษฐ. (2556). การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีการลอยแร่ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว: กรณีศึกษาทุ่งกระเซาะ จังหวัดตาก (*Upgrading of Feldspar by Non-HF Flotation Method: Case Study of Thung Kra So Deposit Tak Province*). (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- เชิดพงษ์ สิริวิรัช. (2544). การสัมมนาเรื่อง เซรามิกและแก้วของไทย : วัตถุประสงค์และแนวทางการพัฒนา: กองเศรษฐศาสตร์นิเวศวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ถนนพระราม 6.
- ดรณี วัฒนศิริเวช, & สุธี วัฒนศิริเวช. (2552). การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบ และตำหนิในผลิตภัณฑ์ เซรามิก: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พึ่งรัมย์, เทิดทูน ดำรงค์ฤทธิศาสตร์, สุณารี บดีพงศ์, & สุกิจ อติพันธ์. (2553). สมุดแผนที่ผล วิเคราะห์แร่โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (*Atlas of Minerals in X - Ray Diffraction Analysis*): สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พึ่งรัมย์, วชิราภรณ์ ปิสิโตโร, สุกิจ อติพันธ์, & ภาณุพงษ์ ลิ้มอุสันโน. (2558). รายงานทาง วิชาการ ชุดแร่วิทยาเล่ม 3 แร่เฟลด์สปาร์: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นุชรี สองรักษ์. (2554). การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จาก ทรายเหลือทิ้ง (*Pre-Feasibility Study of Potassium Feldspar Flotation from Waste Sand*). (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญจพล ถาคำ. (2551). การวิเคราะห์เชิงสมบัติและพารามิเตอร์ของการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้ เซลล์คอลัมน์ (*Properties and Parametric Analyses of Feldspar Flotation by Column Cell Technique*). (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปพน หลวงทุมมา. (2558). การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของแหล่งวัตถุดิบสำหรับซิลิคอนเกรด เซลล์แสงอาทิตย์ของแร่ควอตซ์ในประเทศไทย (*Pre-Feasibility Study of Solar Glade Silicon Feedstock From Quartz Deposit in Thailand*). (วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). เซรามิกส์ (4 ed.): สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ. (2533). การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแต่งแร่แม่เหล็กความเข้มข้น สูงแบบเปียกและการลอยแร่ (*Processing of Feldspar by Wet High Intensity Magnetic Separation and Flotation Techniques*). (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภิญโญ มีชำนะ. (2551). เอกสารประกอบการบรรยายวิชา *Mineral and Process Engineering*: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เรืองศักดิ์ วัชรพงศ์, & ขวัญชัย ลิเฝ้าพันธ์. (2550). ความรู้พื้นฐานวิศวกรรมเหมืองแร่: สมาคมวิศวกร เหมืองแร่แห่งประเทศไทย.
- วรกุล แก้วยานะ, & เกียรติชัย ตูลาธรรมกุล. (2539). แร่เฟลด์สปาร์ผสมของจังหวัดตาก: ฝ่าย ธรณีวิทยาแหล่งแร่ สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 เชียงใหม่ กรมทรัพยากรธรณี.

- วิชาญ อมตารียกุล. (2533). คู่มือการลอยแร่: สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 ภูเก็ต, กรมทรัพยากรธรณี.
- วิสุทธิ โชติกเสถียร. (2546). ทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์ อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี: กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีภัยพิบัติ กรมทรัพยากรธรณี ถนนพระราม 6.
- วุฒิกานต์ สุขเสริม. (2529). เฟลด์สปาร์: กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- ศิวโรจน์ ศิริลักษณ์. (2547). การลอยแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำในสภาวะเป็นกลาง (*Flotation of Low Grade Feldspar in Neutral Condition*). (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรุปประกาศราคาแร่และพิกัดค่า ภาคหลวงแร่. Retrieved 1 April, 2016, from <http://www.dpim.go.th/minerals-minerals/mp002.php>
- สุจิตร์ พิจิตรากุล. (2530). แหล่งแร่และแร่ในอุตสาหกรรม. ศูนย์ส่งเสริมตำราและเอกสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543). วัตถุประสงค์ที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลเพิ่มเติม และมาตรการต่าง ๆ ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ก-1. รายการคำนวณสมดุลมวล (Mass balance) และสมดุลน้ำ (Water balance)

ตารางที่ ก1. แสดงสมดุลมวลโดยประมาณจากวัตถุบิที่เป็นแร่ก้อน

แร่	แร่ก้อน	ผลิตภัณฑ์ เฟลด์สปาร์	ผลิตภัณฑ์ ควอตซ์	ทางแร่ เฟลด์สปาร์ ละเอียด	ตะกอน ละเอียด (Waste)	รวม
สมดุลมวล (Mass balance)	100%	45%	20%	20%	15%	100%

ตารางที่ ก2. แสดงสมดุลมวลของน้ำที่ใช้ในกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์

รายการ	ปริมาณน้ำ (ลบ.เมตร/ชั่วโมง)	การใช้น้ำ (ชั่วโมง/เดือน)
ปริมาณน้ำสูบออกจากบ่อ	700 – 900	480
ปริมาณน้ำไหลกลับบ่อ	700 – 900	480
ปริมาณน้ำเติมลงบ่อ	0 – 500	0 – 25

หมายเหตุ 1. ปริมาณการสูบน้ำจากบ่อน้ำหมุนเวียนโดยใช้ปั๊มสูบน้ำขนาด 150/32 มอเตอร์ 50 แรงม้า จำนวน 2 ชุด ประสิทธิภาพของการสูบน้ำของปั๊ม 1 ชุด 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำงานประมาณ 20 วันต่อเดือน หรือ 480 ชั่วโมงต่อเดือน

2. ปริมาณน้ำที่ใช้เติมลงบ่อก่อนเริ่มงานของแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน ในช่วงหน้าฝนจะไม่มีการเติมน้ำลงบ่อ แต่ในช่วงหน้าแล้ง จะมีการเติมน้ำเข้าบ่อประมาณ 25 ชั่วโมงต่อเดือน น้ำที่หายไปเกิดจากการตักตะกอนแร่ที่เปียกน้ำออกจากบ่อ

ก-2. วิธีการเก็บขังมูลดินทรายและการกรองน้ำขุ่นข้น การกำจัดแร่ที่มีพิษหรือสิ่งอื่นที่มีพิษและน้ำล้างจากกระบวนการลอยแร่และจากคัตน้ำทิ้ง

น้ำและของเสียจากกระบวนการการแต่งแร่ ประกอบด้วย

1. น้ำและดิน ที่เกิดจากการคั้ดล้างแร่ก้อนช่วงบดหยาบ
2. น้ำที่เกิดจากการล้างแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดด้วย Washing drum

3. แร่ลพิษที่ออกจากเครื่องแยกแร่แม่เหล็กถาวรและเครื่องแยกแม่เหล็กไฟฟ้า
4. น้ำในกระบวนการลอยแร่ หลังจากทีลอยเอาแร่ออกหมดแล้ว
5. น้ำเสียอื่น ๆ จากการทำงานและการซ่อมบำรุง

ระบบการเก็บขังมูลดินทรายและการกรองน้ำขุ่นข้น การกำจัดแร่ที่มีพิษหรือสิ่งอื่นที่มีพิษ และน้ำล้างจากกระบวนการลอยแร่จากการคับน้ำทิ้ง ประกอบด้วยบ่อดกตะกอนเพื่อใช้น้ำหมุนเวียน จำนวน 6 บ่อดังต่อไปนี้

- บ่อดกตะกอนที่ 1 ขนาดประมาณ 320 ลบ.ม. (5 x 25 ม.) ลึกประมาณ 2.50 เมตร
- บ่อดกตะกอนที่ 2 ขนาดประมาณ 525 ลบ.ม. (10 x 15 ม.) ลึกประมาณ 3.50 เมตร
- บ่อดกตะกอนที่ 3 ขนาดประมาณ 1,840 ลบ.ม. (21 x 25 ม.) ลึกประมาณ 3.50 เมตร
- บ่อดกตะกอนที่ 4 ขนาดประมาณ 1,850 ลบ.ม. (22 x 28 ม.) ลึกประมาณ 3.00 เมตร
- บ่อดกตะกอนที่ 5 ขนาดประมาณ 11,600 ลบ.ม. (43 x 54 ม.) ลึกประมาณ 5.00 เมตร
- บ่อดกตะกอนที่ 6 ขนาดประมาณ 4,680 ลบ.ม. (40 x 26 ม.) ลึกประมาณ 4.50 เมตร

แต่ละบ่อจะมีคันดิน เพื่อดกตะกอนให้อยู่ในบ่อและให้น้ำที่ตกตะกอนแล้วไหลผ่านไปยังบ่อถัดไป โดยแผนผังบ่อดกตะกอนแสดงการเก็บขังมูลดินทรายและน้ำหมุนเวียนจะแสดงดังรูปที่ ก1.

บริษัท ออรรูนิอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
162 หมู่ที่ 3 ตำบลประตาง อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก



รูปที่ ก1. แผนผังบ่อดกตะกอน แสดงการเก็บขังมูลดินทรายและน้ำหมุนเวียนของบริษัท ออรรูนิอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ก-3. น้ำใช้ การกำจัดฝุ่น มลพิษ และสิ่งที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญที่เกิดจากการแต่งแร่

จากรูปที่ ก.1 การจัดการน้ำเสียและน้ำใช้ในกระบวนการผลิตรวมถึงน้ำที่มีการตกตะกอน ไหลลงบ่อตกตะกอนที่ 1 และ 2 และต่อไปยังบ่อที่ 3, 4 และ 5 และไหลต่อเนื่องไปจนถึงยังบ่อที่ 6 และจากการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยปูนขาว ตะกอนจะตกตัวและสารเคมีจะถูกทำให้เป็นกลาง ตกตะกอนอยู่ในบ่อ 2 และบ่อ 3 จะใช้รถแม็คโครตักตะกอนออกตลอด ดังนั้นน้ำที่บ่อ 6 จึงปราศจาก ตะกอน สามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนในการแต่งแร่และงานอื่นๆ ที่มีใช้เพื่อการบริโภคได้ การคัด แยกน้ำที่ไม่ได้มาจากการแต่งแร่ ในบริเวณที่ไม่ใช่บริเวณแต่งแร่ เช่นน้ำฝน จะไหลแยกเข้ารวมยังบ่อที่ 8 เพื่อตกตะกอน ก่อนไหลออกนอกพื้นที่ในช่วงฝนตกหนัก จึงทำให้ระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้ในการแต่ง แร่ ควบคุมปริมาณการใช้น้ำหมุนเวียนได้เต็มที่ ไม่มีปัญหาออกนอกพื้นที่เขตแต่งแร่ น้ำดีที่เก็บเข้าบ่อ ที่ 7 ได้จากการสูบจากแม่น้ำปิง และในช่วงฝนตก จะเก็บน้ำฝนเข้าบ่อ

การขจัดฝุ่น มลพิษ และสิ่งที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญที่เกิดจากการแต่งแร่ ถึงแม้ตาม กรรมวิธีการแต่งแร่จะเป็นการใช้น้ำโดยตลอดไม่มีฝุ่นเกิดขึ้น แต่จะมีฝุ่นเกิดขึ้นในขั้นตอนของการ บดหยาบ การทำให้แห้ง และการคัดขนาด ในขั้นตอนการบดหยาบ จะใช้น้ำฉีดล้างแร่ก่อน ก่อนการ ทำการบด ในการบดก้อนแร่ที่เปียกจึงไม่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นเป็นที่เดือดร้อนรำคาญ ในขั้นตอนการทำแร่ให้แห้ง โดยใช้เตาย่างแร่แบบเตาหมุน ในขั้นตอนการลำเลียงด้วย Screw conveyor ขึ้นยู่ จะมีฝุ่นเกิดขึ้นเล็กน้อย จุดตกของแร่จะปิดและมีท่อดูดฝุ่นออก ในจุดตะแกรงคัด ขนาด จะมีการปกปิดมิดชิด และมีท่อดูดออก

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) และ เครื่อง
วิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)

ข-1. เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) (Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, & John A. Dean, 1969; ธงชัย พิงศ์มี, เทิดทูน ดำรงค์ฤทธิษามาตย์, สุณารี บดี พงศ์, & สุกิจ อดิพันธ์, 2553; ธงชัย พิงศ์มี et al., 2558)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์แร่ที่ให้ผลค่อนข้างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง (non-destructive analysis) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ กัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

วัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ซึ่งระยะ d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก โดยผลึกจะประกอบด้วย ชั้น (layer) หรือระนาบ (plane) ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบ โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ทั้งนี้ลำคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีความเข้มข้นสูง หากความแตกต่างระหว่างระยะทางเดิน (path difference) ของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่เคียงกันมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ตกกระทบระยะทางที่คลื่น 2 ขบวนจะเคลื่อนที่ไปจะต่างกันเท่ากับ $2d \sin \theta$ ดังนั้นการแทรกสอดจะเกิดขึ้นดังสมการที่ ข1. เรียกสมการนี้ว่า Bragg's equation และแสดงการจัดเรียงของอะตอมในผลึกและ Bragg diffraction ดังรูปที่ ข1.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (\text{ข1.})$$

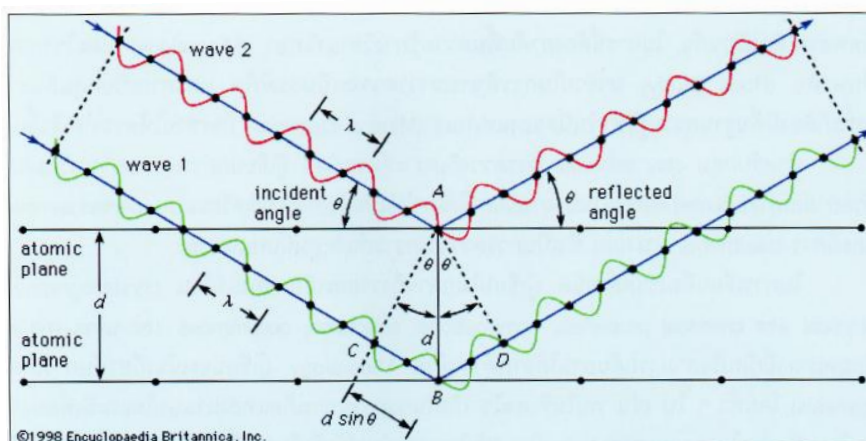
โดยที่

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ มีหน่วยเป็น เมตร

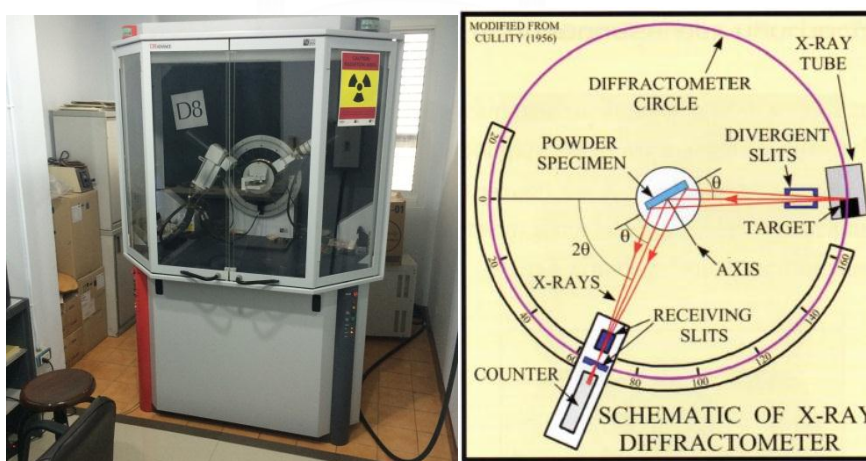
d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก มีหน่วยเป็น เมตร

θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอกซ์กับระนาบผลึก มีหน่วยเป็นองศา



รูปที่ ข1. การจัดเรียงของอะตอมในผลึกและ Bragg diffraction

เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD) ดังรูปที่ ข2 (ก). มีหลักการทำงานคือ ใช้รังสีเอกซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวฉายลงบนตัวอย่างที่ถูกวางบนแท่นหมุน โดยตัวอย่างจะหมุนไปเป็นมุม θ ในขณะที่อุปกรณ์จับสัญญาณรังสีเอกซ์ (X-ray detector) เคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ เพื่อให้การเลี้ยวเบนสอดคล้องกัน โดยที่ลักษณะการจัดวางตัวอย่าง แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ และอุปกรณ์ตรวจวัด จะแสดงดังรูปที่ ข2 (ข). เมื่อบันทึกค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เครื่องตรวจวัดวัดได้แล้วนำมาบันทึกกราฟ diffractogram ซึ่งประกอบด้วยพีคต่าง ๆ โดยแต่ละพีคจะแสดงเป็นลักษณะเฉพาะของเฟสอะตอม จาก Bragg's equation เราสามารถหาค่า d ของแต่ละพีค แล้วนำไปเทียบกับมาตรฐานที่มีอยู่ได้

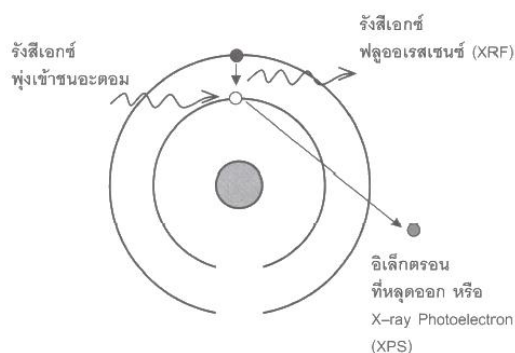


รูปที่ ข2 (ก). เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-Ray Diffraction, XRD)

รูปที่ ข2 (ข). ลักษณะการจัดวางตัวอย่าง แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ และอุปกรณ์ตรวจวัด

ข-2. เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) (Hobart H. Willard et al., 1969; ดร.ณิ วัฒนศิริเวช & สุธี วัฒนศิริเวช, 2552)

ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ชนิดของธาตุในแร่ สามารถทำได้โดยใช้เทคนิครังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง (non-destructive analysis) เมื่อรังสีฟุ้งชนเข้าอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนวงในสุดของอะตอมหลุดออกไปในรูปโฟโตอิเล็กตรอน (X-ray photoelectron, XPS) ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น เกิดสภาวะที่อะตอมไม่เสถียร จึงเกิดการแทนที่อิเล็กตรอนวงในของอะตอม และมีการปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของแต่ละอะตอมออกมาให้มีพลังงานเท่ากับพลังงานที่อิเล็กตรอนวงในมีอยู่ จากพลังงานที่ปล่อยออกมานี้ ทำให้สามารถวิเคราะห์ชนิดของธาตุที่อยู่ในชิ้นงานตัวอย่างได้ แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์มักเป็นโรเดียม (Rh) ดังแสดงในรูปที่ ข3. เทคนิคนี้สามารถใช้ทั้งกับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุและสารประกอบของธาตุที่ผสมกันอยู่หลายชนิด ทั้งในรูปของแข็งและของเหลว และสามารถใช้ได้กับสารที่มีปริมาณน้อย ๆ แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแยกไอโซโทป หรือไอออนชนิดเดียวกันแต่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนต่างกันได้ โดยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF) จะแสดงดังรูปที่ ข4.



รูปที่ ข3. การเกิดรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์



รูปที่ ข4. เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescent, XRF)

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตารางที่ ค1. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 2 (ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 100 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	26.3	69.0	4.7	0.38
40	35.7	58.1	6.2	0.61
60	37.7	56.8	5.5	0.66
80	38.1	56.4	5.5	0.68
100	62.3	34.4	3.3	1.81
120	64.3	31.3	4.4	2.05
140	69.7	24.8	5.5	2.81
160	69.2	24.9	5.9	2.78
180	69.2	24.4	6.4	2.84
200	69.5	23.7	6.8	2.93

ตารางที่ ค2. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 3 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 3 (ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 70 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	3.0	92.2	4.8	0.03
40	8.2	90.1	1.7	0.09
60	13.8	83.7	2.5	0.16
80	17.3	79.2	3.5	0.22
100	32.1	65.0	2.9	0.49
120	75.7	18.1	6.2	4.18

140	76.1	16.7	7.2	4.56
160	77.0	15.8	7.2	4.87
180	78.1	14.9	7.0	5.24
200	78.5	14.4	7.1	5.45

ตารางที่ ค3. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 4 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 4 (ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 30 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	1.0	77.9	1.1	0.01
40	3.1	95.1	1.8	0.03
60	21.2	74.9	3.9	0.28
80	23.8	72.8	3.4	0.33
100	87.7	8.5	3.8	10.32
120	87.5	8.3	4.2	10.54
140	88.5	5.5	6.0	16.09
160	90	2.8	7.2	32.14
180	91.6	1.3	7.1	70.46
200	92.4	0.3	7.3	308.00

ตารางที่ ค4. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 5 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 5 (ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 15 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	84.7	10.7	4.6	4.92
40	89.2	2.6	8.2	34.31
60	91.1	0.7	8.2	130.14

80	91.7	0.6	7.7	152.83
100	92.2	0.3	7.5	307.33
120	94.2	0.3	5.5	314.00
140	94.3	0.2	5.5	471.50
160	93.9	0.1	6.0	939.00
180	94.4	0	5.6	-
200	94.4	0	5.6	-

ตารางที่ ค5. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 6 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 6 (ใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) 5 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	84.3	11.2	4.5	7.53
40	90.2	2.2	7.6	41.00
60	93.2	0.7	6.1	133.14
80	95.6	0.1	4.3	956.00
100	96.1	0	3.9	-
120	96.7	0	3.3	-
140	97.2	0	2.8	-
160	97.0	0	3.0	-
180	97.5	0	2.5	-
200	99.0	0	1.0	-

ตารางที่ ค6. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 7 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 7				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)

20	77.5	22.0	0.5	3.52
40	91.9	3.5	4.6	26.26
60	94.4	0.5	5.1	188.80
80	95.7	0.3	4.0	319.00
100	95.0	0.3	4.7	316.67
120	95.9	0.2	3.9	479.50
140	96.0	0	4.0	-
160	96.8	0	3.2	-
180	97.5	0	2.5	-
200	99.0	0	1.0	-

ตารางที่ ค7. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 8 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 8 (ใช้โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) 0.5 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	75.4	18.5	6.1	4.07
40	84.6	11.3	1.1	7.49
60	89.7	4.8	5.5	18.69
80	91.8	2.4	5.8	38.25
100	96.2	1.1	2.7	87.45
120	96.1	0	3.9	-
140	97.4	0	2.6	-
160	95.9	0	4.1	-
180	97.1	0	2.9	-
200	94.2	0	5.8	-

ตารางที่ ค8. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 9 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 9 (ใช้โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) 1 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	85.7	9.2	5.1	9.32
40	90.2	5.1	4.7	17.69
60	92.4	4.6	3.0	20.10
80	93.8	1.3	4.9	72.08
100	96.1	0.6	3.3	160.77
120	97.0	0	3.0	-
140	96.8	0	3.2	-
160	96.2	0	3.8	-
180	95.3	0	4.7	-
200	97.9	0	2.1	-

ตารางที่ ค9. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 10 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 10 (ใช้โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) 15 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	3.7	95.9	0.4	0.04
40	18.3	81.5	0.2	0.22
60	30.0	69.8	0.2	0.43
80	51.9	48.0	0.1	1.08
100	67.6	31.4	1.0	2.15
120	69.2	29.5	1.3	2.35
140	75.6	22.2	2.2	3.41
160	78.0	21.7	0.3	3.59
180	78.5	20.0	0.5	3.74
200	88.1	9.4	2.5	9.37

ตารางที่ ค10. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 11 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 11 (ใช้โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) 20 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	1.7	97.1	1.2	0.02
40	6.0	93.8	0.2	0.06
60	12.8	86.7	0.5	0.15
80	22.4	76.4	1.2	0.29
100	27.8	71.6	0.6	0.39
120	27.4	72.5	0.1	0.38
140	29.8	69.4	0.8	0.43
160	32.7	67.0	0.3	0.49
180	37.3	62.5	0.2	0.60
200	50.1	48.6	1.3	1.03

ตารางที่ ค11. ผลการเก็บแร่ ของการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 12 ความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 20 %

pH 12 (ใช้โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH) 50 มิลลิลิตร)				
A-TD (มิลลิลิตร)	% Floated (% yield)	% Sink	% Loss	Ratio (%F/%S)
20	0	98.9	1.1	-
40	0.5	97.8	1.7	0.01
60	5.3	92.5	2.2	0.06
80	3.8	93.6	2.6	0.04
100	4.4	95.1	0.5	0.05
120	6.7	90.7	2.4	0.07
140	8.9	88.2	2.9	0.10

160	12.2	85.8	2.0	0.14
180	17.3	80.9	1.8	0.21
200	18.6	80.3	0.9	0.23

โดยทำแร่ที่ลอยได้มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เฉพาะที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 60, 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2, 3 รวมถึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ในการลอยแร่ที่ pH 7 และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เฉพาะที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 10 ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ค12. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 60, 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 2

A-TD (มิลลิลิตร)	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
60	67.18	18.86	0.12	0.02	0.48	0.008	7.43	5.90
100	67.38	18.69	0.12	0.02	0.48	0.008	7.41	5.90
140	67.82	18.54	0.14	0.03	0.52	0.006	6.88	6.07
180	67.86	18.54	0.19	0.02	0.51	0.008	6.77	6.10
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
60	90.91	6.86	0.16	0.02	0.42	0.013	1.37	0.25
100	90.83	7.10	0.17	0.05	0.90	0.013	0.61	0.33
140	99.40	0.23	0.13	0.01	0.14	0.009	0.06	0.02
180	99.36	0.30	0.13	0.01	0.09	0.008	0.08	0.02

ตารางที่ ค13. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 60, 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 3

A-TD (มิลลิลิตร)	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O

ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
60	69.97	17.38	0.11	0.03	0.42	0.006	6.68	5.42
100	70.64	17.01	0.14	0.02	0.41	0.004	6.41	5.37
140	70.65	17.04	0.20	0.02	0.47	0.006	6.07	5.54
180	71.79	16.43	0.20	0.02	0.45	0.004	5.74	5.36
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
60	81.46	13.81	0.12	0.02	0.57	0.018	3.19	0.45
100	82.48	13.14	0.12	0.02	0.59	0.018	3.19	0.44
140	98.96	0.62	0.14	0.00	0.10	0.009	0.14	0.03
180	98.56	0.92	0.14	0.00	0.16	0.009	0.17	0.05

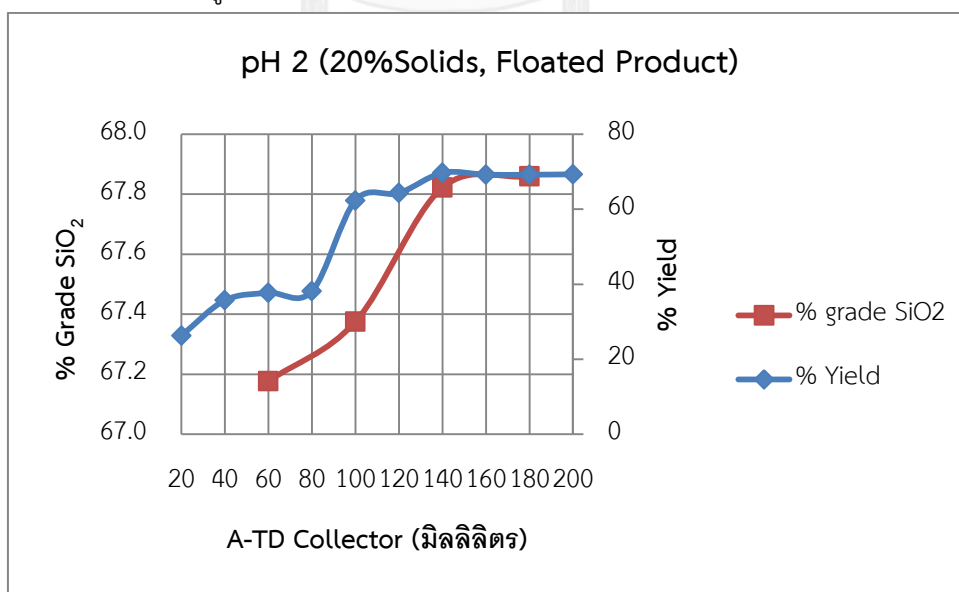
ตารางที่ ค14. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ในการลอยแร่ที่ pH 7

A-TD (มิลลิลิตร)	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
20	75.74	14.21	0.13	0.01	0.37	0.00	4.90	4.63
40	75.39	14.51	0.14	0.01	0.34	0.00	5.01	4.61
60	75.29	14.46	0.13	0.01	0.37	0.00	5.10	4.62
80	75.16	14.62	0.15	0.01	0.36	0.00	4.96	4.74
100	74.86	14.69	0.16	0.02	0.35	0.00	5.12	4.80
120	74.84	14.72	0.16	0.02	0.39	0.00	5.04	4.84
140	74.96	14.67	0.17	0.02	0.37	0.00	5.14	4.67
160	75.03	14.65	0.19	0.02	0.36	0.00	5.09	4.67
180	74.96	14.66	0.19	0.02	0.36	0.00	5.12	4.70
200	75.01	14.54	0.19	0.02	0.35	0.00	5.11	4.79

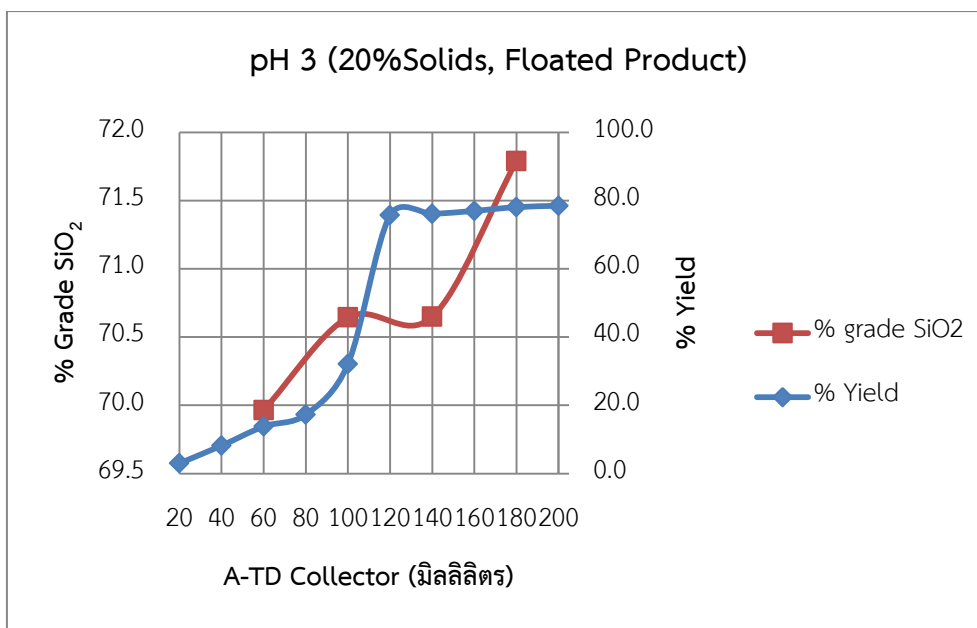
ตารางที่ ค15. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ 100, 140 และ 180 มิลลิลิตร ในการลอยแร่ที่ pH 10

A-TD (มิลลิลิตร)	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
ผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product)								
100	74.69	14.80	0.17	0.01	0.31	0.00	5.66	4.37
140	74.88	14.69	0.18	0.01	0.33	0.00	5.47	4.45
180	74.91	14.71	0.20	0.01	0.34	0.00	5.40	4.44
ผลิตภัณฑ์ที่จม (Sink product)								
100	82.85	13.59	0.16	0.01	0.87	0.02	1.93	0.57
140	83.01	13.38	0.14	0.01	0.82	0.02	2.06	0.55
180	82.79	13.64	0.15	0.01	0.89	0.02	1.92	0.59

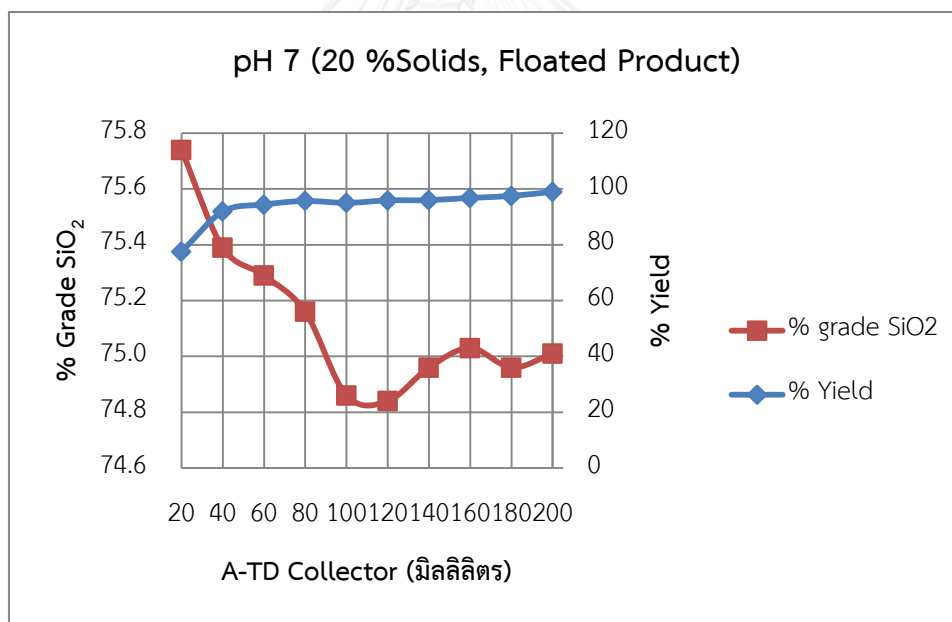
โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่างๆ ในการลอยแร่ที่ pH 2, 3, 7 และ 10 ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



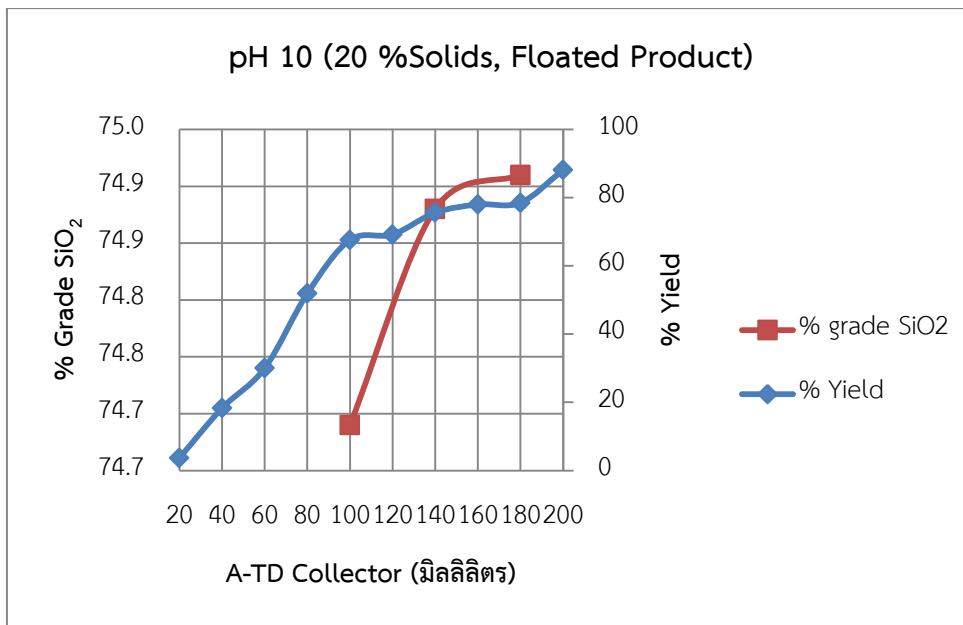
รูปที่ ค1. ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่างๆ ในการลอยแร่ที่ pH 2



รูปที่ ค2. ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่างๆ ในการลอยแร่ที่ pH 3



รูปที่ ค3. ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่างๆ ในการลอยแร่ที่ pH 7



รูปที่ ค4. ความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ % yield และ ปริมาณ (% grade) ของ SiO₂ ของผลิตภัณฑ์ที่ลอย (Floated product) ที่ปริมาณน้ำยาเคลือบเม็ดแร่ต่างๆ ในการลอยแร่ที่ pH 10 ตารางที่ ค16. ผลการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากการลอยทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ปรับค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) ตั้งแต่ 10 – 60% และใช้สารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) ปริมาณ 1.4 กิโลกรัมต่อตันแร่

% Solids	แร่ (กรัม)	คงเหลือ (กรัม) [Humidity 18.1%]	Floated Product		Sink Product		Loss	
			น้ำหนัก (กรัม)	%	น้ำหนัก (กรัม)	%	น้ำหนัก (กรัม)	%
10	444	364	250	68.68	102	28.02	12	3.30
20	1,000	819	582	71.06	207	25.28	30	3.66
30	1,714	1,404	1,020	72.65	347	24.72	37	2.63
40	2,000	1,638	1,204	73.50	409	24.97	25	1.53
50	3,000	2,457	1,806	73.50	615	25.03	36	1.47
60	3,000	2,457	1,759	71.58	659	26.84	39	1.58

ตารางที่ ค.17 ผลการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่

A-TD (กิโลกรัม ต่อตัน)	แร่ (กรัม)	คงเหลือ (กรัม) [Humidity 18.2%]	Floated Product		Sink Product		Loss	
			น้ำหนัก (กรัม)	%	น้ำหนัก (กรัม)	%	น้ำหนัก (กรัม)	%
1.4	3,000	2,454	1,810	73.76	623	25.39	21	0.86
1.8	3,000	2,454	1,840	74.98	595	24.25	19	0.77
2.2	3,000	2,454	1,884	76.77	552	22.49	18	0.73
2.6	2,000	1,636	1,293	79.03	329	20.11	14	0.86
3.0	2,000	1,636	1,271	77.69	342	20.90	23	1.41

ตารางที่ ค.18. ผลการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากการลอยหางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด ในการลอยแร่ที่ pH 2 ที่ค่าความหนาแน่นแร่ป้อนผสมน้ำ (Percent Solid) 50% และปรับค่าปริมาณสารประกอบเอมีน (Amine) ชนิด A-TD (Cationic collector) เป็น 1.4, 1.8, 2.2, 2.6, 3.0 กิโลกรัมต่อตันแร่ เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์อีกครั้ง

A-TD (กิโลกรัม ต่อตัน)	แร่ (กรัม)	คงเหลือ (กรัม)	Floated Product		Sink Product		Loss	
			น้ำหนัก (กรัม)	%	น้ำหนัก (กรัม)	%	น้ำหนัก (กรัม)	%
-325 เมช [Humidity 15.8%]								
2.6	2,500	2,105	1,671	79.38	420	19.95	14	0.67
3.0	2,500	2,105	1,642	78.00	434	20.62	29	1.38
+325 เมช [Humidity 10.7%]								
2.6	2,500	2,233	1,751	78.42	454	20.33	28	1.25
3.0	2,500	2,233	1,721	77.05	477	21.38	35	1.57

ภาคผนวก ง

ข้อมูลกระแสเงินสดของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด
ของบริษัท อรรธนี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ตารางที่ ง1. เงินลงทุนในสินทรัพย์ระยะยาว

เงินลงทุนในสินทรัพย์ระยะยาว	มูลค่า (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)
เครื่องจักรและอุปกรณ์	11,945,000	10
รวม	<u>11,945,000</u>	

ตารางที่ ง2. ค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินการ (Capital Expenditure, CAPEX)

ค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินการ (Capital Expenditure, CAPEX)	บาท
การติดตั้งเครื่องจักร (25% ของราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการแต่งแร่)	2,986,250
ระบบท่อ (25% ของราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการแต่งแร่)	2,986,250
ระบบไฟฟ้า (25% ของราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการแต่งแร่)	2,986,250
ระบบน้ำเสีย (25% ของราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการแต่งแร่)	2,986,250
ค่าระบบสาธารณสุข (15% ของราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการแต่งแร่)	1,791,750
ค่าเผื่อขาด (15% ของราคาอุปกรณ์และเครื่องมือในการแต่งแร่)	1,791,750
รวม	15,528,500
รวม CAPEX	<u>27,473,500</u>

ตารางที่ ง3. แหล่งเงินทุน

แหล่งเงินทุน	บาท
เงินลงทุนของเจ้าของกิจการทั้งหมด	27,473,500
รวม	<u>27,473,500</u>

ตารางที่ ง4. รายได้ (Revenue)

รายได้	บาท
--------	-----

ราคาแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (บาท/ตัน)	7,000
ปริมาณทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (แร่ป้อน) [50.97% ของ 35,000 ตัน]	17,840 ตันต่อปี
แร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากแร่ป้อน [79.03% ของแร่ป้อน]	14,099 ตันต่อปี

ตารางที่ 5. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expense, OPEX)

ค่าจ้างแรงงาน	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	รวม
ผู้จัดการโรงงาน	1	35,000	35,000
วิศวกร	1	30,000	30,000
ฝ่ายบัญชี	1	21,000	21,000
ฝ่ายขาย	1	18,000	18,000
ฝ่ายการตลาด	1	18,000	18,000
หัวหน้าคนงาน	2	10,500	21,000
คนงาน	15	9,000	135,000
ผู้รักษาความปลอดภัย	2	7,500	15,000
แม่บ้าน	1	7,300	7,300
รวม			<u>300,300</u>
ค่าสารเคมี (โดยประมาณ)	17,840	1,210	21,586,400
ค่าไฟฟ้า (โดยประมาณ)	17,840	800	14,272,000
ค่าช่างแร่	14,099	350	4,934,650
ค่าบรรจุหีบห่อ	14,099	160	2,255,840
ค่าบำรุงรักษา (5 % ของค่าใช้จ่ายลงทุน)	1	1,373,675	1,373,675
ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่น ๆ (1% ของ ค่าใช้จ่ายลงทุน)	1	274,735	274,735
รวม			<u>44,697,300</u>

ตารางที่ ๖. รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าใช้จ่ายในการแต่งแร่	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300	44,697,300
ค่าแรงงาน (เพิ่มขึ้น 10% ต่อปี)		3,603,600	3,963,960	4,324,320	4,720,716	5,153,148	5,625,220	6,140,534	6,703,056	7,317,110	7,987,415
ค่าใช้จ่ายสวัสดิการ และการบริหาร		1,801,800	1,981,980	2,162,160	2,360,358	2,576,574	2,812,610	3,070,267	3,351,528	3,658,555	3,993,708
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ		360,360	396,396	432,432	472,072	515,315	562,522	614,053	670,306	731,711	798,742
รวม OPEX		50,463,060	51,039,636	51,616,212	52,250,446	52,942,337	53,697,651	54,522,155	55,422,190	56,404,676	57,477,165

ตารางที่ ๗. ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าเสื่อมราคา		1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500

ตารางที่ ๖8. งบกระแสเงินสดของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAPEX	27,473,500										
ราคาหัวแร่ของ ทางแร่เฟลด์สปาร์ ละเอียด (บาท/ ตัน)	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000
หัวแร่ของทางแร่ เฟลด์สปาร์ ละเอียดที่ได้ (ตัน/ ปี)	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099	14,099
ยอดขายทางแร่ เฟลด์สปาร์ ละเอียด (บาท)	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000	98,693,000
ค่าภาคหลวงแร่ เฟลด์สปาร์	28	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00	394,772.00
ค่าการตลาดและ การขาย	10%	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300	9,869,300
รวมค่าใช้จ่ายจาก การขาย		10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072	10,264,072
รายได้รวม (Total Revenue)		88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928	88,428,928

ตารางที่ ๑๙. งบกระแสเงินสดของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลตส์ปาร์ละเยียด (ต่อ)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าเสื่อม (Depreciation)		1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500	1,194,500
รายได้ก่อนหักภาษี (Income before tax)		36,771,368	36,194,792	35,618,216	34,983,982	34,292,091	33,536,777	32,712,273	31,812,238	30,829,752	29,757,263
ภาษี 30%	0.3	11,031,410	10,858,438	10,685,465	10,495,195	10,287,627	10,061,033	9,813,682	9,543,671	9,248,926	8,927,179
รายได้หลังหักภาษี (Income after tax)		25,739,958	25,336,354	24,932,751	24,488,788	24,004,464	23,475,744	22,898,591	22,268,566	21,580,827	20,830,084
กระแสเงินสด (Cash flow)	(27,473,500)	26,934,458	26,530,854	26,127,251	25,683,288	25,198,964	24,670,244	24,093,091	23,463,066	22,775,327	22,024,584
	(27,473,500)	(539,042)	25,991,812								

ตารางที่ 10. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR), ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI), ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)	฿115,120,862.20
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)	96%
ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI)	5.19
ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP)	1 ปี 7 วัน

ตารางที่ 11. ค่าใช้จ่ายสารเคมีในการแต่งแร่

สารเคมี	จำนวน (กิโลกรัม) / ตันแร่	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท / ตัน แร่)
A-TD	2.6	249	647.5
HF	7.5	75	562.5
รวม			1,210

ตารางที่ 12. รายละเอียดค่าใช้จ่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์ส่วนเพิ่มเติมของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด

ลำดับ	รายการ	ลักษณะงานที่ใช้	กำลังการผลิตสูงสุด (ตัน/ชม.)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	มูลค่า (บาท)
1.	ถังเก็บแร่ (Hopper)	เก็บทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดก่อนส่งเข้ากระบวนการแต่งแร่	25	200,000	2	400,000
2.	ถังล้างแร่ (Washing drum)	ล้างทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด และคัดขนาด	20	1,500,000	1	1,500,000
3.	ชุดปั๊ม (Slurry sand pump)	สูบน้ำจาก Washing drum เข้า Trommel	10	250,000	1	250,000
4.	ตะแกรงหมุน (Trommel)	คัดขนาดแร่	15	545,000	1	545,000
5.	Cone classifier	คัดตะกอนทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียดออก	15	80,000	1	80,000
6.	Attrition Scrubber Tank	ปรับการบ่อนแร่เข้าเครื่องแยกแม่เหล็กถาวร	10	100,000	1	100,000
7.	เครื่องแยกแม่เหล็กถาวร (Permanent drum magnetic separator)	แยกแม่เหล็กติดแม่เหล็กอย่างอ่อนออก	10	600,000	1	600,000
8.	เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator)	แยกแม่เหล็กติดแม่เหล็กอย่างเข้มข้นออก	10	2,000,000	2	4,000,000
9.	ชุดปั๊ม (Slurry sand pump)	สูบน้ำแร่จากเครื่อง 7. และส่งกลับเข้าอีกครั้ง	10	320,000	1	320,000
10.	ชุดปั๊ม (Slurry sand pump)	สูบน้ำเม็ดแม่เหล็กจากเครื่องแยกเข้า Hydrocyclone	10	390,000	1	390,000
11.	Hydrocyclone	คั้นน้ำทิ้งก่อนเข้า filter press	10	69,000	1	69,000
12.	โต๊ะสั่น (Shaking table)	แยกแร่แม่แก้ว และคาร์เนต	1	156,000	1	156,000
13.	ชุดปั๊ม (Slurry sand pump)	ปั๊มสูบน้ำแร่เข้า Filter press	90	400,000	1	400,000

ตารางที่ ง12. รายละเอียดค่าใช้จ่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์ส่วนเพิ่มเติมของโครงการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	ลักษณะงานที่ใช้	กำลังการผลิตสูงสุด (ตัน/ชม.)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	มูลค่า (บาท)
14.	เครื่องอัดลม (Oil lubricant screw air compressor)	กรองน้ำออกจากแรงดันผ้าและใช้แรงอัดน้ำออก	-	465,000	1	465,000
15.	ถังลม 3,000 L with Auto drain (Air Receiver Tank)	เก็บลมไว้ เตรียมอัดลงใน Filter press	-	130,000	1	130,000
16.	เครื่องกรองแบบอัด (Filter Press)	กรองน้ำออกจากแรงดันผ้าและใช้แรงอัดได้น้ำออก	2	800,000	2	1,600,000
17.	สายพานลำเลียง (Belt conveyor)	ลำเลียงแร่จาก Filter press ส่งเข้าสายพานลำเลียง 18.	6	70,000	1	70,000
18.	สายพานลำเลียง (Belt conveyor)	ลำเลียงแร่จากสายพานลำเลียง 17. เข้าสายพานลำเลียง 19.	6	200,000	1	200,000
19.	สายพานลำเลียง (Belt conveyor)	ลำเลียงแร่จากสายพานลำเลียง 19. ลงกองในลานเก็บแร่	6	220,000	1	220,000
20.	ลานเก็บแร่ 24x28 เมตร	เก็บทางแร่เฟลด์สปาร์ละเอียด	-	450,000	1	450,000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐศวัส สุนทรวิภาต เกิดเมื่อวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียน เทพศิรินทร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2552 สำเร็จ การศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

