

การปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีการลอยแร่ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว: กรณีศึกษาแหล่งทุ่ง
กระเซาะจังหวัดตาก



นายชินดนัย ไชยโกษฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

UPGRADING OF FELDSPAR BY NON-HF FLOTATION METHOD: CASE STUDY OF
THUNG KRA SO DEPOSIT TAK PROVINCE

Mr. Chindanai Chaikot



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีการลอยแร่ที่ไม่
โดย	ใช้กรดกัดแก้ว: กรณีศึกษาแหล่งทุ่งกระเซาะจังหวัดตาก
สาขาวิชา	นายชินดนัย ไชยโกษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ทรงวุฒิ อาทิตย์ทอง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชินดนัย ไชยโกษุฎ : การปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีการลอยแร่ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว: กรณีศึกษาแหล่งทุ่งกระเซาะจังหวัดตาก. (UPGRADING OF FELDSPAR BY NON-HF FLOTATION METHOD: CASE STUDY OF THUNG KRA SO DEPOSIT TAK PROVINCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.สุรพล ภู่วิจิตร, 90 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายในการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ด้วยวิธีการลอยแร่ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพร่างกายที่มาจากการใช้กรดกัดแก้วในการแยกแร่ขั้นตอนสุดท้าย

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างแร่ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนพบว่าประกอบด้วยแร่ควอตซ์ ไมโครไคลน์ และเอลไบต์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นพบแร่มีสโคไวต์เล็กน้อย ส่วนการศึกษาคุณสมบัติแร่ด้วยรังสีเอกซ์เรืองแสงเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีซิลิกา 71.87% แคลเซียมออกไซด์ 0.08% โทเทเนียมออกไซด์ 0.02% เพอร์ริกอออกไซด์ 0.12% อะลูมินา 17.01% แมกนีเซียมออกไซด์ 0.05% โพแทสเซียมออกไซด์ 4.94% โซเดียมออกไซด์ 4.60% และการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ 0.31% จากผลการวิเคราะห์แร่ตัวอย่างนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ทางเซรามิคได้

การศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้ว ได้สภาวะที่เหมาะสมในการลอยซึ่งมีตัวแปรทำงานที่ค่า pH 2.8 และใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน โดยมีผลการเก็บแร่ได้ 53.80% และผลวิเคราะห์ทางเคมีของซิลิกา 68.90% โพแทสเซียมออกไซด์ 6.01% โซเดียมออกไซด์ 6.49%

การศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก ได้สภาวะที่เหมาะสมในการลอยซึ่งมีตัวแปรทำงานที่ค่า pH 2.5 และใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่เอมีนชนิดทุติยภูมิ Duomeen TDO 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน โดยมีผลการเก็บแร่ได้ 53.48% และผลวิเคราะห์ทางเคมีของซิลิกา 68.52% โพแทสเซียมออกไซด์ 6.38% โซเดียมออกไซด์ 5.51%

ขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก เมื่อเทียบกับกรดกัดแก้วนั้นได้ผลการลอยแร่ที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าผลการเก็บแร่ได้และผลวิเคราะห์ทางเคมีของการใช้กรดกัดแก้วจะดีกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกเล็กน้อย แต่ผลการเก็บแร่ได้และผลวิเคราะห์ทางเคมีของการใช้กรดซัลฟิวริกก็เพียงพอต่อการนำแร่ที่ได้ไปใช้ในทางอุตสาหกรรมเซรามิค

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5370540721 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: FELDSPAR / CERAMIC / FROTH FLOTATION / MINERAL SEPARATION

CHINDANAI CHAIKOT: UPGRADING OF FELDSPAR BY NON-HF FLOTATION
METHOD: CASE STUDY OF THUNG KRA SO DEPOSIT TAK PROVINCE.
ADVISOR: ASST. PROF. SURAPOL PHUVICHIT, Ph.D., 90 pp.

The aim of this research is to upgrade feldspar ore by using non-hydrofluoric (HF) acid floatation method in order to reduce environmental and health impacts from using it in the final flotation process.

The results of XRD analysis revealed that the feed mineral was low grade feldspar which was consisted of feldspar, quartz and ferrous impurity minerals such as garnet, tourmaline, muscovite and biotite. The chemical analysis by XRF method revealed that percentage of the feed mineral was 4.60 %Na₂O, 4.94 %K₂O, and 71.87 %SiO₂ which cannot use in ceramic industry.

Floating feldspar from quartz by HF flotation method, the optimum condition must be adjusted at pH 2.8, using Secondary amine (Duomeen TDO) as a collector at 0.3 kg / ton. The results showed that the recovery of concentrate feldspar was 53.80% by weight and the chemical analysis of concentrate feldspar was 6.01% Na₂O, 6.49% K₂O and 68.52% SiO₂.

Floating feldspar from quartz by non-HF flotation method, the optimum condition must be adjusted at pH 2.5, using Secondary amine (Duomeen TDO) as a collector at 3.2 kg / ton. The results showed that the recovery of concentrate feldspar was 53.48% by weight and the chemical analysis of concentrate feldspar was 6.38% Na₂O, 5.51% K₂O and 68.90% SiO₂.

These experiments lead to the conclusion that the results of non-HF flotation method and HF flotation method are similar. Even though the results of HF flotation method are better, the non-HF flotation method can also be used in the ceramic industry and reduce environmental and health impacts. However, the cost of the chemicals used in the process should be considered.

Department: Mining and Petroleum Engineering Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Georesources Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรกของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล ภู่วิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำและว่ากล่าวตักเตือนตั้งแต่มเริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินชัย และรองศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ มิชานะ รวมถึงอาจารย์ภาควิชาคณะวิศวกรรมศาสตร์เหมืองแร่และปิโตรเลียมทุกท่าน ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำ ในเรื่องการแต่งแร่และการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา ทั้งนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์อุทิศ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และสอนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง รวมถึงให้คำแนะนำและตรวจผลการวิเคราะห์แร่ทางเคมี ด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการทั้งหมด ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ตลอดสี่ปีที่ผ่านมา

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งใดที่ขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอภัยเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ โดยข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการเหมืองแร่และผู้ที่เกี่ยวข้องในเรื่องนี้

ชินดนัย ไชยโกษฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์	38
2.1 แร่เฟลด์สปาร์วิทยา	38
2.1.1 โครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์	42
2.1.2 องค์ประกอบของแร่เฟลด์สปาร์	44
2.1.3 คุณสมบัติทั่วไปของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน	47
2.2 การกำเนิดแร่เฟลด์สปาร์ แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย และที่มาของตัวอย่างแร่เฟลด์สปาร์	48
2.2.1 การกำเนิดแร่เฟลด์สปาร์ (Klein C., 1993).....	48
2.2.2 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย (วรกุล แก้วยานะ, 2539).....	49
2.2.3 ข้อมูลทั่วไปและแหล่งที่มาของตัวอย่างแร่ (วรกุล แก้วยานะ, 2539)	49
2.3 การใช้ประโยชน์จากแร่เฟลด์สปาร์	53
บทที่ 3 ศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์.....	55
3.1 หลักการของการลอยแร่.....	55
3.1.1 คุณสมบัติของแร่ในการลอย.....	55

3.1.2 การเกาะติด (Attachment) ของฟองอากาศ.....	56
3.1.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวแร่กับสารละลาย	59
3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่.....	62
3.2 กรรมวิธีลอยแร่เฟลด์สปาร์	65
3.2.1 ศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ด้วยเซลล์ลอยแร่.....	68
3.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอยแร่เฟลด์สปาร์	71
3.2.2.1 การศึกษาการลอยแร่กลุ่มไมกาและกลุ่มแร่เหล็ก	71
3.2.2.2 การศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้ว	71
3.2.2.3 การศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก	72
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	80
4.1 สรุปผลการทดลอง.....	80
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
รายการอ้างอิง	83
ภาคผนวก.....	85
ภาคผนวก ก การจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน.....	86
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่โดยรังสีเอกซ์เรืองแสง	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาที่ผิวแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ ที่ pH ค่าต่างๆ 6

ตารางที่ 1.2 แสดงผลการทดลอง Separation rate (%) เมื่อใช้กรด HCl ในปริมาณน้ำยาปรับสภาพ
 ผิวนิโตรเลียมซัลโฟเนต และเกลืออัลคิล-อัลคิลีนที่ปริมาณต่างๆ..... 14

ตารางที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างต่างๆของแร่ซิลิเกตต่อคุณสมบัติการลอยแร่ทั้งในสภาวะ
 ที่มีและไม่มีไอออนของฟลูออไรด์ 26

ตารางที่ 1.4 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหัวแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้กรดกัดแก้ว 28

ตารางที่ 1.5 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหัวแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้ Duomeen TDO..... 29

ตารางที่ 1.6 ค่ามัมสัมผัสของกลุ่มแร่ซิลิเกตต่างๆ (Petak 1934) 30

ตารางที่ 1.7 ค่าประจุลัพท์เป็นศูนย์ของแร่เฟลด์สปาร์ ประเภทต่างๆ 31

ตารางที่ 1.8 ประเภทของระบบคอลลอยด์..... 32

ตารางที่ 1.9 จำแนกข้อแตกต่างระหว่างการดูดแนบทางฟิสิกส์และการดูดแนบทางเคมี..... 33

ตารางที่ 1.10 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยวิธีการจลนพลศาสตร์ไฟฟ้า (Jacob H. M., 2006)..... 34

ตารางที่ 2.1 กลุ่มแร่ซิลิเกต (Klein C., 1993)..... 39

ตารางที่ 2.2 กลุ่มแร่ซิลิเกตแบบโครงสร้าง Framework silicates (Klein C., 1993)..... 41

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดแร่เฟลด์สปาร์ (Klein C., 1993)..... 46

ตารางที่ 2.4 ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีตามทฤษฎี (Klein C., 1993)..... 46

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของแร่อื่นๆที่อยู่รวมกันกับแร่เฟลด์สปาร์ (Manser R. M., 1975)..... 48

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสำรองและคุณภาพของแร่เฟลด์สปาร์ผสมในจังหวัดตาก (วรกุล แก้วยานะ,
 2539)..... 51

ตารางที่ 3.1 ค่ามัมสัมผัสของกลุ่มแร่ซิลิเกตต่างๆ (Manser R. M., 1975)..... 57

ตารางที่ 3.2 จุดประจุไฟฟ้าลัพท์เป็นศูนย์ของแร่ซิลิเกต (King R. P., 1982)..... 61

ตารางที่ 3.3 การจำแนกสารเคลือบฟองอากาศ (Fuerstenau M.C., 1985)..... 64

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ 69

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดกัดแก้ว ที่
 ปริมาณ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8..... 74

ตารางที่ 3.6 ผลการขังน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ โดยใช้กรดกัดแก้ว ที่ปริมาณ Duomeen
 TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8 74

ตารางที่ 3.7 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้กรดกัดแก้ว ที่ปริมาณ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8.....	75
ตารางที่ 3.8 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ pH 2.0 ในช่วงปริมาณ Duomeen TDO ระหว่าง 0.6 – 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่.....	76
ตารางที่ 3.9 ผลการชั่งน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ pH= 2.0 ในช่วงปริมาณ Duomeen TDO ระหว่าง 0.6 – 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่	77
ตารางที่ 3.10 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8.....	77
ตารางที่ 3.11 ผลการชั่งน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8.....	78
ตารางที่ 3.12 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8.....	78
ตารางที่ 4.1 ราคาและปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการลอยแร่.....	82

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แผนผังการลอยแร่ (2532) อ้างอิงจากบริษัท ออร์ธอนิอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด..... 3

รูปที่ 1.2 แผนผังการแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการจำแนกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียก และการลอยแร่ 4

รูปที่ 1.3 แสดงผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ค่า pH ต่างๆ..... 7

รูปที่ 1.4 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ บ้านกรอกสะเก อำเภอนาทะเกียบ จังหวัด ฉะเชิงเทรา 9

รูปที่ 1.5 ค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของผิวแร่ ที่ค่า pH ต่างๆ 10

รูปที่ 1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ K₂O Recovery, K₂O grade(%) กับ ปริมาณน้ำยาเคลือบผิว ที่ใช้ในการลอยแร่ (กิโกรัมต่อตันแร่ป้อน)..... 11

รูปที่ 1.7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำยาเคลือบผิวเอมีนประจุบวก (Dodecylamine Concentration) กับค่า pH ที่ค่าต่างๆ ของแร่ Feldspar – Albite..... 18

รูปที่ 1.8 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำยาเคลือบผิวเอมีนประจุบวก (Dodecylamine Concentration) กับค่า pH ที่ค่าต่างๆ ของแร่ Feldspar – Orthoclase..... 18

รูปที่ 1.9 ชั้นทางไฟฟ้า Double layer และ กราฟแสดงการลดลงของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนผิวแร่ 20

รูปที่ 1.10 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา..... 21

รูปที่ 1.11 แสดงค่าความคงที่ประจุไฟฟ้าที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา..... 22

รูปที่ 1.12 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยวิธีการจลนพลศาสตร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ (Jacob H.M 2006)..... 35

รูปที่ 2.1 เฟอร์เซ็นต์ของธาตุต่างๆที่พบบนเปลือกโลก (Mason B. & Moore C. B., 1982) 38

รูปที่ 2.2 โครงสร้างเตตระฮีดรอน (Klein C., 1993)..... 39

รูปที่ 2.3 ชนิดของแร่เฟลด์สปาร์ในระบบไตรภาค (Manser R. M., 1975) 42

รูปที่ 2.4 เฟสไดอะแกรมแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์..... 43

รูปที่ 2.5 เฟสไดอะแกรมแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์..... 44

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์เนื้อเดียวของระบบ Or – Ab – An ที่ความดัน P (H₂O) เท่ากับ 1 กิโลบาร์ (Klein C., 1993)..... 45

รูปที่ 2.7 ตำแหน่งแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ (วรกุล แก้วยานะ, 2539)..... 51

รูปที่ 2.8 จุดเก็บตัวอย่างแร่ ประทานบัตรที่ 25814/15209 และ 25815/15210 53

รูปที่ 3.1 กลไกของการลอยแร่ 55

รูปที่ 3.2 สมดุลของมุมสัมผัสระหว่างฟองอากาศ และผิวของแข็งในของเหลว 56

รูปที่ 3.3 ประจุพื้นผิวที่เกิดขึ้นบนผิวแร่ควอตซ์เมื่ออยู่ในน้ำ 59

รูปที่ 3.4 ภาพแสดงชั้นคู่ทางไฟฟ้าระหว่างผิวแร่กับน้ำ..... 60

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลของค่า pH กับศักย์ไฟฟ้าซีตาของแร่ซิลิเกต (Manser R. M., 1975) 61

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของสารเคลือบผิว (Fuerstenau M.C., 1985)..... 62

รูปที่ 3.7 การจำแนกชนิดของสารเคลือบผิวแร่ (Fuerstenau M.C., 1985)..... 63

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างโครงสร้างของสารเคลือบผิวที่ใช้ในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ 64

รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์วิธีที่ 1 67

รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์วิธีที่ 2 68

รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ได้ของแร่ลอยโดยใช้กรดกัดแก้วที่ค่า pH 1.8 ถึง 2.8..... 75

รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ลอยโดยใช้กรดกัดแก้วที่ค่า pH 1.8 ถึง 2.8 76

รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ได้ของแร่ลอยโดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH 1.8 ถึง 2.8 79

รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ลอยโดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH 1.8 ถึง 2.8 79

รูปที่ 4.1 โปรแกรม Normative Calculation วิเคราะห์องค์ประกอบหัวแร่เฟลด์สปาร์ 81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการทำเซรามิกและการทำแก้ว เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ให้อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรืออะลูมินา ซึ่งเป็นสารที่ไปช่วยลดจุดหลอมตัวของส่วนผสม จึงทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) และก่อรูปเมตริกซ์แก้ว (Glass Matrix) เชื่อมส่วนประกอบอื่นๆเข้าด้วยกัน ช่วยให้แก้วและเซรามิกที่ได้มีความเหนียว ทนทานต่อแรงกระแทก ความร้อน และทนต่อความเป็นกรดต่างได้ดี

การแต่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการแต่งแร่โดยวิธีการลอยแร่ โดยทำการลอยแร่ไมกาและแร่มลทินซึ่งประกอบด้วยธาตุเหล็ก แล้วจึงทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของพื้นผิวแร่ ซึ่งการลอยแร่มลทินในกระบวนการสุดท้ายโดยทำการแยกแร่ควอตซ์ (Quartz) ออกจากแร่เฟลด์สปาร์ในสถานะที่เป็นกรด ส่วนใหญ่จะใช้กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric acid, HF) ในการปรับสภาพของแร่ในเซลล์ลอยแร่จากกลางให้เป็นกรด เพื่อทำให้เกิดสถานะที่ทำให้การลอยแร่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการแต่งแร่โดยวิธีแบบนี้มักจะมีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายและสิ่งแวดล้อมตามมา กล่าวคือ เมื่อกรดกัดแก้วสัมผัสผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคือง ผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน และแผลไหม้ กรดกัดแก้วซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงจะสามารถทะลุผ่านผิวหนังเข้าไปในเนื้อเยื่อชั้นที่ลึกลงไปกัดกร่อนจนถึงกระดูกได้ เมื่อสัมผัสถูกตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง เจ็บตา ถึงตาบอดได้ เมื่อหายใจเข้าไปจะทำให้ หายใจติดขัด เจ็บหน้าอก ผิวหนังเขียวคล้ำเนื่องจากขาดออกซิเจน ส่วนผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมโดยรอบบริเวณอุตสาหกรรม เกิดจากกรดกัดแก้วเข้มข้นมากกว่า 30 ppm รั่วไหลจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำโดยมีฤทธิ์ไปกัดกร่อนอย่างรุนแรง เช่น ต้นไม้ พืช สัตว์น้ำ และสัตว์บกที่สัมผัสสารนี้ ส่งผลให้ระบบนิเวศโดยรอบบริเวณนั้นเสียหาย และในกรณีที่เกิดกรดกัดแก้วระเหยกลายเป็นก๊าซจะมีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศโดยที่ก๊าซไฮโดรฟลูออริกจะมีน้ำหนักที่เบากว่าอากาศและจะลอยขึ้นสู่อากาศ เมื่อก๊าซไฮโดรฟลูออริกได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้พันธะไฮโดรเจนแตกตัวออกจากไอออนของฟลูออไรด์ ส่งผลให้ไอออนของฟลูออไรด์ในอากาศมีแนวโน้มที่จะไปจับตัวกับอะตอมตัวอื่นๆ โดยทั่วไปคือ ไนโตรเจน หรือ ออกซิเจน กลายเป็นสารประกอบที่เป็นตัวทำลายชั้นโอโซน เช่นเดียวกับกระบวนการทำลายชั้นโอโซนของสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon, CFC)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์แหล่งทุ่งกระเซาะจังหวัดตาก

1.2.2 เพื่อลดผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมจากการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิก

1.2.3 เพื่อศึกษาหาสถานะที่ดีที่สุดในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ด้วยวิธีที่ใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับสภาพของผิวแร่

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1.3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์แหล่งทุ่งกระเซาะ จังหวัดตาก

1.3.2 ศึกษาลักษณะทางแร่วิทยา และวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ควอตซ์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ (Instrumental Analysis)

1.3.3 ศึกษาวิจัยการแต่งแร่ด้วยวิธีการลอยแร่ โดยวิธีที่ใช้กรดกัดแก้วและวิธีที่ไม่ใช้กรดกัดแก้วในการแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการแต่งแร่เฟลด์สปาร์ที่มีในประเทศไทยและต่างประเทศ

1.4.2 เก็บตัวอย่างจากแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ ตำบลทุ่งกระเซาะ จังหวัดตาก

1.4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่ผ่านเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เรืองแสง (X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

1.4.4 ทำการทดลองลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีที่ใช้กรดกัดแก้วและวิธีที่ไม่ใช้กรดกัดแก้วในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์

1.4.5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง หลังทำการลอยแร่โดยวิธีที่ใช้กรดกัดแก้วและวิธีที่ไม่ใช้กรดกัดแก้ว ผ่านเครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เรืองแสง (X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

1.4.6 นำเสนอผลการทดลองและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ช่วยเหลือสิ่งแวดล้อมจากผลกระทบของกระบวนการแต่งแร่เฟลด์สปาร์

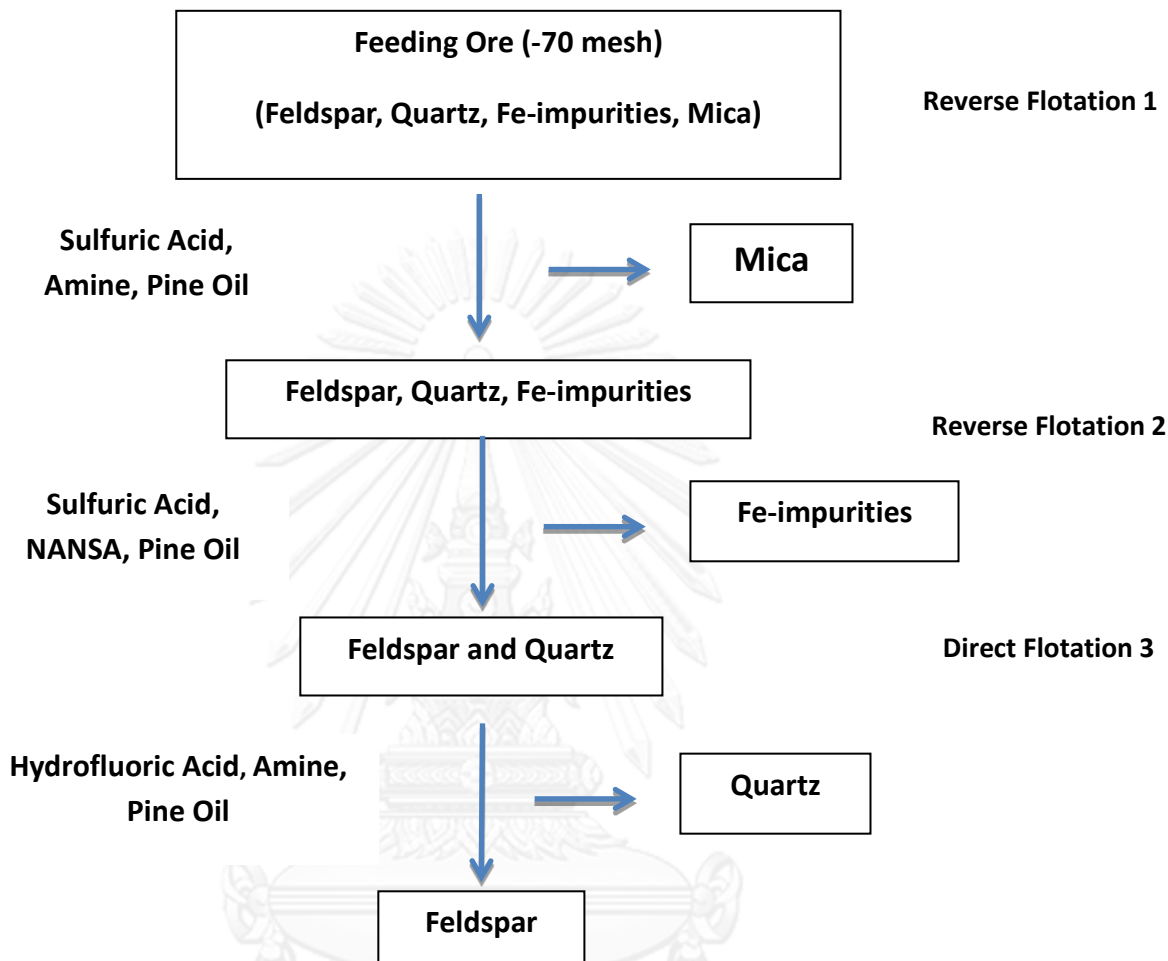
1.5.2 ได้ทราบข้อมูลทางเทคนิคของการวิจัย เพื่อเป็นแนวทางของกรรมวิธีแต่งแร่เฟลด์สปาร์ที่เหมาะสม และการปรับปรุงคุณภาพสำหรับการใช้งานด้านอุตสาหกรรมเซรามิก

1.5.3 เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากแหล่งแร่ให้มีมูลค่าสูงขึ้น

1.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแต่งแร่เฟลด์สปาร์ในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการลอยแร่ เพราะสามารถคัดเอาแร่มลทินที่ไม่ต้องการออกได้ในปริมาณที่น่าพอใจมากกว่าวิธีเดิมที่ใช้การคัดด้วยมือที่มักจะมีร้อยละของการเก็บแร่ได้ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของคนคัดแร่ บริษัท อรรธนีอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ได้ศึกษาการแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยวิธีการลอยแร่ และได้ดำเนินการเป็นผลสำเร็จตั้งแต่ปลายปี 2532 เป็นต้นมา และได้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันโดยเริ่มจากการลอยแร่มลทินกลุ่มไมก้าและแร่มลทินซึ่งประกอบด้วยธาตุเหล็ก ใช้วิธีการลอยแบบตรงข้าม (Reverse Flotation) แล้วนำแร่

ที่ได้มาทำการลอยเฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ในขั้นตอนสุดท้าย เพราะจะใช้กรดกัดแก้วในการกัดแร่ควอตซ์ และใช้วิธีการลอยแบบตรง (Direct Flotation) โดยมีแผนผังการลอยแร่ดังนี้

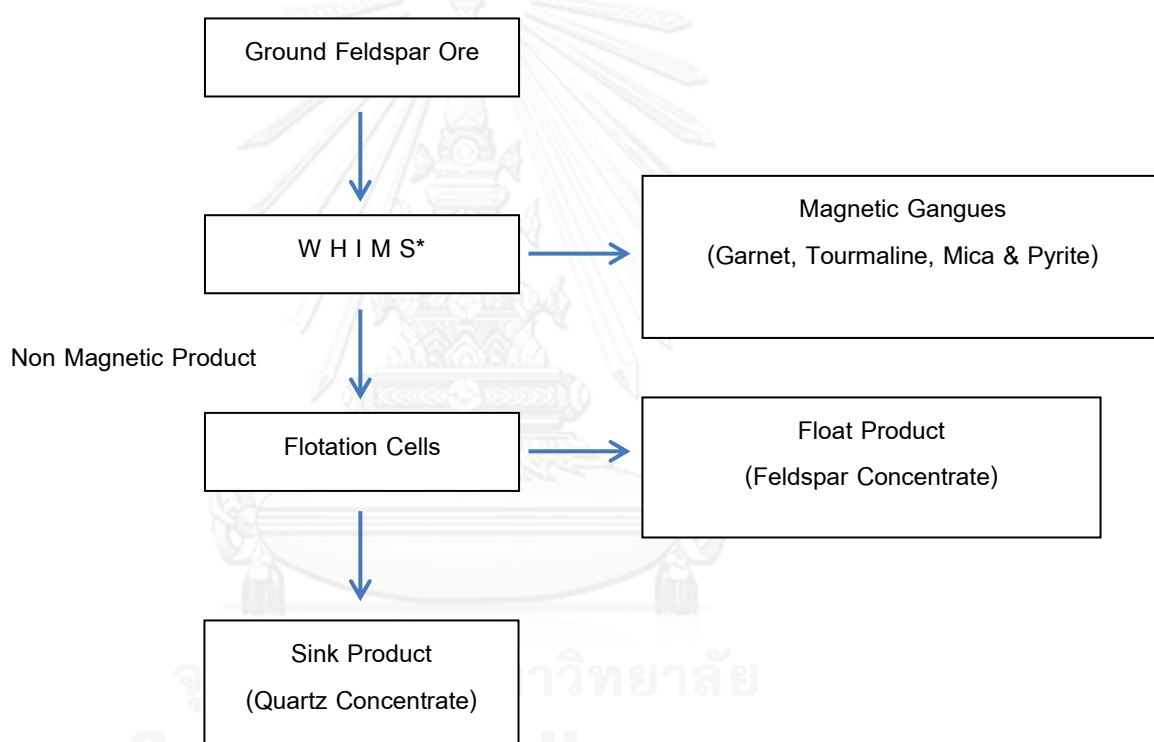


รูปที่ 1.1 แผนผังการลอยแร่ (2532) อ้างอิงจากบริษัท อรรธนีอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ประโยชน์ของการแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยวิธีการลอยแร่มีข้อดีว่าการแยกแร่ด้วยวิธีอื่นๆ กล่าวคือ การที่สามารถควบคุมแร่มลทิน ในผงแร่ที่ผลิตได้เหมาะที่จะใช้สำหรับการผลิตสีเคลือบ ซึ่งนอกจาก แร่มลทินจะน้อยแล้ว การที่ได้แร่ผงที่มีความละเอียดต่ำกว่า 60 เมช ทำให้สามารถลดเวลาในการบดสีเคลือบลงไปได้อย่างมาก ทำให้ผู้ผลิตที่เลือกใช้แร่ สามารถบดสีเคลือบได้เร็วขึ้น และลดอัตราการสิ้นเปลืองลูกบดในเครื่องบดแร่ (Ball Mill) นอกจากนี้ยังควบคุมคุณภาพของสีเคลือบที่ผลิตได้ทั้งในด้านความละเอียดของสีเคลือบซึ่งจะทำให้ผิวหน้า (texture) ของผิวเคลือบหลังเผามีความสม่ำเสมอ ลดความแตกต่างของเฉดสีในแต่ละ batch ของสีเคลือบที่ผลิต ซึ่งจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถควบคุมร้อยละของธาตุแอลคาไล (Alkali) ในแร่ผงได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

หลังจากที่การลอยแร่เฟลด์สปาร์ได้เริ่มเกิดขึ้น ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของแร่เฟลด์สปาร์และกรรมวิธีการแยกแร่เฟลด์สปาร์อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น

ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ (2533) ได้ศึกษาวิจัยการแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการจำแนกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกและการลอยแร่ (Processing of Feldspar by High Intensity Wet Magnetic Separation and Flotation Techniques) การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแต่งแร่เฟลด์สปาร์สำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยทำการแยกแร่มลทินที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนออกไป ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก แล้วจึงทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดกัดแก้วในการปรับสภาพแร่ในขั้นตอนสุดท้าย โดยมีกระบวนการดังนี้



WHMIS* = Wet High Intensity Magnetic Separator

รูปที่ 1.2 แผนผังการแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการจำแนกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกและการลอยแร่

ผลการวิจัยของ ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ ได้ศึกษาแร่วิทยาแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำจากแหล่งแร่เพกมาไทต์ของเหมืองแร่คงสวัสดิ์ อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-ray Diffraction, XRD) ทำให้ทราบสภาวะโครงสร้างของแร่ที่อยู่รวมกัน โดยมีสัดส่วนแร่เฟลด์สปาร์ร้อยละ 76.20 ประกอบด้วยแอลคาไลเฟลด์สปาร์อยู่ร้อยละ 27.18 ส่วนแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ร้อยละ 49.02 แร่มลทินได้แก่ แร่ควอตซ์ มีอยู่ร้อยละ 21.98 และแร่มลทินติดแม่เหล็กรวมกันร้อยละ

1.98 มีองค์ประกอบทางเคมีของแร่ป้อน คือ ร้อยละ 0.38 CaO, ร้อยละ 5.57 Na₂O และร้อยละ 4.60 K₂O ซึ่งจัดเป็นแร่เฟลด์สปาร์ผสม

การศึกษาการแยกแร่มลทินติดแม่เหล็กด้วย WHIMS (Wet Magnetic Intensity Separator) ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ แร่ป้อน ร้อยละ 20 ของของผสมแร่ ในอัตราป้อน 10 ลิตรต่อ นาที ซึ่งให้ผลของการแยกที่การเก็บแร่ได้ (%yield) เท่ากับ 92.26% , เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณ Fe₂O₃ (% Reject of Fe₂O₃) เท่ากับ 75.17%, คุณภาพ (Grade) 0.070 %Fe₂O₃ของแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งเป็นแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ โดยส่วนใหญ่ (0.26 %Fe₂O₃ในแร่ป้อน) หากจะนำวิธีการนี้ไปใช้กับโรงงานจำเป็นต้องคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากเครื่องแยกแม่เหล็กมีราคาที่สูง เมื่อเทียบกับราคาน้ำยาลอยแร่ที่ใช้ในการปรับสภาพแร่

ผลการศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์ โดยใช้กรดกัดแก้ว ได้สภาวะการลอยที่เหมาะสม เมื่อลอยแร่ที่ค่า pH 2.50 โดยใช้สารเคลือบผิวประจุบวกประเภทเกลือเอมีน ชนิดโดเดซิลลแอมโมเนียมอะซิเตท (Dodecylammonium Acetate) ปริมาณ 300 กรัมต่อตันแร่ป้อน ส่วนเวลาในการปรับสภาพ 5 นาที และเวลาในการลอยแร่ที่เหมาะสม 8 นาที

คิวโรดม์ ศิริลักษณ์ (2547) ได้ศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำในสภาวะเป็นกลาง โดยใช้ น้ำยา Lead(II)Nitrate เป็นตัวปรับผิวแร่ สิ้นแร่ในการวิจัยเก็บตัวอย่างมาจากเหมืองพาแคท อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี เป็นสินแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำ (6.65 %Na₂O, 3.74% K₂O และ 0.7%Fe₂O₃) ประกอบไปด้วยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ แร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ และแร่มลทินติดแม่เหล็ก ได้แก่ การ์เน็ต ทัวร์มาลีน และมัสโคไวต์

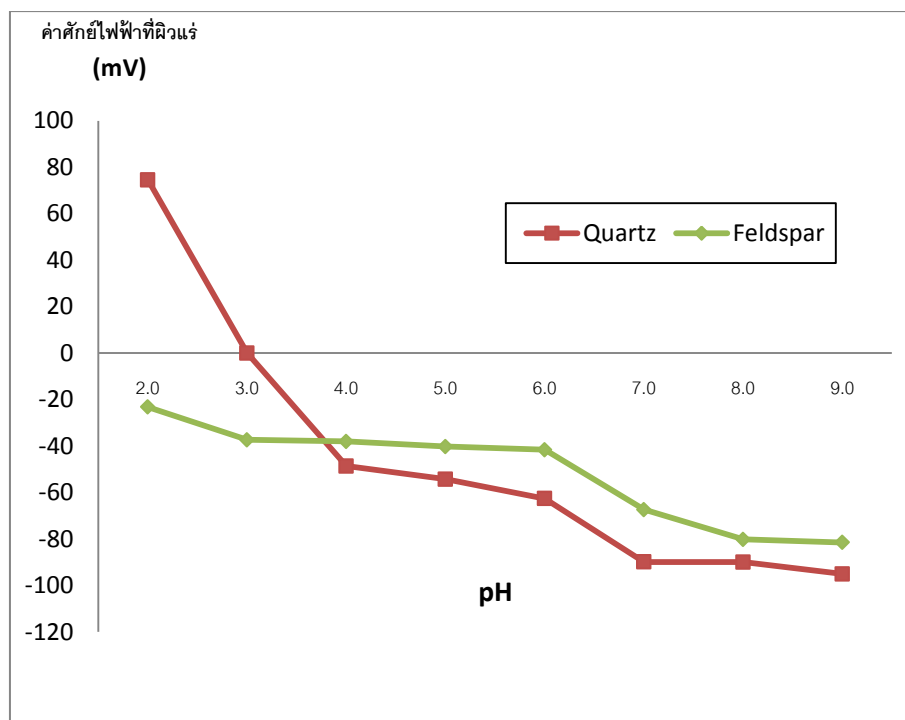
ในขั้นตอนการแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กโดยใช้เครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียก (High Intensity Wet Magnetic Separator) เปรียบเทียบกับการลอยแร่โดยใช้สารละลายโซเดียมโอเลเอต (Sodium Oleate) ในการเคลือบผิวแร่ นั้นพบว่าวิธีแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียกนั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าเพราะการใช้โซเดียมโอเลเอต เคลือบผิวแร่ นั้น จำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวจำนวนมาก เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับวิธีทั่วไปที่ใช้เอมีน อีกทั้งขั้นตอนต่อไปนั้นถ้าใช้ปริมาณน้ำยาโซเดียมโอเลเอต มากไปจะทำให้ไปเคลือบผิวแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ ซึ่งมีผลไปรบกวนพื้นผิวแร่ นั้น ทำให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนต่อไปของการแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์

จากการทดลองพบว่าเป็นเรื่องค่อนข้างยากที่จะลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ในสภาวะเป็นกลางเนื่องจากศักย์ไฟฟ้าบนผิวแร่ควอตซ์กับเฟลด์สปาร์ต่างกันน้อยมาก เมื่อเทียบกับการลอยในสภาวะที่เป็นกรด ส่งผลให้การลอยแร่เฟลด์สปาร์นั้นไม่เท่าที่ควร อีกทั้งการควบคุมขนาดของอนุภาคในการลอยแร่ได้ยากในเชิงอุตสาหกรรม และในการทดลองนั้นเพียงแค่สามารถทำการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ออกจากแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ได้เท่านั้น จึงเสนอให้ทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์ในสภาวะที่เป็นกรด จากนั้นนำหัวแร่เฟลด์สปาร์ที่ลอยได้มาแยกโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ออกจากแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ในสภาวะเป็นกลางโดยใช้ Lead(II)Nitrate ปรับสภาพผิว

ในการวิจัยที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ การวัดศักย์ไฟฟ้าซีตาที่ของแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ที่ค่า pH ต่างๆ ตั้งแต่ค่า pH 2.0 -9.0 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวปรับค่า pH จากนั้นทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์มีความสัมพันธ์กับค่า pH ของสารละลายซึ่งได้แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาที่ผิวแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ ที่ pH ค่าต่างๆ

pH	ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่ควอตซ์ (มิลลิโวลต์)	ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่เฟลด์สปาร์ (มิลลิโวลต์)
2.0	74.6	-23.2
3.0	0.0	-37.3
4.0	-48.6	-38.0
5.0	-54.3	-40.2
6.0	-62.6	-41.6
7.0	-89.9	-67.4
8.0	-90.0	-80.2
9.0	-95.1	-81.5



รูปที่ 1.3 แสดงผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ค่า pH ต่างๆ

จากการศึกษาพบว่าเมื่อค่า pH ของของผสม (แร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์) มีค่าเพิ่มขึ้นและค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาจะมีค่าลดลงตามลำดับ เพราะไอออนกำหนดศักย์ไฟฟ้าของกลุ่มแร่ซิลิเกต ได้แก่ ไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen Ion, H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide Ion, OH^-) จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดค่าประจุลัทธิบนผิวแร่ว่าจะเป็นบวกหรือลบ ถ้าค่า pH ของของผสมต่ำกว่าค่า pH ของจุดประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ แต่ถ้าค่า pH ของของผสมสูงกว่าค่า pH ของจุดประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก

บุญยศ สมบูรณ์คำชู (2548) ได้มีการวิจัยการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ในสภาวะเป็นกลาง เช่นเดียวกับ ศิวโรธน์ ศิริลักษณ์ (2547) เปรียบเทียบระหว่างการใช้กรดกัดแก้ว และ Lead Nitrate เป็นน้ำยาปรับสภาพผิว (Modifier) เพียงแต่ว่าเป็นแหล่งแร่คนละที่กัน โดยแร่ที่นำมาทดลองลอยแร่เป็นแร่จากแหล่งของบริษัท อรรธนีอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

ในขั้นตอนการทดลองลอยแร่ได้ใช้กรดกัดแก้ว เป็นสารปรับสภาพ (Modifier) โดยมีน้ำยา Petroleum Sulphonate และน้ำยาเอมีนเป็นสารเคลือบผิวแร่ ในการแยกแร่ลทินกลุ่มเหล็กแร่แยกแร่ควอตซ์ออกจากแร่เฟลด์สปาร์ ตามลำดับ และในอีกการทดลองหนึ่งทำการลอยในสภาพเป็นกลางที่ค่า pH 8.0 โดยใช้ Lead Nitrate เป็น Modifier ที่ปริมาณ 100, 300 และ 500 กรัมต่อตันแร่ป้อน โดยมีสารละลายโซเดียม โอลิเอต (Sodium Oleate) เป็นน้ำยาเคลือบผิวแร่ ที่ปริมาณ 1,000 และ 2,000 กรัมต่อตันแร่ป้อน

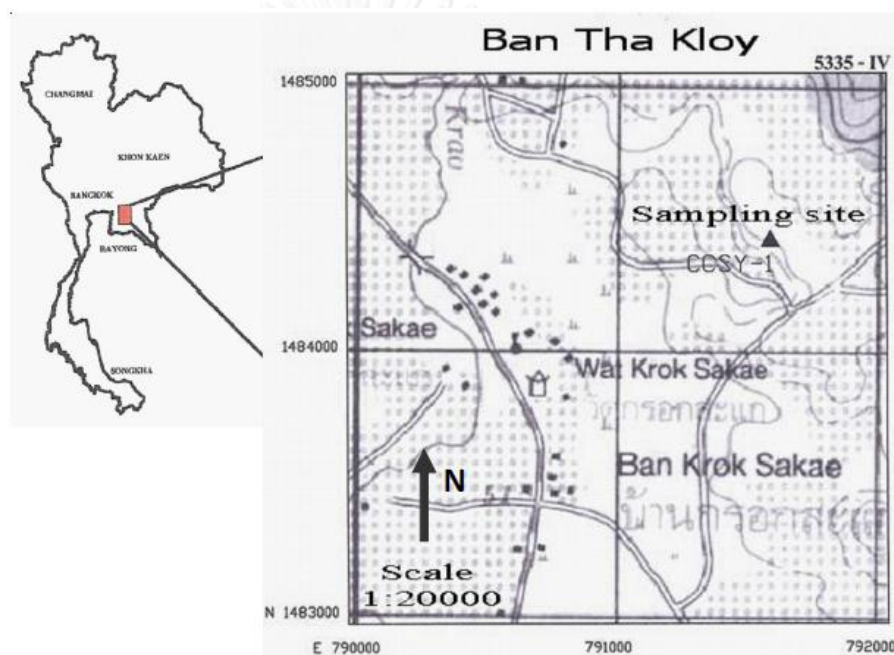
ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า กระบวนการลอยแร่แบบใช้กรดกัดแก้ว เป็น Modifier นั้นเป็นผลการทดลองที่ดีที่สุด คือกระบวนการใช้เอมีน และ Petroleum Sulphonate เป็นสารเคลือบผิวแร่

ที่ปริมาณ 100 กรัมต่อตันแร่ป้อน ซึ่งให้ร้อยละการเก็บแร่ได้ที่ 59.24 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองลอยแร่ที่ใช้ Lead Nitrate เป็น Modifier จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยได้ผลการทดลอง ที่ดีที่สุดคือ การใช้ Lead Nitrate ที่ปริมาณ 300 กรัมต่อตันแร่ป้อน โดยมี Sodium Oleate ที่ใช้ 1,000 กรัมต่อตันแร่ป้อน โดยให้ร้อยละการเก็บแร่ได้ 45.73% ซึ่งผลการเก็บแร่ได้น้อยกว่าการ ทดลองโดยใช้กรดกัดแก้วในการปรับสภาพ และผลการทดลองเผาแบบ Firing Cone Test ที่ อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส โดยสังเกตดูความมันวาว สีก่อนและหลังการเผา เปอร์เซ็นต์การยุบตัว ซึ่งการทดลองโดยใช้กรดกัดแก้วปรับสภาพ ให้ความมันวาว และเปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่ดีกว่า สรุปได้ ว่ากระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้กรดกัดแก้วเป็นตัวปรับสภาพให้เป็นกรด ให้ผลการทดลองที่ ดีกว่าการลอยแร่ในสภาวะที่เป็นกลางโดยใช้ Lead Nitrate เป็นสารปรับสภาพและสารละลาย โซเดียม โอลิเอตเป็นสารเคลือบผิว

เบญจพล ถาคำ (2551) ศึกษาวิจัยและเปรียบเทียบระหว่างการลอยแร่ด้วยเซลล์แบบกลไก กับเซลล์คอลัมน์ (Pneumatic flotation column) โดยเซลล์กลไกนั้นเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบัน ส่วนการลอยแร่แบบเซลล์คอลัมน์ เป็นการอาศัยหลักการแบบทวนกระแส (Counter Current) ของของผสมแร่กับอากาศ ตัวเซลล์เป็นทรงกระบอก สูงตั้งแต่ 8 - 15 เมตร ในการลอยแร่ จะป้อนแร่ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วเข้าสู่เซลล์ที่ส่วนกลางของทรงกระบอก โดยมีตัวกำเนิดของ ฟองอากาศอยู่ด้านล่าง อนุภาคแร่ที่เปียกน้ำจะชนและเกาะติดกับฟองอากาศไหลขึ้นสู่ด้านบนผ่าน รอยต่อชั้นแยกแร่และฟองอากาศ เพื่อเข้าสู่ชั้นแยกแร่ต่อไป ชั้นแยกแร่จะเป็นส่วนของการสะสมตัว ของฟองอากาศ ภายในชั้นนี้จะมีท่อน้ำล้างสำหรับการล้างฟองอากาศและหัวแร่ก่อนปล่อยออกทาง ช่อง Overflow จากหลักการทำงานข้างต้นจะพบความแตกต่างของเซลล์ลอยแร่แบบคอลัมน์และ แบบกลไกดังนี้คือ ไม่มีใบพัดกวนของผสม มีระบบให้ฟองอากาศ และใช้น้ำล้างแร่ เมื่อมาวิเคราะห์ ข้อดีของเซลล์ลอยแร่แบบคอลัมน์พบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายและปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการกวดแร่ให้ น้อยลง และต้นทุนดำเนินการบางส่วน เนื่องจากการบำรุงรักษาต่ำเพราะเซลล์เกิดการขัดสีกับแร่ น้อย เพราะไม่มีใบพัดกวน การติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติทำได้ง่าย สามารถควบคุมอัตราการไหล ความ ดัน และการกระจายตัวของฟองอากาศได้ดี โดยทั่วไปเหมาะสำหรับใช้ลอยแร่ที่มีความสามารถการ ลอยได้ดีเช่น ถ่านหินและกลุ่มแร่ซัลไฟด์ เป็นต้น

จากผลสรุปพบว่า การลอยแร่แบบเซลล์กลไก มีผลร้อยละของการเก็บแร่เฟลด์สปาร์สูงกว่า 7% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเก็บแร่ได้ของวิธีลอยแร่แบบเซลล์คอลัมน์ และคุณภาพเฟลด์สปาร์ที่ เก็บได้ก็มีคุณภาพใกล้เคียงกัน (%K₂O, % Na₂O และ %Fe₂O₃ ใกล้เคียงกัน) และสภาวะการลอยแร่ เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์แบบเซลล์กลไกที่เหมาะสมก็ใกล้เคียงกับงานวิจัยของคุนไพรรัตน์ เตชะ วิวัฒน์การ (2533) คือในสภาวะที่ pH ต่ำกว่า 3 ในการลอยแร่โดยใช้กรดกัดแก้วในการปรับสภาพ จึงกล่าวได้ว่าในกรรมวิธีการลอยแร่เฟลด์สปาร์นั้น วิธีที่มีประสิทธิภาพและร้อยละการเก็บแร่ได้ดีที่สุด ควรเป็นวิธีการลอยแร่แบบเซลล์กลไก เพราะว่าเซลล์คอลัมน์เหมาะสำหรับการลอยแร่แบบตรง (Direct Flotation) แต่ไม่เหมาะสำหรับการลอยแร่แบบตรงข้าม (Reverse Flotation) ทั้งนี้เพราะ การลอยแร่โดยเซลล์คอลัมน์จะมีแร่บางส่วนลอยขึ้นมาในขั้นตอนการลอยแร่กลุ่มไมกาและกลุ่มแร่ เหล็กสังกะสีจากสิรุปกรวยจะจางกว่าแร่กลุ่มไมกาและกลุ่มแร่เหล็กที่ลอยด้วยวิธีแบบเซลล์กลไก

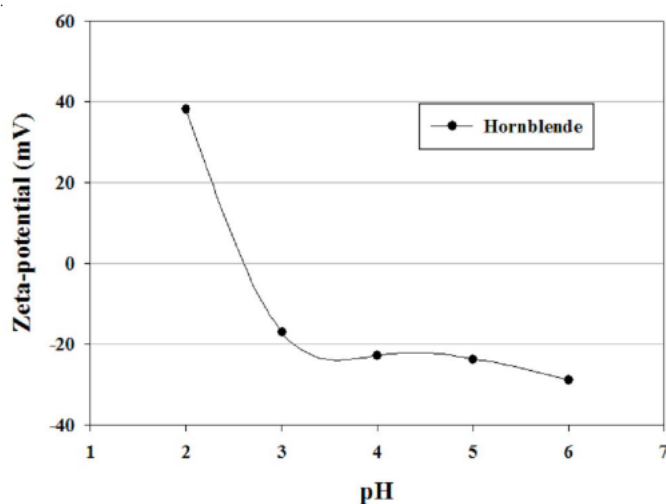
Chairoj Rattanakawin (2010) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแร่เฟลด์สปาร์ จากแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ บ้านกรอกสะแก อำเภอนาทะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา ตำแหน่งจากภาพถ่ายทางอากาศคือ 1484421N and 791589E (เอกสารหมายเลข No.5335 IV of the Royal Thai Survey topographic map) ในรูปที่ 1.4 ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ทำให้ทราบว่าเป็นกลุ่มแร่ฮอร์นเบลน (Hornblende) ประกอบไปด้วยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ โซเดียมเฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ แร่ไบโอไทต์ และแร่กลุ่มเหล็ก



รูปที่ 1.4 แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ บ้านกรอกสะแก อำเภอนาทะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา

ในขั้นตอนการปรับปรุงแร่เฟลด์สปาร์ ได้ทำการแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก (WHIMS) และวิธีการลอยแร่เปรียบเทียบกัน โดยผลวิเคราะห์ทางเคมีก่อนแยกของกลุ่มแร่เหล็กอยู่ที่ 3.11 % Fe_2O_3 เมื่อแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก (WHIMS) เเปอร์เซ็นต์แร่มลทินกลุ่มเหล็กลดลงอยู่ที่ 1.51 % Fe_2O_3 ส่วนในวิธีการแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กด้วยวิธีการลอยแร่ ได้เติมสารเคลือบผิวประจุลบ (Sulfonate) ผลปรากฏว่า เเปอร์เซ็นต์แร่มลทินกลุ่มเหล็กลดลงอยู่ที่ 0.5 % Fe_2O_3 ด้วยผลการทดลองนี้จะเห็นว่าวิธีการแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กนั้นใช้วิธีการลอยแร่จะเหมาะสมกว่าการแยกแร่โดยใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก เนื่องจากให้คุณภาพเฟลด์สปาร์ที่ดีกว่าและสะดวกรวดเร็วกว่าเพราะสามารถทำการลอยแร่ควอตซ์ออกจากแร่เฟลด์สปาร์ต่อได้เลย ทำให้ในงานวิจัยของข้าพเจ้าที่ทำการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยไม่ใช้กรดกัดแก้ว จะใช้วิธีการลอยแร่เพื่อแยกแร่มลทินกลุ่มเหล็กและไม่ก้ำออกจากแร่เฟลด์สปาร์

หลังจากนั้นทำการแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ด้วยการลอยแร่ และใช้กรดกัดแก้ว ปรับสภาพความเป็นกรด แต่เป็นประเด็นที่น่าสนใจคือ ตัวอย่างแร่ฮอร์นเบลนด์ที่นำมาลอยแร่ นั้นสามารถตอบสนองต่อน้ำยาเคลือบผิวประจุบวกและประจุลบ ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายด้วยหลักการของความต่างศักย์ไฟฟ้าซีตาของผิวแร่ ที่ค่า pH ณ ค่าต่างๆ ที่แสดงในรูปภาพที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของผิวแร่ ที่ค่า pH ต่างๆ

จากกราฟค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าซีตา ค่าจุดประจุลัพท์เป็นศูนย์ (PZC, the point of zero) ของแร่ฮอร์นเบลนด์ อยู่ที่ประมาณ 2.6 แสดงว่าที่ค่า pH ที่มากกว่า 2.6 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าซีตา หรือประจุไฟฟ้าที่ผิวแร่จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งถ้าปรับสภาพของการลอยแร่ที่ pH 3 เราจะสามารถใช้สารเคลือบผิวประจุบวก เช่น เอมีน เพื่อไปเกาะกับแร่ประจุลบ และลอยขึ้นสู่น้ำไปกับฟองอากาศได้

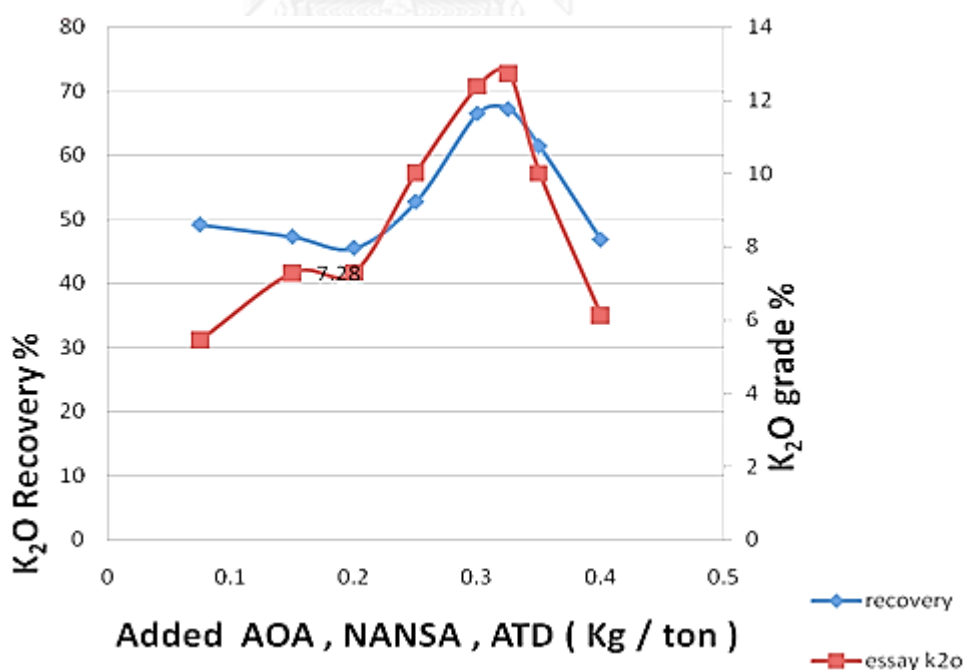
นุชรี สองรักษ์ (2554) ได้ศึกษาวิจัยการเก็บแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์กลับคืนจากทรายเหลือทิ้ง ของแหล่งแร่ทรายบ้านโป่ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัด ราชบุรี โดยใช้กระบวนการลอยแร่ โดยเป็นการปรับปรุงคุณภาพของแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ให้ได้หัวแร่ที่ผ่านมาตรฐานของแร่ตามความต้องการของอุตสาหกรรมเซรามิก โดยตัวอย่างแร่และหัวแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ที่ได้จะนำมาประเมินผลด้วยเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแสง (XRF) และเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (XRD) โดยตัวอย่างแร่ที่นำมาลอยแบ่งเป็น 2 ขนาด ได้แก่ ขนาด -30 เมช และ -60 เมช เพราะเนื่องจากวิธีการลอยแร่นั้นถ้าหากนำแร่ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินไป จะทำให้ฟองอากาศแตกจนไม่สามารถพองตัวขึ้นไปสู่น้ำได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการลอยและการเก็บแร่ได้ไม่ดีเท่าที่ควรจะเป็น และหากขนาดอนุภาคที่เล็กเกินไป ประสิทธิภาพการลอยนั้นดีก็จริง แต่จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการบดแร่ให้มีขนาดเล็ก ซึ่งในทางอุตสาหกรรมนั้น คิดเป็นต้นทุนพลังงานมหาศาล จำเป็นต้องประเมินทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างต้นทุนการผลิตและรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาทรายเหลือทิ้งพบว่ามีส่วนประกอบของ แร่เฟลด์สปาร์ แร่ควอตซ์ แร่มีส์โคไวต์ และแร่แคลไซต์ โดยมีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ SiO_2 84.45 เปอร์เซ็นต์ K_2O 6.45 เปอร์เซ็นต์

Na₂O 0.74 เปอร์เซ็นต์ Al₂O₃ 6.15 เปอร์เซ็นต์ Fe₂O₃ 1.30 เปอร์เซ็นต์ CaO 0.23 เปอร์เซ็นต์ P₂O₅ 0.08 เปอร์เซ็นต์ TiO₂ 0.24 เปอร์เซ็นต์ และ MgO 0.26 เปอร์เซ็นต์

ผลวิเคราะห์แร่เฟลด์สปาร์ที่ลอยได้จากตัวอย่างขนาด -30 เมช พบว่ามีองค์ประกอบ ทางเคมี ดังนี้ SiO₂ 76.87 เปอร์เซ็นต์ K₂O 11.06 เปอร์เซ็นต์ Na₂O 1.48 เปอร์เซ็นต์ Al₂O₃ 8.65 เปอร์เซ็นต์ Fe₂O₃ 0.73 เปอร์เซ็นต์ CaO 0.18 เปอร์เซ็นต์ P₂O₅ 0.10 เปอร์เซ็นต์ TiO₂ 0.17 เปอร์เซ็นต์ และ MgO 0.08 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลวิเคราะห์แร่เฟลด์สปาร์ที่ลอยได้จากตัวอย่างขนาด 60 เมช พบว่ามีองค์ประกอบ ทางเคมีดังนี้ SiO₂ 76.10 เปอร์เซ็นต์ K₂O 8.37 เปอร์เซ็นต์ Na₂O 1.04 เปอร์เซ็นต์ Al₂O₃ 12.34 เปอร์เซ็นต์ Fe₂O₃ 0.95 เปอร์เซ็นต์ CaO 0.19 เปอร์เซ็นต์ P₂O₅ 0.12 เปอร์เซ็นต์ TiO₂ 0.31 เปอร์เซ็นต์ และ MgO 0.15 เปอร์เซ็นต์

Witthawin S. & Somsak S. (2011) ได้ทำการวิจัยปรับปรุงคุณภาพการลอยแร่เฟลด์สปาร์ แหล่ง ตะโกปิดทอง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ลักษณะธรณีวิทยาของแหล่งแร่นี้ ส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นแหล่งแร่เพกมาไทต์ ลักษณะแร่ที่พบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ หินเนื้อหยาบ เช่น โฟแทสเซียมเฟลด์สปาร์ เพลจีโอเคสเฟลด์สปาร์ และควอตซ์ และเนื้อละเอียด เช่น ไมก้า มัสโคไวต์ และไบโอไทต์ เป็นต้น แหล่งแร่มีส่วนของโฟแทสเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์ อยู่ระหว่าง 1%K₂O – 8.5% Na₂O จนกระทั่งถึง 13%K₂O – 2.5% Na₂O โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 4%K₂O – 4% Na₂O



รูปที่ 1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ K₂O Recovery, K₂O grade(%) กับ ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวที่ใช้ในการลอยแร่ (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)

จากการทดลองปรับปรุงคุณภาพแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์ดังนี้คือ เปอร์เซ็นต์ของ K_2O ที่ผ่านการวัดจากเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence) ต้องมีค่ามากกว่า 10% ส่วนเปอร์เซ็นต์ของ Si_2O จะต้องต่ำกว่า 70% และ เปอร์เซ็นต์ของ Fe_2O_3 ต้องต่ำกว่า 0.1% โดยสรุปผลการทดลองที่เหมาะสมที่สุดพบว่า ต้องใช้กรด กัดแก้วปรับสภาพ pH และน้ำยาเคลือบผิว 0.325 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน ที่เปอร์เซ็นต์ของผสม 25% โดยในการทดลองนั้นไม่ได้ทดลองลอยแร่ในค่า pH ต่างๆ แต่ทดลองลอยเป็นค่า pH คงที่ที่ pH ประมาณ 2 โดยการวิเคราะห์ผลเคมีของแร่ที่ลอยได้มีดังนี้ คือ ร้อยละผลการเก็บแร่ได้ของหัวแร่อยู่ที่ 67.25% และผลวิเคราะห์ทางเคมีของ K_2O ได้ 12.74% , Si_2O อยู่ที่ 65.26% แต่ผลวิเคราะห์ของ Fe_2O_3 อยู่ที่ 0.97% ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานของการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก จึงต้องนำแร่มาแยก โดยผ่านเครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator) ส่งผลให้ผล วิเคราะห์ทางเคมีของ Fe_2O_3 ลดลงมาอยู่ที่ 0.14% ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐาน และสามารถนำแร่ที่ลอย ได้ไปใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิกได้

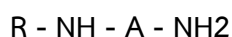
Akira K. (1977) วิจัยการปรับปรุงกระบวนการสำหรับแยกแร่เฟลด์สปาร์ จากสินแร่ที่มี องค์ประกอบของแร่เฟลด์สปาร์และซิลิกา โดยอาศัยกระบวนการลอยแร่ ซึ่งใช้ส่วนผสมของ พิโตรเลียมซัลโฟเนต ร่วมกับเกลืออัลคิล-อัลคิลีนไดอามีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ร่วมกับ อัลคิลามีน เป็นสารเคมีสำหรับลอยแร่ ในสภาพที่เป็นกรดจากกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) จาก กระบวนการนี้จะได้แร่เฟลด์สปาร์ที่มีคุณภาพดีโดยอาศัยขั้นตอนการลอยแร่เพียงขั้นตอนเดียวโดย ปราศจากการลอยแร่ซ้ำซึ่งมีความยุ่งยากในการปรับกระบวนการใหม่

การทดลองลอยแร่เฟลด์สปาร์จากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก จะทำได้โดยการบด ย่อยแร่เป็นอนุภาคละเอียด และนำแร่ที่ผ่านการบดย่อยแล้วมาเตรียมสำหรับลอยแร่โดยผสมกับน้ำ และปรับสภาพความเป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นจะเติมน้ำยาลอยแร่ที่มีส่วนผสมของ พิโตรเลียมซัลโฟเนต ร่วมกับเกลืออัลคิล-อัลคิลีนไดอามีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ร่วมกับ เกลืออัลคิลามีน ปล่อยอากาศเข้าสู่กระบวนการลอยแร่และกวาดเอาแร่เฟลด์สปาร์ที่ลอยขึ้นมา

สำหรับกระบวนการนี้ พิโตรเลียมซัลโฟเนตคือส่วนผสมระหว่างเกลือของกรดโอเลฟินซัลโฟ นิกมีสูตรทั่วไปคือ



สำหรับ เกลืออัลคิล-อัลคิลีนไดอามีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คือเกลือที่ผสมกับกรดจาก สารประกอบอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ โดยมีสูตรทั่วไปดังนี้



โดย R จะแทนกลุ่มอัลคิล (Alkene) ที่มีคาร์บอนระหว่าง 15-25 อะตอม และ A จะแทน กลุ่มอัลคิลีนที่มีคาร์บอนระหว่าง 2-5 อะตอม

สำหรับเกลืออัลคิลามีน คือสารประกอบระหว่างเกลือที่ผสมกับกรดอนินทรีย์หรือกรดอินทรีย์ มีสูตรทั่วไปดังนี้

R' - NH₂

โดย R' จะแทนกลุ่มอัลคิลที่มีคาร์บอนระหว่าง 15-25 อะตอม

สัดส่วนการผสมระหว่างปิโตรเลียมซัลโฟเนต กับเกลืออัลคิล-อัลคิลีนไดอามีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง รวมทั้ง เกลืออัลคิลามีน จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1:4 ถึง 7:3 โดยน้ำหนัก

เงื่อนไขในการลอยแร่จะปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้มีค่า pH 1.8-2.5 ใช้สารเคลือบฟองจากน้ำมันสกัดจากพืช กรดเครโซลิก หรือโพลีเอเทอร์ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูง โดยใช้ในปริมาณ 10-50 กรัมต่อตันของสารละลาย

สำหรับกระบวนการลอยแร่เป็นกระบวนการแต่งแร่ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในการแยกแร่ออกจากกัน ดังเช่นการแยกแร่โดยอาศัยความแตกต่างของขั้วแม่เหล็กที่ผิวแร่หรือการแยกแร่โดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของแร่ ซึ่งกระบวนการลอยแร่จะอาศัยทฤษฎีของศักย์ไฟฟ้าที่ผิวแร่ จากการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าของแร่สองชนิดขึ้นไปให้แตกต่างกันจากปรับสภาพกรด-ด่างในสารละลาย และใช้ฟองอากาศดึงดูดอนุภาคแร่ที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงกับสารละลาย (ผิวแร่จะไม่สัมผัสกับสารละลาย) ให้ลอยขึ้นมาเพื่อแยกออกจากแร่ที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกับสารละลาย

โดยทั่วไปกระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์มักนิยมใช้กรดกัดแก้วหรือกรดไฮโดรฟลูออริกเพื่อปรับสภาพผิวแร่ และใช้คอลเลคเตอร์ชนิดที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว เช่น อลิฟาติกเอมีน และใช้สารเคลือบฟองจำพวกน้ำมันสน เพื่อลอยแยกเอาแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์

ในกระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งปรับสภาพกรด-ด่างโดยใช้กรดกัดแก้วนี้จะต้องใช้ความระมัดระวังเนื่องจากกรดกัดแก้วเป็นกรดแก่ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงมากซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการได้ นอกจากนี้กรดกัดแก้วยังสามารถกัดผิวแร่ควอตซ์และอนุภาคอื่นๆ ซึ่งจะมีผลต่อร้อยละการเก็บแร่ได้ (%Yield) เมื่อทำการลอยแร่ในระดับการค้า

นอกจากนี้หลังจากลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้วเป็นตัวปรับสภาพแล้วยังต้องมีการลอยแร่ซ้ำเพื่อลอยเอาแร่มลทินออกจากเฟลด์สปาร์เพื่อให้ได้แร่เฟลด์สปาร์ที่สะอาดเพียงพอต่อความต้องการใช้ สำหรับกระบวนการลอยแร่เพื่อเอาแร่มลทินออกจากเฟลด์สปาร์นี้จะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวปรับสภาพผิวแร่และใช้อลิฟาติกเอมีนร่วมกับปิโตรเลียมซัลโฟเนตเป็นสารปรับสภาพเพื่อแยกเอาแร่มลทินให้ลอยขึ้นมากับฟองและแยกจากเฟลด์สปาร์ การลอยแร่ในขั้นตอนนี้จะต้องระวังการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและเอมีนจะได้สารแขวนลอยขึ้นมาและรบกวนกระบวนการลอยแร่

จะเห็นได้ว่ากระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยทั่วไปที่ใช้กรดกัดแก้วมีความยุ่งยากซับซ้อนและมีสารเคมีอันตรายมากมายนอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยากันเองระหว่างสารเคมีจะรบกวนต่อกระบวนการลอยแร่ทำให้ได้แร่ที่ไม่มีความสะอาดเพียงพอต่อการนำไปใช้ และมีต้นทุนที่สูงเนื่องจากกรดกัดแก้วมีราคาสูง

จากปัญหาข้างต้นได้มีการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากทรายซิลิกา โดยอาศัยกระบวนการลอยแร่เพียงขั้นตอนเดียวจากการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ร่วมกับสารเคมีลอยแร่ที่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขในการลอยแร่จำพวกปิโตรเลียมซัลโฟเนต และเกลืออัลคิล-อัลคิลีนไดอามีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ร่วมกับ เกลืออัลคิลามีน จะสามารถลอยแร่แยกเอาเฟลด์สปาร์ออกมาได้โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.2 แสดงผลการทดลอง Separation rate (%) เมื่อใช้กรด HCl ในปริมาณน้ำยาปรับสภาพผิวปิโตรเลียมซัลโฟเนต และเกลืออัลคิล-อัลคิลีนที่ปริมาณต่างๆ

Flotation Reagent (g/ton)			Separation Rate (%)
Exp. No.	Duomeen T.	Sodium Petroleum Sulfonate	The process of using Hydrochloric acid
1	0	250	0
2	50	200	20
3	75	175	87
4	100	150	89.5
5	125	125	94.0
6	150	100	97.5
7	175	75	99.0
8	200	50	97.0
9	250	0	78.5

สำหรับตัวอย่างการวิจัยของ อากิระ คาทายานางิ ได้ใช้แร่เฟลด์สปาร์อะตาคะ จากเมืองทากาวะ จังหวัดฟูกูโอกะ ประเทศญี่ปุ่น มาบดและคัดขนาดที่ 60-200 เมช จากนั้นนำมาผสมน้ำจันมีร้อยละของอนุภาคของแข็งในน้ำระหว่าง 10-40 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพให้เป็นกรดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกจนมีค่า pH ระหว่าง 1.8-2.5 แล้วเติมปิโตรเลียมซัลโฟเนต และเกลืออัลคิล-อัลคิลีนไดอามีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ร่วมกับ เกลืออัลคิลามีน ในปริมาณ 200-350 กรัมต่อตันแร่ เติมสารเคลือบฟองในปริมาณ 10-50 กรัมต่อตันแร่ กวนทิ้งไว้จนผิวแร่มีการเปลี่ยนสภาพ จากนั้นจะปล่อยฟองอากาศเพื่อลอยแร่แยกเอาแร่เฟลด์สปาร์ขึ้นมา จากกระบวนการนี้จะได้แร่เฟลด์สปาร์ที่มีเปอร์เซ็นต์ยิลด์ (%Yield) สูง อย่างไรก็ตามปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ต้องคำนึงถึงคุณภาพของแร่เฟลด์สปาร์และประสิทธิภาพในการลอยแร่ด้วย

Manser R. M. (1975) ได้พูดถึงการเตรียมตัวอย่างแร่ก่อนที่จะนำไปทดลองลอยแร่ ต้องผ่านขั้นตอนตามลำดับนี้คือ การสุ่มเลือกแร่ (Selection of sample) การย่อยและบดแร่ (Crushing and grinding) การคัดขนาดแร่ (Sizing) และการทำความสะอาดแร่ (Cleaning)

ในการสุ่มเลือกตัวอย่างแร่ควรพยายามเลือกแร่ที่มีความบริสุทธิ์ของแร่มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ เช่น ไม่มีกรวด หิน ดิน ทราายผสมติดกับแร่มาด้วย เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้อง และข้อผิดพลาดน้อยที่สุดในกระบวนการลอยแร่ โดยพิจารณาจากสินแร่ที่นำมาทดลองไม่ใช่ทั้งหมดของแร่ที่มีอยู่ แต่มีเพียงแค่มุมหนึ่งที่เป็นตัวแทนของแร่ทั้งหมด ก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นตอนลอยแร่ และควรมีการทดลองลอยเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสินแร่ แล้วนำผลที่ได้จากการลอย โดยในที่นี้ได้นำผลของการเก็บแร่ได้ (Yield) ของหัวแร่ มาตรวจสอบกับมาตรฐานหัวแร่ที่ผ่านเกณฑ์ ถ้าหากว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกันก็พร้อมที่จะนำตัวอย่างแร่ไปทดลองได้ (โดย Manser ได้แนะนำว่าขั้นตอนการเลือกตัวอย่างสำคัญมาก ควรระมัดระวังในการชั่งน้ำหนักแร่ การคำนวณร้อยละการเก็บแร่ได้ และควรทำการทดลองไม่ต่ำกว่าสองครั้ง เพื่อความแม่นยำที่ถูกต้อง) โดยวิธีการทำให้ตัวอย่างที่เลือกมานั้นมีความบริสุทธิ์มากขึ้นนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การเลือกโดยแรงงานคน (Hand picking) การแยกแร่เหล็กออกโดยใช้เครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียกหรือแบบแห้ง (Wet or dry magnetic separation) ใช้การแยกแร่โดยใช้คุณสมบัติของความถ่วงจำเพาะ (Gravity separation) เป็นต้น ถ้าใช้วิธีการแยกแร่โดยใช้คุณสมบัติของความถ่วงจำเพาะ ก็จะสามารถเก็บแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะมากได้ เพราะเป็นแร่ที่จม แต่ถ้าการบดและย่อยไม่ดีทำให้มลทินแร่ไม่ถูกแยกออกมา เพราะยังเกาะเกี่ยวกับหัวแร่ที่ต้องการอยู่ แร่ที่ได้นั้นก็ไม่มีบริสุทธิ์ ทั้งนี้ควรระวังเกี่ยวกับน้ำยาเคมีที่เกาะติดอยู่กับผิวแร่ จะทำให้ประสิทธิภาพของการลอยแร่ไม่ดีเท่าที่ควรจะเป็น เพราะผิวแร่ที่เป็นของแข็งและสารเคมีหรือน้ำยาที่เป็นของเหลวจะทำปฏิกิริยาต่อกัน ซึ่งก็มีผลดี เช่น สามารถไปกระตุ้นไอออนให้การลอยมีประสิทธิภาพ เป็นต้น ในการทดลองควรใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม และควรมั่นใจว่าผิวแร่ตัวอย่างนั้นไม่มีสารเคมีหรือสิ่งแปลกปลอมติดมาด้วยในกรณีของการบดแบบเปียก ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแร่ควรปรับสภาพด้วยน้ำธรรมดาเพื่อให้ได้พื้นผิวที่พร้อมต่อการลอยแร่ ไม่ควรใช้น้ำกลั่น เพราะในการใช้งานในระดับอุตสาหกรรมไม่ได้ใช้น้ำกลั่นในการชะล้างแร่

ทั้งนี้เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนย่อยแร่และบดแร่ซิลิเกต ได้ศึกษาขนาดของอนุภาคแร่ที่เหมาะสมในการนำมอลอยแร่เฟลด์สปาร์ โดยตัวอย่างที่เอามาลอยต้องผ่านการย่อย การบดและคัดขนาดก่อนนำไปลอยในเซลล์ลอยแร่ขนาดห้องปฏิบัติการหรืออุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เริ่มจากการบดและย่อยแร่ หากแร่บดสามารถแยกได้โดยใช้แรงงานด้วยมือเปล่าก่อนนำมาย่อยและบดก็เป็นทางเลือกหนึ่ง ที่ประหยัดต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ และขนาดที่ผ่านการย่อยแล้วนำมาเข้าเครื่องบดแร่ละเอียด ควรมีขนาด 160 ไมครอน (10 เมช)

เพื่อให้มั่นใจว่าตัวอย่างแร่ที่จะนำไปลอยเร่นั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด ขนาดอนุภาคแร่เนื้อละเอียดควรอยู่ระหว่าง 105ไมครอน ถึง 150 ไมครอน (ขนาดที่ใช้ทดลองใน Warren spring laboratory) โดยแร่ละเอียดขนาดโตกว่า 150 ไมครอนจะถูกคัดทิ้งไปในขั้นตอนแรก

ในการบดแร่ให้ละเอียดตามขนาดที่ต้องการนั้น ส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องบดแบบเปียก เพื่อสะดวกในการลอยแร่ในขั้นตอนต่อไป แต่ควรระวังเรื่องสารเคมีที่มีผลต่อผิวแร่ ที่ไปทำปฏิกิริยา

Oxidation กับผิวแร่ด้วย เครื่องบดแร่ละเอียดที่ใช้บดแร่ทั่วไปจะใช้เป็นบอลมิลล์ (Ball mill) หรือ เครื่องบดแร่แบบแท่ง (Rod mill) หากลูกบดเป็นวัสดุที่ทำจากเซรามิกเป็นส่วนผสม จะทำให้เวลาการบดแร่ใช้เวลานาน เมื่อทำการบดแร่ที่มีความแข็งสูง ควรใช้ลูกบดที่เป็นวัสดุที่ทำมาจากเหล็ก ทั้งบอลมิลล์และเครื่องบดแร่แบบแท่ง โดยการทดลองนี้ใช้เครื่องบดแร่แบบแท่ง โดยวัสดุทำจากสแตนเลส (Stainless steel) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ขนาดยาว 15 เซนติเมตร และหากว่าตัวอย่างที่สุ่มเล็กลงมานั้นถูกพิจารณาว่าใช้งานได้ ก็ไม่จำเป็นต้องใช้เวลาบดแร่นานมาก โดยใช้วิธีบดแร่แบบเปียกจากนั้นผ่านตะแกรงคัดขนาด โดยทั่วไปขนาดอนุภาคที่ผ่านตะแกรงคัดขนาดจะต้องมีขนาดระหว่าง 20 ไมครอน ถึง 200 ไมครอน เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมต่อการลอยแร่ โดยขนาดอนุภาคที่ Manser แนะนำในการลอยแร่ซิงค์ในท้องทดลองควรมีขนาดอนุภาคระหว่าง 100 และ 150 ไมครอน ยกเว้นขนาดแร่บางกลุ่มนี้มีการแตกตัวอิสระที่อนุภาคขนาดเล็กมากจริงๆ จะอยู่ที่ขนาด 75 ไมครอน ส่วนอนุภาคแร่ขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน จะถูกคัดออกโดย วิธีใช้ปักเกอร์ค้อยๆริน (Beaker decantation) หรือใช้ไฮโดรไซโคลอน (Hydrocyclone) ขนาดเล็ก ส่วนอนุภาคที่ใหญ่กว่า 20 ไมครอน จะถูกนำไปทดลองลอยแร่ หรือทดลองกับสารเคลือบผิวและทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา

การทำความสะดวกสะอาดแร่ (Cleaning) มีข้อมูลสนับสนุนจากนักวิจัยหลายๆท่าน เรื่องการทำความสะดวกสะอาดตัวอย่างแร่ด้วยกรด เพื่อเตรียมสภาพพื้นผิวแร่ให้พร้อมต่อการลอยแร่ในขั้นตอนต่อไป โดยวิธีการทำความสะอาดตัวอย่างแร่นั้น จะทำโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างแร่ไปล้างด้วยน้ำสะอาด ให้กรดไฮโดรคลอริกที่เคลือบติดกับผิวแร่นั้นหลุดออกไป ส่วนในการทดลองที่ดำเนินการโดย Manser ทำให้พบว่าการทำความสะอาดผิวแร่เพียงแค่นี้ก็ยังสามารถทำให้คุณสมบัติของผิวแร่นั้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างไปจากคุณสมบัติดั้งเดิม สิ่งเหล่านี้ที่เป็นสารเจือปนต่างๆ จะส่งผลให้การทดลองคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

การย่อยและการบดแร่แบบเปียก และคัดขนาดแร่ในขั้นตอนแรกสุด ก็ยังไม่สามารถแยกแรมลทินกลุ่มเหล็กออกจากสินแร่ได้ โดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่องแยกแรมแม่เหล็กแบบเปียก เพราะสะดวกต่อการแยกแรมลทินในขั้นตอนต่อไป โดยการทดลองปรับค่าความเข้มของแม่เหล็กก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกแรมแม่เหล็กเช่นกัน กล่าวคือถ้าความเข้มอ่อนก็จะทำให้ต้องแยกแรมหลายครั้งในการแยกแรมลทินกลุ่มเหล็กออก แต่ถึงแม้ไม่มีการแยกแรมแม่เหล็กออกก่อนก็ยังไม่มียield วิจัยขึ้นไหนบ่งชี้ว่าการไม่แยกออกก่อนจะไม่ดีเท่าที่วิธีการข้างต้น

ในกระบวนการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีแบบเปียกที่กล่าวมานั้นจะใช้น้ำกลั่น ซึ่งสามารถตีความได้ว่าไม่มีสิ่งเจือปนหรือและไอออนประจุบวกส่วนเกินที่เกิดขึ้นหลงเหลืออยู่บนผิวแร่ โอกาสที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุจากสารละลายที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ก็มีอยู่เพียงเล็กน้อย หากล้างผิวแร่อย่างสะอาดและทิ้งไว้ให้แห้งไม่ต่ำกว่า 1 อาทิตย์ เมื่อตัวอย่างที่ทำการเตรียมตามขั้นตอนข้างต้นที่กล่าวมาก็พร้อมที่จะนำไปทดลองลอยแร่แล้ว

กระบวนการลอยแร่ของ Manser นั้น ใช้หลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Flotation) ขนาด 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร มีความจุประมาณ 40 CC ในแต่ละการทดลองมีการกำหนดตัวแปรคงที่ เช่น ปริมาณน้ำยาเคลือบผิว ปริมาณน้ำยาเคลือบฟอง และความเข้มข้นของของ

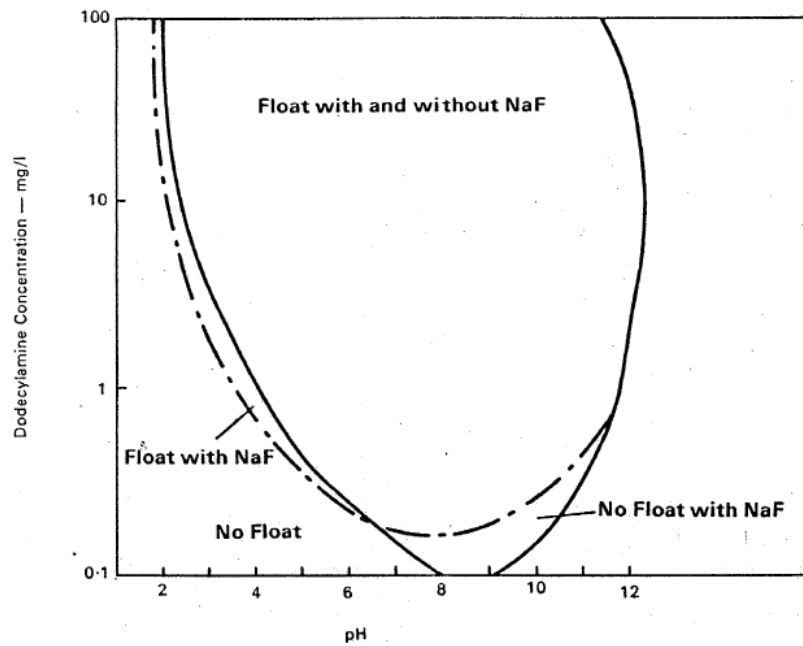
ผสม และกำหนดตัวแปรควบคุมค่า pH ระหว่าง pH 3.0 -11.0 โดยใช้เวลาปรับสภาพ (Conditioning time) ประมาณ 10 นาที โดยตัวแปรทั้งหมดนี้เพื่อหาหา pH ที่เหมาะสมกับการลอยแร่ซลิเกตแต่ละชนิดที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป โดยเฉพาะแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญเป็นอันดับหนึ่ง

Manser R. M. (1975) ได้กล่าวว่า การลอยแร่เฟลด์สปาร์มีหัวใจสำคัญอยู่ที่การปรับสภาพของของผสมในถังลอยแร่ ซึ่งในการวิจัยหลายแห่งได้ทำการหากรรมวิธีที่จะลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ลทินต่างๆ ที่เกิดรวมกันกับสายแร่เพ็กมาไทต์ โดยแร่ลทินเหล่านี้ ได้แก่ กลุ่มแร่ไมก้า กลุ่มแร่เหล็ก และกลุ่มแร่ควอตซ์ ซึ่งแร่เฟลด์สปาร์ที่มีส่วนผสมของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เป็นส่วนใหญ่ มักจะใช้กับวิธีการลอยแร่ได้หัวแร่ที่มีคุณภาพดีกว่า แร่กลุ่มแพลจิโอเคลส เช่น โซเดียมเฟลด์สปาร์ เป็นต้น

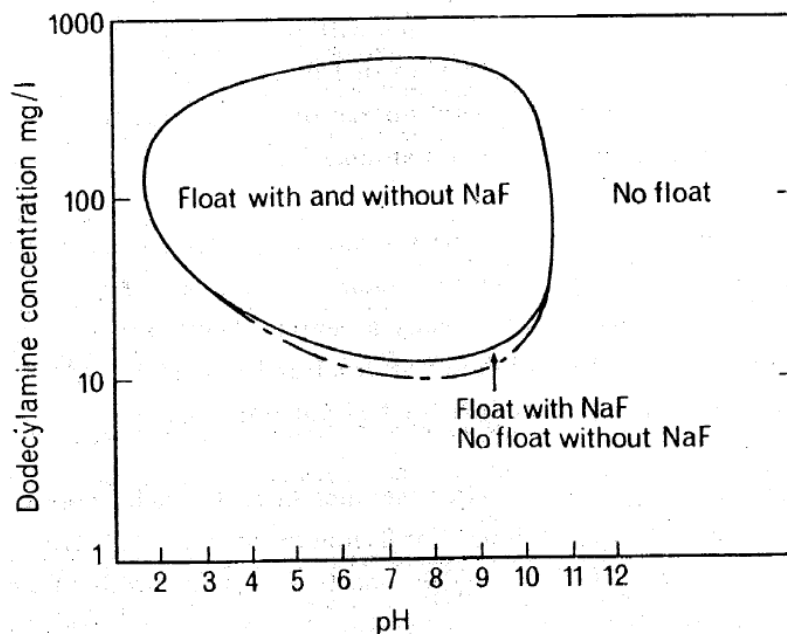
จากการศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์ของ Manser แร่เฟลด์สปาร์ถูกแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ แอลไบต์ (Albite), ออร์โทเคลส (Orthoclase), อนอร์โทเคลส (Anorthoclase), ออลิโกเคลส (Oligoclase) และ แลบบราโดไรต์ (Labradorite) ส่วนใหญ่แร่เฟลด์สปาร์ 5 ประเภทนี้มักจะทำให้น้ำยาเคลือบผิวประจุบวก (Anionic Collector) ในการลอยหัวแร่เฟลด์สปาร์ขึ้นมา

จากการวิจัยแร่เฟลด์สปาร์ประเภท Albite ในรูปกราฟที่ 1.10 เป็นกราฟบรรยายความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำยาเคลือบผิวเอมีนประจุบวก (Dodecylamine Concentration) กับค่า pH ที่ค่าต่างๆ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลอยกลุ่ม Albite จะอยู่ที่ค่า pH 8.0 – 9.0 ในขณะที่กลุ่ม Oligoclase และ Labradorite อยู่ที่ค่า pH 10.0 – 11.0 และกลุ่ม Orthoclase เช่น โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ มักจะลอยในสภาวะที่เป็นกรดแก่

สำหรับแร่เฟลด์สปาร์ประเภท Orthoclase ในรูปกราฟที่ 1.11 แสดงความสัมพันธ์ของ pH และความเข้มข้นของน้ำยาเคลือบผิวที่มีต่อการลอยเฟลด์สปาร์ประเภท Orthoclase ในสภาวะทั้งที่มีและไม่มีไอออนของฟลูออไรด์ การลอยด้วยน้ำยาเคลือบผิวเอมีนประจุบวก (Dodecylamine Concentration) ภายใต้วง pH กว้าง ให้ผลการทดลองดีถึงดีมาก โดยที่ไอออนของฟลูออไรด์จะทำตัวเป็นสารกระตุ้นอย่างอ่อน (Mild Activator) ยกเว้นต่อแร่ควอตซ์ ซึ่งไอออนของฟลูออไรด์เป็นสารกดอย่างอ่อนด้วย



รูปที่ 1.7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำยาเคลือบผิวเอมีนประจุบวก (Dodecylamine Concentration) กับค่า pH ที่ค่าต่างๆ ของแร่ Feldspar – Albite



รูปที่ 1.8 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำยาเคลือบผิวเอมีนประจุบวก (Dodecylamine Concentration) กับค่า pH ที่ค่าต่างๆ ของแร่ Feldspar – Orthoclase

ในการแยกแร่ลทิน กลุ่มแร่ไมก้ามักจะถูกคัดออกโดยการลอยแร่เป็นกลุ่มแรก โดยมีวิธีการลอยแร่กลุ่มไมก้า 2 แบบ โดยวิธีแรกจะลอยในสถานะที่เป็นกรด และอีกวิธีเป็นการลอยแร่กลุ่มไมก้าในสถานะที่เป็นด่าง

Manser R.M. ได้ศึกษางานวิจัยของ Eddy et al (1972) ได้สภาวะที่เหมาะสมในการลอยที่ค่า pH 2.3 โดยใช้ น้ำยาเอมีน (Coco-Amine, average chain length C_{12}) 250 กรัมต่อตันแร่ป้อน แต่เนื่องจากว่าวิธีที่กล่าวมาข้างต้นอาจล่อยหัวแร่เฟลด์สปาร์ขึ้นมาบางส่วนเนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้น้ำยาเคลือบผิวชนิดเดียวกับการล่อยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ในขั้นตอนสุดท้าย ได้ใช้น้ำยาเอมีน (Triamyl amine) 160 กรัมต่อตันแร่ป้อน เพื่อลดปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และผลการทดลองก็เป็นที่น่าพอใจ สำหรับการล่อยกลุ่มแร่ไมก้า

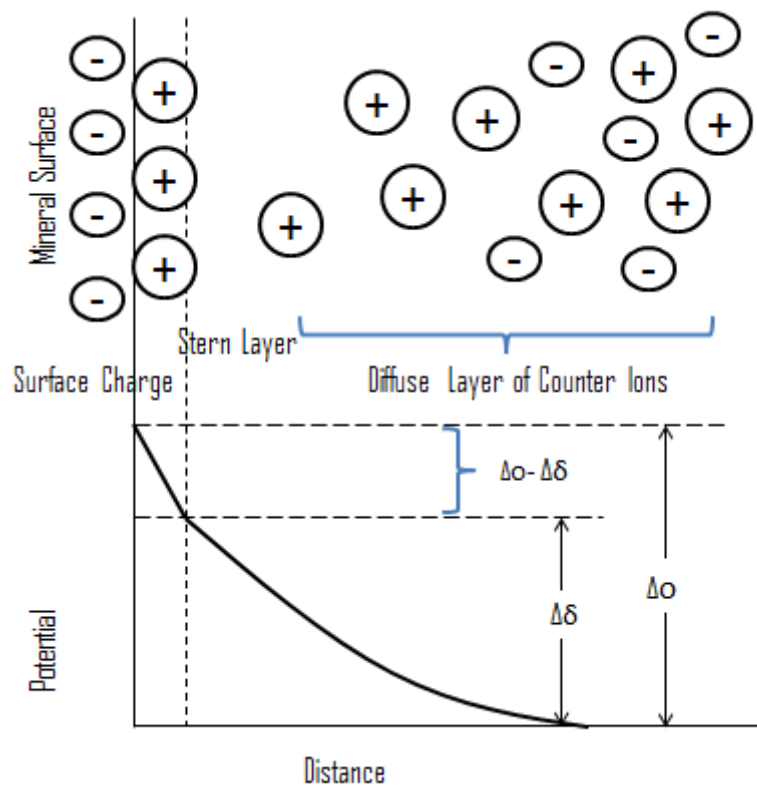
การล่อยแร่กลุ่มไมก้าในสภาวะที่เป็นต่าง โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือโซดาแอช ปรับค่า pH อยู่ระหว่าง 9.0 – 10.0 และใช้ Lignin Sulphonate เป็นสารปรับสภาพที่ใช้ในการกัดแร่ควอตซ์และเฟลด์สปาร์ โดย Eddy et al (1972) ได้ทดลองล่อยแร่กลุ่มไมก้าในสภาวะต่าง เช่นเดียวกัน และได้ผลการทดลองเป็นที่น่าสนใจเช่นกัน

หลังจากล่อยแร่ล่อยแร่ลทินกลุ่มไมก้าและกลุ่มเหล็ก แล้วนำหัวแร่ที่เหลือไปทำการล้างฝุ่นออก (deslime) แล้วปรับสภาพของผสมด้วยกรดกัดแก้ว 1,700 กรัมต่อตันแร่ป้อน ให้ได้ค่า pH ที่ 2.0 – 3.5 น้ำยาเคลือบผิวเอมีน ประเภท Tallow (C_{18}) amine acetate 2,000 กรัมต่อตันแร่ป้อน และน้ำมันสน 490 กรัมต่อตันแร่ป้อน ใช้เวลาปรับสภาพ 8 นาที เพื่อให้ได้หัวแร่เฟลด์สปาร์ที่สามารถนำไปใช้ในงานเซรามิคได้ และควรนำหัวแร่ที่ได้มาแยกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียกเพื่อให้ได้หัวแร่ที่บริสุทธิ์มากขึ้น

ปริมาณของการใช้กรดกัดแก้วจะมากจะน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของแร่ที่นำมาล่อย ปริมาณโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 1 - 9 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน ถ้าเป็นแหล่งแร่ที่มีความบริสุทธิ์ของเฟลด์สปาร์มากๆ ก็ไม่จำเป็นต้องใช้กรดกัดแก้วปริมาณมาก เพราะจะสิ้นเปลือง เนื่องจากกรดกัดแก้วนั้นมีราคาสูง

ในทางการค้ามักจะใช้กรดกัดแก้วที่ผสมขึ้นมาใหม่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกัดแร่ควอตซ์มากกว่ากรดกัดแก้วบริสุทธิ์ บางโรงงานใช้ Sodium Fluoride กับ กรดซัลฟิวริกและส่วนสารผสมอื่นๆ เช่น Ammonium Bifluoride แทนการใช้กรดกัดแก้วโดยตรง และผลการเก็บแร่ได้ก็เป็นที่น่าสนใจ

Manser, R.M. ได้กล่าวถึงเรื่องศักย์ไฟฟ้าซีตาคือ เมื่อแร่ธาตุได้มีการบดและทำให้เป็นขนาดที่เล็กมากสำหรับการล่อย พันธะในร่างแหคริสตัล (Crystal lattice) ได้มีการแตกและทำให้เกิดการมีภาวะที่ประจุอิเล็กตรอนมีมากเกินไปหรือน้อยเกินไป และประจุได้มีการปรับและสร้างประจุไฟฟ้าใหม่ขึ้นบนพื้นฐานได้มีการทำให้เป็นกลาง โดยไอออนที่มาจากสิ่งแวดล้อมรอบๆตัว ทั้งนี้แล้วรูปภาพที่ 1.7 ได้แสดงให้เห็นถึง ชั้นทางไฟฟ้า Double layer ที่เป็นผลลัพท์ และการลดลงของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างชั้น stern layer และ diffuse layer หรือที่เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าซีตา (Zeta Potential, ζ)



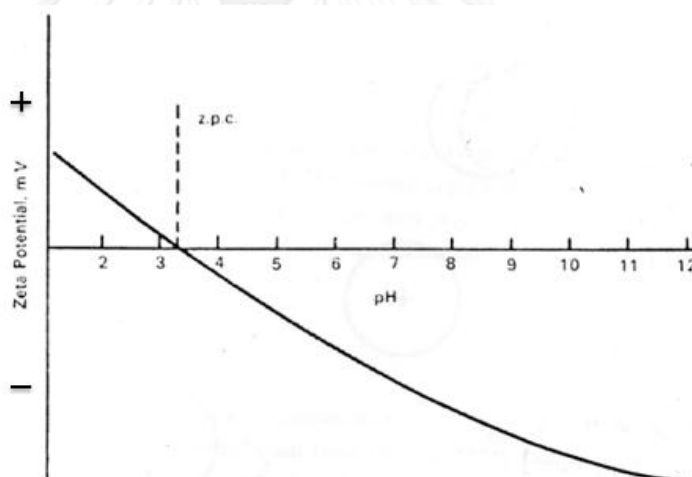
รูปที่ 1.9 ชั้นทางไฟฟ้า Double layer และ กราฟแสดงการลดลงของค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้าบนผิวแร่

ไอออนของไฮโดรเจน (H^+) และไฮดรอกซิล (OH^-) ได้นำมาอธิบายสำหรับแร่ซิลิเกต เพราะการเปลี่ยนแปลงใดๆที่เกิดขึ้นในค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณค่า ศักย์ไฟฟ้าซีตาได้ ทั้งนี้แล้วพล็อตกราฟในเชิงอุดมคติ สำหรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีต่อค่า ศักย์ไฟฟ้าซีตา ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 1.8 และที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอย่างหนึ่งพบว่า ประจุสุทธิ ที่มีบนพื้นผิวจะเป็นศูนย์และค่าเหล่านี้ได้มีการนิยามเอาไว้คือค่าประจุลัพท์ที่เป็นศูนย์ หรือ z. p. c. (ย่อมาจาก zero point of charge) ทั้งนี้แล้วตำแหน่งที่จุดศูนย์ของประจุนี้มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นผิวแร่และประเภทของแร่แต่ละชนิด แต่ส่วนมากมักมีค่าต่ำกว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 7.0 และเมื่อสถานะของผสมได้มีการจัดเตรียม ค่าของ z. p. c. จะต้องมีการนำมาใช้ในการกล่าวถึงการ จัดการกับแร่ต่างๆ และอย่างที่กฎทั่วไปของแร่ธาตุที่มีจุด z. p. c. ที่สูงกว่าจะมีแนวโน้มลดยได้ด้วย การใช้สารเคลือบผิวประจุลบ (Anionic collectors) โดยเฉพาะในเงื่อนไขที่เป็นกรด ในขณะที่ แร่ ธาตุที่มีจุด z. p. c. ที่ต่ำจะมีการลดยด้วยการใช้สารเคลือบผิวที่เป็นประจุบวก (Cationic collectors) อย่างไรก็ตามแล้ว ศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีการประเมินเอาไว้นี้เป็นภาพในเชิงอุดมคติ โดยที่ ค่าเฉลี่ยได้มีการพิจารณาสำหรับแร่ธาตุหนึ่งๆที่เฉพาะเจาะจงและค่าของความแตกต่างของความ หนาแน่นของประจุที่แตกต่างกัน หรือแม้กระทั่งประจุที่ตรงกันข้ามที่มีการเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่ เหมือนกัน ทั้งนี้แล้วเรื่องการดูดซับของสารเคลือบผิวประจุลบที่ pH ที่สูงมากกว่า z. p. c. และ

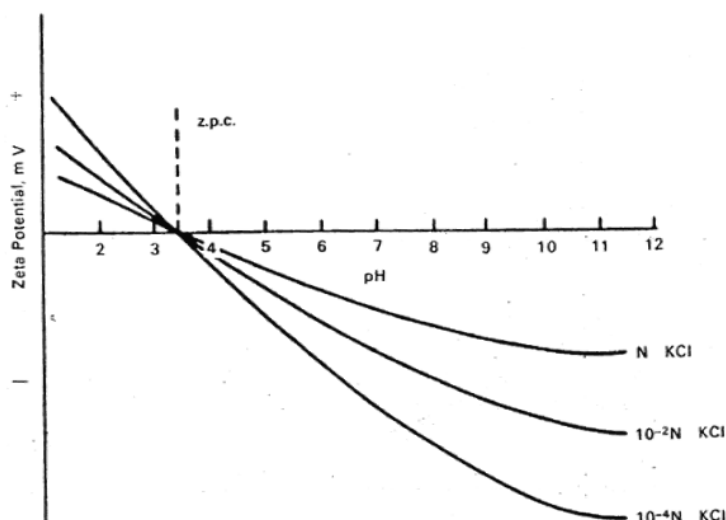
สำหรับสารเคลือบผิวประจุบวกที่ต่ำกว่า และการลอยที่เกิดขึ้นจะต้องมีกฎการจับตัวของประจุกับสารเคลือบผิวมาเกี่ยวข้องตลอด

ทั้งนี้แล้วประจุไฟฟ้าของของผสมที่มีหลายประจุทั้งบวกและลบภายในเซลล์ลอยแร่ จะมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นขั้วที่เด่นชัดของแร่ สำหรับตัวอย่างเช่น Quartz ได้มีค่าของ $z. p. c.$ ที่ต่ำมากดังนั้นแล้วได้มีประจุเชิงลบที่สูงมากบนพื้นผิวแร่นี้ ของธาตุกลุ่มแอลคาไลน์ และผลลัพท์ที่เกิดขึ้นพบว่ามันไม่ได้ลอยด้วยการใช้ สารเคลือบผิวประจุลบ แต่พบว่าจากการใช้ 5 ppm ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพียงพอในการเปลี่ยนแปลงประจุเหล่านี้โดยทำให้เกิดการลอยแร่เกิดขึ้นได้

หากว่าความคงที่ของประจุ (ionic strength) ไฟฟ้าที่ไม่มีขั้วได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นแล้วความหนาของ Double layer รอบๆผิวแร่ต่างๆจะมีการกดหรือบีบอัดเอาไว้ และผลลัพท์ทำให้มีการลดลงในเรื่องปริมาณค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา ดังที่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 1.9 และขอบเขตของผลกระทบของประจุไฟฟ้าที่ไม่แตกต่างกันนี้ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมากในขณะที่ค่าวาเลนซ์ของอิเล็คโตรไลต์นี้ได้มีการเพิ่มขึ้นไปตามกฎของ Schult Hardy ดังนั้นแล้วไดวาเลนซ์ไอออน (Divalent ion) จะมีค่าประมาณ 10 เท่า ของผลกระทบจากโมนอวาเลนซ์ไอออน (Monovalent ion) และไตรวาเลนซ์ไอออน (Trivalent ion) จะมีการส่งผลกระทบได้ประมาณ 100 เท่า



รูปที่ 1.10 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา



รูปที่ 1.11 แสดงค่าความคงที่ประจุไฟฟ้าที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา

ทั้งนี้แล้วความสัมพันธ์ที่มีอยู่ระหว่างโครงสร้างของแร่ซิลิเกต และคุณสมบัติในเรื่องของการลอยของมัน และการทำงานนี้ได้มีการเขียนเอาไว้เป็นครั้งแรกในปี 1966 โดยกลุ่มนักเคมีวิทยาที่ Warren Spring Laboratory และผลลัพธ์บางส่วนที่ได้นั้น ได้เกิดขึ้นเมื่อมันได้มีการตีพิมพ์เอาไว้ และคุณสมบัติในเรื่องของการลอยโดยทั่วไปของกลุ่มโครงสร้างซิลิเกตแต่ละอันได้มีการอธิบายเอาไว้ในหมวดนี้

Orthosilicates

การอธิบายในเรื่องของคุณสมบัติของการลอยของแร่กลุ่มโครงสร้างแบบ Orthosilicates ได้มีการศึกษาเอาไว้แล้ว จะเห็นได้ว่า Orthosilicates ได้ประกอบด้วย isolated $(\text{SiO}_4)^{-4}$ เกาะกันแบบ Tetrahedra ลอยได้ทีระดับปานกลางกับ สารเคลือบผิวประจุบวกประเภท Dodecylamine โดยที่แร่กลุ่มนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในเรื่องค่าความเป็นกรดเป็นด่างและได้มีการส่งเสริมได้โดยการเพิ่มฟลูออไรด์ จากไอออนของสารปรับสภาพ (Modifier)

แม้ว่าจากการเปรียบเทียบแล้ว พื้นที่ของการลอยด้วยการใช้ anionic sodium oleate บางครั้งพบว่ามีความต่ำ โดยมันจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของซิลิเกตทั้งหมดได้มีการตรวจสอบเอาไว้ แต่ Orthosilicates ได้แสดงให้เห็นแนวโน้มที่สูงที่สุดต่อการลอยกับสารเคลือบผิวชนิดนี้ และความไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆในค่าความเป็นกรดเป็นด่างเมื่อการลอยแร่กลุ่ม Orthosilicates พร้อมกับสารเคลือบผิวประจุลบนี้ไม่ได้มีบันทึกไว้ละเอียดเหมือนกับที่ได้มีการใช้สารเคลือบผิวประจุบวก แต่จากการเพิ่มปริมาณของฟลูออไรด์ไอออนเล็กน้อยได้พบว่าเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกด (Depression) ที่เห็นได้ชัดเจนมากขึ้น

แร่ซิลิเกตได้มีการตรวจสอบได้ถึงคู่ (pairs) รวมถึง Four membered และ Six membered rings ของ Tetrahedral silicate groups ที่โดยทั่วไปได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติในเรื่องของการลอยที่เหมือนกันที่มีไปยังกลุ่ม Orthosilicates และดังนั้นแล้วผลการลอยจะมีทิศทางไปในทางเดียวกัน

Pyroxenes

การอธิบายในเรื่องคุณสมบัติของการลอยของกลุ่มโครงสร้าง pyroxenes แต่ละอันหรือแร่ธาตุที่เป็นโครงสร้างสายห่วงโซ่ของซิลิเกตนี้ได้มีการศึกษาซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่ของการลอย cationic floatation ที่ได้มีความใกล้ชิดไปกับที่ได้มาจาก Orthosilicate type ทั้งนี้แล้วพวกมันได้มีคุณสมบัติในเรื่องของการลอยที่ดีและมีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างที่สูง ความแตกต่างที่มีระหว่างเรื่องคุณสมบัติของการลอยของ Pyroxenes และ Orthosilicates นี้ได้เห็นชัดเมื่อเห็นผลกระทบของสารปรับสภาพที่มีไอออนของฟลูออไรด์ และภายใต้เงื่อนไขของ Orthosilicate แร่ธาตุจะมีการกระตุ้นให้ต้องพิจารณาเอาไว้ เมื่อแร่ธาตุของ pyroxene ถูกกระตุ้นอย่างรุนแรง และหากว่าได้ส่งผลกระทบต่อสารปรับสภาพ (Modifier)

ความแตกต่างได้มีอยู่มากในเรื่องของคุณสมบัติของการลอยที่ปรากฏได้เด่นชัดขึ้นเมื่อพื้นที่ของการลอยได้มา โดยเฉพาะเมื่อมีการเปรียบเทียบจากการใช้สารเคลือบผิวประจุลบ ทั้งนี้แล้วเห็นได้ว่า Pyroxenes ไม่ได้ลอยได้ดีเท่ากับสารเคลือบผิวชนิดประจุลบ

Amphiboles

การอธิบายอย่างละเอียดของคุณสมบัติในเรื่องของการลอยของแร่กลุ่มโครงสร้าง Amphibole แม้ว่ายังมีข้อจำกัดในเรื่องของแร่ธาตุคริสตัลในกลุ่มนี้ ที่ได้มีการจัดเตรียมเอาไว้สำหรับการศึกษา เรื่องคุณสมบัติการลอยของ Actinolite hornblende และ Tremolite ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีความคล้ายกัน ทั้งนี้แล้วเราพบว่าไม่ได้มีพื้นที่ของการลอยที่มีนัยสำคัญที่ตรวจพบในแร่ธาตุทั้งสามเหล่านี้ เมื่อได้มีการใช้สารเคลือบผิวประจุลบ ทั้งนี้ได้มีการใช้ไอออนของฟลูออไรด์และที่ไม่ได้ใช้ฟลูออไรด์ อย่างไรก็ตามแล้วพื้นที่ของการลอยที่ได้มานั้นเมื่อมีการใช้สารเคลือบผิวประจุลบ เราพบว่า มันมากกว่าที่ได้มาจากทั้งส่วนของ Orthosilicates หรือ Pyroxene ทั้งนี้แล้วไม่ได้เหมือนกับคลาสต่างๆที่ผ่านมา ที่คุณสมบัติในเรื่องของ Cationic floatation ของ Amphibole silicate ที่เราพบว่ามันมีความไวน้อยกว่าต่อการเปลี่ยนแปลงในเรื่องความเป็นกรดเป็นด่าง และการลอยแต่ละอันจะเกิดขึ้นได้ดีในค่าความเป็นกรดเป็นด่างจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 3.0 เป็น 11.0 ทั้งนี้แล้วผลกระทบของฟลูออไรด์ไอออนต่อการลอยในสภาวะประจุบวกเหล่านี้ได้มีอยู่น้อย และทำให้เกิดการกระตุ้นหรือการยับยั้งได้ในระดับน้อย ที่เห็นชัดมากขึ้นเล็กน้อยภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

Sheet silicates

การอธิบายอย่างละเอียดในเรื่องคุณสมบัติของการลอยของแต่ละชนิดของกลุ่มโครงสร้าง Sheet silicates ได้มีการศึกษาและกำหนดเอาไว้ในลำดับต่อไป มีการตรวจสอบไต่อะแกรมของการลอยที่ได้มีการกำหนดเอาไว้ในบทนี้ที่ได้นำผู้อ่านให้ได้เข้าใจถึงการเชื่อมต่อกันระหว่างคุณสมบัติในเรื่องของการลอยของแร่ซิลิเกตที่ได้ศึกษาเอาไว้และในคลาสอื่นๆที่ได้อภิปรายเอาไว้ในก่อนหน้านั้น ยิ่งไปกว่านั้นแล้ว มันอาจจะสรุปได้ถึงการศึกษาที่โครงสร้างซิลิเกตที่อาจจะไม่ได้มีอิทธิพลต่อกับคุณสมบัติในเรื่องการลอยของมัน อย่างไรก็ตามได้มีการอ้างอิงกลับไปยังการอธิบายของโครงสร้าง Sheet silicate และการพิจารณาวิธีการที่ได้เกี่ยวข้องกับกลุ่มต่างๆของแร่ธาตุ และความสัมพันธ์ที่มีอยู่ พบว่าไม่มีพันธะวาเลนซ์ระหว่าง Sheets แต่ละอันของ Serpentine แต่มีการ

เชื่อมต่อกันโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ และแร่ธาตุมีความอ่อนนุ่มเมื่อมันได้ฉีกขาด และทำให้เกิด Platelets แต่ไม่ได้ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิว ทำให้ไม่สามารถที่จะสร้างปฏิกิริยากับตัว สารกระตุ้นได้ คุณสมบัติของการลอยของแร่ธาตุเหล่านี้ได้มีมากขึ้นและสอดคล้องกับการวิเคราะห์นี้ ทั้งนี้แล้วพื้นที่ของการลอยที่น้อยเกิดขึ้นได้เนื่องจากการเกิดขึ้นของรูปแบบฟองอากาศ (Soap formation) ที่ขอบของโครงสร้าง Platelets ที่แตกหัก

ในทางเดียวกันเราพบว่าเหมือนกับ sheets แต่ละอันที่ได้มีแร่ Talc ที่ได้มีการเชื่อมโยงกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ดังนั้นแล้วจากการวิเคราะห์เรื่องคุณสมบัติ แร่ Talc ยังได้มีการคาดหวังว่าจะมีการตอบสนองในเรื่องการลอยที่ต่ำ เมื่อมีการศึกษาพื้นที่ของการลอย อย่างไรก็ตามแล้ว จากการศึกษาข้างชี้ได้ว่าแร่ธาตุนี้ได้มีความสามารถในการลอยตามธรรมชาติ และมีความคล้ายคลึงกันระหว่างพื้นที่ของการลอย (Flotation area) ที่ได้เกิดขึ้น และผลกระทบที่เฉพาะเจาะจงของไอออนฟลูออไรด์ของสารปรับสภาพ จากที่ได้มีการกระตุ้นในเรื่องของการลอยทั้งในส่วนสารเคลือบผิวประจุบวกและสารเคลือบผิวประจุลบ ที่บ่งชี้ได้ว่าการดูดซับที่มากและไม่เฉพาะเจาะจงของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวของแร่ธาตุเหล่านี้ทำให้เกิดการลอยได้ ทั้งนี้แล้วความสามารถในการลอยตามธรรมชาติของแร่ธาตุนี้ได้มีการแสดงเอาไว้ในแนวทางปฏิบัติในเรื่องของการสาริตการลอย เมื่อเราได้มีการใช้สารเคลือบฟอง (Frothers) ที่เพียงพอทำให้เกิดการลอยที่ดีที่สุด

แนวทางปฏิบัติในเรื่องการลอยพร้อมกับแร่ไมก้า นี้ได้มีความแตกต่างกันในระดับที่น้อยระหว่าง โครงสร้างสายแร่ชนิดเดียวกันของแร่กลุ่มนี้ ที่ได้นำมาทดสอบ และคุณสมบัติการลอยแร่ไมก้าได้มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ Warren Spring ที่ได้แสดงให้เห็นความเหมือนกัน เมื่อสารเคลือบผิวประจุบวกได้มีการนำมาใช้ และพื้นที่ขนาดใหญ่ของการลอยกับไอออนบวก พร้อมกับความไวที่เล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงในค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ได้มีการสะท้อนให้เห็นถึงรูปแบบของการยึดของ sheets แต่ละอัน ที่มีต่อกันและกัน และในกรณีของแร่ไมก้านี้ การยึดเหนี่ยวได้เป็นแบบ ionic ผ่านการประสานกันของ 12 fold coordination พร้อมไอออนของแร่อัลคาไลน์ ทั้งนี้แล้วเนื่องจากการมีพันธะที่อ่อน ทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนเหล่านี้เกิดขึ้นและ ประจุลบที่สูงจะมีการสร้างขึ้นบนพื้นผิวเมื่อแร่ได้มีการตัดเล็ม และได้เข้าไปสู่การดูดซับที่ดีของสารเคลือบผิวประจุบวก

ทั้งนี้แล้วพื้นที่ของการลอยจะต่ำมาเมื่อมีการใช้สารเคลือบผิวประจุบวก พร้อมกับการที่แร่ไมก้า ได้เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขของความเป็นกรดเป็นด่างที่จำกัด และสิ่งเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นการทำงานของ multivalent ไอออนประจุบวก ส่วนการเคลื่อนที่ของไอออนของแร่อัลคาไลน์นี้ได้แสดงพันธะระหว่าง Mica sheet แต่ละอันที่ทำให้มีการแทนที่ เพื่อมีการดำเนินกระบวนการต่อไปด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งสนับสนุนปฏิกิริยานี้

การเพิ่มขึ้นใน Chlorite type ของ Sheet silicate ของอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมต่อซิลิกอนภายในโครงสร้าง Silicate Sheets ได้ทำให้เกิดประจุไอออนที่เพียงพอในการทำให้เกิดการจัดการเชื่อมโยงกันในเรื่องของพันธะระหว่าง Mica sheets และในกลุ่มของแร่ธาตุนี้กลไกการเชื่อมโยงกันได้เกิดขึ้นผ่าน Brucite type layer ในหนึ่งส่วนสามของแมกนีเซียมไอออน ที่ได้มี Trivalent aluminium ions ในการให้เกิดขึ้นประจุบวก $[Mg_2 Al(OH)_6]^+$ การแยกตัว (cleavage) ของแร่ธาตุเหล่านี้ได้เกี่ยวข้องกับการแยกพันธะระหว่าง silicate layers และ Brucite

ดังนั้นมีผลให้เกิดการปล่อยประจุเอาไว้บนพื้นผิวใหม่ที่สร้างขึ้น และด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสม ทั้งสารเคลือบผิวประจุบวกและสารเคลือบผิวประจุลบ ทำให้มีความพร้อมในการดูดซับและเป็นผลทำให้เกิดพื้นที่ของการลอยขนาดใหญ่พร้อมกับกลุ่มแร่ของ chlorite

Framework silicates

คุณสมบัติในเรื่องของการลอยของ Framework silicates พร้อมกับสารเคลือบผิวประจุบวกและประจุลบ ที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่สอดคล้องอยู่มากๆ และด้วยการลอยของสารเคลือบผิวประจุลบ ไม่ได้มีการทดลองการลอยพบในแร่ธาตุในกลุ่มนี้ แต่สำหรับสารเคลือบผิวประจุบวกของแร่ธาตุทั้งหมดในกลุ่มนี้ได้พบว่ามีหลากหลายระหว่างการลอยที่ดี และการลอยที่ดีมากในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างแบบต่างๆ

ความสามารถในการลอย (Floatability) ของกลุ่มแร่ซิลิเกตที่ได้มีการศึกษาเอาไว้มานานแล้ว ตั้งแต่ปี 1934 โดย Patek ทั้งนี้แล้วเขาได้มีการพิจารณามุมสัมผัสมันระหว่างแร่ซิลิเกตที่หลากหลายและสารละลายที่ประกอบด้วย 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสารละลายโซเดียม โอลิเอต (Sodium oleate) พร้อมกับการใช้ 200 มิลลิกรัม ต่อลิตรของ Terpeneol และได้มีการวางแร่ธาตุเหล่านี้ในลำดับของความสามารถของการลอยที่สัมพันธ์กัน และในตารางที่ 1.6 เราพบว่าแร่ธาตุที่เขาได้มีการศึกษาได้มีการแสดงเอาไว้ในลำดับของขอบเขตของมุมสัมผัสที่ตัวประสานของของแข็งและสารละลาย ทั้งนี้แล้วการจัดกลุ่มของกลุ่มโครงสร้างซิลิเกตได้มีการพิจารณาพร้อมกับอัตราส่วนของออกซิเจนและซิลิคอนที่ได้พบเอาไว้ในคลาสเหล่านี้และท้ายที่สุดได้เกี่ยวข้องกับความสามารถในการลอยของ Patek ทั้งนี้มันได้เห็นแล้ว ถึงความพิเศษของแร่ธาตุเหล่านี้ที่ได้มีความสัมพันธ์ให้เห็นระหว่าง ลำดับของมุมสัมผัสและอัตราส่วนของธาตุออกซิเจนและธาตุซิลิคอน โดยที่อัตราส่วนเหล่านี้ได้มีการประเมินระดับของความซับซ้อนของโครงสร้างแร่ซิลิเกต ทั้งนี้มันได้มีการยอมรับได้ว่ามุมสัมผัสนี้ไม่ได้จำเป็นในเรื่องของการประเมินที่ถูกต้องเกี่ยวกับภาวะที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) นี้

ปัจจัยอื่นๆในเรื่องของความขรุขระของพื้นผิวและความไม่บริสุทธิ์ และการประเมินมุมที่นำมาใช้ในการพิจารณาด้วย อย่างไรก็ตามแล้วหากว่าแร่ธาตุได้มีการจัดกลุ่มแยกประเภทตามระดับของความซับซ้อนของโครงสร้างซิลิเกตของมัน มันจะเห็นได้ว่า Orthosilicates ได้มีระดับของการลอยที่สูง ในขณะที่ Framework silicates จะมีการลอยอย่างแย้ ทั้งนี้แล้วจำนวนได้มีการทดสอบจากคลาสต่างๆ พบว่าน้อยเกินไปในการที่จะสัมพันธ์ลงไปลำดับที่เฉพาะเจาะจง แต่ความสามารถในเรื่องของการลอยได้เกิดขึ้นโดยอยู่ระหว่าง Orthosilicates และ Framework silicates

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงเอาไว้ในหมวดนี้มันอาจจะสรุปได้ว่า มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างคุณสมบัติในเรื่องของการลอยของแร่ซิลิเกตและโครงสร้างของแร่กลุ่มซิลิเกตนี้

ความสัมพันธ์ได้มีการเกิดขึ้นพร้อมกับ Sheet silicate class ที่ขึ้นอยู่กับระบบการยึดติดกันของ Sheet หนึ่งไปยังอีกอัน และมันได้กลายมาเป็น Ionic มากขึ้นในลักษณะของมันและการดูดซับของพื้นผิวที่มีประจุตรงกันข้ามที่มีลักษณะถูกกระตุ้นให้เพิ่มขึ้นพร้อมกับการลอย

จากการพิจารณาเรื่องของการลอยได้เป็นข้อสรุปสำหรับกลุ่มแร่ซิลิเกตโครงสร้าง Orthosilicates , Pyroxene , Amphiboles , และ Framework silicates ที่ได้เห็นว่ามีความเพียง

Orthosilicate ได้มีการลอยพร้อมกับสารเคลือบผิวประจุลบ ทั้งนี้แล้ว Pyroxene ได้มีการลอยพร้อมกับสารเคลือบผิวประจุลบเหล่านี้ ในบางกรณีแต่มันไม่ได้มีการลอยของ Amphiboles หรือ Framework silicates ทั้งนี้แล้วในเรื่องคุณลักษณะการลอยของแร่ซิลิเกต พร้อมกับ สารเคลือบผิวประจุบวก ได้เป็นส่วนกลับกับ Orthosilicates และ Pyroxenes ที่ได้มีพื้นที่ขนาดเล็กกว่าของการลอยน้อยกว่า Amphiboles และ Framework silicates ทั้งนี้แล้วในเรื่องของความไวของพื้นที่การลอยที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างเมื่อได้มีการใช้สารเคลือบผิวประจุบวก และลดลงเมื่อโครงสร้างของแร่ที่ซับซ้อนมากขึ้น ทั้งนี้แล้วเกือบทั้งหมดของ Orthosilicates และ Pyroxene ได้มีการศึกษาแล้วพบเรื่องข้อจำกัดที่เป็นต่างที่เหมือนกันกับพื้นที่ของการลอยและข้อเท็จจริงได้มีการอภิปรายเอาไว้ในที่อื่นๆ เช่นงานวิจัยของ Fuerstenau, M.C. (1966)

ในการลอยแร่ที่จำพวกซิลิเกตนั้นมีความสัมพันธ์กับไอออนของฟลูออไรด์ กล่าวคือ เมื่อไอออนของฟลูออไรด์อยู่ในการลอยแร่ที่ระบบสร้างประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนใหญ่ ไอออนฟลูออไรด์จะแสดงตัวเป็นตัวกด (Depressant) และถ้าอยู่ในการลอยแร่ที่ระบบเป็นประจุไฟฟ้าบวก จะแสดงตัวเป็นตัวกระตุ้น (Activator) โดยที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ ไอออนของฟลูออไรด์จะมีผลต่อ แร่ซิลิเกต โครงสร้างแบบ Orthosilicates และมีผลน้อยลงต่อแร่ซิลิเกตโครงสร้าง Pyroxenes และ Amphiboles และส่งผลหลากหลายต่อแร่โครงสร้าง Framework silicates แสดงผลตามตารางที่ 1.3 ดังนี้

ตารางที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างต่างๆของแร่ซิลิเกตต่อคุณสมบัติการลอยแร่ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีไอออนของฟลูออไรด์

Conditions	Silicate Class			
	Orthosilicates	Pyroxene	Amphibole	Framework silicates
Anionic collector No Fluoride	Good	Poor	Nil	Nil
Cationic collector No Fluoride	Mediocre (Sensitive to pH change)		Good (None sensitive to pH change)	Very good
Anionic collector	Poor (Depression)	Very poor (Depression)	Nil	Nil

With Fluoride				
Cationic collector	Mediocre (Activation)	(Little effect)	Good (Slight activation)	Very good
With Fluoride				

เหตุผลที่ความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่างของแร่ซิลิเกตที่มีผลต่อคุณสมบัติของการลอยสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างของแร่ซิลิเกต ระหว่างโครงสร้าง Orthosilicates และ Framework silicates ด้วยความแตกต่างของโครงสร้างทั้งสองประเภทนี้ ส่งผลทำให้การแตกตัวของโครงสร้างแร่เมื่ออยู่ในสารละลาย การแตกตัวของโครงสร้างคริสตัล (Crystals) ในโครงสร้าง Orthosilicates ทำให้ไอออนบวกของแร่ในโครงสร้างนี้ ยกตัวอย่างเช่น ไอออนของ Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} และ Mn^{2+} เป็นต้น จะแตกตัวออกเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานที่สูงเพียงพอ และจะถูกน้ำยาเคลือบผิวที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้าม (ประจุลบ) ดูดซับได้ง่าย ส่วนการแตกตัวของโครงสร้างสี่เหลี่ยมของ Tetrahedral ของ $[SiO_4]^{4-}$ เนื่องจากพันธะระหว่างออกซิเจนและซิลิคอน จะมีเพียงเล็กน้อยสำหรับโครงสร้างประเภทนี้ ส่วนในโครงสร้างแบบ Framework silicates ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกาะกันอย่างเหนียวแน่นจนไม่มีทางที่โครงสร้างจะแยกตัวออกจากกันได้ทั้งการแยกตัวของพันธะออกซิเจนและซิลิคอน และพันธะของอลูมิเนียมกับออกซิเจน แต่จะมีเพียงแค่อิออนของไฮโดรเจน (H^+) ที่แตกตัวออกไปดังนี้ $SiOH \rightarrow SiO^-$ ซึ่งส่งผลให้ผิวแร่พร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิวประจุบวกเช่น เกลือของเอมีน ทั้งนี้สถานะของประจุไฟฟ้าบนผิวแร่สามารถบ่งบอกถึงค่าของประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์ที่ค่า pH หนึ่งๆ ซึ่งไอออนของไฮโดรเจน (H^+) และไอออนของออกซิเจน (OH^-) สามารถเป็นตัวบ่งชี้ค่าประจุไฟฟ้าลัทธินั้นได้ จากการพิจารณาข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า โครงสร้างแร่แบบ Orthosilicates เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย ผิวแร่จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ส่วนแร่โครงสร้าง Framework silicates เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย ผิวแร่จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และเมื่อพิจารณาค่า z. p. c. ของแร่โครงสร้าง Orthosilicates จะอยู่ระหว่างค่า pH 5.0 – 6.0 ส่วนแร่โครงสร้าง Framework silicates จะมีค่า z. p. c. อยู่ระหว่างค่า pH 1.0 – 2.0

เมื่อก้าวถึงแร่ซิลิเกตโครงสร้าง Pyroxene และ โครงสร้าง Amphibole ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่ากลุ่มโครงสร้าง Orthosilicates ซึ่งแร่กลุ่มนี้จะมีการแตกตัวของพันธะระหว่างออกซิเจนและซิลิคอนมากขึ้นตามจำนวนโครงสร้าง ทำให้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย ผิวแร่จะแตกตัวให้ประจุไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งแร่ประเภทนี้จะไม่เกาะติดกับสารเคลือบผิวประจุลบ แต่จะเกาะติดกับสารเคลือบผิวประจุบวกได้ดีกว่า และเมื่อพิจารณาค่า z. p. c. ของแร่โครงสร้าง Pyroxene จะอยู่ระหว่างค่า pH 3.0 – 4.0 ส่วนแร่โครงสร้าง Amphibole จะมีค่า z. p. c. อยู่ระหว่างค่า pH 2.0 – 3.0

Malghan S.G. (1976) ได้ทำการวิจัยแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยไม่ใช้กรดกัดแก้ว ในการปรับสภาพผิวแร่เฟลด์สปาร์ โดยเปลี่ยนจากกรดกัดแก้ว เป็นน้ำยา Duomeen TDO (ชื่อทางการค้า) ซึ่งจากโครงสร้างนั้นเป็นสารประกอบในกลุ่มของเอมีนได้จากกรดไขมันสัตว์ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งหน้าที่ของน้ำยา Duomeen TDO จะไปจับกับอนุภาคของแร่เฟลด์สปาร์และกดอนุภาคของแร่ควอตซ์ ทั้งนี้จุดประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อแก้ปัญหาไอออนของฟลูออไรด์ที่เป็นปัญหาต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1.4 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหัวแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้กรดกัดแก้ว

Product	%Weight	%K ₂ O	%Na ₂ O	%CaO	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%DTA
Feldspar	52.9	5.1	6.9	1.23	20.0	0.059	99.50
Quartz, Tails	19.8	0.04	0.07	0.02	0.55	0.030	0.37
Cleaner, Tails	2.6	0.13	0.17	0.06	0.84	0.041	0.13
Mica	9.7	-	-	-	-	-	-
Iron	1.0	-	-	-	-	-	-
Slimes -400 MESH	10.4	-	-	-	-	-	-
+30 MESH	3.6	-	-	-	-	-	-
Total	100	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 1.5 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหัวแร่เฟลด์สปาร์โดยใช้ Duomeen TDO

Product	%Weight	%K ₂ O	%Na ₂ O	%CaO	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%DTA
Feldspar	52.53	4.9	7.0	1.28	19.9	0.054	98.97
Quartz, Tails	18.01	0.11	0.15	0.03	0.87	0.032	0.75
Cleaner, Tails	3.07	0.25	0.33	0.06	1.2	0.040	0.28
Mica	6.54	-	-	-	-	-	-
Iron	7.58	-	-	-	-	-	-
Slimes -400 MESH	8.50	-	-	-	-	-	-
+30 MESH	3.78	-	-	-	-	-	-
Total	100	-	-	-	-	-	-

จากตารางที่ 1.4 และ ตารางที่ 1.5 คือผลที่ได้จากการทดลองลอยแร่เฟลด์สปาร์ด้วยการเปลี่ยนน้ำยาโดยไม่ใช้กรดกัดแก้ว คือได้หัวแร่เฟลด์สปาร์ที่ 52.53% โดยน้ำหนักและหัวแร่ควอตซ์ 18.01% โดยน้ำหนักใกล้เคียงกับการลอยแร่ที่ใช้กรดกัดแก้ว ซึ่งเป็นวิธีเดิมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้น้ำหนักของหัวแร่เฟลด์สปาร์ที่ 52.9% โดยน้ำหนัก และหัวแร่ควอตซ์ 19.8% โดยน้ำหนัก

ได้ศึกษาพื้นฐานกลไกการลอยแร่เฟลด์สปาร์ โดยส่วนใหญ่จะต้องตระหนักถึงกลไกการทำงานของฟลูออไรด์ไอออนที่มีผลต่อการกระตุ้นแร่เฟลด์สปาร์ในสภาวะกรด เนื่องจากฟลูออไรด์ไอออนแตกตัวจากกรดกัดแก้ว แล้วไปทำปฏิกิริยากับแร่เฟลด์สปาร์ ทำให้เกิดไอออนของฟลูออซิลิเกต (SiF₆²⁻) ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกับ Manser (1975) พบว่าไอออนของฟลูออไรด์จะเป็นตัวกระตุ้นต่อกลุ่มแร่โครงสร้างเฟรมเวิร์คซิลิเกต (Framework Silicates) ยกเว้นแร่ควอตซ์จะไม่ถูกกระตุ้น ซึ่งผลการวิจัยตรงกับ Warren et al. (1972) เขาวิจัยหาค่าศักย์ไฟฟ้าของแร่ไมโครไคลน์และแร่ควอตซ์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และพบว่าเมื่อใช้กรดกัดแก้วในการปรับสภาวะที่ pH 3.0 พบว่าแร่ไมโครไคลน์มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นประจุลบมากขึ้น ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแร่ควอตซ์นั้นไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อใช้กรดกัดแก้วและกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสรุปว่าไอออนฟลูออไรด์ทำหน้าที่ไปกด (Depress) แร่ควอตซ์และกระตุ้น (Activate) แร่เฟลด์สปาร์ เมื่อใช้ร่วมกับสารเคลือบผิวประจุบวก เช่น เอมีน จะส่งผลทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแร่ควอตซ์เป็นบวกมากขึ้นและแร่เฟลด์สปาร์มีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบมากขึ้น ทำให้การลอยแร่เฟลด์สปาร์นั้นมีประสิทธิภาพ

มาก เนื่องจากค่าความต่างศักย์ที่แตกต่างกันของแร่ทั้งสอง ทำให้สารเคลือบผิวสามารถทำหน้าที่ไปติดกับผิวแร่ที่ต่างชนิดได้อย่างง่ายดาย

Petak J. M. (1934) ได้ศึกษาเกี่ยวกับมุมสัมผัสของแร่กลุ่มซิลิเกตโครงสร้างต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถของการลอยแร่ ซึ่งการทดลองระหว่างแร่ซิลิเกตกับสารละลายโซเดียมโอเลต (Sodium oleate) ปริมาณ 500 mg/l และสารเคลือบฟอง (Terpineol) ปริมาณ 200 mg/l โดยการทดลองได้แสดงผลค่าของมุมสัมผัสของแร่แต่ละโครงสร้าง รวมถึงอัตราส่วนของออกซิเจนต่อซิลิคอนไว้ในตารางที่ 1.6 จากตารางพบว่ากลุ่มแร่โครงสร้าง Orthosilicates จะลอยได้ดีที่สุดและกลุ่มแร่โครงสร้าง Framework silicates จะมีความสามารถในการลอยได้น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเพียงแค่มุมสัมผัส

ตารางที่ 1.6 ค่ามุมสัมผัสของกลุ่มแร่ซิลิเกตต่างๆ (Petak 1934)

Mineral	Contact	Structure	Group	O : Si Ratio
Zircon	56°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Almandite	54°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Cyanite	51°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Topaz	50°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Olivine	50°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Rhodonite	49°	Pyroxene	Si ₂ O ₆	3
Augite	48°	Pyroxene	Si ₂ O ₆	3
Tourmaline	47°	Ring silicates	Si ₆ O ₁₈	3
Spodumene	45°	Pyroxene	Si ₂ O ₆	3
Tremolite	43°	Amphibole	Si ₈ O ₂₂	2.75
Biotite	34°	Sheet silicates	Si ₄ O ₁₁	2.75
Muscovite	31°	Sheet silicates	Si ₄ O ₁₁	2.75
Albite	30°	Framework silicates	SiO ₂	2
Nephelite	23°	Framework silicates	SiO ₂	2
Quartz	21°	Framework silicates	SiO ₂	2

Orthoclase	20°	Framework silicates	SiO ₂	2
------------	-----	---------------------	------------------	---

Fuerstenau M.C. (1985) ได้วิจัยหาค่าจุดประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ของแร่เฟลด์สปาร์ประเภทต่างๆ แสดงผลตามตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 ค่าประจุลัพท์เป็นศูนย์ของแร่เฟลด์สปาร์ ประเภทต่างๆ

Mineral	Chemical formula	Point of Zero Charge
Microcline	KAl(Si ₃ O ₈)	pH 1.9, 1.7, 1.8
Orthoclase	KAl(Si ₃ O ₈)	pH 1.7, 1.4
Sanidine	KAl(Si ₃ O ₈)	pH 1.7
Albite	NaAl(Si ₃ O ₈)	pH 1.9, 2.3
Anorthite	CaAl(Si ₃ O ₈)	pH 2.4, 2.0, 3.6
Oligoclase	Na, Ca Feldspar	pH 1.5
Anorthoclase	(K, Na) Al(Si ₃ O ₈)	pH 1.6
Microcline	KAl(Si ₃ O ₈)	pH 2.2, 1.8, 1.4, 2.3

สำหรับผลการหาค่าประจุไฟฟ้าลัพท์ของแร่เฟลด์สปาร์ประเภทต่างๆ จะสามารถเป็นแนวทางในการทดลองลอยแร่เฟลด์สปาร์ และเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงในขั้นตอนการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ ต่อไป

Jacob H. M. & Subir B. (2006) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์เชิงคอลลอยด์ (Colloid) ของอนุภาค ซึ่งคอลลอยด์เป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก มีขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 1 นาโนเมตร อนุภาคคอลลอยด์มักกระจายอยู่ในตัวกลางโดยมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลหรือไอออนของสารละลาย (Solution) แต่เล็กกว่าสารแขวนลอย (Suspension) ทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อนุภาคคอลลอยด์แบ่งย่อยออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสที่ถูกแพร่กระจาย (Dispersed phase) ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส กระจายตัวทั่วไปอย่างต่อเนื่องในเฟสที่เป็นตัวกลาง (Continuous phase) ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในตารางที่ 1.8 แสดงตัวอย่างระบบคอลลอยด์ที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป

ตารางที่ 1.8 ประเภทของระบบคอลลอยด์

Example	Class	Dispersed phase	Continuous phase
Fog, mist, tobacco smoke, sprays	Liquid aerosol	Liquid	Gas
Industrial smokes	Solid aerosol	Solid	Gas
Froths, foams	Foam	Gas	Liquid
Meerschaum, expanded plastic	Solid Foam	Gas	Solid
Milk, butter, mayonnaise, asphalt	Emulsion	Liquid	Liquid
Clay slurries, toothpaste, muds	Paste	Solid	Liquid
Opal, pearl, stained glass, pigmented plastics	Solid dispersion	Solid	Solid
Inorganic colloids, paints	Colloidal	Solid	Liquid
Jellies, glue	Gel	Macromolecule	Solvent
Water soap, water detergents, dye solutions	Micelles solution	Micelles	Solvent

ปรากฏการณ์เชิงคอลลอยด์ของอนุภาคที่สำคัญ ได้แก่ ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect) การเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian movement) และสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties) ซึ่งในกลไกของการลอยเร้นั้น สมบัติทางไฟฟ้า เป็นสมบัติที่สำคัญที่นำมาใช้อย่างแพร่หลาย พบว่าที่ผิวอนุภาคเร้นจะมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ ประจุเหล่านี้สำคัญมากสำหรับการเลือกสารเคลือบผิวเร้นที่จะนำมาใช้ดูดแนบกับผิวเร้น (Adsorption) ซึ่งการดูดแนบของโมเลกุลสารประกอบอินทรีย์บนอนุภาคของแข็งหรือผิวเร้น เป็นการเกาะกันของโมเลกุลของตัวถูกดูดแนบบนผิวอนุภาค ซึ่งเป็นตัวดูดแนบ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ การดูดแนบทางเคมี (Chemical Adsorption)

และการดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical Adsorption) ทั้งนี้สามารถจำแนกข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางฟิสิกส์ ตามตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.9 จำแนกข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางฟิสิกส์และการดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางฟิสิกส์	การดูดซับทางเคมี
<ol style="list-style-type: none"> 1. การเกาะกันด้วยแรงอย่างอ่อน ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force), พันธะไฮโดรฟอบิก (Hydrophobic bonding), พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) 2. การดูดซับซ้อนกันหลายๆชั้น (Multi - layer) ทำให้เกาะกันไม่แข็งแรง มั่นคง หลุดจากกันง่าย 3. อัตราเร็วของการดูดซับสูง 4. การเลือกดูดแบบเจาะจง (Selectivity) ต่ำ 5. การดูดซับกลับไปกลับมา (Reversible) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. การเกาะกันด้วยแรงทางเคมี ได้แก่ พันธะโคเวเลนต์ (Covalent bond) เป็นหลัก ส่วนแรงทางไฟฟ้าสถิตมีผลน้อยมาก 2. การดูดซับชั้นเดียว (Mono - layer) ทำให้การเกาะมีอนุภาคแข็งแรงและแยกหลุดจากกันได้ยาก 3. อัตราเร็วของการดูดซับต่ำ 4. การเลือกดูดแบบเจาะจง (Selectivity) สูง 5. ไม่ดูดกลับไปกลับมา (Irreversible) 6. มีการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในการดูดซับสูง 7. ถ้ามีปริมาณมากสามารถเปลี่ยนประจุของค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาได้

ส่วนที่อธิบายเพิ่มเติมคือ เมื่อลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์มักใช้สารเคลือบผิวประจุบวก เช่น เอมีน เป็นต้น พบว่าเอมีนสามารถดูดซับกับผิวแร่ด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตและอัตรกิริยาระหว่างโซ่ไฮโดรคาร์บอน (Chain - Chain Interaction) กล่าวคือเอมีนสามารถแตกตัวในน้ำแล้วหันขั้วประจุบวกไปเกาะติดผิวแร่ที่มีประจุลบ เมื่อเกาะติดแล้วจะหันหางซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนออกโดยหางจะเป็นประจุที่ไม่มีขั้ว ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างรุนแรง ทำให้ผิวแร่ไม่เปียกน้ำและลอยน้ำได้เมื่อเติมฟองอากาศจึงสามารถลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้

Jacob H. M. & Subir B. (2006) ได้ศึกษาปรากฏการณ์จลนพลศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic Phenomena) เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า (Electrical Phenomena) ซึ่งแสดงออกเป็น 4 ปรากฏการณ์ดังนี้

1. Electrophoresis คือปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสารละลาย ที่มีการกำหนดประจุไฟฟ้าลัทธิตามอิทธิพลของสนามไฟฟ้า
2. Sedimentation potential คือปรากฏการณ์ที่สนามไฟฟ้าทำถูกสร้างจากการเคลื่อนที่ของประจุบนผิวอนุภาคกับประจุของสนามไฟฟ้า

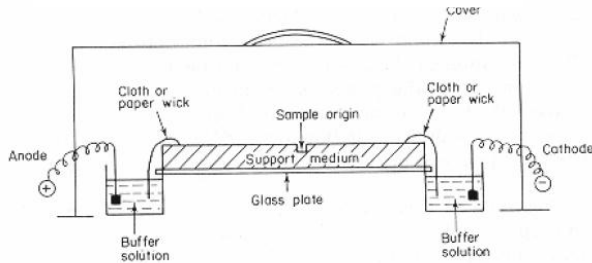
3. Streaming potential คือ สนามไฟฟ้าถูกสร้างเมื่อสารละลายถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านประจุบนผิวอนุภาค
4. Electro osmosis คือ การเคลื่อนที่ของสารละลายผ่านตัวกลางที่มีรูพรุนภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า ค่าความดันมีผลทำให้การไหลเกิดการสมดุลตรงข้ามกับ Streaming potential

ซึ่งในการลอยแร่ นั้นปรากฏการณ์ Electrophoresis ได้ถูกพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางมากกว่าปรากฏการณ์อื่นๆ และได้พัฒนาไปใช้ในงานหลากหลายรูปแบบ แสดงตามตารางที่ 1.10 และรูปที่ 1.12 ส่วน Streaming potential และ Electro osmosis มีการวิจัยและใช้ในวงจำกัด และ Sedimentation potential มีขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อนจึงมีการพัฒนามาใช้งานน้อยมาก

ตารางที่ 1.10 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยวิธีการจลนพลศาสตร์ไฟฟ้า (Jacob H. M., 2006)

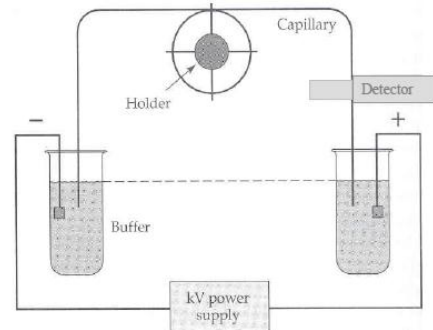
Technique	Measurement	What Moves	What Causes Movement
Electrophoresis	Velocity	Particles move	Applied electric field
Electro osmosis	Velocity	Liquid moves in capillary	Applied electric field
Streaming Potential	Potential	Liquid moves	Pressure gradient
Sedimentation Potential	Potential	Particles move	Gravity

Zone Electrophoresis (1950)

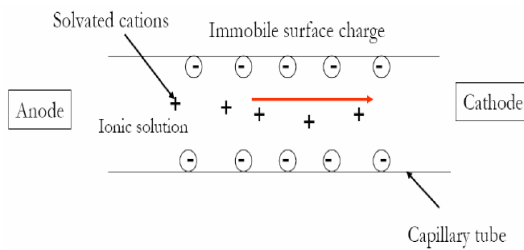


support media: filter paper; cellulose acetate;
gel media: starch gels; polyacrylamide gels;
agarose gels; polyacrylamide-agarose gels

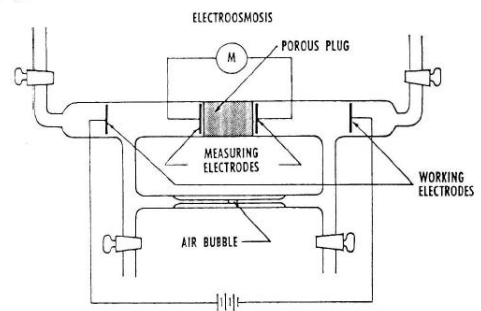
Schematic of capillary electrophoresis



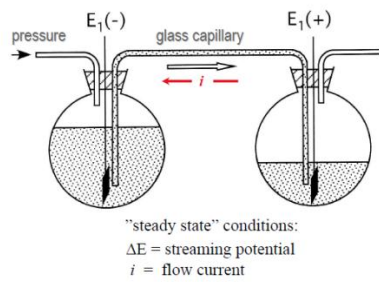
Electro Osmosis movement



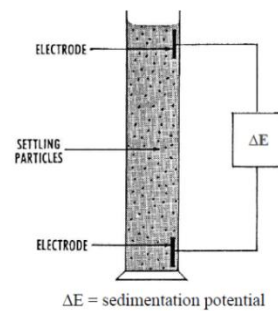
Electro Osmosis



Streaming potential



Sedimentation potential



รูปที่ 1.12 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยวิธีการจนพลศาสตร์ไฟฟ้าแบบต่างๆ (Jacob H.M 2006)

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของอนุภาคแรงแผ่นิยมนำใช้กันอย่างมากมาย คือ การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบการเคลื่อนเข้าสู่ขั้วไฟฟ้า (Electrophoresis) ซึ่งใช้การเคลื่อนที่ของศักย์ไฟฟ้าแก่อนุภาคที่แขวนลอยเจือจางอยู่ในของผสม โดยอนุภาคแรงแผ่นจะมีประจุไฟฟ้าส่วนเกินอยู่ ส่งผลให้อนุภาคแรงแผ่นเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุไฟฟ้าบนผิวแรงแผ่นด้วยความเร็วที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุไฟฟ้าสะสมบนอนุภาคแรงแผ่นนั้นๆ โดยสามารถวัดความเร็วของการเคลื่อนที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) พบว่าอนุภาคและสารละลายที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับขั้วไฟฟ้า จะถูกดึงดูดเข้าหาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม การเคลื่อนที่ของอนุภาคและสารละลายนี้จะถูกต้านด้วยแรงหนืดของของเหลว ที่สภาวะสมดุลแรงทางไฟฟ้าจะเท่ากับแรงเนื่องจากความหนืด ดังนั้นจะสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาได้จากสมการของ Smoluchowski ดังนี้คือ

$$\zeta = 4\pi\mu v / (\epsilon X) \quad (1.1)$$

หรือ
$$\zeta = 4\pi\mu EM \quad (1.2)$$

โดยที่ ζ = ศักย์ไฟฟ้าซีตา (V)

μ = ความหนืดของของผสม (Poise, g/cm-sec)

X = ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน

V = ความเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ (cm/sec)

EM = ความเร็วของอนุภาคคอลลอยด์ในสนามไฟฟ้า (Electricphoretic Mobility)

($\mu\text{m} / \text{sec per V/cm}$)

ϵ = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ของสารละลาย

เนื่องจากกรดกัดแก้ว (Hydrofluoric Acid, HF) ที่ใช้ในการล่อยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ จะทำหน้าที่เป็นตัวกัด (Depressant) แร่ควอตซ์ไม่เข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิวแรงแผ่นเอมีน (Amine) อีกทั้งยังเป็นตัวกระตุ้น (Activator) แร่เฟลด์สปาร์ให้สามารถดูดซับ (Adsorption) น้ำยาเอมีนได้ดีขึ้น เนื่องจากน้ำยาเอมีนมีประจุเป็นบวก และผิวแรงแผ่นเฟลด์สปาร์มีประจุเป็นลบ ทำให้แร่เฟลด์สปาร์มีคุณสมบัติที่ไม่เปียกน้ำ หรือที่เรียกว่า Hydrophobic ซึ่งจะทำให้แร่เฟลด์สปาร์นั้นแยกจากแร่ควอตซ์แล้วลอยขึ้นมากับฟองอากาศ

การที่จะล่อยแร่โดยที่ไม่ใช้กรดกัดแก้วนั้นนับว่าเป็นเรื่องทีละเสียดอ่อนเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น หากจะหาน้ำยามาใช้แทนกรดกัดแก้ว จะต้องมึคุณสมบัติใกล้เคียงกันแต่ต้องไม่ทำอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม หรือถ้าเป็นน้ำยาที่ไม่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกรดกัดแก้ว ก็ต้องเปลี่ยนชนิดของสารเคลือบผิวแล้วใช้น้ำยาปรับค่า pH ตัวใหม่ ที่ไม่ใช้กรดกัดแก้วและสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิวตัวใหม่นี้ได้อย่างลงตัว โดยที่การล่อยแร่ยังมีประสิทธิภาพในการเก็บแร่ได้ (%Recovery) ใกล้เคียงหรือมากกว่าวิธีเดิม

สำหรับการวิจัยนี้จะทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพของแร่เฟลด์สปาร์แหล่งทุ่งกระเซาะ จังหวัดตาก โดยไม่ใช้กรดกัดแก้ว จากการศึกษางานวิจัยต่างๆมาแล้วข้างต้น แล้วนำหลักการและวิธีการมาประยุกต์และศึกษาทดลองเปรียบเทียบว่า วิธีไหนดีและเหมาะสมมากที่สุด เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเฟลด์สปาร์ในประเทศไทยต่อไป โดยในการวิจัยนี้ได้มีการใช้กรดซัลฟิวริก แทนการใช้กรดกัดแก้วในวิธีการลอยเดิม และเพิ่มปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน และหาค่า pH และปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่ที่เหมาะสมที่สุดในการลอยแร่ และหัวแร่ที่ได้ต้องมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิคได้ด้วย



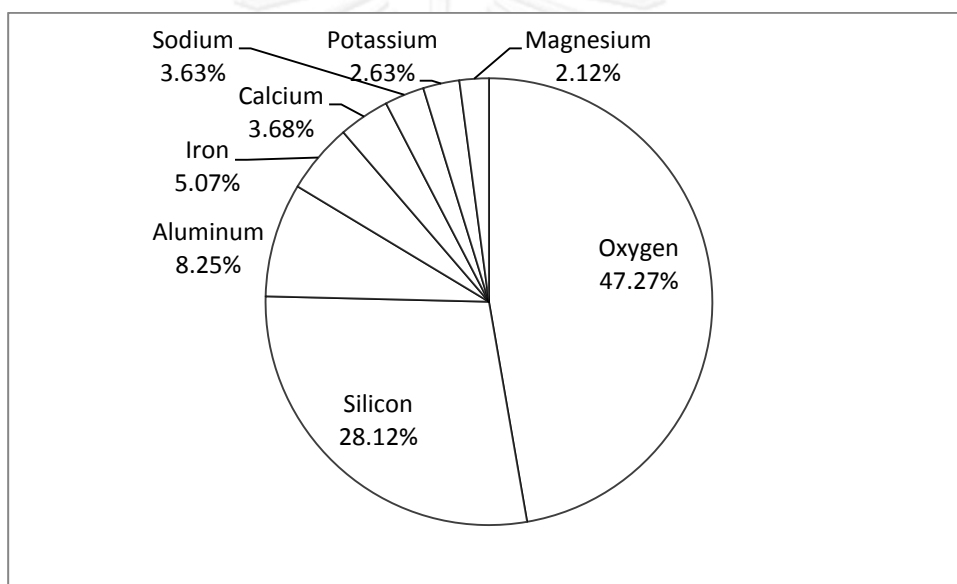
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์

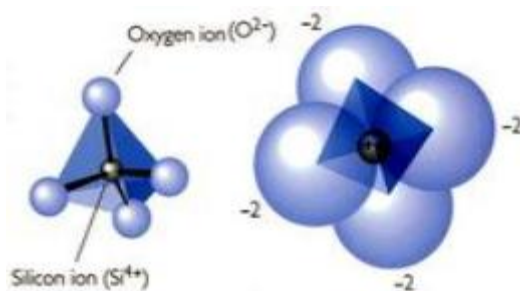
2.1 แร่เฟลด์สปาร์วิทยา

แร่เฟลด์สปาร์หรือแร่พิน้ำจัดเป็นแร่ในกลุ่มซิลิเกต (Silicate minerals) พบมากที่สุดบนเปลือกโลก รูปที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนโดยประมาณของธาตุบนเปลือกโลก โดยแร่กลุ่มซิลิเกตนั้นมีธาตุที่เป็นส่วนประกอบสำคัญคือ ซิลิคอน (Silicon) และออกซิเจน (Oxygen) นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นเกาะเกี่ยวรวมกำเนิดอยู่ด้วย เช่น อลูมิเนียม (Aluminum), เหล็ก (Iron), แมกนีเซียม (Magnesium), แคลเซียม (Calcium), โพแทสเซียม (Potassium), โซเดียม (Sodium) ฯลฯ ทำให้เกิดเป็นแร่ซิลิเกตขึ้นมาหลายในลักษณะผลึกที่แตกต่างกัน จับตัวเกาะกันจนมีโครงสร้างผลึกเฉพาะ ตั้งแต่โครงสร้างง่ายๆจนถึงซับซ้อนมาก



รูปที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ของธาตุต่างๆที่พบบนเปลือกโลก (Mason B. & Moore C. B., 1982)

โครงสร้างพื้นฐานของแร่ซิลิเกตประกอบด้วย ซิลิคอนและออกซิเจนยึดติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์-โคออร์ดิเนตที่แข็งแรงทำให้ได้ $(\text{SiO}_4)^{4-}$ เป็นรูปทรงปิรามิดประกอบด้วยสามเหลี่ยม 4 ด้านที่มีรูปร่างคงที่เรียกว่า ซิลิกาเตตระฮีดรอน (Silica Tetrahedron) โดยมีออกซิเจนจำนวน 4 อะตอมขนาดใหญ่อยู่ตรงมุมปิรามิดยึดติดกับอะตอมซิลิคอนขนาดเล็กอยู่ตรงกลางจำนวน 1 อะตอม แสดงตามรูปที่ 2.2

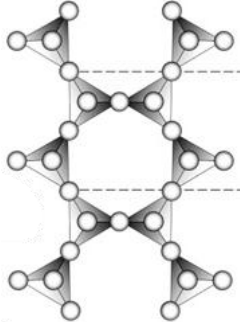
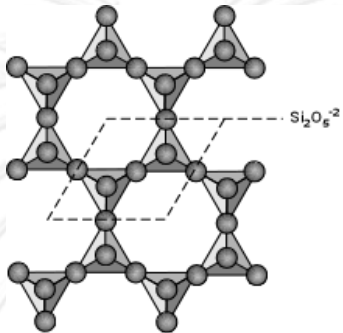
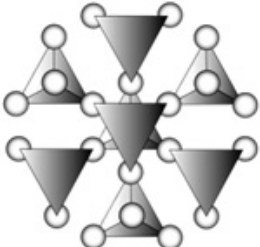


รูปที่ 2.2 โครงสร้างเตตระฮีดรอน (Klein C., 1993)

ซิลิกาเตตระฮีดรอนสามารถเกาะรวมกันเป็นโครงสร้างได้หลายรูปแบบเช่น โครงสร้างแบบเดี่ยว (Nesosilicates), โครงสร้างแบบคู่ (Inosilicates), โครงสร้างแบบวงแหวน (Cyclosilicates) ฯลฯ ดังแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มแร่ซิลิเกต (Klein C., 1993)

Class	Arrangement of SiO_4 tetrahedron (central Si^{4+} not shown)	Unit composition	Mineral example
Nesosilicates		$(\text{SiO}_4)^{4-}$	Olivine $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$
Sorosilicates		$(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$	Akermanite $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$
Cyclosilicates		$(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$	Beryl $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
Inosilicates (single-chain)		$(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$	Pyroxene e.g. Enstatite, MgSiO_3

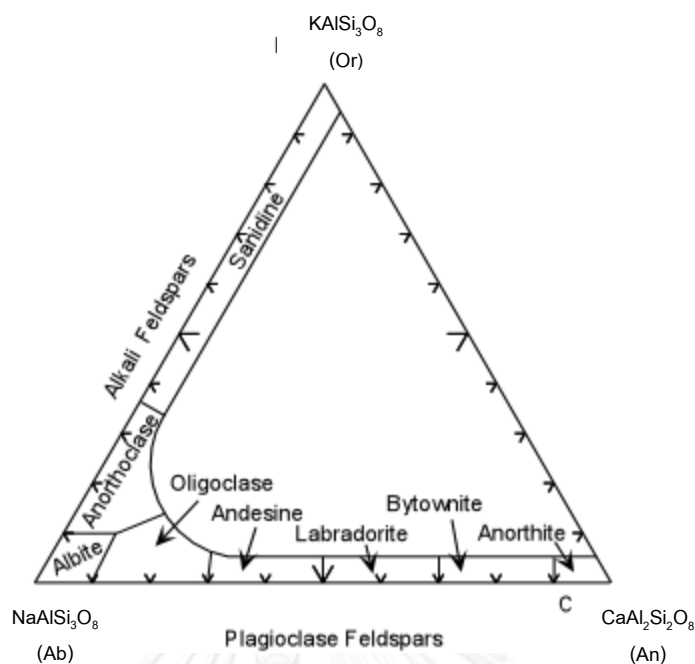
Inosilicates (double-chain)		$(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$	Amphibole e.g. Anthophyllite, $\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Phyllosilicates		$(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$	Mica e.g. Phlogopite, $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Framework silicates (Tectosilicates)		SiO_2	Feldspar e.g. Orthoclase, KAlSi_3O_8

กลุ่มแร่ซิลิเกตแบบโครงสร้าง Framework silicates หรือโครงสร้าง Tectosilicates จะมีการยึดติดกันของเตตระฮีดรอน ในอัตราส่วน Si : O เท่ากับ 1 : 2 ซึ่งทำให้โครงสร้าง SiO_2 มีประจุเป็นกลาง จึงไม่มีอะตอมของธาตุอื่นมาแทรกได้ แร่โครงสร้างแบบนี้จึงเสถียรที่สุด แต่ถ้ามีอะตอมอะลูมิเนียม (Al^{3+}) เข้ามาแทนที่ (Si^{4+}) ในอัตราส่วน 1 : 1 จะได้โครงสร้างใหม่คือ $(\text{AlSi}_3\text{O}_8)^-$ ที่มีประจุไม่เป็นกลางจึงจำเป็นต้องรับไอออนบวกของอะตอมอื่น เช่น Na^+ , K^+ เข้ามาแทนที่ทำให้เกิดกลุ่มแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, KAlSi_3O_8) ถ้าอะตอมอะลูมิเนียมเข้าแทนที่อะตอมซิลิคอนในอัตราส่วน 2 : 2 จะได้โครงสร้าง $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)^{2-}$ และจะรับไอออนบวกของอะตอม Ca^{2+} เกิดเป็นแร่อะนอร์ไทต์ ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) ตัวอย่างกลุ่มแร่ซิลิเกตแบบโครงสร้าง Framework silicates แสดงตามตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 กลุ่มแร่ซิลิเกตแบบโครงสร้าง Framework silicates (Klein C., 1993)

Group	Series	Species	Formula
SiO ₂ Group		Quartz	SiO ₂
		Tridymite	SiO ₂
		Cristobalite	SiO ₂
		Opal	SiO ₂ .nH ₂ O
Feldspar Group	K-Feldspars	Microcline	KAlSi ₃ O ₈
		Orthoclase	KAlSi ₃ O ₈
		Sanidine	KAlSi ₃ O ₈
	Plagioclase Feldspars	Albite	NaAlSi ₃ O ₈
		Anorthite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
Feldspathoid Group		Leucite	KAlSi ₂ O ₆
		Nepheline	(Na, K) AlSiO ₄
		Sodalite	Na ₈ (AlSiO ₄) ₆ Cl ₂
		Lazurite	(Na, Ca) ₈ (AlSiO ₄) ₆ (SO ₄ ,S,Cl) ₂
		Petalite	LiAlSi ₄ O ₁₀
Scapolite Group	Scapolite	Marialite	Na ₄ (AlSi ₃ O ₈) ₃ (Cl ₂ ,CO ₃ ,SO ₄)
		Meionite	Ca ₄ (Al ₂ Si ₂ O ₈) ₃ (Cl ₂ ,CO ₃ ,SO ₄)
		Analcime	NaAlSi ₂ O ₆ -H ₂ O
Zeolite Group		Natrolite	Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ -2H ₂ O
		Chabazite	CaAl ₂ Si ₄ O ₁₂ -6H ₂ O
		Heulandite	CaAl ₂ Si ₇ O ₁₈ -6H ₂ O
		Stibite	NaCa ₂ Al ₅ Si ₁₃ O ₃₆ -14H ₂ O

กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์มีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ คือ อะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของอะลูมินาในซิลิคอน นอกจากนี้ยังมีธาตุโพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม องค์ประกอบของแร่เฟลด์สปาร์จะประกอบด้วยโมเลกุลของแอลไบต์ (NaAlSi₃O₈), ออร์โทเคลส (KAlSi₃O₈) และอะนอร์ไทต์ (CaAl₂Si₂O₈) ในปริมาณต่างๆกัน แสดงเป็นระบบไตรภาค (Ternary System) ตามรูปที่ 2.3 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์หรือโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และกลุ่มแร่แพลจีโอเคลส รายละเอียดตามตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ชนิดของแร่เฟลด์สปาร์ในระบบไตรภาค (Manser R. M., 1975)

แร่เฟลด์สปาร์ทุกชนิดแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน (Good Cleavage) ในสองทิศทาง ซึ่งทำมุม 90° หรือมากกว่า 90° เล็กน้อย ความแข็งประมาณ 6 ความถ่วงจำเพาะเริ่มจาก 2.55 ถึง 2.76

2.1.1 โครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์

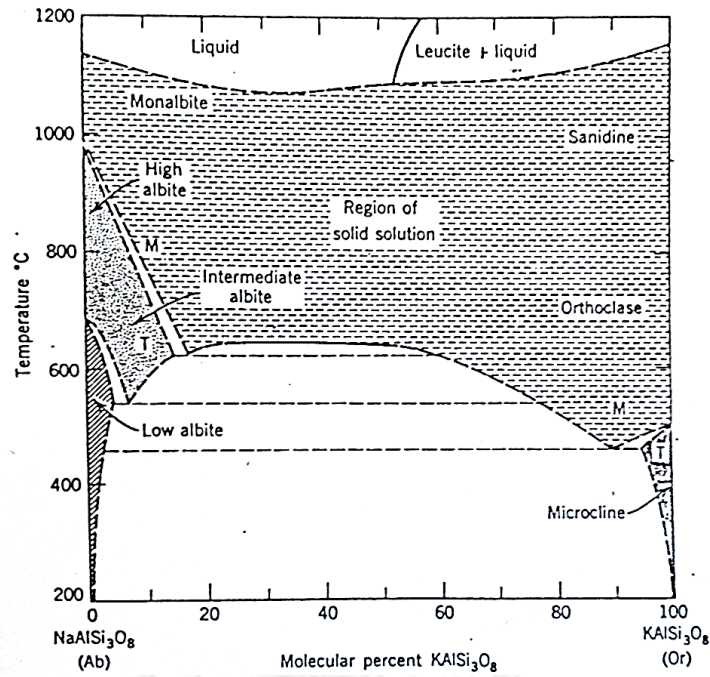
ลักษณะของแร่เฟลด์สปาร์ไม่เพียงแต่องค์ประกอบทางเคมีเท่านั้น ยังเกี่ยวข้องกับสภาวะโครงสร้าง (Structure State) ด้วย สภาวะโครงสร้างในที่นี้หมายถึง การกระจายตัวของ Al และ Si ในโครงสร้าง Framework silicates ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการตกผลึก และการเย็นตัวของแร่ ด้วย โดยทั่วไปแร่เฟลด์สปาร์จะเย็นตัวลงรวดเร็วหลังจากตกผลึกที่อุณหภูมิสูง แสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของการกระจายตัวของ Al-Si ซึ่งเรียกว่า สภาวะโครงสร้างสูง (High Structure State) หากมีการเย็นตัวลงช้าๆ จากอุณหภูมิสูง หรือ การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ แสดงถึงการกระจายตัวที่เป็นระเบียบของ Al-Si เรียกว่า สภาวะโครงสร้างต่ำ (Low Structure State)

โครงสร้างของแร่เฟลด์สปาร์ที่แสดงให้เห็นถึงรูปผลึกของ $KAlSi_3O_8$ ที่อุณหภูมิต่ำ คือ ซานิดีน (Sanidine) ในโครงสร้างนี้การกระจายตัว Al-Si เป็นไปแบบไม่เป็นระเบียบอย่างแท้จริง (Completely Disordered) ซึ่งหมายถึงไอออน Al และ Si กระจายตัวไม่เป็นระบบ

โครงสร้างแร่ไมโครไคลน์ รูปผลึกของ $KAlSi_3O_8$ อีกชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิต่ำมีรูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic Crystal) มีการกระจายตัวของ Al-Si มีระเบียบสมบูรณ์ (Completely Ordered) ที่เรียกว่า ไมโครไคลน์อุณหภูมิต่ำ หรือไมโครไคลน์สูงสุด (Low Temperature or Maximum Microcline) คำว่าสูงสุด หมายถึง รูปผลึกสามแกนเอียง ที่เป็นผลจาก Al-Si ที่มีระเบียบนั่นเอง

โครงสร้างแร่ออร์โทเคลสเป็นรูปผลึกชนิดหนึ่งของ $KAlSi_3O_8$ ซึ่งการกระจายตัวของ Al-Si อยู่ระหว่างความไม่เป็นระเบียบของแร่ซานิดีนกับความเป็นระเบียบของไมโครไคลน์ โดยตกผลึกที่อุณหภูมิปานกลาง

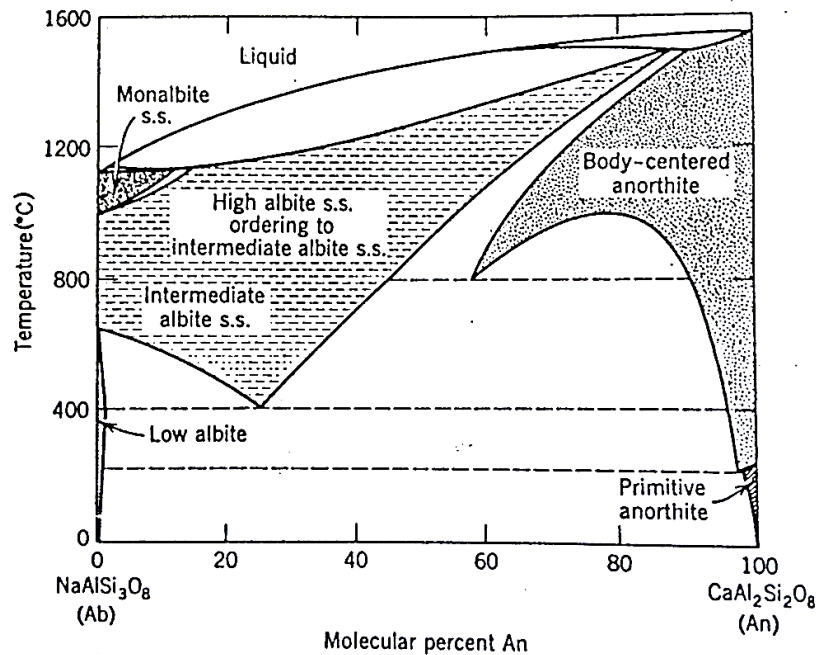
โครงสร้างของแร่ดังกล่าวมาพิจารณาตามความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและสัดส่วนโมเลกุล ตามรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงความแตกต่างของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ชนิด ซานิดีน, ออร์โทเคลส และ ไมโครไคลน์



รูปที่ 2.4 เฟสไดอะแกรมแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์

ในระบบแอลไบต์ (Ab) และออร์โทเคลส (Or) (Klein C., 1993)

โครงสร้างของกลุ่มแอลไบต์โอเคลสมีลักษณะคล้ายกันมากกับของกลุ่มแร่ไมโครไคลน์ สมาชิกตัวสุดท้ายของโซเดียมเฟลด์สปาร์ คือ แอลไบต์ รูปผลึกสามแกนเอียง ซึ่งเป็น Low Albite Form แสดงความเป็นระเบียบอย่างสูงของการกระจายตัว Al-Si และ High Albite ซึ่งมีความไม่เป็นระเบียบอย่างสูงของ Al-Si ที่เป็นรูปผลึกหนึ่งแกนเอียง ที่เรียกว่า โมนาลไบต์ (Monalbite) สมาชิกตัวสุดท้ายของแคลเซียมเฟลด์สปาร์ คือ อะนอร์ไทต์ มีรูปผลึกไตรคลินิก การคงตัวของรูปแบบต่างๆ ของแอลไบต์โอเคลสเฟลด์สปาร์ พิจารณาตามรูปที่ 2.5



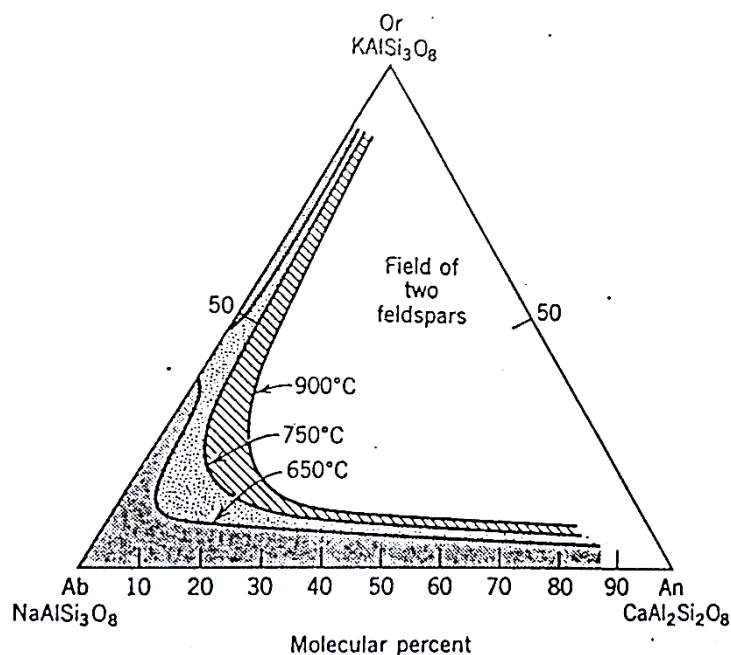
รูปที่ 2.5 เฟสไดอะแกรมแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์

ในระบบแอลไบต์ (Ab) และอะนอร์ไทต์ (An) (Klein C., 1993)

2.1.2 องค์ประกอบของแร่เฟลด์สปาร์

กลุ่มแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8$) แสดงถึงผลึกเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น ดังรูปที่ 2.4 เช่น แร่ซานิติน - High Albite คงตัวที่อุณหภูมิสูงแต่ที่อุณหภูมิต่ำจะแยกเป็น 2 สถานะ เป็น Low Albite และไมโครโคลนที่คงตัวกว่า ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงองค์ประกอบของ Low Albite และไมโครโคลนมีเพียงเล็กน้อย กรณีเป็นแร่เฟลด์สปาร์เนื้อเดียว (Homogeneous Feldspar) ซึ่งไอออน Na^+ และ K^+ กระจุกกระจายไม่เป็นระเบียบ เมื่อเย็นตัวลงอย่างช้าๆ การแยกตัวของไอออน Na^+ และ K^+ จะมีผลของขนาดปริมาณต่อโครงสร้างที่อยู่รอบข้างเป็นสำคัญ ไอออน Na^+ จะแพร่กระจายสู่บริเวณ Na-rich และไอออน K^+ จะแยกตัวในช่วง K-rich ของโครงสร้าง การแยกตัวนี้ก่อให้เกิดชั้นบาง (Thin Layer) ในผลึกโฮสต์ (Crystal Host) ของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ทำให้เกิดแร่หลายชนิดที่อยู่ร่วมกัน แสดงลักษณะเนื้อ (Texture) ที่เรียกว่า เพอร์ไทต์ (Perthite) เป็นผลทำให้เกิดผลึกผสมเนื้อแยก (Exsolution) ในกลุ่มแอลคาไลเฟลด์สปาร์ การวางตัวของผลึกผสมเนื้อแยกขนานกันอย่างคร่าวๆ เมื่อแร่ที่อยู่ร่วมกันมองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาด 100 - 1,000 ไมครอน เรียกว่า มาโครเพอร์ไทต์ (Macroperthite), ที่ขนาด 5 - 100 ไมครอน ซึ่งมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ เรียกว่า ไมโครเพอร์ไทต์ (Microperthite) หากที่ตรวจได้โดยใช้รังสีเอกซ์ หมายถึง คริปโตเพอร์ไทต์ (Cryptoperthite) ที่ขนาด 15 อังสตรอม ถึง 5 ไมครอน ในกรณีที่แร่ผลึกโฮสต์เป็นแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์และชั้นบางเป็น KAlSi_3O_8 ซึ่งเรียกว่า แอนติเพอร์ไทต์ (Antiperthite)

ผลึกผสมเนื้อเดียวระหว่าง KAlSi_3O_8 และ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ พบเป็นส่วนน้อยพิจารณาตามรูปที่



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของผลึกผสมเนื้อเดียวของระบบ Or – Ab – An ที่ความดัน P (H₂O) เท่ากับ 1 กิโลบาร์ (Klein C., 1993)

กลุ่มแร่แอลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (NaAlSi₃O₈ – CaAl₂Si₂O₈) มีอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญของการเกิดผลึกผสมเนื้อเดียว (Solid Solution) สูตรทั่วไปของแร่เฟลด์สปาร์กลุ่มนี้เป็น Na_{1-x}Ca_x(Si_{3-x}Al_x) O₈ ซึ่งช่วง x มีค่าตั้งแต่ 0-1, พิจารณาตามรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปมักใช้สัดส่วนของ Ab และ An ที่อยู่ร่วมกันในการแสดงชนิดแร่ แสดงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของแอลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์

เนื้อ (Texture) ของผลึกผสมเนื้อแยกมี 3 ชนิด ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อาจตรวจวัดโดยการเกิดสีเหือบ (Iridescence) เช่น Peristerite Intergrowth มีสัดส่วนร้อยละของ An อยู่ 2-15, Boggild Intergrowth มีสัดส่วนร้อยละของ An อยู่ 47-48 และ Huttenlocher Intergrowth มีสัดส่วนร้อยละของ An อยู่ 60-85

องค์ประกอบทางเคมีและรูปผลึกของแร่เฟลด์สปาร์ สามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2.3 และองค์ประกอบทางเคมีตามทฤษฎี ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดแร่เฟลด์สปาร์ (Klein C., 1993)

แอลคาไลเฟลด์สปาร์		แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์	
รูปผลึก	องค์ประกอบ	รูปผลึก	องค์ประกอบ
รูปผลึกหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic)		รูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic)	Ab An
ออร์โทเคลส (Orthoclase)	(K, Na)AlSi ₃ O ₈	แอลไบต์ (Albite)	90-100 0-10
ซานิดีน (Sanidine)	(K, Na)AlSi ₃ O ₈	โอลิโกเคลส (Oligoclase)	70-90 10-30
อะดูลาเรีย (Adularia)	(K, Na)AlSi ₃ O ₈	แอนดิซีน (Andesine)	50-70 30-50
รูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic)		แลบราโดไรต์ (Labradorite)	30-50 50-70
ไมโครไคลน์ (Microcline)	(K, Na)AlSi ₃ O ₈	ไบทาวน์ไนต์ (Bytownite)	10-30 70-90
อะนอร์โทเคลส (Anorthoclase)	(K, Na)AlSi ₃ O ₈	อะนอร์ไทต์ (Anortite)	0-100 90-100

ตารางที่ 2.4 ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีตามทฤษฎี (Klein C., 1993)

ชนิดแร่	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
แอลคาไลเฟลด์สปาร์					
ออร์โทเคลส (ไมโครไคลน์)	64.7	18.4	-	-	16.9
แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์					
แอลไบต์	68.7	19.5	-	11.8	-
อะนอร์ไทต์	43.2	36.7	20.1	-	-

2.1.3 คุณสมบัติทั่วไปของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน

แร่เฟลด์สปาร์ทุกชนิดมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ดังนี้

แนวแตกเรียบ (Cleavage)	: 2 ทิศทาง ทำมุมฉาก หรือมากกว่าเล็กน้อย
ความแข็ง (Mohs' Scale of Hardness)	: 6.0 - 6.5
รอยแตก (Fracture)	: ไม่เรียบ
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	: 2.55 - 2.76 ของแอลคาไล ถึง แพลจีโอเคลส
ดัชนีหักเหแสง (Refractive Index)	: ออร์โทเคลส 1.518 - 1.526
	ไมโครไคลน์ 1.522 - 1.530
	แอลไบต์ 1.527 - 1.538
	อะนอร์ไทต์ 1.577 - 1.590
สี (Color)	: หลายสี เช่น ขาว เทา น้ำตาล ชมพู เหลือง และเขียว ขึ้นอยู่กับธาตุที่เจือปน
สีผง (Streak)	: สีขาว
ความวาว (Luster)	: คล้ายแก้ว ถึงคล้ายมุก (Vitreous to Pearly)
ความเหนียว (Tenacity)	: เปราะ (Brittle)
จุดหลอมตัว (Melting Point)	: อุณหภูมิ 1, 110 - 1,532 องศาเซลเซียส
ระดับการให้แสงผ่าน (Degree of Transparent)	: โปร่งแสง ถึงโปร่งใส ของออร์โทเคลส และไมโครไคลน์, แอลไบต์ถึงกึ่งโปร่งแสง
การติดแม่เหล็ก	: ไม่ติดแม่เหล็ก
การนำไฟฟ้า	: ไม่นำไฟฟ้า
การเปื่อยกน้ำ	: จัดอยู่ในกลุ่มซิลิเกตที่มีการเปื่อยกน้ำได้ดี เช่นเดียวกับแร่ควอตซ์

นอกจากแร่เฟลด์สปาร์แล้ว คุณสมบัติทั่วไปของแร่อื่นๆที่อยู่ร่วมกันสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของแร่อื่นๆที่อยู่รวมกันกับแร่เฟลด์สปาร์ (Manser R. M., 1975)

ชนิดแร่	องค์ประกอบทางเคมี	ความถ่วงจำเพาะ	การติดแม่เหล็ก	การนำไฟฟ้า
1. การ์เน็ต (Garnet)	$A_3B_2(SiO_4)_3$ โดย A = Ca, Mg, Fe, Mn B = Al, Fe, Cr, Ti	3.4 - 4.3	ค่อนข้างแรง	ไม่
2. ฮอร์นเบลน (Hornblende)	Complex Ca, Mg, Fe, Al, Silicate	3.1 - 3.3	อย่างอ่อน	ไม่
3. ทัวร์มาลีน (Tourmaline)	$XY_3Al_6(BO_3)_3(OH)_4$ (Si_6O_{18}) โดย X = Na และ Ca Y = Al, Fe, Li, Mg และ F	2.9 - 3.2	อย่างอ่อน	ไม่
4. ไบโอไทต์ (Biotite)	$K(Mg, Fe)_3$ ($AlSi_3O_{10})(OH)_2$	3.0 - 3.1	อย่างอ่อน	ไม่
5. มัสโคไวต์ (Muscovite)	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	2.88 - 3.0	อย่างอ่อนมาก	ไม่
6. ควอตซ์ (Quartz)	SiO_2	2.7 - 2.8	ไม่	ไม่
7. ไพไรต์ (Pyrite)	FeS_2	5.0	อย่างอ่อนมาก	ไม่

2.2 การกำเนิดแร่เฟลด์สปาร์ แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย และที่มาของตัวอย่างแร่เฟลด์สปาร์

2.2.1 การกำเนิดแร่เฟลด์สปาร์ (Klein C., 1993)

แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญ พบทั่วไปในหินอัคนีและหินแปร แต่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้จากสายแร่ของน้ำแร่ร้อน ในสายเพกมาไทต์ (Pegmatite) นอกจากนี้แล้วยังมีการผลิตเฟลด์สปาร์จากส่วนที่เป็น กราฟิกรแกรนิต (Graphic Granite) หินแกรนิตสีอ่อน (Leucocratic Granite) หินแอพลอน (Aplite) และหินเฟลด์สปาร์ (Feldspathic Rock)

สายเพกมาไทต์ ที่มีความสัมพันธ์กับหินอัคนีมักเกิดในตัวหินแกรนิตเองหรือบริเวณรอบๆ หินแกรนิต ขนาด รูปร่าง และทิศทางของสายเพกมาไทต์ขึ้นอยู่กับรอยแตกในหินแกรนิตหรือหินข้างเคียง สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินแปรจะพบในพื้นที่ที่มีการแปรสภาพ (Metamorphism) สูง ในประเทศไทยสายเพกมาไทต์แทรกอยู่ในหินแกรนิต หินไนต์และหินชีสต์เป็นส่วนใหญ่ เฟลด์สปาร์ในสายเพกมาไทต์เกิดร่วมกับควอตซ์ (Quartz) มัสโคไวต์ (Muscovite) ไบโอไทต์ (Biotite) และแร่อื่นๆ เช่น ทัวร์มาลีน (Tourmaline) เบอริล (Beryl) และการ์เนต (Garnet) เป็นต้น

กราฟิกแกรนิต เป็นสายเพกมาไทต์ที่มีควอตซ์ และแอลคาไลเฟลด์สปาร์ยึดประสานกันคล้ายตัวหนังสือฮีบรู (Hebrew) โบราณ แร่ที่กำเนิดรวมคือ มัสโคไวต์ ทัวร์มาลีน และการ์เนต

หินแอไพลน เป็นหินอัคนีเนื้อละเอียด เกิดเป็นสายที่มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับหินแกรนิต มีแร่หลักคือ ควอตซ์ และแอลคาไลเฟลด์สปาร์

หินแกรนิตสีอ่อน เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แอลคาไลเฟลด์สปาร์และควอตซ์ สำหรับแพลจิโอเคลสเกิดร่วมด้วยในปริมาณไม่มากนัก พบแร่สีดำที่มีธาตุเหล็ก และแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบเกิดร่วมกันน้อยมาก มักพบหินชนิดนี้เกิดตามรอยของแนวหินอัคนีมวลไพศาล (Massive Igneous Rock)

หินเฟลด์สปาร์ เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ และควอตซ์ เนื้อหินพบทั้งส่วนที่มีเนื้อละเอียดจนถึงหยาบ พบทั้งผลึกขนาดเดียวจนถึงพวกที่มีเนื้อผลึกสองขนาดหรือเนื้อดอก ในบางบริเวณพบส่วนที่แสดงรู้อยู่ยาวนานในเนื้อดิน

2.2.2 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย (วรกุล แก้วยานะ, 2539)

แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของไทยสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามปริมาณของ K_2O และ Na_2O ที่มีอยู่ในเนื้อแร่โดยพิจารณาตามลักษณะการเกิด เนื่องจากการซื้อขายจะถูกกำหนดราคาตามปริมาณของ K_2O และ Na_2O ในเนื้อแร่เป็นหลัก การแบ่งประเภทแร่มีดังนี้

1. โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potassium Feldspar) จะมีปริมาณร้อยละของ K_2O ในเนื้อแร่มากกว่า 10 แร่ที่พบเป็นชนิด ไมโครไคลน์ และออร์โทเคลส บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ตาก อุทัยธานี ราชบุรี และประจวบคีรีขันธ์

2. โซเดียมเฟลด์สปาร์ (Sodium Feldspar) จะมีปริมาณร้อยละของ Na_2O ในเนื้อแร่มากกว่า 7 แร่ที่พบมักเป็นแพลจิโอเคลส ชนิดแอลไบต์และโอลิโกเคลส ที่มาจากหินเฟลด์สปาร์ พบในจังหวัดตาก ราชบุรี และนครศรีธรรมราช

3. แร่เฟลด์สปาร์ผสม มีปริมาณร้อยละของ K_2O และ Na_2O ในเนื้อแร่ใกล้เคียงกัน แหล่งแร่ชนิดนี้มาจากหินแกรนิตสีอ่อน หินเฟลด์สปาร์ สายเพกมาไทต์ พบในบริเวณจังหวัดตาก กาญจนบุรี เชียงใหม่ ลำพูน ราชบุรี อุทัยธานี ชลบุรี ระยอง ปัตตานี และนครศรีธรรมราช

2.2.3 ข้อมูลทั่วไปและแหล่งที่มาของตัวอย่างแร่ (วรกุล แก้วยานะ, 2539)

ธรณีวิทยาแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ผสมในจังหวัดตาก

แร่เฟลด์สปาร์ผสมของจังหวัดตากมีกำเนิดจากหินแอพลิต (Aplite) ที่แทรกตัดผ่านเข้ามาในหินแกรนิตมวลไพศาลจังหวัดตาก จากหินลูโคแกรนิตที่เป็น Border Zone อยู่บริเวณ Roof ของหินแกรนิตมวลไพศาล และจากสายหินเพกมาไทต์ที่แทรกตัดเข้ามาในหินควอตซ์ - ไบโอไทต์ชีสต์ (Quartz - Biotite) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับหิน Foliated Biotite Granite สายหินแอพลิตและสายหินเพกมาไทต์มีขนาดตั้งแต่กว้างไม่กี่เซนติเมตร ยาวไม่กี่เมตรจนถึงกว้างหลายเมตรยาวหลายร้อยเมตร แร่เฟลด์สปาร์ผสมของจังหวัดตากได้จากแร่ฮอร์โทเคลส ไมโครโคลน เพอร์ไทต์ แอลไบต์ และโอลิโกเคลส แร่ที่เป็นมลทินเกิดรวมอยู่กับแร่เฟลด์สปาร์ผสม ได้แก่ ควอตซ์ มัสโคไวต์ ไบโอไทต์ การ์เนต และทัวร์มาลีน

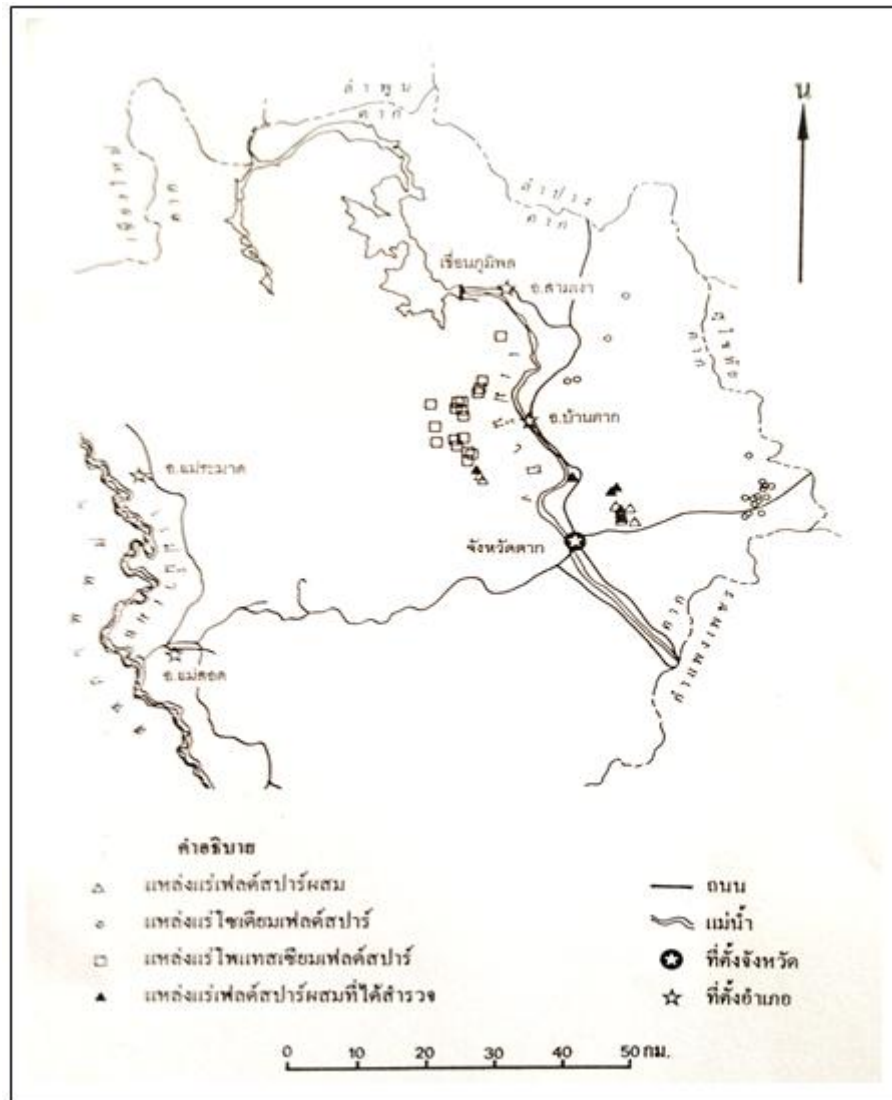
จังหวัดตากทำการผลิตแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ผสมจากส่วนที่เป็นหินแกรนิตสีอ่อน (Leucocratic Granite) และหินแอพลิต โดยพบว่าเมื่อละเอียดถึงละเอียดมาก มีขนาดผลึกใกล้เคียงกันและมีแร่สีเข้มที่มีส่วนประกอบของธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเกิดรวมน้อยมาก เมื่อศึกษาแผ่นหินบางของหินแกรนิตสีอ่อนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าประกอบด้วยแร่ควอตซ์ร้อยละ 22.50 แอลคาไลเฟลด์สปาร์ (ชนิดฮอร์โทเคลส - ไมโครโคลน) ร้อยละ 37 แพลจีโอเคลสเฟลด์สปาร์ (ชนิดโอลิโกเคลส) ร้อยละ 33 นอกนั้นเป็นพวก แร่ไบโอไทต์ เอพิโดต คลอไรต์ แมกนีไทต์และอิลเมไนต์ แร่ที่ผลิตออกมาจะมีปริมาณ K_2O และ Na_2O ในเนื้อแร่ใกล้เคียงกัน โดยปริมาณของ K_2O จะมากกว่า Na_2O บ้างเล็กน้อย นอกจากนั้นจะมีการผลิตเฟลด์สปาร์ผสมอยู่ตามขอบหินอัคนีมวลไพศาล เช่น ที่บริเวณตำบลน้ำริน อำเภอเมืองตาก โดยเป็นส่วนขอบทางด้านตะวันออกของหินแกรนิตมวลไพศาลจังหวัดตาก

แหล่งที่มาของตัวอย่างแร่เฟลด์สปาร์

จังหวัดตากเป็นบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่เฟลด์สปาร์ผสมสูง มีปริมาณสำรองแร่มากกว่า 30 ล้านเมตริกตัน โดยผลผลิตแร่เฟลด์สปาร์ผสมของจังหวัดตากมีจำนวนประมาณ 9.02 เพอร์เซ็นต์ของผลผลิตแร่เฟลด์สปาร์รวมของภาคเหนือ

แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ผสมในจังหวัดตากมีอยู่หลายแห่ง ส่วนใหญ่พบอยู่บริเวณท้องที่ ตำบลน้ำริน และไม้งาม อำเภอเมืองตาก บางส่วนของดอยเก็ง ตำบลทุ่งกระเซาะ และตำบลสมอโค่น อำเภอบ้านตาก ตามรูปที่ 2.7 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของจังหวัดตาก พบว่า มีปริมาณสำรองประมาณ 31,250,000 เมตริกตัน เกรดของแร่เฉลี่ย 2.63 - 6.26 % Na_2O และ 2.08 - 8.07 % K_2O สรุปรายละเอียดตามตารางที่ 2.6

ปัจจุบันจังหวัดตากมีประทานบัตรแร่เฟลด์สปาร์ผสมรวม 9 แปลง เป็นประทานบัตรที่อยู่ในตำบลทุ่งกระเซาะ อำเภอบ้านตาก จำนวน 3 แปลง ในท้องที่ตำบลวังประจบ อำเภอเมืองจำนวน 4 แปลง ในท้องที่ตำบลวังจันทร์ อำเภอสามเงา จำนวน 1 แปลง และในท้องที่ตำบลโป่งแดง อำเภอเมือง จำนวน 1 แปลง



รูปที่ 2 7 ตำแหน่งแหล่งแร่เฟอสเฟตสปาร์ (วรกุล แก้วยานะ, 2539)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสำรองและคุณภาพของแร่เฟอสเฟตสปาร์ผสมในจังหวัดตาก (วรกุล แก้วยานะ, 2539)

ลำดับ	แหล่ง	ที่ตั้ง	ปริมาณสำรอง (เมตริกตัน)	ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	
				Na ₂ O	K ₂ O
1	เขาดลุ่ม นอก	ต.น้ำริม อ.เมืองตาก	669,000	3.27 - 3.58	4.49 - 7.28
2	เขาแก้ว	ต.น้ำริม อ.เมืองตาก	866,000	2.88 - 6.17	2.08 - 6.46

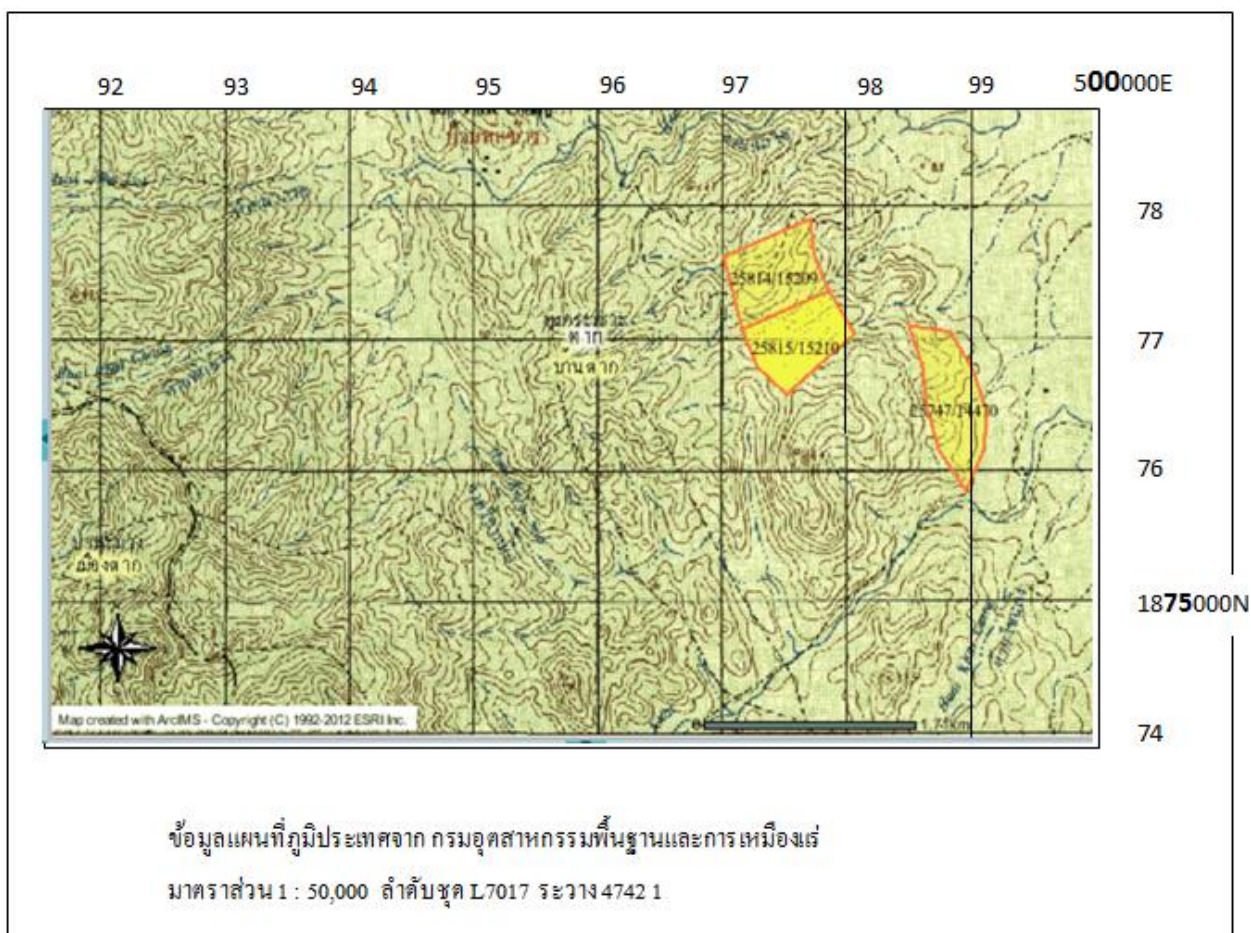
3	ดอยเวียง	ต.สมอโคน อ.บ้านตาก ต.ไม้งาม อ.เมืองตาก	29,431,000	6.14 - 6.25	2.72 - 3.31
4	ดอยเก็ง	ต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก	283,000	2.63 - 4.47	3.85 - 8.07
รวม			31,250,000	2.63 - 6.26	2.08 - 8.07

จุดเก็บตัวอย่างแร่ ประทานบัตรที่ 25814/15209 และ 25815/15210 ของบริษัทอรรณู อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด

แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ผสม ตั้งอยู่ที่ดอยเก็ง บ้านใหม่แม่ไข ตำบลทุ่งกระเซาะ อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก สามารถเข้าถึงแหล่งโดยทางรถยนต์จากตัวเมืองตากตามทางหลวงหมายเลข 1 (ลำปาง – บ้านตาก) ถึงหลักกิโลเมตรที่ 440 เลี้ยวซ้ายไปทางบ้านตากประมาณ 3 กิโลเมตรไปตามทางหลวงหมายเลข 1107 แยกขวาไปบ้านทุ่งกระเซาะ ประมาณ 8 กิโลเมตร เดินทางมาตามถนนลูกรังอีก 20 กิโลเมตร ถึงแหล่งแร่ซึ่งตั้งอยู่ไหล่เขาด้านตะวันออกของดอยเก็ง แหล่งแร่ตั้งอยู่บนแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมอุตสาหกรรมการพื้นฐานและการเหมืองแร่ ลำดับชุด L 7017 ระวัง 4742 I บริเวณจุดพิกัด 497000 – 498000 ตะวันออก และ 1876000 – 1878000 เหนือ แสดงตาม รูปที่ 2.8

ดอยเก็งเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาที่ล้อมรอบอ่างบ้านตากด้านทิศตะวันตก โดยสันเขาทอดตัวยาวในแนวเกือบเหนือ - ใต้ มียอดเขาสูงสุด 485 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ทอดตัวลาดชันจากระดับความสูงประมาณ 300 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางจนถึงตีนเขาที่ระดับความสูงประมาณ 180 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ดอยเก็งมีไหล่เขาลาดชันและเป็นต้นกำเนิดของลำห้วยเล็กๆ หลายสายที่ไหลไปรวมกันเป็นห้วยผาลาด และห้วยแม่ไข ลำห้วยทั้งสองไหลลงสู่ห้วยบ้านตาก ช่วงฤดูฝนน้ำในลำห้วยไหลจากทางด้านทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกลงสู่ห้วยแม่ไข

หินท้องที่ในบริเวณแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ผสมเป็นหินควอตซ์ - ไบโอดีไซต์ มีสีเทาถึงสีดำ มีเนื้อหยาบปานกลางถึงหยาบ ส่วนใหญ่หินจะผุ มีสีน้ำตาล การเรียงตัวของหินควอตซ์ - ไบโอดีไซต์ ในบริเวณแหล่งแร่ส่วนใหญ่วางตัวในแนวทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ หินควอตซ์ - ไบโอดีไซต์ ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์พวก ไมโครไคลน์ แพลจิโอเคลส และไบโอดีไซต์เป็นส่วนใหญ่ ในหลายบริเวณของเขตประทานบัตรพบสายเพกมาไทต์แทรกตัดผ่านเข้ามาในหินควอตซ์ - ไบโอดีไซต์ สายเพกมาไทต์แทรกขนานและแทรกตัดผ่านแนวการเรียงตัวของหินควอตซ์และหินควอตซ์ - ไบโอดีไซต์ มีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณ N 20° W และทำมุมเอียงประมาณ 65° หินเพกมาไทต์มีสีขาวมีลักษณะเนื้อหยาบถึงหยาบมากประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และมัสโคไวต์ เป็นส่วนใหญ่ โดยมีแร่การ์เนตและแร่ทัวร์มาลีนเกิดรวมอยู่ด้วยเล็กน้อย



รูปที่ 2.8 จุดเก็บตัวอย่างแร่ ประทานบัตรที่ 25814/15209 และ 25815/15210

2.3 การใช้ประโยชน์จากแร่เฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์จัดเป็นแร่เศรษฐกิจที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการทำเซรามิกและการผลิตแก้ว การนำแร่ไปใช้งานได้นั้นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีเป็นหลักและมีการใช้คุณสมบัติทางกายภาพโดยตรงบ้าง ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานของแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆดังนี้คือ

1. กำหนดเป็นอัตราส่วนหรือผลรวมของ K_2O และ Na_2O
2. จำกัดปริมาณร้อยละของ SiO_2 , Al_2O_3 , CaO และ Fe_2O_3
3. กำหนดปริมาณร้อยละขั้นต่ำสุดของ K_2O , Na_2O และ Al_2O_3 หรือกำหนดสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น จุดหลอมตัว สีก่อนเผาและหลังเผา เป็นต้น

แร่เฟลด์สปาร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายชนิด ได้แก่

1. อุตสาหกรรมเซรามิก ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นและงานเคลือบ โดยแร่เฟลด์สปาร์ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) เพื่อลดจุดหลอมตัวของส่วนผสม (ขณะส่วนผสมอื่นยังเป็นของแข็งอยู่) ซึ่งแพร่กระจายเชื่อมส่วนประกอบอื่นๆเข้าด้วยกัน แร่เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก ได้แก่ พอร์ซเลน (Porcelain), สโตนแวร์ (Stoneware), เอิร์ทเธนแวร์

(Earthenware), เครื่องสุขภัณฑ์และลูกถ้วยไฟฟ้า และกระเบื้องชนิดต่างๆ สำหรับเครื่องปั้นคุณภาพสูงกำหนดให้มีปริมาณ K_2O มากกว่า 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ Na_2O ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ควอตซ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำสามารถใช้ได้ทั้งโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์และอาจมีควอตซ์ได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวควรมี Fe_2O_3 น้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีสีอาจมี Fe_2O_3 ได้ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ แร่เฟลด์สปาร์ก่อนเผาควรมีสีขาวหรือชมพูอ่อน เมื่อเผาแล้วควรมีสีสม่ำเสมอ ไม่มีจุดประ ส่วนการทำเครื่องถ้วยชามและกระเบื้องต่างๆ เฟลด์สปาร์ที่ใช้ผสมลงในเนื้อดินนั้นมีประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในน้ำยาเคลือบมีเฟลด์สปาร์ผสมอยู่ประมาณ 30 - 50 เปอร์เซ็นต์

2. อุตสาหกรรมเครื่องแก้ว โดยที่เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่ให้อะลูมินา โดยอะลูมินาเมื่อหลอมตัวกับแก้วสามารถเข้าไปแทนที่ซิลิคอนในแก้วได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์แก้วที่ได้มีความเหนียว ทนทานต่อแรงกระแทก ความกดดัน ความร้อน และกรดต่างได้สูง นอกจากนี้ยังทำให้อยู่ตัวไม่กลายเป็นผลึกแร่ขณะเย็นตัว ทำให้สามารถจัดเป็นรูปร่างได้ เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วต้องมี Al_2O_3 ไม่ต่ำกว่า 17 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลิตภัณฑ์แก้วใสไม่มีสีต้องมี Fe_2O_3 น้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ และอาจมีได้ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีสี

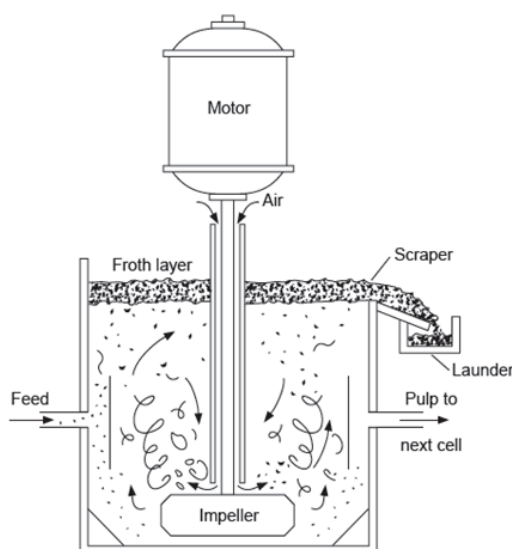
3. อุตสาหกรรมอื่นๆ ใช้แร่เฟลด์สปาร์บดละเอียดทำเป็นผงขัดทำความสะอาดผลิตภัณฑ์แก้วและเครื่องเคลือบสีขาว เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมทำสีและอุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลง เป็นตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง และใช้เป็นน้ำประสาน (Bonding agent) หรือตัวช่วยหลอมในอุตสาหกรรมต่างๆ ในวงการทันตกรรมใช้แร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์สีขาวคุณภาพสูงในการทำฟันปลอม

บทที่ 3

ศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์

3.1 หลักการของการลอยแร่

การลอยแร่เป็นกระบวนการแต่งแร่ที่อาศัยความแตกต่างระหว่างพื้นผิวแร่ด้านเคมี-กายภาพของแร่แต่ละชนิด ซึ่งได้เปลี่ยนไปหลังจากทำปฏิกิริยากับสารเคมี และจะทำให้แร่บางชนิดไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic) หลังจากนั้นจะทำการปล่อยฟองอากาศเพื่อพองเอาเม็ดแร่ที่ไม่เปียกน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำของเซลล์ลอยแร่และสะสมตัวเป็นชั้นฟองอากาศบนแร่แสดงตามรูป 3.1 ซึ่งสามารถแยกแร่ที่ไม่เปียกน้ำออกจากแร่ที่เปียกน้ำ (Hydrophilic) ได้



รูปที่ 3.1 กลไกของการลอยแร่

3.1.1 คุณสมบัติของแร่ในการลอย

แร่เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก แขนของโมเลกุลซึ่งอยู่ภายในจะมีการจับกันอย่างสมดุล แต่โมเลกุลที่อยู่ผิวนอกสุดจะมีแขนเหลืออยู่ที่มีพลังงานสามารถจับกับโมเลกุลอื่นๆ ที่มาสัมผัสได้พลังงานที่ผิวนี้คือ พลังงานอิสระ (Free Surface Energy)

พลังงานที่ผิวของสารประกอบแต่ละชนิดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ชนิดโครงสร้าง และวิธีการจับของแขนโมเลกุล การบดแร่ให้แตกจะทำให้แขนของการจับขาดออกจากกันเกิดแขนอิสระซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลอื่นที่มาสัมผัสได้ ถ้าแต่เดิมการจับกันเป็นการจับที่มีพลังงานที่สูงหรือการจับตัวที่เป็นพันธะทางเคมี (Chemical bond) การที่จะทำให้แขนของการจับกันนี้ขาดออกจากกันก็ต้องใช้พลังงานที่สูงกว่า และแขนอิสระที่เกิดขึ้นใหม่ก็จะมีพลังงานสูงเช่นเดียวกัน ถ้านำแร่ที่มีพลังงานที่ผิวสูงเช่นนี้ใส่ลงไปในของเหลวหรือน้ำ แร่และสารประกอบจะเปียกน้ำได้ง่าย ชั้นน้ำที่ห่อหุ้มผิวแร่จะหนา แร่ประเภทนี้ได้แก่ แก้ว ควอตซ์ ซิลิกา แร่ส่วนใหญ่และสารประกอบออกไซด์ต่างๆ เป็นต้น แร่ประเภทนี้จึงจำเป็นต้องใช้น้ำยาเคมีในการปรับสภาพผิว ส่วนแร่บางชนิดมีการจับกัน

ระหว่างโมเลกุลอย่างเบาบางเมื่อเทียบกับชนิดแรก การที่จะทำให้หลุดออกจากกันก็อาจทำได้ง่ายโดยใช้แรงเพียงเล็กน้อยและโดยมากเป็นแรงที่เปราะและมักแตกตามรอยผลึก แขนของการจับกันเป็นแบบพันธะทางกายภาพ (Physical bond) เมื่อแร่เช่นนี้อยู่ในน้ำจะเปียกน้ำได้ยากกว่าแร่ประเภทแรกและจะลอยได้ดี ตัวอย่างของแร่ประเภทนี้ได้แก่ แกรไฟต์ ถ่านหิน และแร่ซัลไฟด์ต่างๆ เป็นต้น

ขนาดของแร่ที่ทำการลอยแร่ต้องไม่ใหญ่หรือเล็กเกินไป เพราะถ้าเม็ดแร่มีขนาดใหญ่ฟองอากาศจะไม่สามารถรับน้ำหนักเม็ดแร่ได้ เม็ดแร่อาจจจะร่วงหลุดออกไปได้ง่าย หรือฟองอากาศจะแตกเสียก่อนที่จะพาแร่พื้นผิวขึ้น ทำให้การแยกแร่ไม่ได้ผล ถ้าเม็ดแร่มีขนาดละเอียดมากเกินไปหรือขนาดเป็นฝุ่น จะมีสมบัติแขวนลอยได้ดี ทำให้แร่ลึกลงที่ละเอียดเป็นฝุ่นบางส่วนสามารถเกาะติดฟองอากาศลอยขึ้นมาพร้อมกับแร่ลอย หรือในบางครั้งแร่ละเอียดที่ไม่ต้องการเหล่านี้จะไปคลุมผิวแร่ที่ต้องการลอยขึ้นมา ทำให้แร่กับฟองอากาศมีโอกาสสัมผัสกับผิวแร่ได้น้อย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการลอยแร่ลดน้อยลงไป เนื่องจากแร่ฝุ่นมีพื้นที่ผิวมากกว่าแร่ที่มีขนาดใหญ่ (โดยเทียบกับน้ำหนักแร่ป้อนที่เท่ากัน) ทำให้สิ้นเปลืองในการใช้น้ำยามากขึ้น นอกจากนี้แร่ฝุ่นจะเป็นปัญหาในการกรองและกรองภายหลัง ในการวิจัยนี้ได้ใช้ขนาดเม็ดแร่ที่เหมาะสมคือ 60 ไมครอน

3.1.2 การเกาะติด (Attachment) ของฟองอากาศ

การเกาะติดของฟองอากาศกับผิวแร่จะแสดงถึงความคงตัวได้ในลักษณะของมุมสัมผัส (Θ , Contact Angle) ซึ่งแบ่งเป็น 3 สถานะ คือ อากาศ ของแข็งคือผิวเม็ดแร่ และของเหลว ตามรูปที่ 3.2 สามารถแสดงโดยสมการของยัง (Young's Equation) ดังนี้คือ

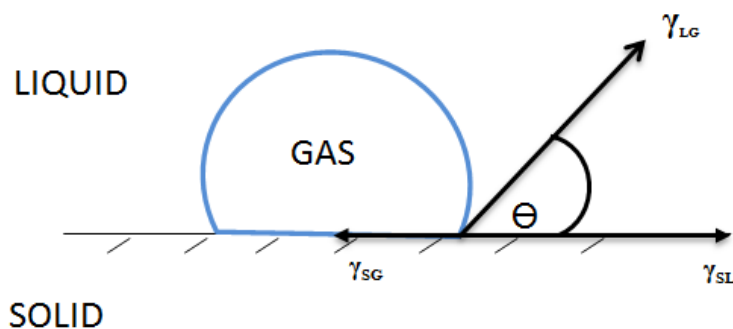
$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \Theta \quad (3.1)$$

γ_{SG} = แรงตึงผิวระหว่างผิวของของแข็งและอากาศ

γ_{SL} = แรงตึงผิวระหว่างผิวของของแข็งและของเหลว

γ_{LG} = แรงตึงผิวระหว่างผิวของของเหลวและอากาศ

Θ = มุมสัมผัสระหว่างฟองอากาศ และผิวของแข็งในของเหลว



รูปที่ 3.2 สมดุลของมุมสัมผัสระหว่างฟองอากาศ และผิวของแข็งในของเหลว

สมการของยัง ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของระบบ 3 เฟส ซึ่งเหมาะสำหรับการลอยแร่ที่ ฟองอากาศมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดใหญ่และอนุภาคแร่ลอยที่มีผิวเรียบ ตารางที่ 3.1 แสดงค่ามุมสัมผัสของกลุ่มแร่ซิลิเกต โดยค่ามุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามอัตราส่วนของออกซิเจนต่อซิลิคอน ในโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ความสามารถในการลอยแร่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากมุมสัมผัสยัง มากยังมีโอกาสเกาะติดกับฟองอากาศมากขึ้น จากตารางพบว่ากลุ่มแร่โครงสร้าง Orthosilicates จะ ลอยได้ดีที่สุดและกลุ่มแร่โครงสร้าง Framework silicates จะมีความสามารถในการลอยได้น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเพียงแค่มุมสัมผัส แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการลอยที่ดีและไม่ดีจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 3.1 ค่ามุมสัมผัสของกลุ่มแร่ซิลิเกตต่างๆ (Manser R. M., 1975)

Mineral	Contact Angle	Structure	Group	O : Si Ratio
Zircon	56°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Almandite	54°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Cyanite	51°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Topaz	50°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Olivine	50°	Orthosilicates	SiO ₄	4
Rhodonite	49°	Pyroxene	Si ₂ O ₆	3
Augite	48°	Pyroxene	Si ₂ O ₆	3
Tourmaline	47°	Ring silicates	Si ₆ O ₁₈	3
Spodumene	45°	Pyroxene	Si ₂ O ₆	3
Tremolite	43°	Amphibole	Si ₈ O ₂₂	2.75
Biotite	34°	Sheet silicates	Si ₄ O ₁₁	2.75
Muscovite	31°	Sheet silicates	Si ₄ O ₁₁	2.75
Albite	30°	Framework silicates	SiO ₂	2
Nephelite	23°	Framework silicates	SiO ₂	2
Quartz	21°	Framework silicates	SiO ₂	2
Orthoclase	20°	Framework silicates	SiO ₂	2

โดยทั่วไปตามธรรมชาติมุมสัมผัสของแร่จะค่อนข้างน้อย นั่นคือแร่ทั่วไปมักจะเปียกน้ำ ซึ่ง จะต้องใช้สารเคมีทำการดูดซับที่ผิวแร่ ซึ่งจะทำให้ผิวแร่มีลักษณะไม่เปียกน้ำ สารเคมีที่ใช้ทั่วไป เรียกว่า สารเคลือบผิว (Collector)

พลังงานที่ทำให้อนุภาคแร่กับฟองอากาศแยกออกจากกันเรียกว่า งานของการเกาะติด (Work of Adhesion, W_{SG}) ระหว่างผิวแร่กับฟองอากาศ มีค่าเท่ากับแรงที่เชื่อมผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับฟองอากาศและระหว่างน้ำกับผิวแร่ และแรงที่แยกอนุภาคแร่กับฟองอากาศ ดังนี้คือ

$$W_{SG} = \gamma_{LG} + \gamma_{SL} - \gamma_{SG} \quad (3.2)$$

แทนค่าด้วยสมการ 5.1 จะได้

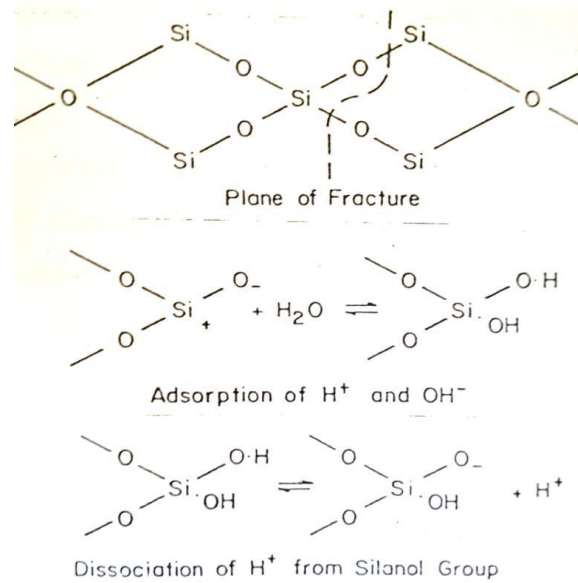
$$W_{SG} = \gamma_{LG} - \gamma_{LG} \cos \Theta$$

หรือ

$$W_{SG} = \gamma_{LG} (1 - \cos \Theta) \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.3) สามารถอธิบายว่าเมื่อเกิดการลอยแร่ขึ้น ถ้าค่ามุมสัมผัสของแร่ยิ่งมากจะทำให้งานของการเกาะติดระหว่างผิวแร่กับฟองอากาศมากขึ้นด้วย ทำให้เกิดการแทนที่ของเหลวโดยฟองอากาศได้ดี หรือทำให้แร่ไม่เปียกน้ำมากขึ้น ส่งผลให้โอกาสความน่าจะเป็นของการเกาะติดของผิวแร่กับฟองอากาศมากขึ้น

เมื่อของแข็งหรือแร่อยู่ในสารละลายที่เป็นของเหลว ยกตัวอย่างเช่น แร่ซิลิเกตเมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซิลานอล (Silanol, SiO-H) ซึ่งก่อตัวเป็นลักษณะผิวเปียกน้ำ (Hydrophilic) โดยเกิดประจุซึ่งก่อให้เกิดการแยก (Charge Separation) ระหว่างผิวของของแข็งและสารละลาย ทำให้ของแข็งแสดงประจุพื้นผิว (Surface charge) กับสารละลาย อาจมีการเคลื่อนย้ายประจุพื้นผิวไปมาและกระจายตัวรอบๆ พื้นผิวภายในสารละลาย และประจุพื้นผิวเป็นประจุไฟฟ้าที่สามารถเกิดขึ้นบนพื้นผิวของของแข็ง โดยการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) เป็นปฏิกิริยาเคมีของของแข็งกับสารละลาย ซึ่งทำให้พื้นผิวของแข็งมีสมบัติต่างไปจากเดิม มักเกิดขึ้นกับแร่ออกไซด์ แร่ซิลิเกต และเกลือกึ่งละลาย (Semi-soluble salt) เมื่ออยู่ในน้ำ รูปที่ 3.3 แสดงกลไกการดูดซับทางเคมีที่เกิดขึ้นกับแร่ควอตซ์



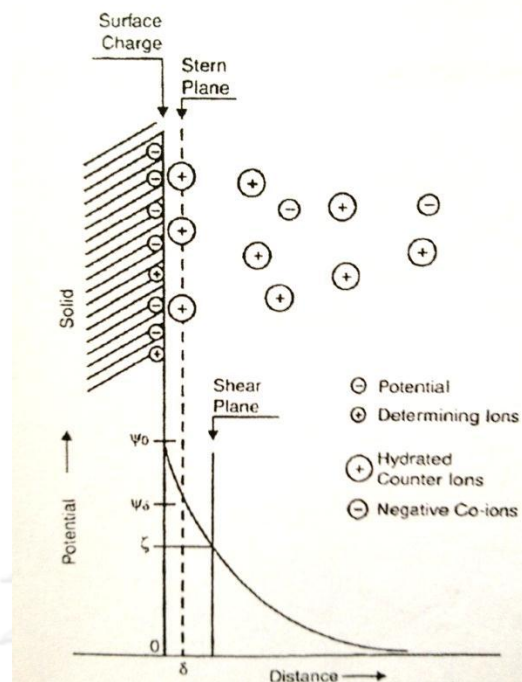
รูปที่ 3.3 ประจุพื้นผิวที่เกิดขึ้นบนผิวแร่ควอตซ์เมื่ออยู่ในน้ำ

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าพื้นผิวแร่ควอตซ์เมื่ออยู่ในของเหลวหรือน้ำจะเกิดกรดซิลิซิก (Silicic Acid) หรือซิลานอล ซึ่งแตกตัวให้อิออนไฮโดรเจน (H^+) ในสารละลาย ทำให้พื้นผิวของแร่ควอตซ์เกิดกลุ่มประจุลบ และถ้าอิออนไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาจะย้อนกลับ นั่นคือพื้นผิวจะกลับไปเป็นประจุบวก จึงกล่าวได้ว่า อิออนไฮโดรเจนเป็นอิออนกำหนดศักย์พื้นผิว (Potential Determining Ion) ของแร่กลุ่มนี้

3.1.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวแร่กับสารละลาย

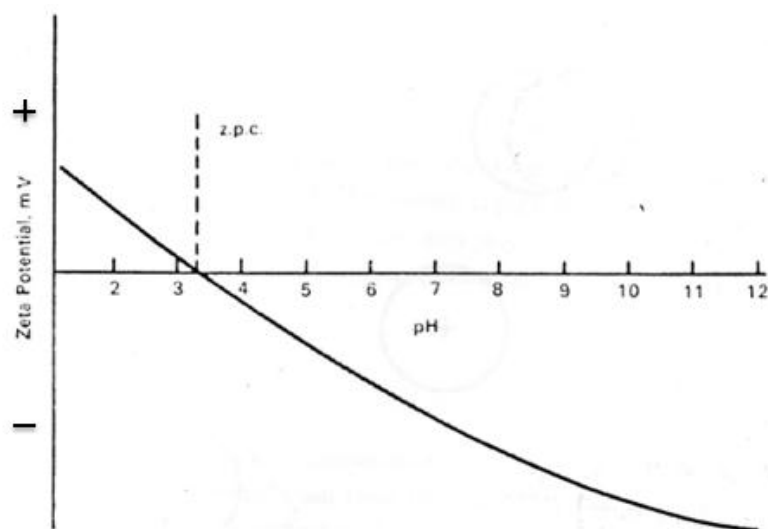
การเกิดประจุที่พื้นผิวแร่จะเกิดความต่างศักย์ซึ่งเกิดขึ้นในของเหลวหรือสารละลาย และประจุพื้นผิวถูกดึงดูดโดยประจุตรงข้ามจำนวนเท่ากันซึ่งกระจายตัวอยู่ในสารละลายนั้น และลักษณะที่ประจุในสารละลายที่อยู่รวมกันกับประจุพื้นผิวของของแข็งนั้น เรียกลักษณะดังกล่าวนี้ว่า ชั้นคู่ทางไฟฟ้า ดังแสดงตามรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงถึงอิออนกำหนดศักย์พื้นผิว (Potential Determining Ion) ที่ชั้นพื้นผิว (Surface Layer) มีการดูดซับ (Adsorb) กับเคาน์เตอร์อิออน (Counter Ion) ซึ่งเป็นอิออนชนิดตรงข้ามกัน เพื่อรักษาสสมดุลทางไฟฟ้าบริเวณชั้นสเตอร์น (Stern Layer) และแพร่กระจายในสารละลายรอบๆผิวของของแข็ง บริเวณชั้นแพร่กระจาย (Diffuse Layer)

ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็งหรือผิวแร่กับสารละลาย เรียกว่า ความต่างศักย์ชั้นคู่รวม (Total Double Layer Potential, Ψ_0) ส่วนค่าความต่างศักย์ระหว่างชั้นสเตอร์น (Stern Layer) กับสารละลาย เรียกว่า ความต่างศักย์ซีตา (Zeta Potential, ζ) ซึ่งความต่างศักย์ซีตามักจะใช้แทนความต่างศักย์พื้นผิว โดยการวัดค่าความต่างศักย์ซีตาที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือแบบ การเคลื่อนเข้าสู่ขั้วไฟฟ้า (Electrophoresis)



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงชั้นคู่ทางไฟฟ้าระหว่างผิวแร่กับน้ำ

ค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาที่วัดได้บ่งบอกถึงลักษณะของประจุพื้นแร่ในสารละลายนั้นๆ โดยมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับค่า pH ในสารละลาย ดังรูปที่ 3.5 เป็นผลของค่า pH กับศักย์ไฟฟ้าซีตาของแร่ซิลิเกต กล่าวคือเมื่อ pH ของสารละลายมีค่าน้อยลงหรือมีความเป็นกรดมากขึ้น มีผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าของแร่ซิลิเกตมีค่าบวกมากขึ้น ถ้าหากว่าพื้นผิวแร่มีประจุบวกและประจุลบบนผิวอนุภาคเท่ากัน จะทำให้เกิดลักษณะพื้นผิวแร่ที่ไม่มีประจุหรือประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์ (Point of Zero Charge, PZC) ถ้าหากว่าเราทราบค่า PZC ของแร่ทั้งสองชนิดที่ต้องการแยกออกจากกัน จะเป็นประโยชน์มากต่อการกำหนดวิธีการลอยแร่ ยกตัวอย่างเช่นในขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ เราทราบค่า PZC ของแร่ทั้งสองชนิดนี้จากตารางที่ 3.2 โดยแร่เฟลด์สปาร์ ชนิด Anorthoclase มีค่า PZC ที่ค่า pH 1.6 ส่วนแร่ควอตซ์มีค่า PZC ที่ค่า pH 3.7 ดังนั้นควรปรับสภาพของสารละลายให้อยู่ในช่วง pH 2-3 เพื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของแร่ควอตซ์เปลี่ยนจากเดิมที่มีประจุลบเป็นประจุบวก ส่วนศักย์ไฟฟ้าของแร่เฟลด์สปาร์ก็ยังคงเป็นประจุลบอยู่ ทำให้สารเคลือบผิวประจุบวกไปจับกับผิวแร่เฟลด์สปาร์ที่เป็นลบอย่างเฉพาะเจาะจง (Selectivity) แล้วลอยขึ้นมากับฟองอากาศได้



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลของค่า pH กับศักย์ไฟฟ้าซีตาของแร่ซิลิเกต (Manser R. M., 1975)

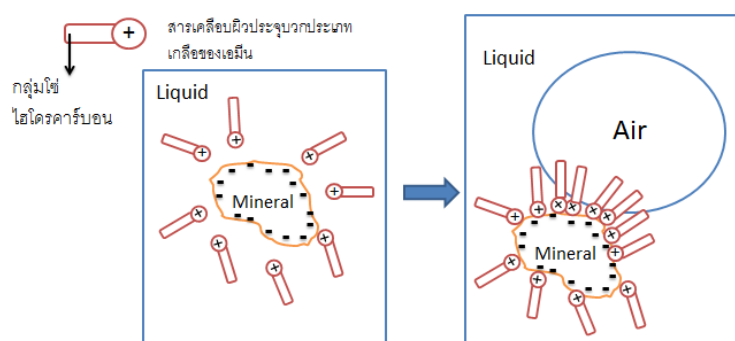
ตารางที่ 3.2 จุดประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์ของแร่ซิลิเกต (King R. P., 1982)

Silicate Class	Mineral	PZC ที่ค่า pH
Orthosilicate	Olivine	4.1
	Grossularite	4.7
	Almandine	5.8
	Zircon	5.8
	Topaz	3.5
	Kyanite	6.2, 6.9, 7.8
Single Chain	Diopside	2.8
	Jadeite	2.2
	Rhodonite	2.8
Metasilicate ring	Beryl	3.2, 3.4
	Cordierite	3.5
Sheet silicate	Kaolinite	3.4
	Talc	3.6
	Muscovite	1.0
	Biotite	0.4
	Chrysotile	12.4

Framework silicate	Microcline	1.7-1.9
	Orthoclase	1.4, 1.7
	Sanidine	1.7
	Albite	1.9, 2.3
	Anorthite	2.0, 2.4, 3.6
	Oligoclase	1.5
	Anorthoclase	1.6
	Quartz	1.8, 2.2, 3.7

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่

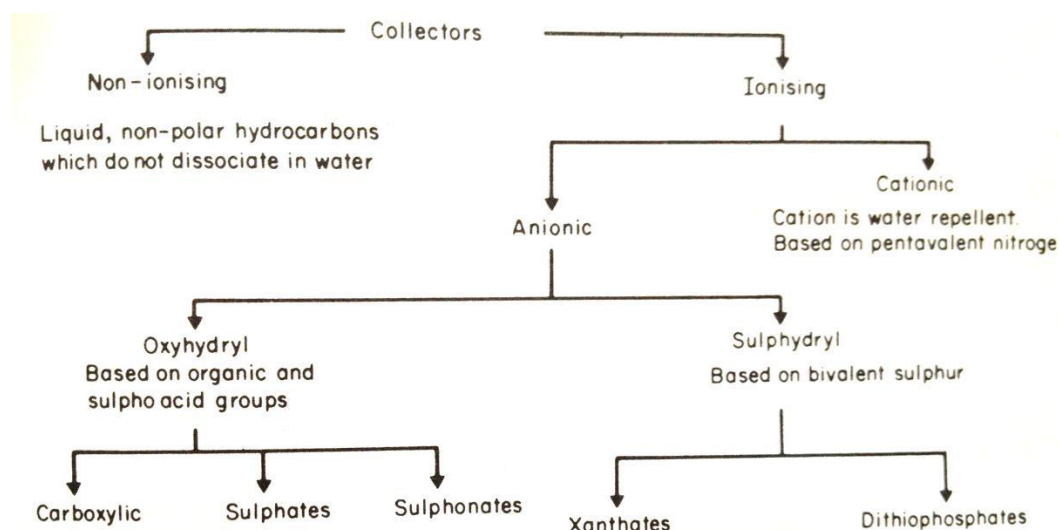
1. สารเคลือบผิวแร่ ใช้เคลือบผิวแร่ทำให้ผิวแร่มีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำและมีคุณสมบัติในการเกาะติดกับฟองอากาศสูงขึ้น โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ร่วมกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยกลุ่มสารอินทรีย์จะมีประจุ (Ion) ทำให้สามารถดูดซับต่อประจุบนผิวแร่ได้ ส่วนไฮโดรคาร์บอนจะไม่มีประจุ (Non-ionic) มีผลทำให้ผิวแร่ไม่เปียกน้ำและจะทำหน้าที่ดูดซับติดกับฟองอากาศ แสดงขั้นตอนตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของสารเคลือบผิว (Fuerstenau M.C., 1985)

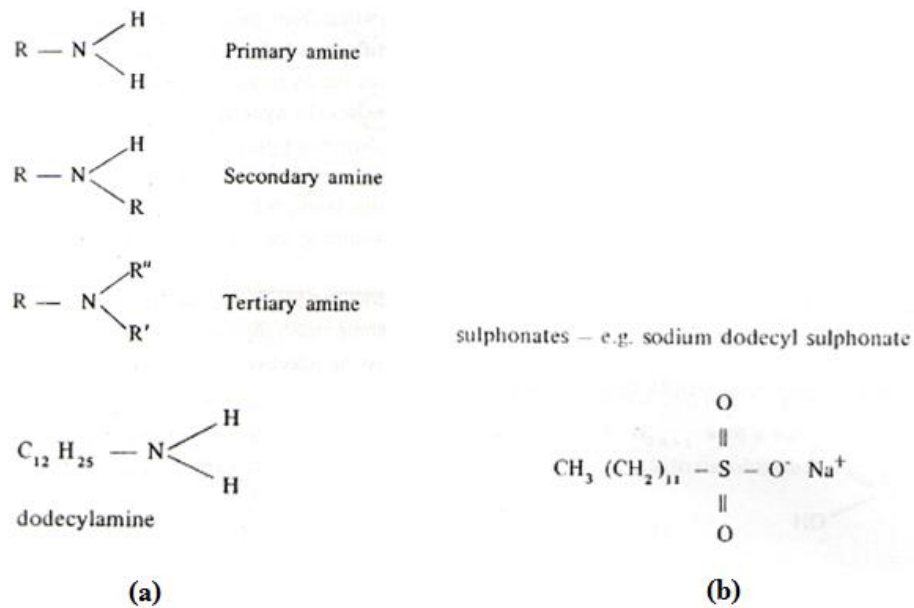
สารเคลือบผิวแร่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดกว้างๆ คือ สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่แตกตัวในน้ำ (Non-ionizing) จะไม่มีขั้ว มีแต่ไฮโดรคาร์บอน ได้แก่สารเคลือบผิวแร่ชนิดน้ำมันต่างๆ และสารเคลือบผิวแร่ที่แตกตัวในน้ำ (Ionizing) จะประกอบด้วยส่วนมีขั้ว (Polar) ที่อยู่ส่วนหัว และส่วนที่ไม่มีขั้ว (Non-polar) อยู่ส่วนหางเป็นไฮโดรคาร์บอน สารเคลือบผิวแร่ที่แตกตัวในน้ำจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สารเคลือบผิวที่มีขั้วบวก (Cationic) เช่น เอมีน (Amine) และสารเคลือบผิวที่มีขั้วลบ (Anionic) ซึ่งทั่วไปแบ่งย่อยได้เป็นกลุ่มออกซิไฮดริล (Oxyhydriyl) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากกลุ่ม Organic and Sulpho Acid และกลุ่มซัลไฟดริล (Sulphydriil) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากพันธะคู่ของซัลเฟอร์ในส่วนหัวที่มีขั้ว รายละเอียดแสดงตามรูปที่ 3.6

Classification of collectors



รูปที่ 3.7 การจำแนกชนิดของสารเคลือบผิวแร่ (Fuerstenau M.C., 1985)

สำหรับแร่ออกไซด์และแร่ซิลิเกตเมื่ออยู่ในน้ำ ผิวแร่จะมีการแตกตัวของโมเลกุลที่มีขั้วมากทำให้ผิวแร่มีสถานะเปียกน้ำ และมีความสามารถในการลอยต่ำมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมสารเคลือบผิวแร่ลงไปดูดซับและปรับสภาพผิวให้มีสถานะที่ไม่เปียกน้ำก่อนที่จะลอยติดฟองอากาศขึ้นมา สารเคลือบผิวแร่ที่ใช้ในขั้นตอนการลอยกลุ่มแร่ไมกาและแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์ ได้แก่ สารเคลือบผิวประจุบวกประเภทเกลือของเอมีน ในการลอยแร่ไมกาออกนั้น ได้ใช้สารเคลือบผิวเอมีนชนิดโตเดซิลเอมีนซึ่งมีโครงสร้างแบบปฐมภูมิ (Primary) และในการลอยเฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ได้ใช้ Duomeen TDO ซึ่งเป็นชื่อทางการค้าของสารเคลือบผิวเอมีนโครงสร้างแบบทุติยภูมิ (Secondary) ส่วนขั้นตอนการลอยแร่กลุ่มเหล็กจะใช้สารเคลือบผิวประจุลบ ชนิดซัลโฟเนต (Sulfonate) ซึ่งโครงสร้างของสารเคลือบผิวดูตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างโครงสร้างของสารเคลือบผิวที่ใช้ในการลอยแร่เฟลด์สปาร์

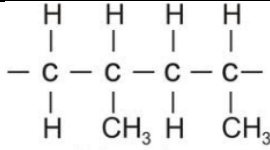
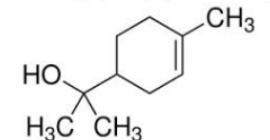
(a) สารเคลือบผิวประจุบวก ชนิดเกลือของเอมีน โครงสร้างต่างๆ เช่น โดเดซิลเอมีน โครงสร้างชั้นเดียว

(b) สารเคลือบผิวประจุลบ ชนิดซัลโฟเนต (Sulfonate)

2. สารเคลือบฟองอากาศ จะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาบนพื้นผิว (Surfactant) ชนิดหลายขั้ว (Heterpolar Compound) โดยส่วนหัวประกอบด้วยกลุ่มมีขั้วต่างๆทำหน้าที่ละลายน้ำ ส่วนหางจะเป็นส่วนไม่มีขั้วซึ่งเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนทำหน้าที่จับกับผิวของฟองอากาศทำให้ผิวน้ำและฟองอากาศมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำมากขึ้น สารเคลือบฟองอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเป็นสารพวกแอลกอฮอล์สามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การจำแนกสารเคลือบฟองอากาศ (Fuerstenau M.C., 1985)

Frother	Constituent	Structure
Cresylic acid	Xylenol	
MIBA	Methy isobutyl carbinal	

<p>Polyglycols</p>	<p>Polypropylene</p>	
<p>Pine oil</p>	<p>Terpineoil</p>	

การศึกษาวิจัยการลอยแร่เฟลด์สปาร์จะใช้น้ำมันสน (Pine oil) เป็นสารเคลือบฟองในทุกขั้นตอน น้ำมันสนเป็นสารประกอบอะโรมาติกแอลกอฮอล์ ที่มี Terpineoil ($C_{10}H_{17}OH$) เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้เกิดฟองขนาดเล็ก ค่อนข้างบาง แดงง่าย เหมาะสำหรับการเก็บแร่ที่ต้องการเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่สูงแต่เปอร์เซ็นต์เกรดต่ำ นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูก

3. สารปรับสภาพความเป็นกรด-เบส ของการศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ในขั้นตอนการลอยกลุ่มแร่ไมกาและการลอยกลุ่มแร่เหล็กจะใช้กรดซัลฟิวริก ส่วนขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากควอตซ์ในขั้นตอนปกติจะใช้กรดกัดแก้ว แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้กรดซัลฟิวริกในการเปลี่ยนสภาพความเป็นกรดแทนกรดกัดแก้ว

3.2 กรรมวิธีลอยแร่เฟลด์สปาร์

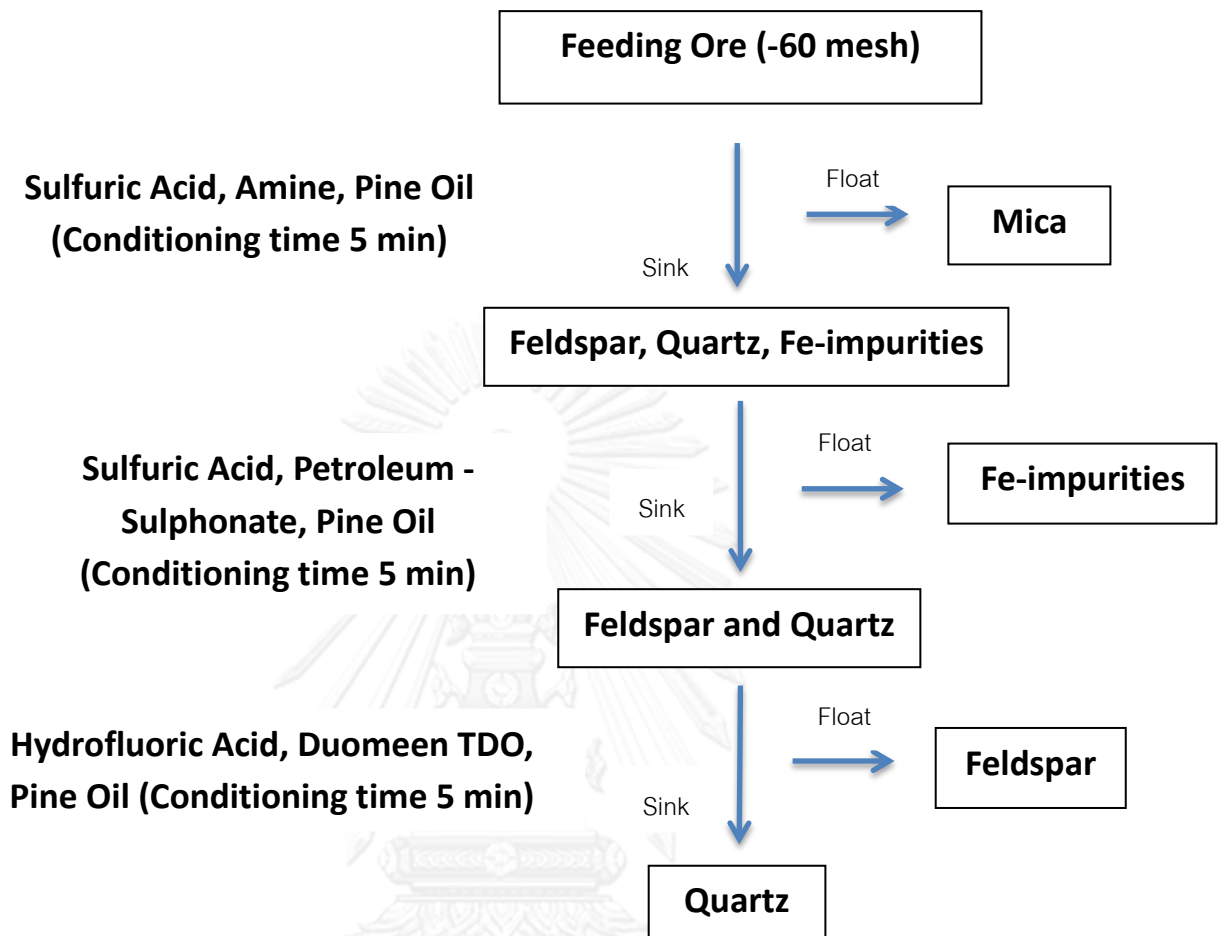
ก่อนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ ต้องนำแร่ป้อน (Feed) มาผ่านการย่อยแร่ โดยใช้เครื่องย่อยแร่แบบจอร์-ครัชเชอร์ (Jaw Crusher) เพื่อลดขนาดแร่ป้อน หลังจากนั้นนำมาบดละเอียด โดยใช้เครื่องบดแบบบอลเพื่อบดให้แร่เฟลด์สปาร์แยกตัวออกจากแร่มลทินและมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการลอยแร่ จากนั้นนำไปคัดขนาดเพื่อเลือกแร่ที่มีขนาดเหมาะสมที่ขนาดเล็กกว่า 60 mesh จากนั้นนำแร่ที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการลอยแร่ โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การลอยแร่กลุ่มไมกา การลอยแร่กลุ่มเหล็ก และการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ ตามแผนผังการลอยแร่รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ในส่วนของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์นั้น ได้ใช้กรรมวิธีที่แตกต่างกันในประเภทของน้ำยาปรับสภาพความเป็นกรด-เบส โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากการลอยแร่ระหว่างการใช้อกรดซัลฟิวริกและกรดกัดแก้วซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้อกรดซัลฟิวริกในการปรับสภาพความเป็นกรด-เบส โดยมีการควบคุมตัวแปรในส่วนของการใช้น้ำยาเคลือบผิวแร่ และค่าความเป็นกรด-เบสในช่วงต่างๆ สามารถกำหนดขั้นตอนการลอยแร่ได้ดังนี้

การลอยแร่กลุ่มไมกา ประกอบด้วยแรมส์โคไวต์และแร่ไบโอไทต์ จะดำเนินการเป็นขั้นตอนแรกของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ โดยปรับค่าความเป็นกรด-เบสที่ pH 2.0 โดยใช้กรดซัลฟิวริก ซึ่งมีผลต่อประจุบนผิวแร่ จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าค่าประจุไฟฟ้าลัทธิเป็นศูนย์ของแรมส์โคไวต์มีค่า 1.0 และแร่ไบโอไทต์มีค่า 0.4 ดังนั้นจากค่า pH ดังกล่าวจะทำให้ผิวแร่กลุ่มไมกามีค่าประจุเป็นลบและผิวแร่อื่นๆส่วนใหญ่มีค่าประจุเป็นบวก เมื่อเติมสารเคลือบผิวแร่โตะเดซิลเอมีน ซึ่งแตกตัวให้ประจุบวกจะสามารถเคลือบผิวแร่ไมกาที่มีประจุลบเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น จากนั้นเมื่อปล่อยฟองอากาศมา

จับกับแร่ไมกาที่มีสารเคลือบผิวแร่ แร่ไมกาจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำต่อไป จากค่าจุดประจุลัพท์เป็นศูนย์ของกลุ่มแร่ไมกา จะสังเกตว่าถ้าใช้ค่า pH ที่ต่ำก็ยังสามารถลอยกลุ่มแร่ไมกาได้ดี

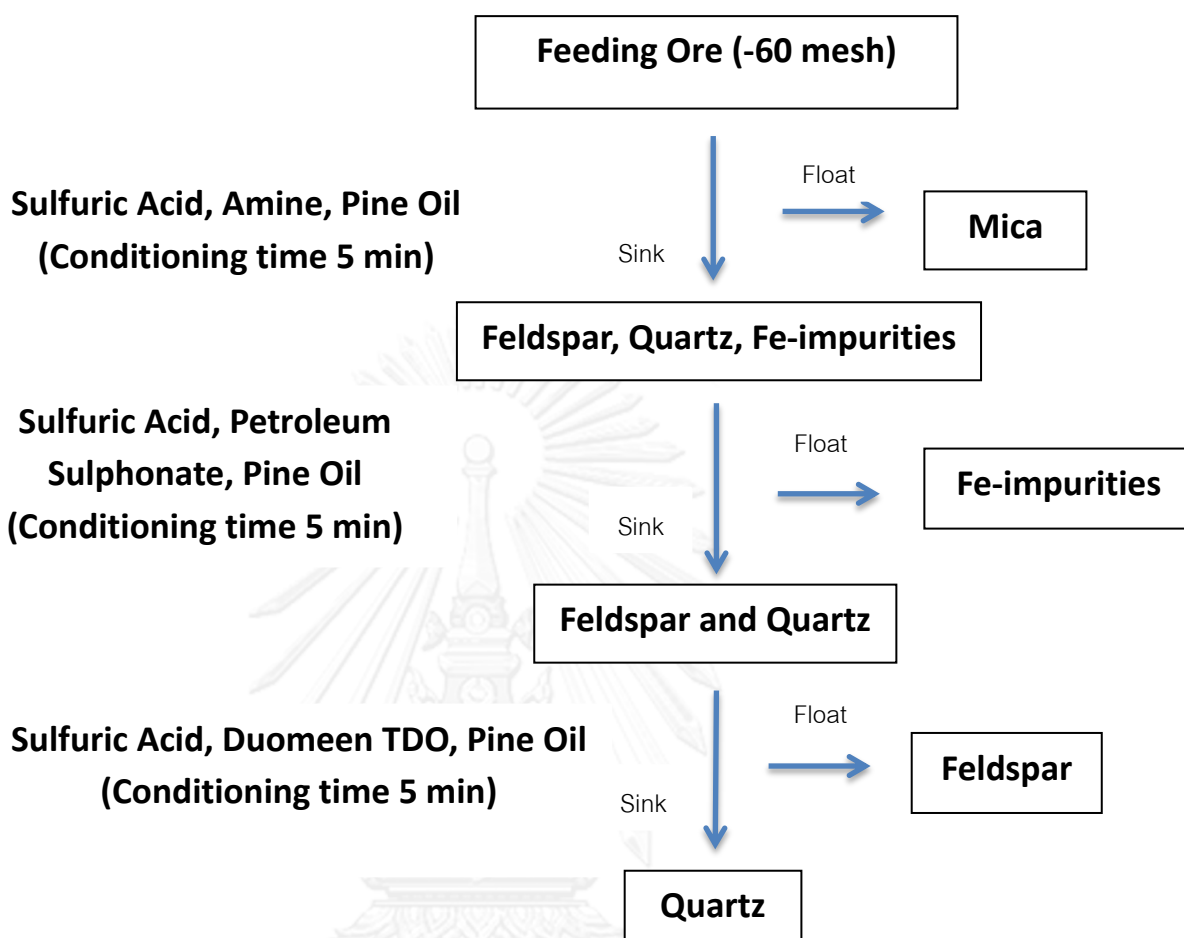
การลอยแร่กลุ่มแร่เหล็กจะปรับค่า pH ที่ 2.0 เพื่อให้ประจุบนผิวแร่เป็นบวก เนื่องจากแร่กลุ่มนี้ประกอบด้วยแร่ทัวร์มาลีน แร่ฮีมาไทต์ และแร่แมกนีไทต์ ซึ่งมีค่าประจุไฟฟ้าลัพท์เป็นศูนย์เท่ากับ 4.4, 4.0, 5.0 และ 6.5 ตามลำดับ ส่วนแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์จะมีประจุบนผิวแร่เป็นลบ เนื่องจากมีค่าประจุไฟฟ้าลัพท์เป็นศูนย์ที่ค่าเท่ากับ 1.8 และ 3.0 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเติมสารเคลือบผิวแร่ชนิดซิลิโพนตซึ่งแตกตัวในน้ำให้ประจุลบจะสามารถจับกับกลุ่มแร่เหล็กเพื่อลอยแยกออกจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ได้

ขั้นตอนสุดท้ายคือการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ จะแบ่งออกเป็นสองวิธี วิธีแรกจะใช้กรดกัดแก้วในการปรับสภาพความเป็นกรด-เบส จากตารางที่ 3.2 เนื่องจากมีค่าประจุไฟฟ้าลัพท์เป็นศูนย์ของแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์มีค่าที่ 1.8 และ 3.0 ตามลำดับ จึงควรลอยแร่เฟลด์สปาร์ที่ค่า pH ต่ำกว่า 3.0 จึงจะได้ผลดี เพราะที่ pH ต่ำกว่า 3.0 แร่ควอตซ์จะไม่สามารถลอยได้แต่แร่เฟลด์สปาร์ซึ่งถูกเคลือบผิวด้วยเอมีนจะสามารถจับกับฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองลอยแร่ที่ค่า pH ในช่วงระหว่าง 1.8 – 2.8 เพื่อหาค่า pH ที่เหมาะสมในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ และหาค่าปริมาณน้ำยาเอมีนที่เหมาะสมในช่วงระหว่าง 0.6 – 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน



รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์วิธีที่ 1

(ใช้กรดกัดแก้วในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์)



รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์วิธีที่ 2

(ใช้กรดซัลฟิวริกในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์)

3.2.1 ศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ด้วยเซลล์ลอยแร่

การลอยแร่จะใช้เซลล์ลอยแร่แบบกลไกขนาดห้องปฏิบัติการ โดยทำการลอยทีละครั้ง ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการลอยแร่ด้วยเซลล์ลอยแร่ นั้น สามารถแบ่งออกตามปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ปัจจัยทางเครื่องจักรในการลอยแร่ ได้แก่ ชนิดของเซลล์ลอยแร่ และความเร็วของใบพัดกวน (รอบต่อนาที)
2. ปัจจัยทางการปฏิบัติการ ได้แก่ ชนิด ลักษณะ และโครงสร้างของแร่ ความเข้มข้นของผสม ขนาดอนุภาคแร่ป้อน และเวลาที่ใช้ในการลอย
3. ปัจจัยทางเคมี ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารเคลือบผิวแร่ สารเคลือบฟอง สารปรับสภาพความเป็นกรด-เบส เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพผิวแร่

การศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ด้วยเซลล์ลอยแร่ ในขั้นตอนของการลอยกลุ่มแร่ไมกาและกลุ่มแร่เหล็กนั้น ได้กำหนดค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณสารเคลือบผิวแร่เป็นตัวแปรคงที่ ส่วนในขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้วและใช้กรดซัลฟิวริก ได้กำหนดค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณสารเคลือบผิวแร่เป็นตัวแปรทำงาน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการลอยแร่ ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะกำหนดเป็นตัวแปรคงที่ สรุปรายตามตาราง 3.4 โดยแบ่งเป็นขั้นตอนการวิจัยดังนี้

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์

ขั้นตอนการลอย	ตัวแปรคงที่	ตัวแปรทำงาน
1. ปัจจัยทางเครื่องจักรในการลอย - ชนิดของเซลล์ลอยแร่ - ความเร็วใบพัดกวน	Denver รุ่น D-12 1,500 รอบต่อนาที	- -
2. ปัจจัยทางการปฏิบัติงาน - ชนิด ลักษณะ และโครงสร้างของแร่ - ความเข้มข้นของผสม - ขนาดอนุภาคแร่ป้อน - เวลาที่ใช้ในการลอยแร่	25% Solid - 60 mesh 5 นาที	
3. ปัจจัยทางเคมี - สารเคลือบฟอง - สารเคลือบผิวแร่ - กลุ่มแร่ไมกา - กลุ่มแร่เหล็ก - แร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ - สารปรับสภาพกรด-เบส - กลุ่มแร่ไมกา - กลุ่มแร่เหล็ก - แร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ - เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวแร่ - อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพผิวแร่	น้ำมันสน โคเดซิลเอมีน ซัลโฟเนต - กรดซัลฟิวริก กรดซัลฟิวริก - 5 นาที อุณหภูมิห้อง	- - - Duomeen TDO - - กรดซัลฟิวริก และกรดกัดแก้ว - -

1. ขั้นตอนการล่อยกลุ่มแร่ไมก้าออกจากของผสม โดยทำการควบคุมตัวแปรคงที่ และปรับค่า pH ที่ 2.0 และใช้ปริมาณสารเคลือบผิวแร่ที่ 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน รายละเอียดตามตาราง 3.5
2. ขั้นตอนการล่อยกลุ่มแร่เหล็กออกจากของผสม โดยทำการล่อยแร่ไมก้าออกก่อน จากผลการทดลองตามข้อ 1. และทำการควบคุมตัวแปรคงที่ โดยปรับค่า pH ที่ 2.0 และใช้ปริมาณสารเคลือบผิวแร่ที่ 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน รายละเอียดตามตาราง 3.5
3. ขั้นตอนการล่อยกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ ได้แบ่งวิธีการล่อยแร่เฟลด์สปาร์ออกเป็นสองวิธี โดยใช้กรดกัดแก้วและกรดซัลฟิวริกในการปรับสภาพความเป็นกรด-เบสเพื่อมาเปรียบเทียบ โดยปรับค่า pH ที่ 1.8, 2.0, 2.2, 2.5 และ 2.8 และใช้ปริมาณสารเคลือบผิวแร่ที่ 0.6, 1.2, 1.8, 2.4 และ 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน รายละเอียดตามตาราง 3.5

การพิจารณาผลการวิจัยจะใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพและข้อมูลเชิงปริมาณเป็นตัวแปรเปรียบเทียบเพื่อหา สภาวะการล่อยที่เหมาะสม ตามหัวข้อดังนี้

1. ร้อยละน้ำหนักแร่จมและแร่ล่อยในขั้นตอนการล่อยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์
 2. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากการล่อยแร่ โดยใช้เครื่องรังสีเอกซ์เรืองแสง (XRF)
1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการล่อยแร่
 1. เครื่องล่อยแร่ ยี่ห้อ Denver
 2. เครื่องซีกตัวอย่างแร่แบบ Jones riffle sample
 3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Plate
 4. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง
 5. เต้าอบไฟฟ้า ตั้งเวลาและปรับอุณหภูมิได้
 6. เครื่องวัดค่า pH ระดับความแม่นยำ ± 0.1 pH
 7. นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน
 8. ปีกเกอร์ ขนาด 1 และ 2 ลิตร
 9. หลอดหยดน้ำยา 1 หลอด
 10. ภาดอลูมิเนียม จำนวน 10 ภาด
 2. สารเคมีที่ใช้ในการล่อย
 1. โดเดซิลเอมีน
 2. ซัลโฟเนต

3. Duomeen TDO
4. กรดซัลฟิวริก
5. กรดกัดแก้ว
6. น้ำมันสน

3.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอยแร่เฟลด์สปาร์

3.2.2.1 การศึกษาลอยแร่กลุ่มไมกาและกลุ่มแร่เหล็ก

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแร่ป้อน 1 กิโลกรัม ที่ผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรง 60 เมช
2. นำแร่ป้อนที่คัดขนาดแล้วมาใส่ในเซลล์ลอยแร่แล้วเติมน้ำ เพื่อปรับสภาวะความเข้มข้นของผสมที่ 25 % Solid
3. จากนั้นปรับสภาวะของผสม โดยใช้ตัวแปรคงที่คือ โดเดซิลเอมีน 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน และปรับค่า pH ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ 2.0
4. ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ของผสมและน้ำยาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที
5. หลังจากนั้นเปิดให้ฟองอากาศเข้าสู่เซลล์ลอยแร่ เพื่อลอยแร่ที่ต้องการขึ้นมาสู่ผิวน้ำ
6. นำแร่ลอย (กลุ่มแร่ไมกา) และแร่จม มาอบแห้งและชั่งน้ำหนัก
7. นำแร่ที่ได้จากการลอยแร่กลุ่มไมกาออกแล้ว มาเติมน้ำเพื่อปรับสภาวะความเข้มข้นของผสมที่ 30% Solid เพื่อทำการลอยกลุ่มแร่เหล็กออกในขั้นตอนต่อไป
8. จากนั้นปรับสภาวะของผสม โดยใช้ตัวแปรคงที่คือ ซัลโฟเนต 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน และปรับค่า pH ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ 2.0
9. ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ของผสมและน้ำยาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที
10. หลังจากนั้นเปิดให้ฟองอากาศเข้าสู่เซลล์ลอยแร่ เพื่อลอยแร่ที่ต้องการขึ้นมาสู่ผิวน้ำ
11. นำแร่ลอย (กลุ่มแร่เหล็ก) และแร่จม มาอบแห้งและชั่งน้ำหนัก

3.2.2.2 การศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้ว

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแร่ป้อน 1 กิโลกรัม ที่ผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรง 60 เมช
2. ทำการลอยกลุ่มแร่ไมกาและกลุ่มแร่เหล็กตามการทดลอง 3.2.2.1 ตามลำดับ
3. นำแร่ที่ได้จากการลอยแร่กลุ่มไมกาและกลุ่มแร่เหล็กออกแล้ว มาเติมน้ำเพื่อปรับสภาวะความเข้มข้นของผสมที่ 25% Solid เพื่อทำการลอยกลุ่มแร่เหล็กออกในขั้นตอนต่อไป
4. ปรับสภาวะของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ตามตัวแปรคงที่ แสดงค่าในตาราง 3.5

5. ใช้ตัวแปรทำงานคือ น้ำยาเคลือบผิว Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน และค่า pH ที่จุดต่างๆ คือ 1.8, 2.0, 2.2, 2.5 และ 2.8 โดยใช้กรดกัดแก้วในการปรับ pH
6. นำแร่ลอย (เฟลด์สปาร์) และแร่จม (แร่ควอตซ์) มาอบแห้งและชั่งน้ำหนัก
7. วิเคราะห์ผลทางเคมีแร่ลอย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เรืองแสง (X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

วิเคราะห์ผลการศึกษา

ผลการลอยแร่ที่ใช้กรดกัดแก้วเป็นตัวแปรทำงานในการปรับสภาพความเป็นกรด โดยใช้ปริมาณสารเคลือบผิวคงที่ ที่ 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อนทุกการทดลอง สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ลอยเทียบกับค่า pH แสดงตามรูปที่ 3.8 และตาราง 3.6 และผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ลอยเทียบกับค่า pH แสดงตามรูปที่ 3.9 และตาราง 3.7 ซึ่งพบว่า

- การลอยแร่ที่ค่า pH 1.8 จะมีปริมาณแร่ลอยมากที่สุด ในทางตรงกันข้ามการลอยแร่ที่ค่า pH 2.8 จะมีปริมาณแร่ลอยน้อยที่สุด จะสังเกตได้ว่าปริมาณแร่ลอยจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงจากช่วง 2.8 ถึง 1.8

- การลอยแร่ที่ค่า pH 2.0 จะได้ผลวิเคราะห์ทางเคมีที่ดีที่สุด (กล่าวคือถ้าแร่ที่ลอยได้มีผลวิเคราะห์ทางเคมีของ $\%K_2O$ และ $\%Na_2O$ รวมกันได้มากกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ และ $\%SiO_2$ ต่ำกว่า 70% แร่ลอยนั้นจะสามารถนำไปใช้ในทางเซรามิกได้ทั้งหมด) ส่วนในการลอยแร่ที่ค่า pH 1.8 จะได้ผลวิเคราะห์ทางเคมีที่แย่ที่สุด จะสังเกตได้ว่าผลวิเคราะห์ทางเคมีจะดีขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงจากช่วง 2.8 ถึง 2.0 และจะต่ำลงเมื่อค่า pH ลดลงจาก 2.0 ถึง 1.8 อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์ทางเคมีของทุกค่า pH สามารถนำไปใช้งานในทางเซรามิกได้

ดังนั้นในการลอยแร่ที่ใช้กรดกัดแก้ว ควรปรับค่า pH ที่ 2.8 เพราะปริมาณแร่ลอยไม่ต่างกันมากเมื่อเทียบกับค่า pH อื่นๆ และยังสามารถประหยัดสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรดได้

3.2.2.3 การศึกษาการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก

1. นำแร่ป้อน 1 กิโลกรัม ที่ผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรง 60 เมช
2. ทำการลอยกลุ่มแร่ไมกาและกลุ่มแร่เหล็กตามการทดลอง 3.2.2.1 ตามลำดับ
3. นำแร่ที่ได้จากการลอยแร่กลุ่มไมกาและกลุ่มแร่เหล็กออกแล้ว มาเติมน้ำเพื่อปรับสถานะความเข้มข้นของผสมที่ 25% Solid เพื่อทำการลอยกลุ่มแร่เหล็กออกในขั้นตอนต่อไป
4. ปรับสถานะของการลอยแร่เฟลด์สปาร์ตามตัวแปรคงที่ แสดงค่าในตาราง 3.10
5. ใช้ตัวแปรทำงานคือ น้ำยาเคลือบผิว Duomeen TDO 0.6, 1.2, 1.8, 2.4 และ 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน และค่า pH ที่จุดต่างๆ คือ 1.8, 2.0, 2.2, 2.5 และ 2.8 โดยใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับ pH
6. นำแร่ลอย (เฟลด์สปาร์) และแร่จม (แร่ควอตซ์) มาอบแห้งและชั่งน้ำหนัก

7. วิเคราะห์ผลทางเคมีแร่ลอย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เรืองแสง (X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

วิเคราะห์ผลการศึกษา

เนื่องจากผลการเก็บแร่ได้ของการลอยแร่โดยใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับสภาพความเป็นกรด จากตาราง 3.9 มีแค่การลอยที่ใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิว Duomeen TDO 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน ที่มีผลการเก็บแร่ได้ของแร่ลอยมากกว่าแร่จม จึงไม่มีการวัดผลวิเคราะห์ทางเคมีของการทดลองที่เหลือ จึงเริ่มการทดลองต่อไปโดยใช้ปริมาณ Duomeen TDO ที่ 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน ในค่า pH ช่วง 1.8 ถึง 2.8 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลอยแร่ ในขั้นตอนนี้ต่อไป

ผลการลอยแร่ที่ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวแปรทำงานในการปรับสภาพความเป็นกรด โดยใช้ปริมาณสารเคลือบผิว Duomeen TDO ที่ 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อนทุกการทดลอง สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ลอยเทียบกับค่า pH แสดงตามกราฟรูปที่ 3.10 และตาราง 3.11 และผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ลอยเทียบกับค่า pH แสดงตามกราฟรูปที่ 3.11 และตารางที่ 3.12 ซึ่งพบว่า

- การลอยแร่ที่ค่า pH 2.0 จะมีปริมาณแร่ลอยมากที่สุด ส่วนในการลอยแร่ที่ค่า pH 2.8 จะมีปริมาณแร่ลอยน้อยที่สุด จะสังเกตได้ว่าปริมาณแร่ลอยจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงจากช่วง 2.8 ถึง 2.0 และปริมาณแร่ลอยจะลดลงเมื่อค่า pH ลดจากช่วง 2.0 ถึง 1.8

- การลอยแร่ที่ค่า pH 2.5 จะได้ผลวิเคราะห์ทางเคมีที่ดีที่สุด (กล่าวคือถ้าแร่ที่ลอยได้มีผลวิเคราะห์ทางเคมีของ $\%K_2O$ และ $\%Na_2O$ รวมกันได้มากกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ และ $\%SiO_2$ ต่ำกว่า 70% แร่ลอยนั้นจะสามารถนำไปใช้ในทางเซรามิคได้ทั้งหมด) ส่วนในการลอยแร่ที่ค่า pH 1.8 จะได้ผลวิเคราะห์ทางเคมีที่แย่ที่สุด จะสังเกตได้ว่าผลวิเคราะห์ทางเคมีจะดีขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจากช่วง 1.8 ถึง 2.8 อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์ทางเคมีของทุกค่า pH สามารถนำไปใช้งานในทางเซรามิคได้

ดังนั้นในการลอยแร่ที่ใช้กรดซัลฟิวริก ควรปรับค่า pH 2.8 เพราะปริมาณแร่ลอยไม่ต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับค่า pH อื่นๆ และยังสามารถประหยัดสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรดได้

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดกัดแก้ว ที่ปริมาณ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8

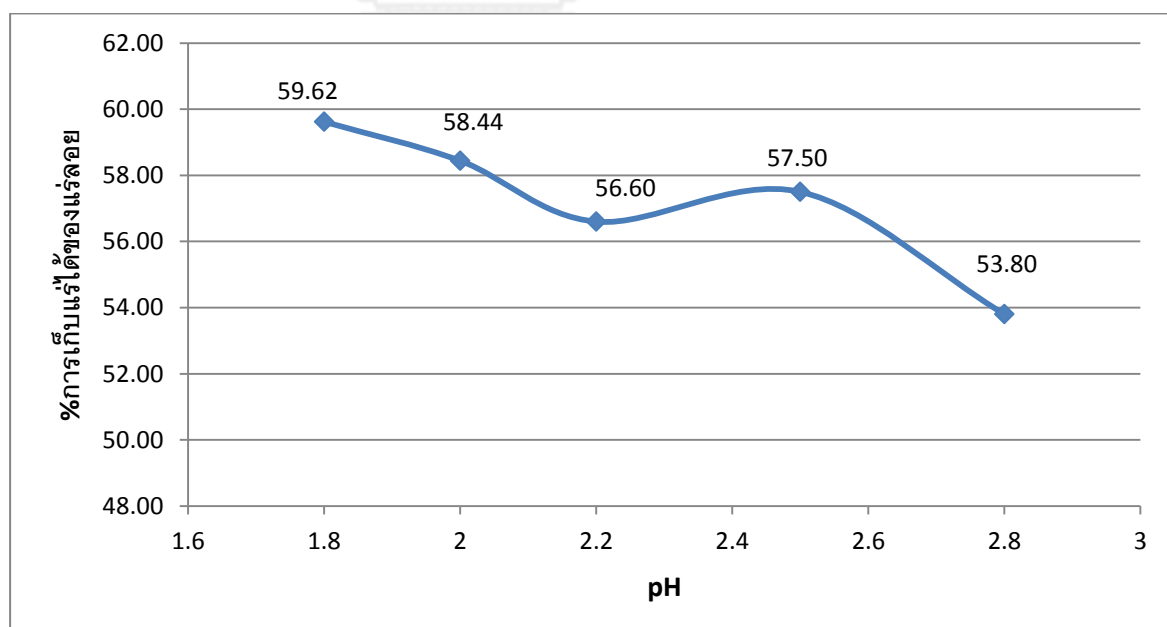
ตัวแปร	การทดลองที่				
	1	2	3	4	5
ตัวแปรทำงาน					
ปริมาณ Duomeen TDO (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ค่า pH หลังปรับด้วยกรดกัดแก้ว	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8
ตัวแปรคงที่					
ปริมาณน้ำมันสน (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ค่า pH ก่อนการปรับสภาพ	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2
ความเข้มข้นของผสม (%Solids)	25	25	25	25	25
เวลาการปรับสภาพ (นาที)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
เวลาที่ใช้ลอยแร่ (นาที)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ความเร็วรอบใบพัด (รอบต่อนาที)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500

ตารางที่ 3.6 ผลการชั่งน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ โดยใช้กรดกัดแก้ว ที่ปริมาณ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8

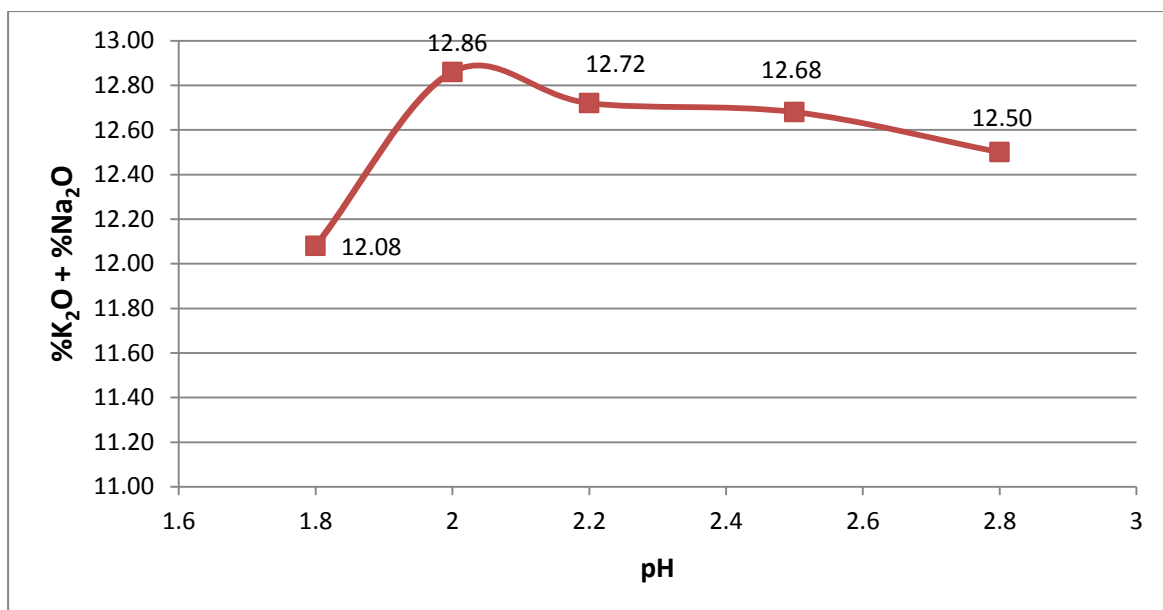
	น้ำหนักหัวแร่ (g)	(%yield) หัวแร่	น้ำหนักหางแร่ (g)	(%yield) หางแร่
@pH 1.8	298.1	59.62%	144.1	28.82%
@pH 2.0	292.2	58.44%	148.0	29.60%
@pH 2.2	283.0	56.60%	162.2	32.44%
@pH 2.5	287.5	57.50%	156.0	31.20%
@pH 2.8	269.0	53.80%	174.2	34.84%

ตารางที่ 3.7 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้กรดกัดแก้ว ที่ปริมาณ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8

	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	LOI
Feed	0.08	0.02	0.12	17.01	72.87	4.94	4.60	0.05	0.31
@pH 1.8	0.01	0.05	0.07	18.46	68.91	6.07	6.01	0.04	0.38
@pH 2.0	0.01	0.05	0.05	18.68	67.93	6.44	6.42	0.04	0.38
@pH 2.2	0.02	0.02	0.06	17.90	68.87	6.34	6.38	0.04	0.37
@pH 2.5	0.02	0.03	0.05	18.12	68.68	6.16	6.52	0.04	0.38
@pH 2.8	0.01	0.03	0.05	18.08	68.90	6.01	6.49	0.04	0.39



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ได้ของแร่ลอยโดยใช้กรดกัดแก้วที่ค่า pH 1.8 ถึง 2.8



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ลอยโดยใช้กรดกัดแก้วที่ค่า pH 1.8 ถึง 2.8

ตารางที่ 3.8 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ pH 2.0 ในช่วงปริมาณ Duomeen TDO ระหว่าง 0.6 – 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่

ตัวแปร	การทดลองที่				
	1	2	3	4	5
ตัวแปรทำงาน					
ปริมาณ Duomeen TDO (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)	0.6	1.2	1.8	2.4	3.2
ค่า pH หลังปรับด้วยกรดกัดแก้ว	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ตัวแปรคงที่					
ปริมาณน้ำมันสน (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ค่า pH ก่อนการปรับสภาพ	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2
ความเข้มข้นของผสม (%Solids)	25	25	25	25	25
เวลาการปรับสภาพ (นาที)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
เวลาที่ใช้ลอยแร่ (นาที)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ความเร็วรอบใบพัด (รอบต่อนาที)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500

ตารางที่ 3.9 ผลการชั่งน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ pH= 2.0 ในช่วงปริมาณ Duomeen TDO ระหว่าง 0.6 – 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่

เอมีน กิโลกรัมต่อ ตันแร่ป้อน	น้ำหนักหัวแร่ (g)	(%yield) หัวแร่	น้ำหนักหางแร่ (g)	(%yield) หางแร่
0.6	78.0	15.60%	397.5	79.50%
1.2	142.5	28.50%	319.6	63.92%
1.8	188.4	37.68%	260.7	52.14%
2.4	220.8	44.16%	239.4	47.88%
3.2	275.6	55.12%	178.3	35.66%

ตารางที่ 3.10 ค่าตัวแปรต่างๆในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8

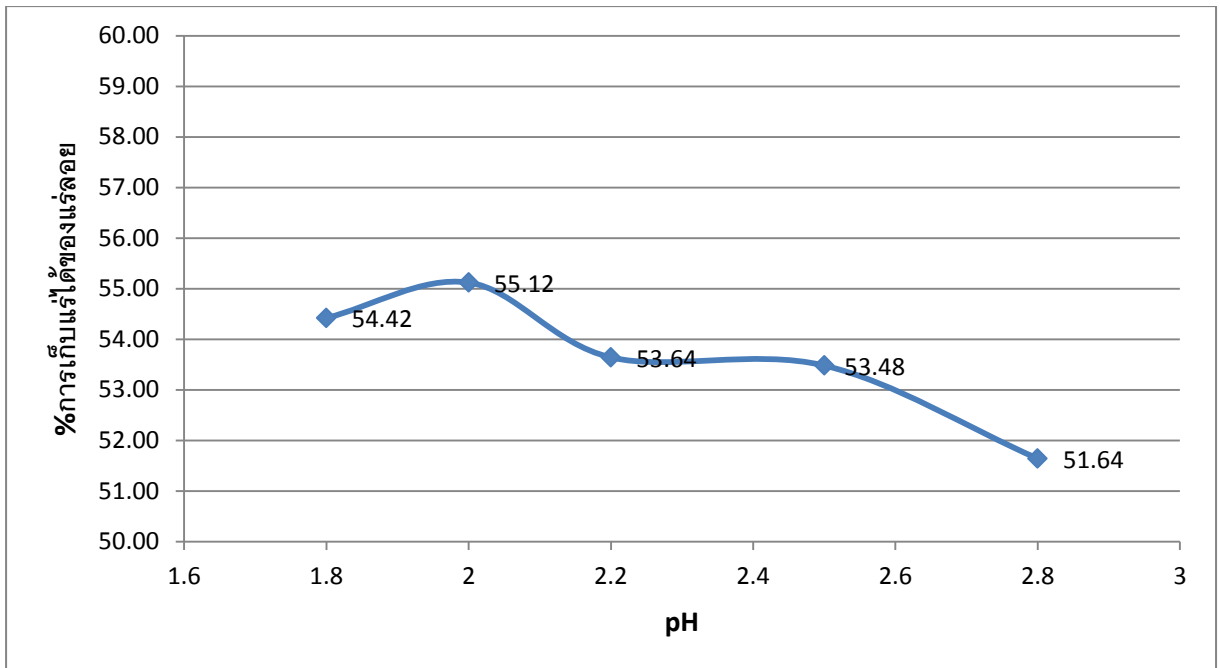
ตัวแปร	การทดลองที่				
	1	2	3	4	5
ตัวแปรทำงาน					
ปริมาณ Duomeen TDO (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
ค่า pH หลังปรับด้วยกรดกัดแก้ว	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8
ตัวแปรคงที่					
ปริมาณน้ำมันสน (กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ค่า pH ก่อนการปรับสภาพ	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2
ความเข้มข้นของผสม (%Solids)	25	25	25	25	25
เวลาการปรับสภาพ (นาที)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
เวลาที่ใช้ลอยแร่ (นาที)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ความเร็วรอบใบพัด (รอบต่อนาที)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500

ตารางที่ 3.11 ผลการชั่งน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8

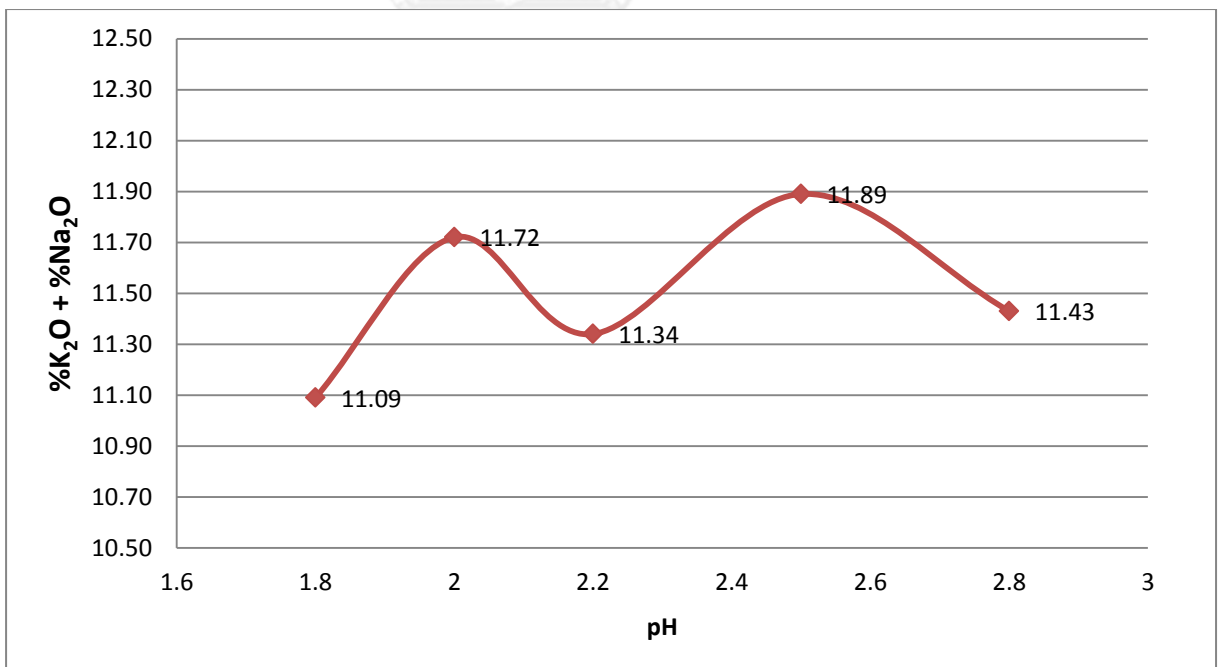
	น้ำหนักหัวแร่ (g)	(%yield) หัวแร่	น้ำหนักหางแร่ (g)	(%yield) หางแร่
@pH 1.8	272.1	54.42%	159.9	31.98%
@pH 2.0	275.6	55.12%	178.6	35.72%
@pH 2.2	268.2	53.64%	173.1	34.62%
@pH 2.5	267.4	53.48%	163.8	32.76%
@pH 2.8	258.2	51.64%	183.0	36.60%

ตารางที่ 3.12 ผลวิเคราะห์เคมีของแร่เฟลด์สปาร์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH ระหว่าง 1.8 – 2.8

	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	LOI
Feed	0.08	0.02	0.12	17.01	72.87	4.94	4.60	0.05	0.31
@pH 1.8	0.87	0.01	0.02	18.4	69.30	5.64	5.45	0.04	0.27
@pH 2.0	0.87	0.02	0.01	18.31	68.75	6.17	5.55	0.04	0.28
@pH 2.2	0.89	0.01	0.02	18.92	68.52	5.82	5.52	0.04	0.26
@pH 2.5	0.88	0.02	0.02	18.36	68.52	6.38	5.51	0.01	0.30
@pH 2.8	1.11	0.01	0.01	18.65	68.47	6.14	5.29	0.04	0.28



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลการเก็บแร่ได้ของแร่ลอยโดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH 1.8 ถึง 2.8



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ลอยโดยใช้กรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณ Duomeen TDO 3.6 กิโลกรัมต่อตันแร่ ในช่วงค่า pH 1.8 ถึง 2.8

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิธีการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยไม่ใช้กรดกัดแก้ว ได้ใช้ตัวอย่างแร่เฟลด์สปาร์ผสมของบริษัทอรรธนี อินเทอร์เน็ตเนชั่นนอล จำกัด แหล่งแร่ตั้งอยู่ที่บ้านใหม่แม่ไข ตำบลทุ่งกระเซาะ อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างแร่ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนพบว่าประกอบด้วยแร่ควอตซ์ ไมโครไลน์ และเอลไบต์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นพบแร่มีสโคไวต์เล็กน้อย ตามภาคผนวก ส่วนการศึกษาคุณสมบัติแร่ด้วยรังสีเอกซ์เรืองแสงเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีซิลิกา 71.87% แคลเซียมออกไซด์ 0.08% ไทเทเนียมออกไซด์ 0.02% เพอร์ริกออกไซด์ 0.12% อะลูมินา 17.01% แมกนีเซียมออกไซด์ 0.05% โพแทสเซียมออกไซด์ 4.94% โซเดียมออกไซด์ 4.60% และการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ 0.31% จากผลการวิเคราะห์แร่เหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ทางเซรามิกได้

การศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดกัดแก้ว ได้สภาวะที่เหมาะสมในการลอยซึ่งมีตัวแปรทำงานที่ค่า pH 2.8 และใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่ Duomeen TDO 0.3 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน โดยมีผลการเก็บแร่ได้ 53.80% และผลวิเคราะห์ทางเคมีของซิลิกา 68.90% โพแทสเซียมออกไซด์ 6.01% โซเดียมออกไซด์ 6.49%

การศึกษาลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก ได้สภาวะที่เหมาะสมในการลอยซึ่งมีตัวแปรทำงานที่ค่า pH 2.5 และใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบผิวแร่เอมีนชนิดทุติยภูมิ Duomeen TDO 3.2 กิโลกรัมต่อตันแร่ป้อน โดยมีผลการเก็บแร่ได้ 53.48% และผลวิเคราะห์ทางเคมีของซิลิกา 68.52% โพแทสเซียมออกไซด์ 6.38% โซเดียมออกไซด์ 5.51%

ขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริก เมื่อเทียบกับกรดกัดแก้วนั้นได้ผลการลอยแร่ที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าผลการเก็บแร่ได้และผลวิเคราะห์ทางเคมีของการใช้กรดกัดแก้ว จะดีกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกเล็กน้อย แต่ผลการเก็บแร่ได้และผลวิเคราะห์ทางเคมีของการใช้กรดซัลฟิวริกก็เพียงพอต่อการนำแร่ที่ได้ไปใช้ในทางอุตสาหกรรมเซรามิก

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์โดยใช้กรดซัลฟิวริกให้ได้ผลการทดลองใกล้เคียงกับวิธีการลอยโดยใช้กรดกัดแก้วในการปรับสภาพความเป็นกรด จำเป็นต้องใช้ปริมาณของน้ำยาเคลือบผิวที่มากกว่า 10 เท่าของวิธีเดิม ดังนั้นเราจึงต้องคำนึงถึงต้นทุนค่าน้ำยาที่เพิ่มขึ้น

หากพิจารณาถึงความเฉพาะเจาะจง (Selectivity) ในการแยกแร่ เมื่อวิเคราะห์หัวแร่เฟลด์สปาร์จากโปรแกรม Normative Calculation ในรูปที่ 4.1 พบว่าหัวแร่เฟลด์สปาร์ที่ผ่านการลอยโดยใช้กรดกัดแก้วมี Selectivity ที่ดีกว่าการลอยที่ใช้กรดซัลฟิวริก เพราะว่ามีปริมาณของแร่ควอตซ์มีเปอร์เซ็นต์น้อยกว่าการลอยที่ใช้กรดซัลฟิวริกเล็กน้อย

FELDSPAR NORMATIVE CALCULATION		FELDSPAR NORMATIVE CALCULATION	
HF Method @pH 2.8		Non-HF Method @pH 2.5	
Mineral Assemblages		Mineral Assemblages	
Quartz	8.13	Quartz	10.20
Orthoclase	35.52	Orthoclase	37.66
Albite	54.92	Albite	46.58
Anorthite	0.05	Anorthite	4.36
Hematite	0.05	Hematite	0.02
Rutile	0.03	Rutile	0.02
Exc. Al ₂ O ₃	0.88	Exc. Al ₂ O ₃	0.79
Others	0.43	Others	0.38
Total	100.00	Total	100.00

รูปที่ 4.1 โปรแกรม Normative Calculation วิเคราะห์องค์ประกอบหัวแร่เฟลด์สปาร์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ ระหว่างราคากับปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการลอยแร่ของทั้งสองวิธีแสดงในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ราคาและปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการลอยแร่

ชนิดน้ำยา	ปริมาณน้ำยา (กิโลกรัมต่อตัน)	ราคา/กิโลกรัม (บาท)	ราคารวม (บาท)
กรดกัดแก้ว (HF)	0.5	73.0	36.5
Duomeen TDO	0.3	210.0	63.0
ราคาน้ำยาที่ใช้ในวิธีลอยแร่โดยใช้กรดกัดแก้วต่อแร่หนึ่งตัน			<u>99.5</u>
กรดซัลฟิวริก	0.6	5.0	3.0
Duomeen TDO	3.2	210.0	672.0
ราคาน้ำยาที่ใช้ในวิธีลอยแร่โดยใช้กรดซัลฟิวริกต่อแร่หนึ่งตัน			<u>675.0</u>

ที่มา: บริษัทอัลเคมี (ราคา ณ เดือนเมษายน 2557)

เมื่อมองถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้กรดกัดแก้วในการลอยด้วยวิธีเดิม ถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้กรดซัลฟิวริกในการลอยแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่ควอตซ์ แทนการใช้กรดกัดแก้ว เพียงแต่ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

รายการอ้างอิง

- Akira K. (1977). Hydrochloric Acid Flotation Process for Separation Feldspar from Siliceous Sand. *U.S. Patent Documents*.
- Chairoj Rattanakawin. (2010). Processing of hornblende syenite for ceramics. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 32, 189-195.
- Fuerstenau M.C., M. J. D. a. K. M. C. (1985). *Surface Phenomena*. New York: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining.
- Jacob H. M. & Subir B. (2006). *Electrokinetic and Colloid Transport Phenomena*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- King R. P. (1982). *Principles of Flotation*. South Africa Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg. .
- Klein C. (1993). *Manual of Mineralogy*: John Wiley and Sons, Inc.
- Malghan S.G. (1976). *Selective Flotation Separation of Feldspar in Non-Fluoride Medium*. Paper presented at the SME Fall Meeting, Denver.
- Manser R. M. (1975). *Handbook of Silicate Flotation*. Warren Spring Laboratory, Stevenage, England.
- Mason B. & Moore C. B. (1982). *Principles of Geochemistry*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Oxford Instruments Analytical. (1997). *MDX1000 with Flex-channel option Operation's Manual*. Halifax Road, HighWycombe, Bucks. UK.
- Petak J. M. (1934). *Relative floatability of silicate minerals* (Vol. 564). Am. Inst, Mining Met. Engrs.: Tech. Pub.
- Witthawin S. & Somsak S. (2011, 9 May). *Upgrading weathered feldspar around TakoPidThongmines*. Paper presented at the The 1st ASEAN Industrial Mineral Workshop, Ipoh, Malaysia.
- ฉดับ ปัทมสุต. (2532). การลอยแร่เฟลด์สปาร์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิก กรณี บ.อรรฐนีอินเตอร์เนชั่นแนล. Paper presented at the การประชุมทางวิชาการเหมืองแร่ 3 สถาบัน พัทยา ชลบุรี.
- นุชรี สองรักษ์. (2554). การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จากทรายเหลือทิ้ง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญจพล ถาคำ. (2551). การวิเคราะห์เชิงสมบัติและพารามิเตอร์ ของการลอยแร่เฟลด์สปาร์โดยเซลล์คอลลัมน์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพรัตน์ เตชะวิวัฒนาการ. (2533). การแต่งแร่เฟลด์สปาร์โดยเทคนิคการแยกแม่เหล็กเข้มข้นสูงแบบเปียกและการลอยแร่. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรกุล แก้วยานะ. (2539). แร่เฟลด์สปาร์ผสมของจังหวัดตาก: สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3 เชียงใหม่, กรมทรัพยากรธรณี.

ศิริโรจน์ ศิริลักษณ์. (2547). การลอยแร่เฟลด์สปาร์เกรดต่ำในสภาวะเป็นกลาง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
การจำแนกชนิดแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน
 (Mineral Identification by X-Ray Diffraction)

1. การทำงานของรังสีเอกซ์เลี้ยวเบนเพื่อการจำแนกชนิดแร่



รูป ก. 1 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์

แร่มีรูปผลึกซึ่งมีระยะระหว่างระนาบ (d-spacing) ของแต่ละหน้าผลึกที่คงที่ของแต่ละชนิดแร่ กล่าวคือ เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิมากระทบระนาบของผลึกแร่ เกิดการเลี้ยวเบนเป็นไปตามกฎ Bragg ($n\lambda = 2d\sin\theta$) โดย λ คือความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ, θ คือ มุมที่เกิดการเลี้ยวเบนที่วัดได้) ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบได้ โดยแสดงผลออกมาเป็นความเข้มของการนับ (Count) หรือพีค (Peak)

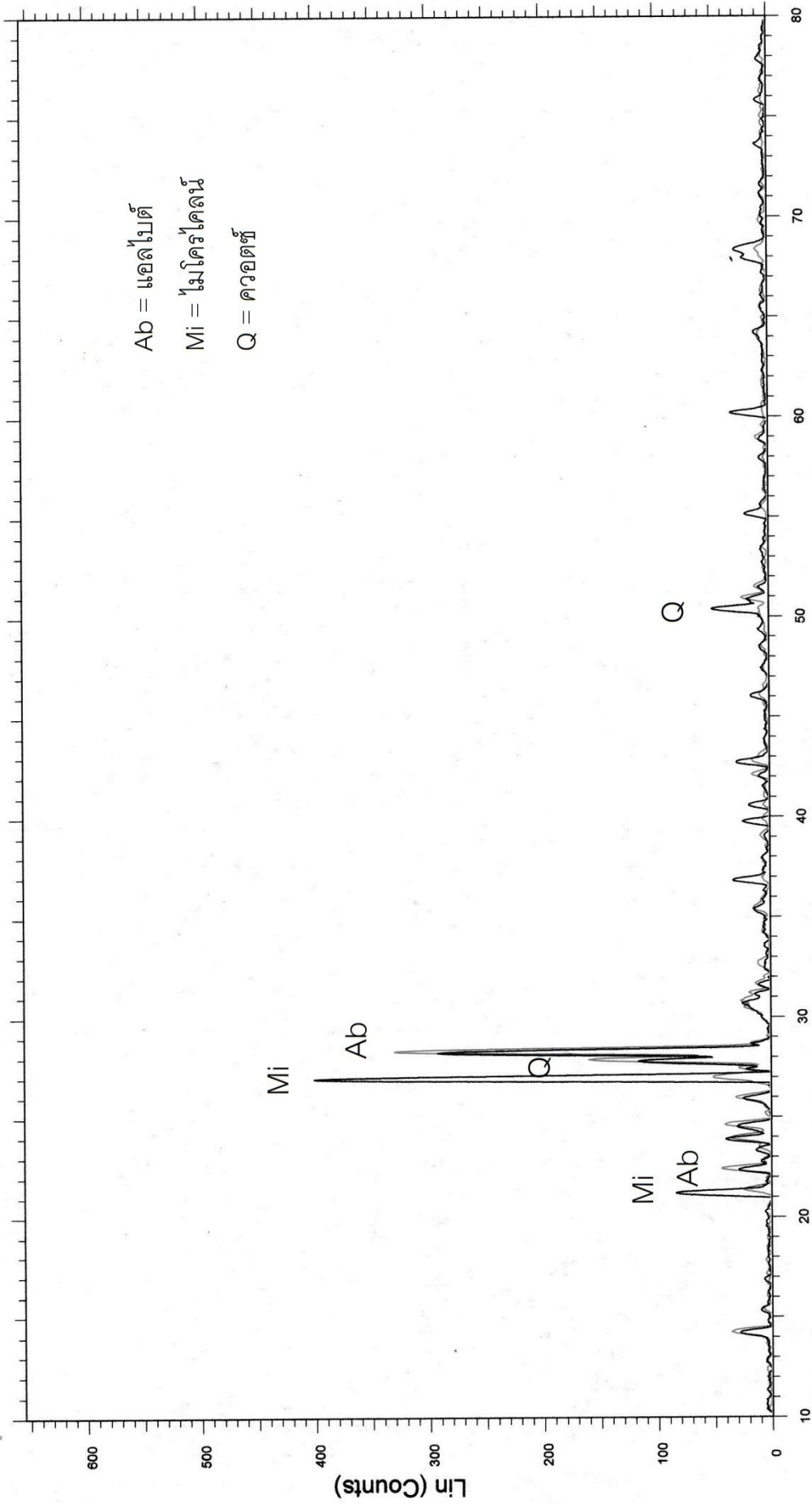
1. 1 การเลือกพีค (Peak search) จะเป็นการเจาะจงเลือกพีคที่ต้องการ ซึ่งจะได้ค่าความเข้มขั้นของการนับมุม 2θ และ d-spacing นอกเหนือจากที่โปรแกรมเลือกให้จากการวัดตัวอย่างแร่

1.2 การเลือกชนิดแร่ เป็นการเลือกชนิดแร่จากพีค รูปแบบ (pattern) ของตัวอย่างแร่ต่อพีค และรูปแบบของแร่มาตรฐานชนิดต่างๆ จากไฟล์ JCPDS ซึ่งอยู่ใน Hard Disk โดยมีพีคและรูปแบบของแร่ที่มีอยู่ในตัวอย่างแร่ที่สอดคล้องกัน

1.3 การเตรียมตัวอย่าง

1.3.1 ซักตัวอย่างแร่เพื่อเป็นตัวแทน แล้วทำการบดละเอียดที่ขนาด -200 เมช ด้วยถ้วยบด

1.3.2 เทผงตัวอย่างลงในภาดหลุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.6 x 2.5 เซนติเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร เป็นแผ่นกระจกใสตัวอย่าง (Glass Sample Plate) โดยมีการปาดผิวให้เรียบและทำให้มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ เพื่อให้ตัวอย่างเป็นชั้นบาง และเม็ดแร่กระจายกระจายสม่ำเสมอ **รูป ก. 2 ผลการวิเคราะห์แร่ด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน**



File: Feed Feldspar Chin mn.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 10.000 ° - End: 80.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1.2 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1066587584 s - 2-Theta: 10.000 ° - Theta: 5.000
 Operations: Smooth 0.266 | Background 1.000,1.000 | Import
 File: Feldspar Chin mn.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 10.000 ° - End: 80.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1.2 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1066583168 s - 2-Theta: 10.000 ° - Theta: 5.000 ° - Ch
 Operations: Smooth 0.266 | Background 1.000,1.000 | Import

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่โดยรังสีเอกซ์เรืองแสง
(Chemical Analysis by X-Ray Fluorescence)

1. การทำงานของเครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี



รูป ข. 1 เครื่องเอกซ์ เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี รุ่น MDX1000 (Oxford Instruments Analytical, 1997) และตัวอย่างแร่

หลักการเบื้องต้นในการวิเคราะห์โดยรังสีเอกซ์เรืองแสง ที่ใช้วิเคราะห์ทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ กล่าวคือ รังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (Primary X-Ray) ไปกระตุ้นธาตุในตัวอย่างให้เกิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (Secondary X-Ray) แล้วก็ทำการวัดรังสีเอกซ์เรืองแสงที่เกิดจากธาตุในตัวอย่าง โดยที่ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองแสงของธาตุนั้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของธาตุนั้นในตัวอย่าง ซึ่งการทำงานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ดังนี้คือ การวัดแบบกระจายของความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive Spectrometry) และการวัดแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive Spectrometry) กล่าวคือ เมื่อรังสีเอกซ์ที่ปล่อยจากหลอดรังสี จะถูกส่งไปยังแร่ตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆในตัวอย่างแร่ แล้วทำให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองแสงผ่าน Collimator ที่ช่วยให้รังสีขนานไปในทิศทางที่ต้องการ ไปกระทบกับคริสตัล (Analysis Crystal) ทำหน้าที่แยกรังสีเอกซ์เรืองแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน และจะถูกตัวรับสัญญาณ Detector วัดความเข้มหรือพลังงาน จากนั้นจะส่งข้อมูลไปยังเครื่องเก็บข้อมูล และข้อมูลที่เก็บได้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในเชิงคุณภาพและปริมาณได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ซักตัวอย่าง ประมาณ 200 กรัม
2. บดละเอียดเป็นผงที่ขนาด -200 mesh ด้วยเครื่องบดแบบวงแหวน (Ring Mill)
3. ซั่งตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแล้วประมาณ 10 กรัม นำไปใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร โดยเกลี่ยให้มีความหนาสม่ำเสมอ
4. อัดตัวอย่างด้วยเครื่องอัด ที่แรงดัน 20 ตัน เวลาที่ใช้อัด 10 วินาที จะได้ตัวอย่างแร่อยู่ในวงแหวนที่สามารถนำไปวิเคราะห์ผลทางเคมีต่อได้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายชินดนัย ไชยโกษฐ
วัน เดือน ปี 19 มิถุนายน 2531
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลาย โรงเรียนปรีณส์รอยแยลส์
วิทยาลัย จ.เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2548
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี
การศึกษา 2553
ตำแหน่งและ
สถานที่ทำงาน วิศวกรฝ่ายขาย บริษัท แอตลาส คอปโก้ (ประเทศไทย) จำกัด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY