บทที่ 2
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแร่เฟลด์สปาร์ (สุจิตร พิตรากูล , 2534)

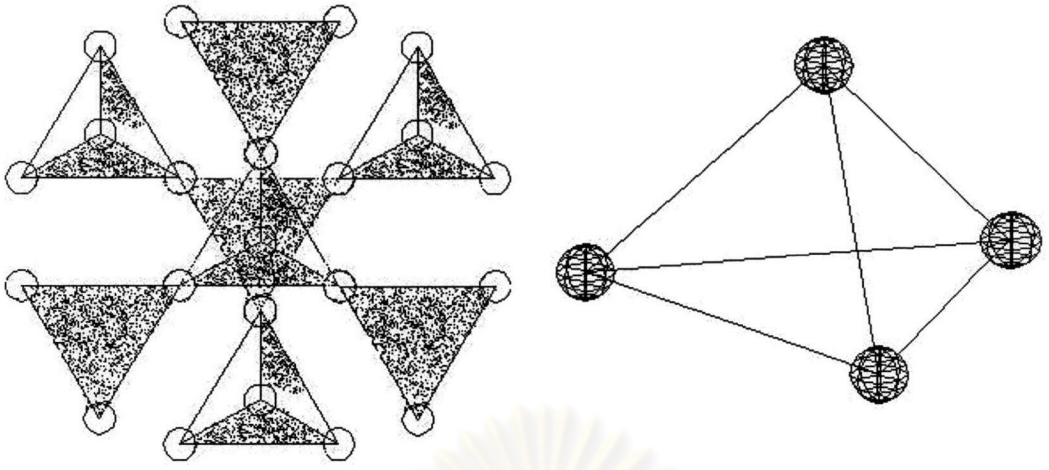
เฟลด์สปาร์จัดเป็นแร่ประกอบหินที่อยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่สำคัญใน การจำแนกประเภทของหินอัคนี มีการจับตัวเป็นโครงสร้างชนิดเทคโทซิลิเกต (Tectosilicates) โดยโครงสร้างพื้นฐานของแร่ซิ-ลิเกต ประกอบด้วย ซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) ยึดติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์-โคออร์ดิเนตที่แข็งแรง ทำให้ได้ (SiO_4)$^{4-}$ เป็นทรงปิรามิดประกอบด้วยสามเหลี่ยม 4 ด้าน ที่มีรูปร่างคงที่ เรียกว่า ซิลิกาเตตระฮีดรอน (Silica Tetrahedron) โดยมีออกซิเจนเป็นอะตอมขนาดใหญ่อยู่ตรงมุมปิรามิด ยึดติดกับซิลิกอนที่เป็นอะตอมขนาดเล็กอยู่ตรงกลางดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของซิลิก้าในรูปแบบเตตระฮีดรอน

ซิลิกาเตตระฮีตรอนหรือเรียกสั้น ๆ ว่า เตตระฮีดรอน สามารถจะเกิดอยู่เดี่ยว ๆ หรือมีการเกาะเกี่ยวกันเป็นสาย เป็นวงกลม โดยที่มีอะตอมบางตัวอยู่ร่วมกันหรือมีธาตุอื่นเกาะเกี่ยวอยู่ด้วย ลักษณะเหล่านี้ทำให้เกิดโครงสร้างที่ยุ่งยากซับซ้อน

โครงสร้างเทคโทซิลิเกต (ดูรูปที่ 2.1)เป็นโครงสร้างของแร่มีเตตระฮีดรอนยึดติดกัน 3 ทิศทาง แต่ละเตตระฮีดรอนใช้ออกซิเจนร่วมกัน 4 อะตอม อัตราส่วน Si : O เท่ากับ 1 : 2 โดยโครงสร้าง SiO_2 มีประจุเป็นกลางจึงไม่มีหน่วยโครงสร้างอื่นมาแทรกได้ แร่ที่มีโครงสร้างแบบนี้จึงเสถียรที่สุด แต่อาจมีอะลูมิเนียมเข้ามาแทนที่ซิลิกอนได้เป็น (Si, Al)O_2 และเมื่อมีการแทนที่ Si^{4+} ด้วย Al^{3+} แล้ว ประจุจะไม่เป็นกลาง จำเป็นต้องมีไอออนบวกอื่นมาแทนที่ด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนโคออดิเนตของธาตุที่มีรัศมีไอออนิคใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแบบเทคโทซิลิเกต

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าจำนวนโคออร์ดิเนตของธาตุที่มีรัศมีไอออนิคใกล้เคียงกัน

แกน	จำนวนโคออร์ดิเนชั่น	ไอออน(x)	รัศมีไอออนิค (นาโนเมตร)
z	4	Si^{4+}	3.90
	4	Al^{3+}	5.10
y	6	Al^{3+}	5.10
	6	Fe^{3+}	6.40
	6	Mg^{2+}	6.60
	6	Ti^{4+}	6.80
	6	Fe^{2+}	7.40
	6	Mn^{2+}	8.00
x	8	Na^{+}	0.97
	8	Ca^{2+}	9.90

จากตารางที่2.1 จะเห็นว่าจำนวนโคออร์ดิเนต 6 ของ Mg^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Al^{3+} และ Ti^{4+} ที่มีรัศมีไอออนิคใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 15 มีโอกาสที่จะปรากฏการแทนที่

ไอออนิคในอะตอม (Ionic Substitution) เป็นผลึกผสมเนื้อเดียว (Solid Solution) และที่จำนวนประจุต่างกันซึ่งอาจทำให้เกิดการแทนที่ควบคู่ (Coupled Substitution) ได้

ประจุบวกที่ใหญ่เช่น ไอออนิค Ca^{2+}, Na^{+} ซึ่งมีรัศมีไอออนิค 0.99, 0.97 อังสตรอม (Angstrom, Å) ตามลำดับ โดยทั่วไปจะมีจำนวนโคออร์ดิเนชั่นกับออกซิเจนเท่ากับ 8 ทั้งที่ขนาดของไอออนิคใกล้เคียงกัน แต่จำนวนประจุต่างกัน ทำให้เกิดการแทนที่ควบคู่ เช่น แร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ที่ $Na^{+} + Si^{4+}$ ถูกแทนที่โดย $Ca^{2+} + Al^{3+}$ เพื่อคงสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าของโครงสร้าง

ไอออนิคที่มีขนาดใหญ่สุดของโครงสร้างซิลิเกต เช่น K, Rb, Ba แอลคาไลเอิรทธ์ (Alkali Earth) ซึ่งไอออนเหล่านี้โดยทั่วไปไม่สามารถแทนที่กับ Na หรือ Ca ได้ เนื่องจากจำนวนโคออร์ดิเนชั่นสูง ทำให้การเกิดผลึกผสมเนื้อเดียวระหว่างไอออนิคเหล่านี้มีขีดจำกัด

โครงสร้างเทคโทซิลิเกตมีอัตราส่วน Si : O จำนวน 1 : 2 สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้คือ

กลุ่มซิลิกา	(SiO_2 Group)
กลุ่มเฟลด์สปาร์	(Feldspar Group)
กลุ่มเฟลด์สปาร์ทอยด์	(Feldsparthoid Group)
อนุกรมสคาโปไลต์	(Scapolite Series)
กลุ่มซีโอไลต์	(Zeolite Group)

แร่เฟลด์สปาร์หรือหินฟันม้า หมายถึงกลุ่มแร่ประกอบหินที่มีส่วนประกอบของธาตุโพแทสเซียม โซเดียมและแคลเซียมซิลิเกตและพบบ่อยมี 3 ชนิดคือ

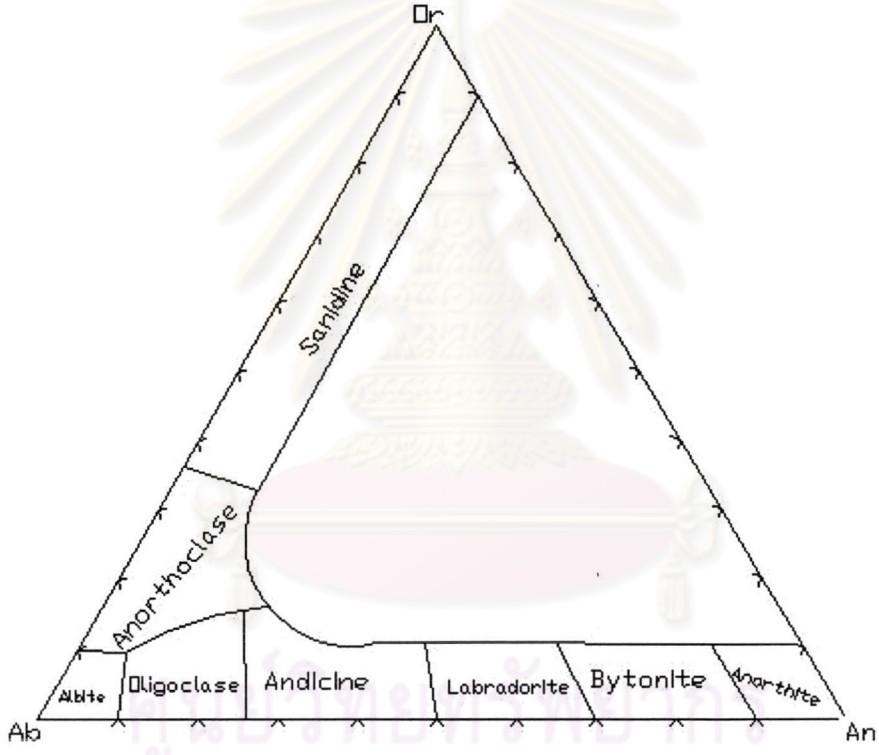
Microcline and Orthoclase	($KAlSi_3O_8$)
Albite	($NaAlSi_3O_8$)
Anorthite	($CaAl_2Si_3O_8$)

แร่เฟลด์สปาร์เป็นกลุ่มแร่ประกอบหินที่มีส่วนประกอบเป็นอะลูมิเนียมโนซิลิเกตของธาตุโพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อย (Subgroup) หรือแบ่งออกเป็นแร่ชนิดต่าง ๆ ได้หลายชนิดด้วยกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ชนิดของแร่เฟลด์สปาร์ (สุจิตร พิตรากูล , 2534)

กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์มีส่วนประกอบหลัก คือ อะลูมิโนซิลิเกต กับโพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม ซึ่งเกิดจากการแทนที่ของอะลูมินาในซิลิกอน ประมาณ 25% การสมดุลย์ของประจุทำให้มีประจุบวกของ K^+, Na^+, Ca^{2+} มาเกี่ยวข้อง องค์ประกอบของเฟลด์สปาร์จะประกอบด้วยโมเลกุลของออร์โทเคลส (Orthoclase, Or) – $KAlSi_3O_8$; แอลไบต์ (Albite, Ab) – $NaAlSi_3O_8$; อะนอร์ไทต์ (Anorthite, An) – $CaAl_2Si_2O_8$ ชนิดแร่ของ $KalSi_3O_8$ กับ $NaAlSi_3O_8$ เรียกว่า แอลคาไลเฟลด์สปาร์ (Alkali Feldspar) และชนิดแร่ของ $NaAlSi_3O_8$ กับ $CaAl_2Si_2O_8$ เรียกว่า แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar) โดยองค์ประกอบทางเคมีของแร่เฟลด์สปาร์เป็นระบบไตรภาค (Ternary System) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแบ่งแร่เฟลด์สปาร์โดยองค์ประกอบทางเคมีระบบไตรภาค

แร่เฟลด์สปาร์ทุกชนิดแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน (Good Cleavage) ในสองทิศทางซึ่งทำมุม 90° หรือมากกว่า 90° เล็กน้อย ความแข็งประมาณ 6 ความถ่วงจำเพาะจาก 2.55 ถึง 2.76

ลักษณะของแร่เฟลด์สปาร์ไม่เพียงองค์ประกอบทางเคมีเท่านั้น ยังเกี่ยวข้องกับสภาวะโครงสร้าง (Structure State) ด้วย สภาวะโครงสร้างซึ่งหมายถึงการกระจายตัวของ Al และ Si ในโครงสร้างเตตระฮีดรอนของโครงสร้างเฟรมเวอร์คนี้ (Framework Structure) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการตกผลึก และการเย็นตัวของแร่ด้วย โดยทั่วไปแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งเย็นตัวลงรวดเร็วหลังจาก

ตกผลึกที่อุณหภูมิสูง แสดงถึงความไม่เป็นระเบียบ (Disordered) ของการกระจายตัวของ Al – Si ซึ่งเรียกว่าสภาวะโครงสร้างสูง (High Structure State) หากมีการเย็นตัวอย่างช้า ๆ จากอุณหภูมิสูง หรือการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ แสดงถึงการกระจายตัวที่เป็นระเบียบ (Ordered) ของ Al – Si เรียกว่าสภาวะโครงสร้างต่ำ (Low Structure State)

โครงสร้างแร่เฟลด์สปาร์คล้ายกับโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีหลายรูปผลึก (Polymorph) ของซิลิกา (SiO_2) โดยสามารถพิจารณาการยึดติดของพันธะ SiO_2 ที่ร่วมกับ Al ภายในโครงสร้างเตตระฮีดรอน รวมทั้งไอออนของ Na^+ (หรือ K^+, Ca^{2+}) ในช่องว่างที่หาได้ ลำพังเพียงหนึ่ง Si^{4+} (ต่อสูตรแร่เฟลด์สปาร์) ถูกแทนที่โดย Al^{3+} และโครงสร้างเตตระฮีดรอนสามารถเป็นกลางโดยการรวมประจุบวกของ K^+ หรือ Na^+ ในลักษณะคล้ายกันเมื่อ Si^{4+} สองจำนวนถูกแทนที่โดย Al^{3+} ประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Charge) ของโครงสร้าง สามารถสมดุลย์โดยประจุบวก 2 (ดังเช่น ไอออนิค Ca^{2+}) ดังกรณีของ Na ($AlSi_3O_8$) เป็น Ca ($Al_2Si_2O_8$) ในโครงสร้างแพลจิโอเคลส ปริมาณ Al^{3+} ในเตตระฮีดรอนแปรตามสัดส่วนของปริมาณ Ca^{2+} และ Na^+ เพื่อคงความเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือกล่าวได้ว่าเมื่อ Ca^{2+} เพิ่มขึ้น Al^{3+} ก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วย

โครงสร้างแร่เฟลด์สปาร์ที่แสดงให้เห็นถึงรูปผลึกของ $KAlSi_3O_8$ ที่อุณหภูมิสูง คือ ซานิดีน (Sanidine) ในโครงสร้างนี้การกระจายตัว Al – Si เป็นไปแบบไม่เป็นระเบียบอย่างแท้จริง (Completely Disordered) ซึ่งหมายถึงไอออน Al, Si กระจัดกระจายไม่เป็นระบบ (Random)

โครงสร้างแร่ไมโครไคลน์ รูปผลึกของ $KAlSi_3O_8$ อีกชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิต่ำมีรูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic Crystal) มีการกระจายตัวของ Al – Si มีระเบียบสมบูรณ์ (Completely Ordered) ที่เรียกว่า ไมโครไคลน์อุณหภูมิต่ำ หรือไมโครไคลน์สูงสุด (Low Temperature or Maximum Microcline) คำว่าสูงสุด หมายถึง รูปผลึกสามแกนเอียงที่เป็นผลจาก Al – Si มีระเบียบสมบูรณ์นั่นเอง

แร่ออร์โทเคลสเป็นรูปผลึกชนิดหนึ่งของ $KAlSi_3O_8$ ซึ่งการกระจายตัวของ Al – Si อยู่ระหว่างการไม่เป็นระเบียบของซานิดีนกับการเป็นระเบียบของไมโครไคลน์ โดยมันตกผลึกที่อุณหภูมิปานกลาง โดยความแตกต่างของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ชนิด ซานิดีน ออร์โทเคลส และไมโครไคลน์ มีบรรทัดฐานของขนาดหน่วยเซล และพารามิเตอร์ทางแสง (Optical Parameter) เช่น มุม 2V มุมจุดมืดสูงสุด (Maximum Extinction Angle) ซึ่งทั่วไปมักใช้คำว่า ออร์โทเคลส และไมโครไคลน์ ร่วมกัน

โครงสร้างของแร่กลุ่มแพลจิโอเคลสมีลักษณะคล้ายกันมากกับของแร่ไมโครไคลน์ สมาชิกตัวสุดท้ายของโซเดียมเฟลด์สปาร์ คือ แอลไบต์ รูปผลึกสามแกนเอียง ซึ่งเป็น Low Albite Form แสดงการเป็นระเบียบอย่างสูงของการกระจายตัว Al – Si และ High Albite Form ซึ่งมีความไม่เป็นระเบียบอย่างสูงของ Al – Si ที่เป็นรูปผลึกหนึ่งแกนเอียงที่เรียกว่า โมนาลไบต์ (Monalbite)สมาชิก

ท้ายสุดของแคลเซียมเฟลด์สปาร์ คือ อะนอร์ไทต์รูปผลึกไทรคลีนิด การคงตัวของรูปแบบต่าง ๆ ของแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์

กลุ่มแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ($NaAlSi_3O_8$ – $KAlSi_3O_8$) แสดงถึงผลึกผสมเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ (Complete Solid Solution) ที่อุณหภูมิสูงเท่านั้นเช่น แร่งซานิดีน – High Albite คงตัวที่อุณหภูมิสูง แต่ที่อุณหภูมิต่ำจะแยกเป็น 2 สภาวะ เป็น Low Albite และ ไมโครไคลน์ที่คงตัวกว่า ซึ่งจะพิจารณาเห็นได้ว่าช่วงองค์ประกอบของ Low Albite และไมโครไคลน์มีเพียงเล็กน้อย กรณีเป็นแร่เฟลด์สปาร์เนื้อเดียว (Homogeneous Feldspar) ขององค์ประกอบ $Or_{50}Ab_{50}$ ซึ่งไอออน Na^+ และ K^+ กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ เมื่อเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ การแยกตัวของไอออน Na^+, K^+ จะมีผลของขนาดต่อโครงสร้างที่รอบข้างเป็นสำคัญ Na^+ จะแพร่กระจายสู่บริเวณ Na-rich และ K^+ จะแยกตัวตัวในช่วง K-rich ของโครงสร้าง การแยกตัวนี้ก่อให้เกิดชั้นบาง (Thin Layer or Lamellae) ในผลึกโต (Crystal Host) ของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ทำให้เกิดแร่หลายชนิดที่อยู่ร่วมกัน (Intergrowth) แสดงลักษณะเนื้อ (Texture) ที่เรียกว่า เพอร์ไทต์ (Perthite) และเป็นผลทำให้เกิดผลึกผสมเนื้อแยก (Exsolution) ในกลุ่มแอลคาไลเฟลด์สปาร์ การวางตัวของผลึกผสมเนื้อแยกขนานกันอย่างคร่าว ๆ เมื่อแร่ที่อยู่ร่วมกันมองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาด 100 - 1,000 ไมครอน เรียกว่า มาโครเพอร์ไทต์ (Macroperthite) ที่ขนาด 5 - 100 ไมครอน ซึ่งมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ เรียกว่า ไมโครเพอร์ไทต์ (Microperthite) หากที่ตรวจได้โดยใช้รังสีเอกซ์ หมายถึง คริบโตเพอร์ไทต์ (Cryptoperthite) ที่ขนาด 15 อังสตรอม ถึง 5 ไมครอน ในกรณีที่แร่ผลึกโต (Host) เป็นแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์และชั้นบางเป็น $KAlSi_3O_8$ ซึ่งเรียกว่า แอนติเพอร์ไทต์ (Antiperthite)

กลุ่มแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ($NaISi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$) มีอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญของการเกิดผลึกผสมเนื้อเดียว (Solid Solution) สูตรทั่วไปของแร่เฟลด์สปาร์กลุ่มนี้เป็น $Na_{1-x}CA_xSi_{3-x}Al_xO_8$ ซึ่ง x มีค่าช่วง 0-1 โดยทั่วไปมักใช้สัดส่วยของ Ab และ An ที่อยู่ร่วมกันในการแสดงชนิดแร่ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่หาได้จากกล้องจุลทรรศน์ เช่น มุมจุดมืดสูงสุด (Maximum Extinction Angle) ความถ่วงจำเพาะ ดัชนีหักเห แสดงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์

เนื้อ (Texture) ของผลึกผสมเนื้อแยก (Exsolution Texture) มี 3 ชนิด ไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าอาจตรวจวัดโดยการเกิดสีเหลือบ (Iridescence) เช่น Peristerite Intergrowth มีสัดส่วนร้อยละของ An อยู่ 2-15 % Boggild Intergrowth มีสัดส่วนร้อยละของ An อยู่ 47-58 % และ Huttenlocher Intergrowth มีสัดส่วนร้อยละของ An อยู่ 60-85 %

โดยการจัดข้างล่างนี้คือ **สำหรับแร่เฟลด์สปาร์ที่สำคัญที่เราพบในการทดลองคือหมู่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และ โซเดียมเฟลด์สปาร์ (โซดาเฟลด์สปาร์)**

2.2.1 **โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์** (Potash Feldspar ($KALSi_3O_8$))

2.2.1.1 **ไมโครไคลน์** (Microcline – $KALSi_3O_8$) ผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง ผลึกแฝดสามัญได้แก่แบบ Carlsbad Twins และ Pericline Twins ซึ่งดูในกล้องจุลทรรศน์ ลักษณะคล้ายลายผ้าขาวม้าถ้าเกิดแทรก สลับกับควอตซ์ในหิน เพกมาไทต์ เรียก หินการฟิก แกรนิต (Graphic Granite) ถ้าเกิดมีแอล-ไบต์แทรกสลับเป็นริ้ว ๆ เล็ก ๆ อันเป็นลักษณะของผลึกผสมเนื้อแยก (Exsollution) เรียก หินเพอร์ไทต์ (Perhite) มีแร่ปกติสีขาว หรือสีเหลืองอ่อน มีบ้างเป็นสีชมพูแดงอ่อนหรือสีเขียวไมโครไคลน์ชนิดมีสีเขียวมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอะเมซอนสโตน (Amazonstone) แร่นี้เป็นแร่หลักที่สำคัญในหินอัคนีต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินแกรนิต และหินไซอีไนต์ซึ่งตกผลึกและเย็นตัวอย่างช้า ๆ ภายใต้พื้นโลก นอกจากนี้ยังพบในหินทราย อาร์-โคส (Arkose) และหินกรวดมน (Conglomerate) หินแปรพบมาในหินไนส์ และเป็นแร่หลักในหินเพกมาไทต์

2.2.1.2 **ออร์โธเคลส** (Orthoclase – $KALSi_3O_8$) ผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง (2/m) รูปผลึกมักเป็นแท่นสั้น ๆ และผลึกแฝดคล้ายไมโครไคลน์ แข็ง 6 ความถ่วงจำเพาะ 2.57 วาวแบบแก้ว สีแร่มักมีสี ขาว เทา หรือ แดงเรื่อ มีบ้างเป็นสี เหลืองอ่อน หรือสีเขียว สีผงขาวเป็นแร่หลักในหินแกรนิต หินแกร-โนไดออไรด์ และหินไซอีไนต์ ที่เป็นตัวตกผลึก ค่อนข้างเร็วที่ระดับลึกปานกลาง ชนิดที่โปร่งแสงและไม่มีสี เรียกอะดูลาเรีย (Adularia) ซึ่งมักพบเป็นผลึกแฝงเทียมรูปออร์โทรอบบิค เกิดในสายแร่อุณหภูมิต่ำ แทรกบนหินไนส์ และหินซิลส์ ถ้ามีคุณสมบัติ เล่นสีได้แบบโอพอล เรียก Moonstone หรือพลอยมุกดาหาร

2.2.1.3 **ซานีดีน** ((K, Na) $AlSi_3O_8$) ผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง รูปผลึกมักพบเป็นรูปแบน ๆ และโปร่งใส ไม่มีสี ความถ่วงจำเพาะ 2.56 - 2.62 แต่ตรวจให้แน่ชัดด้วยตาเปล่าไม่ได้นอกจากใช้คาดคะเนเอา แร่นี้มักพบเป็นแร่ดอก (Phenocryst) ในหินอัคนีพุ เช่น หินแร่โอไลต์ และหินแทงไคต์ จัดเป็นแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ที่ตกผลึก ณ อุณหภูมิสูง และเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ตามลักษณะการตกผลึกของหินอัคนีพุ

2.2.2 **โซเดียมเฟลด์สปาร์ (โซดาเฟลด์สปาร์ ; Soda – Lime Feldspars or Plagioclase Feldspars (Na<Ca) (AL,Si) $AlSi_3O_8$)**

แร่กลุ่มนี้มีโครงสร้างผลึกเหมือนกัน คือ ผลึกอยู่ในระบบสามแกนเอียง แต่มีองค์ประกอบของโซดา (Na_2O) และไลม์ (CaO) เป็นสัดส่วนต่าง ๆกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ลำดับ ตามความสัมพันธ์กันของจำนวนแอลไบต์และอะนอร์ไทต์ ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงถึงความสัมพันธ์กันของจำนวนแอลไบต์และอะนอร์ไทต์

Plagioclase Feldspars	**แอลไบต์**	**อะนอไทต์**
แอลไบต์ (Albite)	100-90%	0-10%
โอลิโกเคลส (Oligoclase)	90-70%	10-30%
แอนดีซีน(Andisine)	70-50%	30-50%
แลบราคอไรต์ (Labradorite)	50-30%	50-70%
ไบโทว์ไนต์ (Bytownite)	30-10%	70-90%
อะนอไทต์ (Anorthite)	10-0%	90-100%

เฟลด์สปาร์ชนิดที่นำมาใช้ประโยชน์ได้อยู่ในช่วง ออร์โทเคลส - ไมโครไคลน์ – เพอร์ไทต์ – แอลไบต์ – โอลิโกเคลส –เพอร์ไทต์ (Perthite) เป็นชื่อของผลึกผสมเนื้อแยก (Exolution) ระหว่าง โพแทช เฟลด์สปาร์ กับแอลไบต์

คุณสมบัติ ทางกายภาพทั่วไป มีแนวแตก 2 ทิศ ตั้งฉากกัน(โดยประมาณ) มีความยาวแบบแก้ว ความแข็ง 6-6.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.56-2.70 อาจจะมีสีต่างๆ เช่น สีขาว สีเทา เหลือง ชมพู ถึงแดงอิฐ (สีเขียวหรือสีน้ำเงินแต่หายาก) ขึ้นอยู่กับสารมลทินที่ปะปนอยู่และมีจุดหลอมตัวอยู่ในช่วง 1,100-1,522 ^{0}ซ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามส่วนประกอบทางเคมีของแร่

2.2.2.1 **แอลไบต์ (Albite)** อาจจัดเป็นแร่ในอนุกรมแร่แอลคาไล เฟลด์สปาร์ด้วย และมักเกิดร่วมกันเสมอ พบมากใน หินแกรนิต หินไซอีไนต์ หินไรโอไรต์ หินแทรไคต์ หินแกมาไทต์ ชนิดที่เล่นสีได้คล้ายโอพอล เรียก Moonstone

2.2.2.2 **โอลิโกเคลส** (Oligoclase) เป็นแร่หลักในหินแกรโนไดออไรต์ และหินมอนไซต์ บางแห่งมีมลทินฮีมาไทต์ อยู่ภายใน สีเหลือง มีประกายระยิบระยับภายในเนื้อแร่ เรียก Aventurine หรือ Sunstone

2.2.2.3 **แอนดีซีน** (Andisine) มักพบเป็นแร่หลักเฉพาะหินแอนดีไซต์ และหินไดออไรต์

2.2.2.4 **แลบราดอไรต์** (Labradorite) เป็นแร่หลักในกลุ่มหินแกบโบร และหินบะซอลต์ เฟลด์สปาร์ ชนิดนี้เล่นสีได้สวยงามที่สุด

2.2.2.5 **ไบโทว์ไนต์** (Bytownite) เป็นแร่หายากพบเฉพาะในหินแกบโบร

2.2.2.6 **อะนอไทต์** (Anorthite) แร่หายาก พบในบล็อกหินที่เป็นภูเขาไฟระเบิด และในบริเวณแปรสัมผัสของหินปูนเนื้อผลึก

2.3 การกำเนิดและชนิดของแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ (สุจิตร พิตรากูล , 2534)

แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญพบทั่วไปในหินอัคนี หินแปร แต่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้จากสายแร่ของน้ำแร่ร้อน ในสายเพกมาไทต์ (Pegmatite) นอกจากนี้แล้วยังมีการผลิตเฟลด์สปาร์จากส่วนที่เป็นกราฟิกแกรนิต (Graphic Granite) หินแกรนิตสีขาว (Leucocratic Granite) หินแอไพลต์ (Aplite) และหิน

สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินอัคนีมักจะเกิดในตัวหินแกรนิตเองหรือบริเวณรอบๆ หินแกรนิต ขนาด รูปร่าง และทิศทางของสายเพกมาไทต์ขึ้นอยู่กับรอยแตกในหินแกรนิตหรือหินข้างเคียง การใช้แร่เฟลด์สปาร์ชนิดใดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของหินหนืด (Magma) สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินแปรจะพบในพื้นที่ที่มีการแปรสภาพ (Metamorphism) สูง ในประเทศไทยพบสายเพกมาไทต์แทรกอยู่ในหินแกรนิต หินไนส์ และหินชีสต์ เป็นส่วนใหญ่ เฟลด์สปาร์ในสายเพกมาไทต์เกิดร่วม Quartz , Biotite ,Muscovite, Tourmaline , Beryl และ Garnet

กราฟิกแกรนิต เป็นเพกมาไทต์ที่มีควอทซ์และแอลคาไลเฟลด์สปาร์ยึดประสานกัน

หินแอลไพลต์ เป็นหินอัคนีเนื้อละเอียดเกิดเป็นสายมีส่วนประกอบเช่นเดียวกับหินแกรนิต มีแร่หลักคือ ควอทซ์และแอลคาไลเฟลด์สปาร์

หินแกรนิตสีขาว เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แอลคาไลเฟลด์สปาร์และควอทซ์ สำหรับเพลจิโอเคลสเกิดร่วมด้วยในปริมาณไม่มากนัก แร่สีดำที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดร่วมกันน้อยมาก มักพบเกิดตามรอยของแนวหินอัคนีมวลไพศาล (Massive Igneous Rock)

หินเฟลด์สปาร์ เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แพลจิโอเคลสและควอทซ์ เนื้อหินพบทั้งส่วนที่มีเนื้อละเอียดจนถึงเนื้อหยาบ พบทั้งผลึกขนาดเดียวจนถึงพวกที่มีผลึกสองขนาด หรือเนื้อดอก ในบางบริเวณพบส่วนที่แสดงริ้วรอยขนานในเนื้อหิน นอกจากนี้แล้วแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ยังมีการกำเนิดได้อีกหลายชนิด แต่ในประเทศยังไม่พบเป็นแหล่งที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ดังนี้คือ

เนฟิลีนไซอีไนต์ (Nepheline Syenite) เป็นหินอัคนีระดับลึก ประกอบด้วยผลึกขนาดหยาบของแอลคาไลเฟลด์สปาร์ และแร่ที่มีส่วนประกอบของแอลคาไลกับเหล็กและแมกนีเซียม ไม่มีควอทซ์ ถูกนำมาใช้แทนเฟลด์สปาร์ในอุตสาหกรรมแก้ว และเซรามิก เพราะมีอลูมีนาสูง ซิลิกาต่ำ

โฟโนไลต์ (Phonolite) เป็นหินอัคนีที่มีส่วนประกอบเหมือนกันกับเนฟิลีนไซอีไนต์ มีแร่ออร์โทเคลส หรือซานิดีนเป็นแร่หลัก

ทรายเฟลด์สปาร์ (Feldspathic Sand) ประกอบด้วยเฟลด์สปาร์และควอตซ์

2.4 **ศักย์ทางแร่** (Mineral Potential) (สุจิตร พิตรากูล , 2534)

แหล่งแร่ Feldspar มีความสัมพันธ์กับหินอัคนี (Igneous Rock) โดยเฉพาะหินแกรนิต สำหรับประเทศไทยมีการกำเนิด 3 ชนิด คือ สายเพกมาไทต์ หินเฟลด์สปาร์ หินแกรนิตสีขาว

2.4.1 **สายเพกมาไทต์** เป็นสายของหินอัคนีผลึกหยาบมักเกิดร่วมกับหินอัคนีระดับลึก (Plutonic Rock) ที่มีขนาดผลึกเล็กกว่า และเกิดในระยะหลังของการเกิดหินอัคนีระดับลึก จะพบเป็นสายแทรกผ่านหินอัคนีระดับลึกและหินข้างเคียงตามแนวรอยแตก ในสายเพกมาไทต์จะให้เฟลด์สปาร์ชนิดแอลคาไลเฟลด์สปาร์มากกว่าแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ดังนั้นจึงมีปริมาณร้อยละของ K_2O ในเนื้อแร่ค่อนข้างสูง ถ้ามีปริมาณร้อยละของ K_2O มากกว่า 10 จึงเป็นแหล่งแร่ชนิดโพแทชเฟลด์สปาร์ แต่ถ้ามีปริมาณร้อยละของ K_2O ใกล้เคียงกันกับ Na_2O จะเป็นแหล่งแร่เฟลด์สปาร์กะเทยซึ่งอาจจะพัฒนาให้เป็นโพแทชเฟลด์สปาร์ได้โดยการลอยแร่

2.4.2 **หินเฟลด์สปาร์** เป็นหินแกรนิตที่มีเฟลด์สปาร์และควอรตซ์เป็นส่วนประกอบสำคัญ เฟลด์สปาร์ที่พบจะเป็นแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์มากกว่าแอลคาไลเฟลด์สปาร์ ดังนั้นจึงมีปริมาณร้อยละของ Na_2O สูงกว่า K_2O ถ้าปริมาณร้อยละของ Na_2O มากกว่า 7 จัดอยู่ในประเภทโซดาเฟลด์สปาร์ หากปริมาณร้อยละของ Na_2O ใกล้เคียงกันกับ K_2O จะเป็นแหล่งเฟลด์สปาร์กะเทย

2.4.3 **หินแกรนิตสีขาว** ประกอบด้วยแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ควอรตซ์และแร่ประกอบหินอื่นๆ แร่สีดำที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดร่วมด้วยน้อยมาก มักพบตามขอบของแนวเทือกเขาแกรนิต โดยแทรกเข้ามาในระยะหลัง หินแกรนิตสีขาวจะให้ปริมาณร้อยละของ K_2O ใกล้เคียงกันกับ Na_2O จะเป็นแหล่งเฟลด์สปาร์กะเทย

2.5 **ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์**(สุจิตร พิตรากูล , 2534)

แร่เฟลด์สปาร์จัดเป็นแร่เศรษฐกิจที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการทำเซรามิก และการผลิตแก้ว โดยมีบรรทัดฐานของส่วนประกองทางเคมีเป็นหลักและมีการใช้คุณสมบัติทางกายภาพโดยตรงบ้าง

ทางอุตสาหกรรมเซรามิก ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น (Body) และทำงานเคลือบ (Glaze) ส่วนผสมขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น กระเบื้องปูพื้น ปูผนัง ประมาณ 5-10% เอิร์ทเธนแวร์ (Earthenware) ประมาณ 10-15% พอร์เซเลน (Porcelain) ประมาณ 25-30% และในน้ำเคลือบประมาณ 40-55% โดยแร่เฟลด์สปาร์ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) เพื่อลดจุดหลอมตัวของส่วนผสม และกลายเป็นแก้ว (ขณะส่วนผสมอื่นยังเป็นของแข็งอยู่) ซึ่งจะแพร่กระจายเชื่อมส่วนประกอบอื่น ๆ เข้าด้วยกัน โดยมีอุณหภูมิของการเผาที่กำหนดไว้สำหรับความแข็งแรง และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ตามแต่ละกรรมวิธี การควบคุมคุณภาพของแร่เฟลด์สปาร์จึงมักขึ้นกับประเภทของแต่ละผลิตภัณฑ์มักอาศัยองค์ประกอบทางเคมีเป็นหลัก ซึ่งมีหลายวิธี ดังนี้

วิธีแรกกำหนดเป็นอัตราส่วนหรือผลรวมของ K_2O กับ Na_2O วิธีที่สองจำกัดปริมาณร้อยละของ SiO_2, Al_2O_3, CaO และ Fe_2O_3 วิธีที่3 กำหนดเป็นปริมาณร้อยละขั้นต่ำสุดของ K_2O, Na_2O, Al_2O_3 และ Fe_2O_3

นอกจากนั้น ก็พิจารณาผลวิเคราะห์ของสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกันรูปร่างและการกระจายตัวของขนาดเม็ดแร่ โดยมีการทดสอบที่ใช้กันแพร่หลายประกอบกับข้อกำหนด คือ การทดสอบการเผารูปกรวย (Cone Firing Test) ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงผลของการหลอมตัว ความเป็นมันเนื้อแก้ว สี และสิ่งเจือปนที่มีอยู่ โซดาเฟลด์สปาร์ควรมีNa_2O ตั้งแต่ 8-10 % ขึ้นไป และ โพแทชเฟลด์สปาร์มี K_2O ตั้งแต่ 10% ขึ้นไป ในการทำเครื่องเคลือบดินเผาสีขาวหรือทำแก้วใส ปริมาณ Fe_2O_3 ในแร่ต้องไม่เกิน 0.1% สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีสีปริมาณ Fe_2O_3 ในแร่อาจมีได้ถึง 0.5 % ในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาจช่วยฟอกสี ที่เกิดจากสารเหล็กที่มีอยู่ให้จางลงได้ ส่วนปริมาณสารอินทรีย์และสารระเหยได้อื่น ๆ หาได้จากค่าน้ำหลักที่หายไปเมื่อเผา (Loss on Ignition)

ทางอุตสาหกรรมผลิตแก้ว โดยที่เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่ให้อะลูมินา และแอลคาไล โดยอะลูมินาช่วยทำให้แก้วที่ได้มีความเหนียว ทนทานต่อแรงกระแทกทนต่อความร้อน ความกดดันและทนต่อกรดหรือด่างสูง ส่วนแอลคาไลช่วยในลักษณะการคงตัวของรูปทรงที่ สามารถจัดทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ และจุดหลอมตัวต่ำลงเช่นกัน การควบคุมคุณภาพเน้นที่สัดส่วนร้อยละของ Al_2O_3ไม่ต่ำกว่า 18.5 และค่าต่ำสุดของร้อยละ Fe_2O_3 และ/หรือ TiO_2 รวมทั้งการกระจายตัวขนาดและรูปร่างเป็นต้น

การนำเอาเฟลด์สปาร์ไปใช้ประโยชน์ด้านใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพเป็นสำคัญ คุณสมบัติที่จัดว่าสำคัญมี 2 ประการ คือ

2.5.1 **จุดหลอมตัวต่ำ**

เมื่อเทียบกับสารประกอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ อื่น ๆ ผงเฟลด์สปาร์ที่ผสมอยู่จะทำหน้าที่คล้ายเชื้อถลุง (Flux) คือจะหลอมเยิ้มตัวเป็นแก้วภายในเนื้อเซรามิกส์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อที่แข็งแกร่ง คุณสมบัตินี้ได้จากธาตุ แอคาไล คือ โพแทส (K_2O) และโซดา(Na_2O) ที่มีอยู่ในแร่ ทำให้เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ในการผลิตเครื่องถ้วยชาม เครื่องเคลือบดินเผา กระเบื้องต่าง ๆ เครื่องสุขภัณฑ์ ลูกถ้วยไฟฟ้า ตลอดจนเครื่องเคลือบโลหะ ประมาณว่าตัวแผ่นกระเบื้องหรือถ้วยชามจะใช้เฟลด์สปาร์ร้อยละ 10-50 ของส่วนผสมและใช้ทำน้ำยาเคลือบประมาณร้อยละ 30-50

โซดา เฟลด์สปาร์ มีจุดหลอมตัวต่ำจึงนิยมใช้ทำแก้ว และมีความหนืดตัวน้อยกว่าโพแทซ เฟลด์สปาร์ ด้วยขณะหลอมละลายอาจทำให้ตัวเครื่องเคลือบดินเผารูปร่างเปลี่ยนไปจากเดิมได้ น้ำยาเคลือบและตัวเครื่องเคลือบชนิดทนความร้อนสูง จึงควรใช้โพแทซเฟลด์สปาร์ มากกว่า ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของแร่เฟลด์สปาร์ในไทยและต่างประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของแร่เฟลด์สปาร์ในไทยเทียบกับนอร์เวย์และฟินแลนด์

ส่วนประกอบ	โพแทสเฟลด์สปาร์		โซดาเฟลด์สปาร์		
	ต.ท้องฟ้า อ. บ้านตาก จ.ตาก	นอร์เวย์	ต.น้ำดิบ อ. บ้านตาก จ.ตาก	นอร์เวย์	ฟินแลนด์
SiO_2	65.00	65.40	70.20	69.20	67.50
Al_2O_3	18.60	18.70	17.81	18.70	18.50
Fe_2O_3	0.31	0.06	0.06	0.11	0.10
CaO	1.00	0.51	0.11	1.82	0.56
MgO	0.08	-	0.22	-	-
Na_2O	3.80	3.36	8.80	7.20	5.00
K_2O	10.00	11.00	0.16	2.80	8.20
TiO_2	-	-	0.26	-	-
Loss on Ignition	0.19	0.29	1.33	0.19	N.A.

*ที่มา: คู่มือการซื้อขายแร่ , กรมทรัพยากรธรณี , 2517

หมายเหตุ

- เฟลด์สปาร์ของประเทศนอร์เวย์ ชนิดโพแทชเฟลดสปาร์ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ชนิดโซดาเฟลด์สปาร์ ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว

- เฟลด์สปาร์ของประเทศฟินแลนด์ รู้จักกันทั่วไปคือ FFF ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว

2.5.2 ส่วนประกอบของแร่ที่เป็นอลูมินา (Al_2O_3)

อลูมินานั้นเมื่อหลอมตัวกับแก้ว อลูมินาสามารถเข้าไปแทนที่ซิลิกอนในสาร SiO_2 ได้คุณสมบัตินี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ มีความเหนียวทนทานต่อสารกรกะทบกระแทก ความกดดัน ความร้อนเฉียบพลัน (Thermal Shock) ทนต่อกรดด่างได้สูง นอกจากนี้ยังทำให้อยู่ตัวไม่กลายสภาพเป็นผลึกแร่ขณะเย็นตัว ดังนั้นจึงสามารถจัดเป็นรูปร่างเครื่องอัตโนมัติ ผลิตภัณฑ์แก้วดังกล่าว ได้แก่ ขวดน้ำอัดลม แก้วทนไฟ กระจกหน้าต่างรถยนต์ เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติสารเฟลด์สปาร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วจะต้องมีปริมาณของอะลูมินา (Al_2O_3)ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 17 และใช้ได้ทั้งโพแทช และโซดาเฟลด์สปาร์

2.6 **แหล่งแร่และการทำเหมืองแร่** (สุจิตร พิตรากูล , 2541)

แม้ว่าเฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่พบทั่วไป แต่ที่เกิดเป็นผลึกใหญ่และมีปริมาณมากพอที่จะผลิตได้นั้นมีไม่มากนัก ที่สำคัญเกิดในสายหินเพกมาไทต์ (Pegmathite Vein) ซึ่งตามปกติมีแร่อื่น ๆ ปะปนอยู่ อาทิ เช่น ควอทซ์และไมกา มีบ้างที่ได้จากแหล่งหินแกรนิต หรือ หินไนส์

แหล่งเฟลด์สปาร์เป็นแหล่งเล็ก ๆ และคุณภาพสินแร่ แตกต่างหันไปตามแหล่งต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง และการประเมินคุณค่าของแหล่งแร่กระทำได้อยาก แหล่งที่ผลิตปัจจุบันเกือบทั่งหมดใช้แรงกรรมกรและคัดด้วยมือ ประเทศที่มีค่าแรงงามสูง ๆ แทบจะไม่มีโอกาสเปิดเหมืองเลย

ประเทศไทยแหล่งเฟลด์สปาร์พบอยู่ในหินแกรนิต หินเพกมาไทต์ และหินไนส์ ทุกแห่งแหล่งผลิตสำคัญพบในหินแพกมาไทต์ ที่จังหวัดราชบุรี เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน กาญจนบุรี อุทัยธานี และตาก

สำหรับแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของเหมืองพาแคท อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี เป็นแหล่งแร่ที่เกิดอยู่ในหินอัคนี (Igneous Rock) ซึ่งมีการเกิดแบบ Pegmatite Vein ซึ่งในพื้นที่จะมีสายแร่อยู่ประมาณ 8-10 สาย มีทิศทางการวางตัวในแนว N - NW ส่วนใหญ่สายแร่จะมีความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 5-10 เมตร ความยาวตามแนว Strike ประมาณ 200 - 250 เมตร ความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 150 เมตร และมีปริมาณแร่สำรอง 500,000 เมตริกตันจากสายแร่ Pegmatite Vein ที่พบส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยแร่หลักๆ คือ โปแตซเฟลด์สปาร์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ในอัตราส่วน 1:1 ที่จัดอยู่ในหมู่แร่ที่เรียกว่าเฟลด์สปาร์กะเทย ส่วนเพื่อนแร่ (Associate Mineral) ได้แก่แร่ทัวร์มาลีน แร่การ์เน็ต และพวกกากแร่ (Gangue Minerals) ได้แก่แร่ควอทซ์ และพวกไมก้า เช่นแร่มัสโคไวท์ และไบโอไทต์

กรรมวิธีการผลิตแร่จากเหมืองพาแคท นั้นทำการเจาะระเบิดและจากนั้นใช้รถตัก ตักแร่นำมากองไว้เป็นกลุ่มกลุ่ม จากนั้นใช้คนงานเอาค้อนเหล็กเข้าทุบและคัดด้วยมือ โดยเฉพาะแร่เฟลด์สปาร์ มักจะมีเปอร์เซนต์ของแร่ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับประสปการณ์ความชำนาญของคนงานที่คัดแร่ ดังนั้นปัญหาในการซื้อขายแร่ จึงเกิดตามขึ้นมาอยู่ตลอดจากกรรมวิธีการผลิต และจากลักษณะของแหล่งแร่ ดังกล่าวแล้วนั้น แร่ที่เก็บได้และคัดไปสู่กระบวนการขายนั้น จึงได้ไปเพียงส่วนน้อยเท่านั้นจากปริมาณของแร่ที่ขุดมาทั้งหมด

2.7 **คุณสมบัติทั่วไปของกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน** (กรมทรัพยากรธรณี, 2514)

แร่เฟลด์สปาร์ทุกชนิดมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ดังนี้

แนวแตกเรียบ (Cleavage)	: 2 ทิศทาง ทำมุมฉาก หรือมากกว่าเล็กน้อย
ความแข็ง (Mohs' Scale of Hardness)	: 6.0 - 6.5
รอยแตก (Fracture)	: ไม่เรียบ (Uneven)
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	: 2.55 - 2.76 ของแอลคาไล ถึง แพลจิโอเคลส
ดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index)	: ออร์โทเคลส 1.518 - 1.526
	ไมโคลไคลน์ 1.522 - 1.530
	แอลไบต์ 1.527 - 1.538
	อะนอร์ไทต์ 1.577 - 1.590
สี (Color)	: หลายสี เช่น ขาว, เทา, น้ำตาล, ชมพู, เหลือง, เขียว ขึ้นกับธาตุเจือปน
สีผง (Streak)	: สีขาว
ความวาว (Luster)	: คล้ายแก้ว ถึงคล้ายมุก (Viterous to Pearly)
ความเหนียว (Tanacity)	: เปราะ (Brittle)
จุดหลอมตัว (Melting Point)	: อุณหภูมิ 1,110 - 1,532 องศาเซลเซียส
ระดับการให้แสงผ่าน	: โปร่งแสง ถึงโปร่งใส ของออร์โทเคลส และ
(Degree of Transparent)	ไมโครไคลน์ แอลไบต์ถึงกึ่งโปร่งใส
การติดแม่เหล็ก	: ไม่ติดแม่เหล็ก
การนำไฟฟ้า	: ไม่นำไฟฟ้า
การเปียกน้ำ (Wet ability)	: จัดอยู่กลุ่มแร่ซิลิเกตที่มีการเปียกน้ำได้ดีเช่นเดียวกับแร่ควอทซ์

คุณสมบัติบางประการของแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกันแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติบางประการของแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน

ชนิดแร่	ความถ่วงจำเพาะ	การติดแม่เหล็ก	การนำไฟฟ้า
การ์เนต	3.4 – 4.3	ค่อนข้างแรง	ไม่
ฮอร์นเบลน	3.1 – 3.3	อย่างอ่อน	ไม่
ทัวร์มาลีน	2.9 – 3.2	อย่างอ่อน	ไม่
ไบโอไทต์	3.0 – 3.1	อย่างอ่อน	ไม่
มัสโคไวต์	2.88 – 3.0	อย่างอ่อนมาก	ไม่
เบอริล	2.7 – 2.8	อย่างอ่อน	ไม่
ไพไรต์	5.0	อย่างอ่อนมาก	ไม่
ควอทซ์	2.7	ไม่	ไม่
เฟลด์สปาร์	2.55 – 2.76	ไม่	ไม่

*ที่มา : SME Mineral Processing Handbook ,1985

2.8 การจัดกลุ่มแร่ตระกูลซิลิเกตสำหรับการลอยแร่ของ Patek (R M Manser , 1975)

การลอยแร่ของคุณสมบัติที่ใช้นี้ทั้งแร่ เฟลด์สปาร์และแร่ควอทซ์ต่างก็เป็นแร่ในระบบ Framework Silicate ด้วยกันทั้งสิ้น ซึ่งการลอยแร่ในระบบ Framework Silicate ที่ปฏิบัติกันมานั้น มีทั้งการใช้ Anionic Collector และ Cationic Collector ซึ่งมีการใช้หลักพิจารณาของคุณสมบัติการต้องกัน สัมผัสกัน หรือการแตะกัน (Consistent Properties) ซึ่งการใช้ Anionic Collector ทำการทดสอบการลอยแร่กลุ่ม Framework Silicate พบว่าลอยแร่ในกลุ่มนี้ไม่ขึ้น ทว่าการทดสอบการลอยแร่กลุ่ม Framework Silicate โดยการใช้ Cationic Collector นั้นพบว่าได้ผลการทดลองที่ประเมินได้ว่า ดีไปจนถึงดีเยี่ยม ในบริเวณกว้างตามค่าของ pH เมื่อทำการวัดค่า โดยผลกระทบของ Fluoride ion ที่เบาบางก็ตามสำหรับแร่กลุ่มนี้ นับว่ามีผลต่อผิวแร่ของมัน

ความสามารถในการลอยแร่(Floatability) ในแร่ตระกูลซิลิเกต ได้มีการศึกษากันมานานอย่างยาวนาน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1934 (พ.ศ. 2477) โดย Patek เขาได้ทำการทดลองเกี่ยวกับมุมสัมผัส (Contact Angle) ระหว่างแร่ซิลิเกตหลายๆ ชนิด และสารละลาย Na-Oleate 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยกันกับ Pine Oil และ เขาได้แสดงให้เห็นถึงการจำแนกเป็นลำดับกับความสามารถในการลอยแร่ แสดงตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ซิลิเกต กับ ความสามารถในการลอยแร่ในสภาวะเป็นกลางของ Patek (1934)

Type of Minerals	Contact Angle(°)	Structure	Group	O:Si Ratio	Anionic Flotation Order
Zircon	56	Orthosilicate	SiO_4	4	1
Almandite	54	Orthosilicate	SiO_4 Si_2O_6	4	3
Epidote	53	Orthosilicate	SiO_4	3.75	7
Titanite	52	Orthosilicate	SiO_4	4	9
Cyanite	51	Orthosilicate	SiO_4	4	6
Topaz	50	Orthosilicate	SiO_4	4	4
Olivine	50	Orthosilicate	SiO_4	4	5
Rhodonite	49	Pyroxene	Si_2O_6	3	10
Augite	48	Pyroxene	Si_2O_6	3	11
Anorthite	48	Frameworksilicate	SiO_2	2	12
Tourmaline	**47**	**Ringsilicate**	**Si_6O_{18}**	**3**	**2**
Spodumene	45	Pyroxene	Si_2O_6	3	13
Tremolite	43	Amphibole	Si_8O_{22}	2.75	8
Labradorite	43	Frameworksilicate	SiO_2	2	15
Biotite	**34**	**Sheetsilicate**	**Si_4O_{11}**	**2.75**	**14**
Muscovite	**31**	**Sheetsilicate**	**Si_4O_{11}**	**2.75**	**16**
Albite	**30**	**Frameworksilicate**	**SiO_2**	**2**	**18**
Nephelite	23	Frameworksilicate	SiO_2	2	17
Quartz	**21**	**Frameworksilicate**	**SiO_2**	**2**	**20**
Orthoclase	**20**	**Frameworksilicate**	**SiO_2**	**2**	**19**

*ที่มา : Handbook of Silicate , Flotation,RM Manser ,1975

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9 ปัจจัยของไอออนโลหะซึ่งมีผลต่อการคัดเลือกของแร่เฟลด์สปาร์และควอทซ์ (F.S. Kilavuz & O.Y.Gulsoy , 2000)

ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกันนี้ของ F.S. Kilavuz & O.Y.Gulsoy ได้ทำการศึกษาถึงเรื่องของการลอยแร่โดยใช้ไอออนโลหะเพื่อการปรับสภาพผิวแร่เฟลด์สปาร์และผิวแร่ควอทซ์ โดยเนื้อหากล่าวถึงว่านำแร่ที่ได้มาโดยมีส่วนประกอบดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงชนิดและปริมาณของธาตุต่าง ๆในแร่ป้อนที่ใช้ในการทดลองของF.S.Kilavaz & O.Y.Gulsoy

ชนิด	ปริมาณ(%)
SiO_2	75.37
Al_2O	13.60
Fe_2O_3	0.02
MgO	0.12
CaO	0.61
Na_2O	**2.50**
K_2O	**7.51**
TiO_2	0.04
K.K.	0.23

ใช้ตัวแปรควบคุมคือ ขนาดของอนุภาค ตั้งแต่ -300+25 ไมครอน ใช้ Na-Oleate เป็นน้ำยาเคลือบผิวแร่ปริมาณที่ใช้ 30กรัมต่อตันแร่ป้อน MIBC เป็นน้ำยาเคลือบฟอง 2-3 หยด ใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ในการลอยแร่ที่ 1,680 รอบต่อนาที ใช้ Pulp Density at Conditioning 55 % ใช้ Pulp Density at Flotation 40%

และในส่วนของตัวแปรที่ใช้เพื่อแปรผันใช้ในการทดลองคือ pH ที่ 3 , 7.6 (ภาวะเป็นกลาง) 8.5 , 9.5 โดยใช้ปริมาณของ Lead(II) Nitrate ที่ความเข้มข้น 100, 300 , 500 , 750 กรัมต่อตันแร่ป้อน ใช้ปริมาณของ Na-Oleate ที่ความปริมาณ 1000, 2000 , 3000 กรัมต่อตันแร่ป้อน ใช้เวลาในการผสมสารปรับสภาพผิว 1 , 10 นาที ใช้เวลาในการผสมสารเคลือบผิว 3 , 10 นาที และยังใช้

ไอออนโลหะอื่นๆอีกนอกเหนือไปจากการใช้ Lead(II) Nitrate เพื่อทดลองการปรับสภาพผิวแร่ด้วย โดยใช้ $AlCl_3 6H_2O$, $BaCl_2 2H_2O$ และ $MgCl_2 \cdot 2H_2O$

โดยผลการทดลองทั้งหมดในครั้งนี้สรุปได้ว่า

ในครั้งนั้นการแยกเฟลด์สปาร์จากควอทซ์โดย สารปรับสภาพผิว Lead(II) Nitrate เป็นสารปรับสภาพผิวที่ให้ผลดีที่สุด โดยสารปรับสภาพผิว Lead(II) Nitrate 300 กรัมต่อตันแร่ป้อน และสารเคลือบผิว Na-Oleate ที่ 2000 กรัมต่อตันแร่ป้อน เวลาในการผสมแร่กับสารปรับสภาพผิวใช้เวลา 1 นาทีและเวลาในการผสมแร่กับสารเคลือบผิวใช้เวลา 3 นาที จะทำให้การแยกแร่ได้ผลดีที่สุด

ปัจจัยที่ดีต่อมาคือภาวะที่ดีที่สุดเป็นภาวะที่มีค่า pH ที่ 7.6 ซึ่งมันสามารถกล่าวได้ว่า เป็นผลที่ดีที่สุดในการทดลอง คือน้ำหนักที่ลอยได้เป็น 54.27 % น้ำหนักส่วนที่จมเป็น 45.73 % ปริมาณ $\%K_2O$ ส่วนที่ลอยได้มีค่า 10.42 % $\%Na_2O$ส่วนที่ลอยมีค่า 2.69 % และ $\%K_2O$ ส่วนที่จมมีค่า 4.06 % $\%Na_2O$ ส่วนที่จมมีค่า 2.30 % นั่นย่อมแสดงว่าการลอยแร่ด้วยวิธีดังกล่าวจะสามารถลอยแร่โปแตซเฟลด์สปาร์ได้ดีกว่าโซเดียมเฟลด์สปาร์ หรือกล่าวได้ว่าไอออนโลหะ Pb^{2+} นั้นมีผลต่อการคัดเลือกแร่โปแตซเฟลด์สปาร์นั่นเอง

2.10 วิธีการลอยแร่เฟลด์สปาร์ในโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษาบริษัท เซอมาส จ.ตาก

(สถาพร อารีย์กุล , 2542)

โรงลอยแร่เฟลด์สปาร์ของบริษัทเซอร์มาส จำกัด ตั้งอยู่ จังหวัดตาก ในเขต อำเภอบ้านตาก ห่างออกมาจากตัวอำเภอประมาณ 2 กิโลเมตร ดำเนินงานโดยบริษัท เซอมาส มีพื้นที่ประมาณ 60 – 70 ไร่ โดยมีเหมืองเป็นของบริษัท แร่ที่ทำการผลิต เฟลด์สปาร์ (6% Na_2O , 5% K_2O) สิ่งที่ปนมากับวัตถุดิบ ได้แก่ ควอทซ์ ไมก้า ทัวร์มาลีน การ์เนต และดินเป็นต้น และได้นำเอาวิธีการลอยแร่ในกรณีนี้มาเป็นผลการศึกษาอุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่ใช้กันในกระบวนการ ในการแต่งแร่เชิงอุตสาหกรรมที่ใช้ในปัจจุบัน

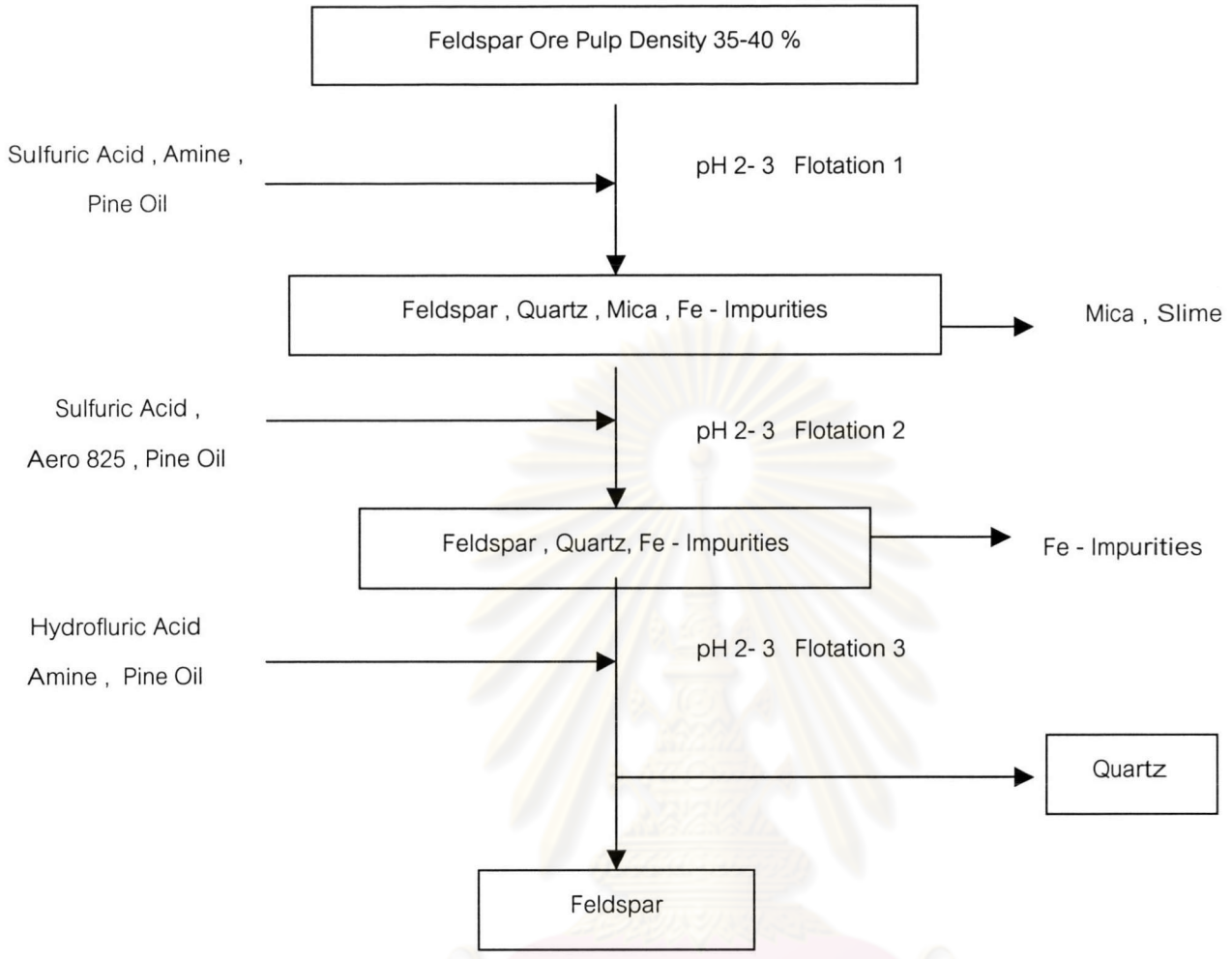
ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในปัจจุบันแร่เฟลด์สปาร์จัดว่าเป็นแร่ที่มีความสำคัญ และน่าสนใจ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ทั้งที่เป็น ฟลักซ์ และใช้ทำน้ำยาเคลือบ หรือใช้ทำขวดน้ำอัดลม แก้วทนไฟ กระจกหน้าต่างรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันแร่โปแตซเฟลด์สปาร์ปัจจุบันมีการส่งขายเป็นก้อนๆ โดยใช้วิธีการคัดขนาดด้วยมือหรือด้วยตะแกรงคัดขนาด ทำให้มีการคัดแร่ที่มีเศษเหลือจากการคัดแร่ด้วยมือหรือว่าตระแกรงคัดขนาด ทำให้มีการเศษแร่ที่มีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากซึ่งถูกทิ้งไว้ในเหมืองโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์

เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์ทรัพยากรและใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงมีผู้ประกอบการบางรายในประเทศไทยนำเอาเทคโนโลยีการลอยแร่เฟลด์สปาร์มาใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในประเทศไทย โดยใช้วิธีการลอยแร่เฟลด์สปาร์ในสภาพภาวะเป็นกรดซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายกันในปัจจุบัน แสดงตามรูปที่ 2.4

สำหรับขั้นตอนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในประเทศไทยอาจสรุปเป็นขั้นตอนที่สำคัญได้ดังนี้การลอยแร่

1. นำแร่ที่ถูกบดย่อยแล้วซึ่งบดให้มีขนาดถึง Liberation Size จากนั้นส่งเข้าถังกวนให้มี Pulp Density ประมาณ 35-40 %และผ่านต่อเข้าสู่ถังกวนใบที่สองเพื่อทำการปรับสภาพ โดยจะใส่กรดซัลฟูริก โดยจะปรับค่าpHประมาณ 2- 3 ให้มีความคงที่
2. จากนั้นแร่จะถูกส่งผ่านไปยังชุดลอยแร่ชุดแรกเพื่อทำการแยกเอาแร่พวกไมก้าสีขาว (มัสโคไวท์) และพวก Slime ออกโดยจะใส่สารเคมีดังนี้ Amine, Pine Oil และพวกน้ำมันโซล่า โดยในเซลล์แรกจะมีอยู่ 6 เซลล์ สำหรับ 4 เซลล์แรก แยกเอาพวก Mica , Slime ออก ส่วนในเซลล์ที่ 5 – 6 จะมีการเติม Aero 825, Pine Oil ลงไปเพื่อแยกเอาแร่กลุ่มมลทินกลุ่มเหล็กสีดำ ออกมา
3. แร่เข้าสู่เซลล์ชุดที่ 2 เพื่อทำการแยกแร่กลุ่มเหล็กออกอีกครั้ง
4. แร่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องสไปรอลเพื่อแยกแร่กับน้ำออกจากกัน
5. แร่ถูกส่งเข้าสู่ถังกวนเพื่อทำการปรับสภาพด้วยกรดกัดแก้ว (HF) ให้มี pH 2-3 แล้วส่งเข้าชุดลอยแร่ชุดที่ 3 เพื่อทำการแยกแร่พวก Silica ออกจากแร่ Feldspar โดยเติม Amine และ Pine Oil ทำการลอยแร่ Feldspar ออกมาส่วนที่จมจะเป็นแร่ Silica (Quartz)
6. แร่ถูกส่งไปยังถังกวนเพื่อทำการล้างหรือลดความเข้มข้นของสารเคมีที่ติดมากับแร่จากนั้นแร่ถูกส่งต่อไปยังบ่อพักเพื่อจะนำไปย่างให้แห้งในลำดับต่อมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



*ที่มา : สถาพร อารีย์กุล , 2542

รูปที่ 2.4 รูปแผนผังการลอยแร่เฟลด์สปาร์ในโรงงานอุตสาหกรรมกรณี บ.เซอมาส จ.ตาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.11 การลอยแร่เฟลด์สปาร์เพื่ออุตสาหกรรมเซรามิกกรณี บ.อรรฐนีอินเตอร์เนชั่นแนล

(ฉดับ ปัทมสูต , 2542)

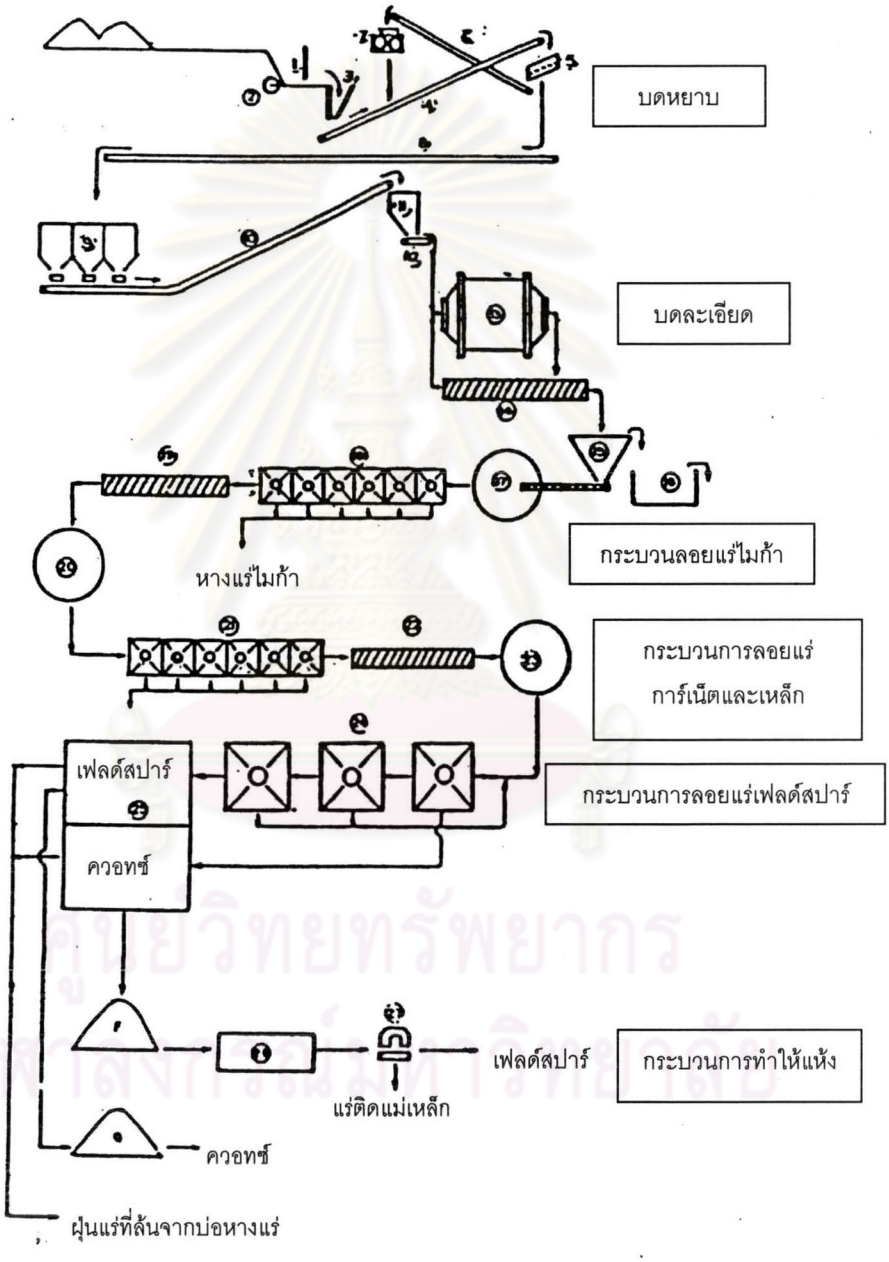
การลอยแร่เป็นกรรมวิธีที่จะสามารถผลิตแร่เฟลด์สปาร์ให้มี คุณภาพสม่ำเสมอได้ตามต้องการในการคัดแร่ ด้วยมือเราอาจจะเห็นว่าแร่สะอาดบริสุทธิ์ปราศจากมลทิน แต่ถ้าเราทุบย่อยให้มีขนาดเล็กลงเราอาจจะพบมลทินแทรกอยู่ภายใน ซึ่งในการลอยแร่เราต้องบดให้มีขนาดเล็กมากเล็กกว่าเม็ดทราย แร่และมลทินออกได้หมดเหลือไว้เพียงแต่เฟลด์สปาร์บริสุทธิ์และควอทซ์บริสุทธิ์

โดยขั้นตอนการลอยแร่ได้ออกแบบไว้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การบดหยาบโดยแร่ที่ผ่านการบดหยาบจะมีขนาด –1/2 นิ้ว
2. การบดละเอียด จะมีขนาด –70 เมช อยู่ประมาณ 80 เปอร์เซนต์
3. การคัดแร่ที่ละเอียดเกินไป (Slime) ทิ้ง
4. การลอยเอาแร่ไมก้าออกนั้น จะใช้เวลาในการปรับสภาพ 15 นาที ใช้เวลาในการลอยไมก้าครั้งที่หนึ่ง ใช้เวลา 15 นาทีใช้เวลาในการลอยไมก้าครั้งที่สอง ใช้เวลา 10 นาที ปรับแร่ให้ได้ 30% Solid โดยน้ำหนัก ใช้กรดซัลฟูริก เป็นตัวปรับ pH ประมาณ 2-3 จากนั้นเติม Amine เป็น Collector ในอัตรา 150 กรัมต่อตันแร่ ใช้ Pine Oil เป็น Frother
5. การลอยเอาแร่การ์เนตและเหล็กทิ้ง จะใช้เวลาในการลอยการ์เน็ตและเหล็กครั้งแรก 15 นาที ใช้เวลาในการลอยการ์เน็ตและเหล็กครั้งที่สอง 10 นาที ปรับแร่ให้ได้ 30% Solid โดยน้ำหนัก ใช้กรดซัลฟูริก เป็นตัวปรับ pH ประมาณ 2-3 จากนั้นเติม Petroleum Sulphonate เป็น Collector ในอัตรา 200 กรัมต่อตันแร่ ใช้ Pine Oil เป็น Frother
6. การลอยแยกเฟลด์สปาร์ออกจากควอทซ์ ทำการล้างและขัดผิวแร่ที่ผ่านการลอยแร่ไมก้าและการ์เนตในขั้นตอนข้างต้น จากนั้นใช้เวลาในการปรับสภาพ 15 นาที ใช้เวลาในการลอยเฟลด์สปาร์ครั้งที่หนึ่ง ใช้เวลา 20 นาทีใช้เวลาในการลอยเฟลด์สปาร์ครั้งที่สอง ใช้เวลา 10 นาที ใช้เวลาในการลอยเฟลด์สปาร์ครั้งที่สาม ใช้เวลา 10 นาที ใช้กรดไฮโดรฟลูริก เป็นตัวปรับ pH ประมาณ 2-3 จากนั้นเติม Amine เป็น Collector ในอัตรา 160 กรัมต่อตันแร่ ใช้ Pine Oil เป็น Frother
7. การทำให้แห้ง
8. การไล่มลทินครั้งสุดท้าย

ขั้นตอนในการลอยแร่ของ บ. อรรฐนีอินเตอร์เนชั่นแนลสามารถแสดงดังรูปที่ 2.5

แผนผังกระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์ของ บ.อรรฐนีอินเตอร์เนชั่นแนล จ.ตาก



*ที่มา : ฉดับ ปัทมสูต , 2542

รูปที่ 2.5 รูปแผนผังกระบวนการการลอยแร่เฟลด์สปาร์ในโรงงานอุตสาหกรรม บ.อรรฐนีอินเตอร์ เนชั่นแนล จ.ตาก