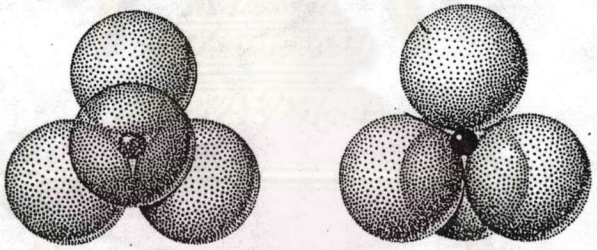
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ธรรมชาติของแร่เฟลด์สปาร์

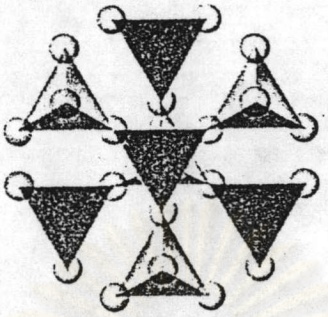
แร่เฟลด์สปาร์จัดเป็นแร่ประกอบหินที่อยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่สำคัญในการจำแนกประเภทของหินอัคนี[17-25] มีการจับตัวเป็นโครงสร้างชนิดเทคโทซิลิเกต (Tectosilicates) โดยโครงสร้างพื้นฐานของแร่ซิลิเกต ประกอบด้วย ซิลิกอน (Si) และ ออกซิเจน (O) ยึดติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์-โคออร์ดิเนตที่แข็งแรง ทำให้ได้ $(SiO_4)^{4-}$ เป็นรูปทรงปิรามิดประกอบด้วยสามเหลี่ยม 4 ด้าน ที่มีรูปร่างคงที่ เรียกว่า ซิลิกาเตตระฮีดรอน (Silica Tetrahedron) โดยมีออกซิเจนเป็นอะตอมขนาดใหญ่อยู่ตรงมุมปิรามิด ยึดติดกับซิลิกอนที่เป็นอะตอมขนาดเล็กอยู่ตรงกลาง ดังแสดงตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเตตระฮีดรอน (Tetrahedron Structure)[24]

ซิลิกาเตตระฮีดรอนหรือเรียกสั้น ๆ ว่า เตตระฮีดรอน สามารถจะเกิดอยู่เดี่ยว ๆ หรือมีการเกาะเกี่ยวกันเป็นสาย, เป็นวงกลม โดยที่มีอะตอมบางตัวอยู่ร่วมกันหรือมีธาตุอื่นเกาะเกี่ยวอยู่ด้วย ลักษณะเหล่านี้ทำให้เกิดโครงสร้างที่ยุ่งยากซับซ้อน

โครงสร้างเทคโทซิลิเกต เป็นโครงสร้างของแร่มีเตตระฮีดรอนยึดติดกัน 3 ทิศทาง ดังรูปที่ 2.2 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+} แล้วประจุจะไม่เป็นกลาง จำเป็นต้องมีไอออนบวกอื่นมาแทนที่ด้วย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเทคโทซิลิเกตของแร่ซิลิกา, SiO_2 [24]

ตารางที่ 2.1

โคออร์ดิเนชั่นของธาตุในแร่ซิลิเกต[24]

แกน	จำนวนโคออร์ดิเนชั่น	ไอออน(x)	รัศมีไอออนิค (อังสตรอม, Å)
Z	4	Si^{4+}	0.39
	4	Al^{3+}	0.51
Y	6	Al^{3+}	0.51
	6	Fe^{3+}	0.64
	6	Mg^{2+}	0.66
	6	Ti^{4+}	0.68
	6	Fe^{2+}	0.74
	6	Mn^{2+}	0.80
X	8	Na^{+}	0.97
	8	Ca^{2+}	0.99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 2.1 พิจารณาจำนวนโคออร์ดิเนต 6 ของ Mg^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Al^{3+} และ Ti^{4+} ที่มีรัศมีไอออนิคใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 15 มีโอกาสที่จะปรากฏการแทนที่ไอออนิคในอะตอม (Ionic Substituion) เป็นผลึกผสมเนื้อเดียว (Solid Solution)[18-26] และที่จำนวนประจุต่างกันซึ่งอาจทำให้เกิดการแทนที่ควบคู่ (Coupled Substitution) ได้

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

ไอออนิคที่มีขนาดใหญ่สุดของโครงสร้างซิลิเกต เช่น K, Rb, Ba แอลคาไลเอิรทช์ (Alkali Earth) ซึ่งไอออนเหล่านี้โดยทั่วไปไม่สามารถแทนที่กับ Na หรือ Ca ได้เนื่องจากจำนวนโคออร์ดิเนชั่นสูง ทำให้การเกิดผลึกผสมเนื้อเดียวระหว่างไอออนิคเหล่านี้มีขีดจำกัด

โครงสร้างเทคโทซิลิเกตมีอัตราส่วน Si:O จำนวน 1:2 สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ ดังนี้คือ :-

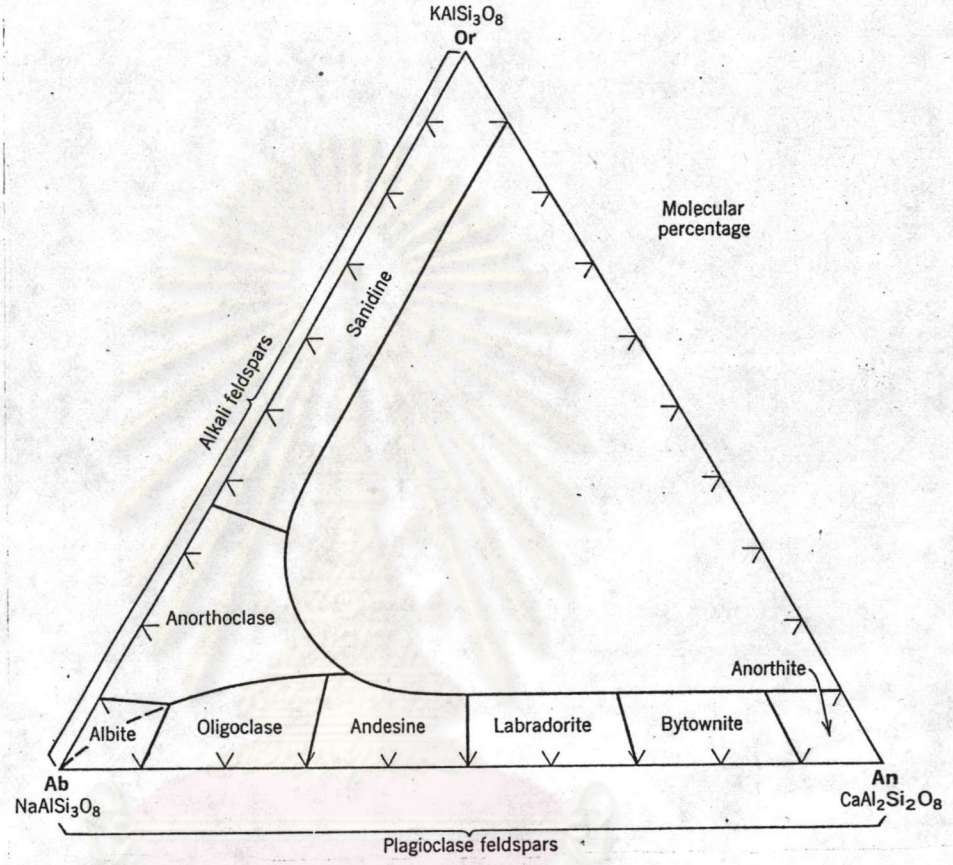
กลุ่มซิลิกา	(SiO_2 group)
กลุ่มเฟลด์สปาร์	(Feldspar group)
กลุ่มเฟลด์สปาร์ทอยด์	(Feldsparthoid group)
อนุกรมสคาโปไลต์	(Scapolite series)
กลุ่มซีโอไลต์	(Zeolite group)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 โครงสร้าง, องค์ประกอบ, คุณสมบัติแร่ และการใช้ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์

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) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ชนิดแร่เฟลด์สปาร์ของระบบไตรภาค[18-19]

แร่เฟลด์สปาร์ทุกชนิดแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน (Good Cleavage) ในสองทิศทาง ซึ่งทำมุม 90° (องศา) 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 โดยทั่วไปแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งเย็นตัวลงรวดเร็วหลังจากตกผลึกที่อุณหภูมิสูง แสดงถึงความไม่เป็นระเบียบ (Disordered) ของการกระจายตัวของ Al-Si ซึ่งเรียกว่าสภาวะโครงสร้างสูง (High Structure State) หากมีการเย็นตัวอย่างช้า ๆ จากอุณหภูมิสูง หรือ การตกผลึกที่อุณหภูมิ

ต่ำ แสดงถึงการกระจายตัวที่เป็นระเบียบ (Ordered) ของ Al-Si เรียกว่าสภาวะโครงสร้างต่ำ (Low Structure State)

2.1.1 โครงสร้าง (Structure) ของแร่เฟลด์สปาร์

โครงสร้างแร่เฟลด์สปาร์คล้ายกับโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีหลายรูปผลึก (Polymorp) 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^+ ในลักษณะคล้ายกัน เมื่อ 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+} ในเตตระ-ฮีดรอน แปรตามสัดส่วนของปริมาณ Ca^{2+} และ Na^+ เพื่อคงความเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือกล่าวได้ว่าเมื่อ Ca^{2+} เพิ่มขึ้น Al^{3+} ก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วย

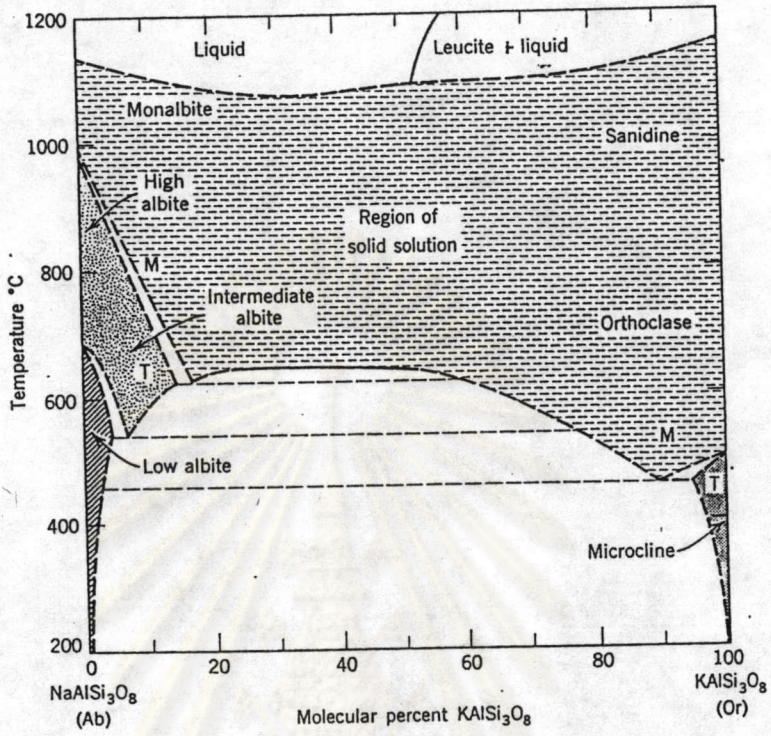
โครงสร้างแร่เฟลด์สปาร์ที่แสดงให้เห็นถึงรูปผลึกของ $KAlSi_3O_8$ ที่อุณหภูมิสูง คือ ซานิดีน (Sanidine) ในโครงสร้างนี้การกระจายตัว Al-Si เป็นไปแบบไม่เป็นระ-เบียบอย่างแท้จริง (Completely Disordered) ซึ่งหมายถึงไอออน Al, Si กระจัดกระ-จายไม่เป็นระบบ (Random)

โครงสร้างแร่ไมโครไคลน์ รูปผลึกของ $KAlSi_3O_8$ อีกชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิต่ำ มีรูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic Crystal) มีการกระจายตัวของ Al-Si มีระเบียบสม-บูรณ์ (Completely Ordered) ที่เรียกว่า ไมโครไคลน์อุณหภูมิต่ำ หรือไมโครไคลน์สูงสุด (Low Temperature or Maximum Microcline) คำว่าสูงสุด หมายถึง รูปผลึกสามแกนเอียง ที่เป็นผลจาก Al-Si มีระเบียบสมบูรณ์นั่นเอง

แร่ออร์โทเคลสเป็นรูปผลึกชนิดหนึ่งของ $KAlSi_3O_8$ ซึ่งการกระจายตัวของ Al-Si อยู่ระหว่างการไม่เป็นระเบียบของซานิดีนกับการเป็นระเบียบของไมโครไคลน์ โดยมันตกผลึกที่อุณหภูมิปานกลาง

โครงสร้างของแร่ดังกล่าวพิจารณาตามความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและสัดส่วนโมเลกุลตามรูปที่ 2.4 ซึ่งความแตกต่างของโปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ชนิด ซานิดีน, ออร์โท-เคลส และไมโครไคลน์ มีบรรทัดฐานของขนาดหน่วยเซล และพารามิเตอร์ทางแสง (Optical Parameter) เช่น มุม 2V, มุมจุดมืดสูงสุด (Maximum Extinction Angle) ซึ่งทั่วไปมัก

ใช้คำว่า ออร์โทเคลส และ ไมโครไคลน์ ร่วมกัน

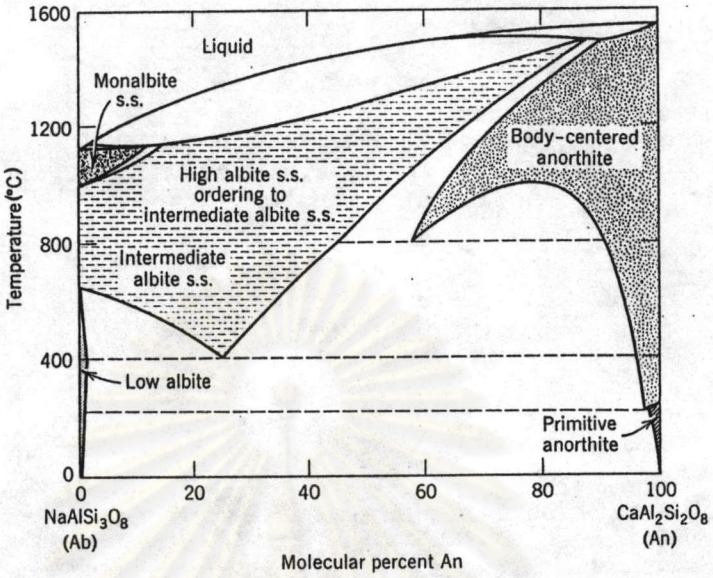


รูปที่ 2.4 เฟสไดอะแกรมของระบบแอลไบต์ (Ab) กับออร์โทเคลส (Or)[22]

โครงสร้างของแร่กลุ่มแพลจิโอเคลสมีลักษณะคล้ายกันมากกับของแร่ไมโคร-ไคลน์ สมาชิกตัวสุดท้ายของโซเดียมเฟลด์สปาร์ คือ แอลไบต์ รูปผลึกสามแกนเอียง ซึ่งเป็น Low Albite Form แสดงการเป็นระเบียบอย่างสูงของการกระจายตัว Al-Si และ High Albite Form ซึ่งมีความไม่เป็นระเบียบอย่างสูงของ Al-Si ที่เป็นรูปผลึกหนึ่งแกนเอียง ที่เรียกว่า โมนาลไบต์ (Monalbite), สมาชิกท้ายสุดของแคลเซียมเฟลด์สปาร์ คือ อะนอร์ไทต์ รูปผลึกไทรคลีนิค การคงตัวของรูปแบบต่าง ๆ ของแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ พิจารณาตามรูปที่ 2.5

2.1.2 องค์ประกอบ (Composition) ของแร่เฟลด์สปาร์

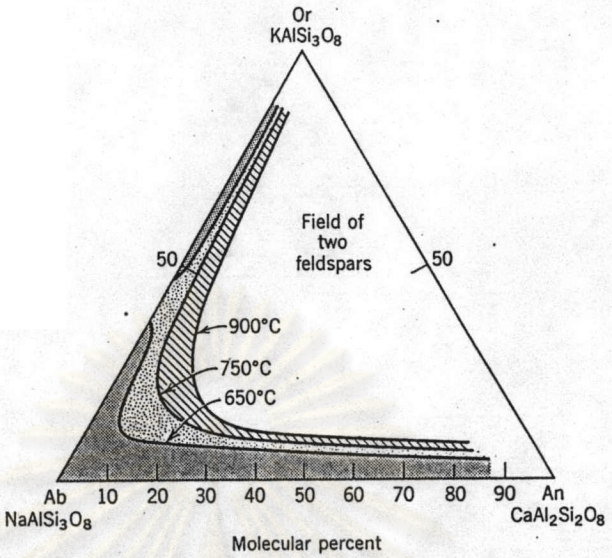
กลุ่มแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ($NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$) แสดงถึงผลึกผสมเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ (Complete Solid Solution) ที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น ดังรูปที่ 2.4 เช่น แร่ซานิดีน - High Albite คงตัวที่อุณหภูมิสูงแต่ที่อุณหภูมิต่ำจะแยกเป็น 2 สภาวะ เป็น Low Albite และ ไมโครไคลน์ ที่คงตัวกว่า ซึ่งจะพิจารณาเห็นได้ว่าช่วงองค์ประกอบของ Low Albite และไมโครไคลน์มีเพียงเล็กน้อย กรณีเป็นแร่เฟลด์สปาร์เนื้อเดียว



รูปที่ 2.5 เฟสไดอะแกรมแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์[22]

(Homogeneous Feldspar) ขององค์ประกอบ $Or_{50}Ab_{50}$ ซึ่งไอออน Na^+ และ K^+ กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ เมื่อเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ การแยกตัวของไอออน Na^+, K^+ จะมีผลของขนาดต่อโครงสร้างที่รอบข้างเป็นสำคัญ Na^+ จะแพร่กระจายสู่บริเวณ Na-rich และ K^+ จะแยกตัวในช่วง K-rich ของโครงสร้าง การแยกตัวนี้ก่อให้เกิดชั้นบาง (Thin Layer or Lamellae) ในผลึกโต (Crystal Host) ของโปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ทำให้เกิดแร่หลายชนิดที่อยู่ร่วมกัน (Intergrowth) แสดงลักษณะเนื้อ (Texture) ที่เรียกว่า เพอร์ไทต์ (Perthite) และเป็นผลทำให้เกิดผลึกผสมเนื้อแยก (Exsolution) ในกลุ่มแอลคาไลเฟลด์-สปาร์ 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[21-22] ในกรณีที่แร่ผลึกโต (Host) เป็นแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์และชั้นบางเป็น $KAlSi_3O_8$ ซึ่งเรียกว่า แอนติเพอร์ไทต์ (Antiperthite)

ผลึกผสมเนื้อเดียวระหว่าง $KAlSi_3O_8$ และ $CaAl_2Si_2O_8$ พบเป็นส่วนน้อย พิจารณาตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของผลึกผสมเนื้อเดียวของระบบ Or-Ab-An ที่ความดัน P_{H_2O} เท่ากับ 1 กิโลบาร์[26]

กลุ่มแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ($NaAlSi_3O_8$-$CaAl_2Si_2O_8$) มีอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญของการเกิดผลึกผสมเนื้อเดียว (Solid Solution) สูตรทั่วไปของแร่เฟลด์สปาร์กลุ่มนี้เป็น $Na_{1-x}Ca_x(Si_{3-x}Al_x)O_8$ ซึ่ง x มีค่าช่วง 0-1, พิจารณาตามรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปมักใช้สัดส่วนของ 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

องค์ประกอบทางเคมี และรูปผลึกของแร่เฟลด์สปาร์สามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2.2 และองค์ประกอบทางเคมีทางทฤษฎี ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2

การแบ่งชนิดแร่เฟลด์สปาร์[18-25]

แอลคาไลเฟลด์สปาร์		แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์	
รูปผลึก	องค์ประกอบ	รูปผลึก	องค์ประกอบ
รูปผลึกหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic)		รูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic)	Ab An
ออร์โทเคลส (Orthoclase)	$(K,Na)AlSi_3O_8$	แอลไบต์ (Albite)	90-100 0-10
ซานิดีน (Sanidine)	$(K,Na)AlSi_3O_8$	โอลิโกเคลส (Oligoclase)	70-90 10-30
อะดูลาเวีย (Adularia)	$(K,Na)AlSi_3O_8$	แอนดีซีน (Andesine)	50-70 30-50
รูปผลึกสามแกนเอียง (Triclinic)		แลบราโดไรต์ (Labradorite)	30-50 50-70
ไมโครไคลน์ (Microcline)	$(K,Na)AlSi_3O_8$	ไบโทร์ไนต์ (Bytownite)	10-30 70-90
อะนอร์โทเคลส (Anorthoclase)	$(Na,K)AlSi_3O_8$	อะนอร์ไทต์ (Anortite)	0-10 90-100

ตารางที่ 2.3

ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีทางทฤษฎี[18-25]

ชนิดแร่	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O
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[17-26]

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
		ไมโครไคลน์ 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 (Vitreous to Pearly)
ความเหนียว (Tanacity)	:	เปราะ (Brittle)
จุดหลอมตัว (Melting Point)	:	อุณหภูมิ 1,110-1,532 องศาเซลเซียส
ระดับการให้แสงผ่าน (Degree of Transparent)	:	โปร่งแสง ถึงโปร่งใส ของออร์โทเคลส และไมโครไคลน์, แอลไบต์ถึงกึ่งโปร่งใส
การติดแม่เหล็ก	:	ไม่ติดแม่เหล็ก
การนำไฟฟ้า	:	ไม่นำไฟฟ้า
การเปียกน้ำ (Wettability)	:	จัดอยู่กลุ่มแร่ซิลิเกตที่มีการเปียกน้ำได้ดี เช่นเดียวกับแร่ควอรตซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016557

ตารางที่ 2.4

คุณสมบัติบางประการของแร่เฟลด์สปาร์และแร่ที่อยู่ร่วมกัน[18-20,22-24]

ชนิดแร่ (โครงสร้าง)	องค์ประกอบทางเคมี	ความถ่วงจำเพาะ	การติดแม่เหล็ก	การนำไฟฟ้า
1. การ์เนต (นิโซซิลิเกต)	$A_3B_2(SiO_4)_3$ A = Ca,Mg,Fe,Mn B = Al,Fe,Cr,Ti	3.4 - 4.3	ค่อนข้างแรง	ไม่
2. ฮอร์นเบลน (อินโนซิลิเกต)	Complex Ca,Mg, Fe,Al,Silcate	3.1 - 3.3	อย่างอ่อน	ไม่
3. ทัวร์มาลีน (ไซโคลซิลิเกต)	$Na(Mg,Fe,Mn,Li,Al)_3Al_6(Si_6O_{18})(BO_3)_3(OH,F)_4$	2.9 - 3.2	อย่างอ่อน	ไม่
4. ไบโอไทต์ (ฟิลโลซิลิเกต)	$K_2(Fe^{2+},Mg)_6(Fe^{3+},Al,Ti)_{0-2}(Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20})O_{0-2}(OH,F)_{4-2}$	3.0 - 3.1	อย่างอ่อน	ไม่
5. มัสโคไวต์ (ฟิลโลซิลิเกต)	$K_2Al_4(Si_6Al_2O_{20})(OH,F)_4$	2.88 - 3.0	อย่างอ่อนมาก	ไม่
6. เบอริล (ไซโคลซิลิเกต)	$Be_3Al_2(Si_8O_{18})$	2.7 - 2.8	อย่างอ่อน	ไม่
7. เฟลด์สปาร์ (เทคโทซิลิเกต)	$(K,Na,Ca..)_x(Al,Si)_3O_8$ x = ตัวเลขใด ๆ	2.55 - 2.76	ไม่	ไม่
8. ควอรตซ์ (เทคโทซิลิเกต)	SiO_2	2.7	ไม่	ไม่
9. ไพไรต์ (ไอโซเมตริก)	FeS_2	5.0	อย่างอ่อนมาก	ไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 การใช้ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์จัดเป็นแร่เศรษฐกิจที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการทำเซรามิกและการผลิตแก้ว[3-16] โดยมีบรรทัดฐานของส่วนประกอบทางเคมีเป็นหลักและมีการใช้คุณสมบัติทางกายภาพโดยตรงบ้าง

2.1.4.1 ทางอุตสาหกรรมเซรามิก ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้น (Body) และงานเคลือบ (Glaze)[3-7,11] ส่วนผสมขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น กระเบื้องปูพื้น, ปูผนัง ประมาณ 5-10 %, เอิร์ทเธนแวร์ (Earthenware) ประมาณ 10-15 %, พอร์เซเลน (Porcelain) ประมาณ 25-30 % และในน้ำเคลือบประมาณ 40-55 %[7-12] โดยแร่เฟลด์สปาร์ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) เพื่อลดจุดหลอมตัวของส่วนผสม และกลายเป็นแก้ว (ขณะส่วนผสมอื่นยังเป็นของแข็งอยู่) ซึ่งจะแพร่กระจายเชื่อมส่วนประกอบอื่น ๆ เข้าด้วยกัน โดยมีอุณหภูมิของการเผาที่กำหนดไว้สำหรับความแข็งแรงและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ตามแต่ละกรรมวิธี การควบคุมคุณภาพของแร่เฟลด์สปาร์จึงมักขึ้นกับประเภทของแต่ละผลิตภัณฑ์มักอาศัยองค์ประกอบทางเคมีเป็นหลัก ซึ่งมีหลายวิธี[11-12,36,58-63] ดังนี้

ก) กำหนดเป็นอัตราส่วนหรือผลรวมของ K_2O กับ Na_2O

ข) จำกัดปริมาณร้อยละของ SiO_2, Al_2O_3, CaO และ Fe_2O_3

ค) กำหนดเป็นปริมาณร้อยละขั้นต่ำสุดของ K_2O, Na_2O, Al_2O_3 และ Fe_2O_3

นอกจากนั้น ก็พิจารณาผลวิเคราะห์ของสัดส่วนแร่ที่อยู่ร่วมกัน รูปร่างและการกระจายตัวของขนาดเม็ดแร่ โดยมีการทดสอบที่ใช้กันแพร่หลายประกอบกับข้อกำหนด คือ การทดสอบการเผารูปกรวย (Cone Firing Test)[7,11-12] ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงผลของการหลอมตัว, ความเป็นมัน-เนื้อแก้ว, สี และสิ่งเจือปนที่มีอยู่

2.1.4.2 ทางอุตสาหกรรมผลิตแก้ว โดยที่เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่ให้อะลูมินา และแอลคาไล โดยอะลูมินาช่วยทำให้แก้วที่ได้มีความเหนียว ทนทานต่อแรงกระแทก ทนต่อความร้อน ความกดดันและทนต่อกรดหรือด่างสูง ส่วนแอลคาไล ช่วยในลักษณะการคงตัวของรูปทรงที่สามารถจัดทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ และจุดหลอมตัวต่ำลงเช่นกัน การควบคุมคุณภาพเน้นที่สัดส่วนร้อยละของ Al_2O_3 ไม่ต่ำกว่า 18.5 และค่าต่ำสุดของร้อยละ Fe_2O_3 และ/หรือ TiO_2 รวมทั้งการกระจายตัวขนาด และรูปร่าง เป็นต้น

ข้อกำหนดองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพพิจารณาตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

ข้อกำหนดแร่ควอรตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ทางการค้า[56-63]

องค์ประกอบเคมี และ ลักษณะทางกายภาพ (ร้อยละ)	แร่ควอรตซ์ ผลิตแก้ว	แร่เฟลด์สปาร์	
		ผลิตแก้ว	เซรามิก
SiO_2	97-99	65-68	65-68
ควอรตซ์	96-98	-	8.0*
Al_2O_3	0.3	18.5±0.6	18.0**
$K_2O + Na_2O$	0.2	12.5±1.0	13.0**
Fe_2O_3	0.3-0.03	0.1*	0.08*
LOI	0.5-0.2	0.5	0.4
ขนาด (ไมครอน)	600x74	420x74	-74 (98%)
รูปทรง	ทรงกลม และเหลี่ยมน้อย	-	-

* ค่าสูงสุด

** ค่าต่ำสุด

- ไม่กำหนด

การใช้ประโยชน์ที่มีบทบาทเพิ่มขึ้นคือ การใช้ในอุตสาหกรรมลวดเชื่อม, การทำลูกถ้วยไฟฟ้าแรงสูง และการทำเป็นตัวเติม (Filler) ของอุตสาหกรรมสี, พลาสติก, ยาง[3-16] เป็นต้น

การใช้เป็นเครื่องประดับ[24-25,42-47] เช่นแร่อะเมโซไนต์ (Amazonite) ซึ่งเป็นแร่ไมโครไคลน์ที่สีเขียวอมฟ้าสด, มุกดา (Moonstone) เป็นแร่เฟลด์สปาร์ที่มีการเล่นแสงคล้ายโอปอ (Opal) พบในแอลไบต์, ในโอลิโกเคลสซนิดอะเวนจูรีน (Aventurine) เรียกว่า ทรายทอง (Sunstone) และในออร์โทเคลสซนิดอะดูลาเรีย (Adularia) หรืออาจใช้เป็นหินประดับของหินแกรนิตที่มีผลึกโตของแร่เฟลด์สปาร์ก็เป็นได้

2.2 การกำเนิดและชนิดของแหล่งแร่เฟลด์สปาร์[24-25,41-51]

2.2.1 การกำเนิดแร่เฟลด์สปาร์

แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญ พบทั่วไปใน หินอัคนี, หินแปร แต่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้จากสายแร่ของน้ำแร่ร้อน ในสายเพกมาไทต์ (Pegmatite) นอกจากนี้แล้วยังมีการผลิตเฟลด์สปาร์จากส่วนที่เป็น กราฟิกแกรนิต (Graphic Granite), หินแกรนิตสีขาว (Leucocratic Granite), หินแอไพลต์ (Aplite) และ หินเฟลด์สปาร์ (Feldspathic Rock)

สายเพกมาไทต์ ที่มีความสัมพันธ์กับหินอัคนีมักจะเกิดในตัวหินแกรนิตเองหรือบริเวณรอบ ๆ หินแกรนิต ขนาด, รูปร่าง และทิศทางของสายเพกมาไทต์ขึ้นอยู่กับรอยแตกในหินแกรนิตหรือหินข้างเคียง การให้แร่เฟลด์สปาร์ชนิดใดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของหินหนืด (Magma) สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินแปรจะพบในพื้นที่ที่มีการแปรสภาพ (Metamorphism) สูง ในประเทศไทยพบสายเพกมาไทต์แทรกอยู่ในหินแกรนิต, หินไนส์และหินชีสต์เป็นส่วนใหญ่ เฟลด์-สปาร์ในสายเพกมาไทต์เกิดร่วมกับควอรตซ์ (Quartz), ไบโอไทต์ (Biotite), มัสโคไวต์ (Muscovite) และ แร่อื่น ๆ เช่น ทัวร์มาลีน (Tourmaline), เบอริล (Beryl), การ์-เนต (Garnet) เป็นต้น

กราฟิกแกรนิต เป็นเพกมาไทต์ที่มีควอรตซ์ และแอลคาไลเฟลด์สปาร์ยึดประสานกันคล้ายตัวหนังสือฮิบรู (Hebru) โบราณ แร่ที่เกิดร่วมด้วยคือ มัสโคไวต์, ทัวร์มาลีน, การ์เนต

หินแอไพลต์ เป็นหินอัคนีเนื้อละเอียด เกิดเป็นสายมีส่วนประกอบ เช่นเดียวกับหินแกรนิต มีแร่หลักคือ ควอรตซ์ และแอลคาไลเฟลด์สปาร์

หินแกรนิตสีขาว เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แอลคาไลเฟลด์สปาร์และควอรตซ์ สำหรับแพลจิโอเคลสเกิดร่วมด้วยในปริมาณไม่มากนัก แร่สีดำที่มีธาตุเหล็ก และแมกนีเซียม เป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดร่วมกันน้อยมาก มักพบเกิดตามรอยของแนวหินอัคนีมวลไพศาล (Massive Igneous Rock)

หินเฟลด์สปาร์ เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แพลจิโอเคลส และควอรตซ์ เนื้อหินพบทั้งส่วนที่มีเนื้อละเอียดจนถึงเนื้อหยาบ พบทั้งผลึกขนาดเดียวจนถึงพวกที่มีเนื้อผลึกสองขนาดหรือเนื้อดอก ในบางบริเวณพบส่วนที่แสดงริ้วรอยขนานในเนื้อหิน

นอกจากนี้แล้ว แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ยังมีการกำเนิดได้อีกหลายชนิด แต่ในประเทศไทยยังไม่พบเป็นแหล่งที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ ดังนี้คือ :-

- เนฟิลีนไซอีไนต์ (Nepheline Syenite) เป็นหินอัคนีระดับลึกประกอบด้วยผลึกขนาดหยาบของแอลคาไลเฟลด์สปาร์ และแร่ที่มีส่วนประกอบของแอลคาไลกับเหล็กและแมกนีเซียม ไม่มีควอรตซ์ ถูกนำมาใช้แทนเฟลด์สปาร์ในอุตสาหกรรมแก้ว และเซรามิก เพราะมีอะลูมินาสูง, ซิลิกาต่ำ

- โฟโนไลต์ (Phonolite) เป็นหินอัคนีที่มีส่วนประกอบเหมือนกันกับเนฟิลีนไซอีไนต์ มีแร่ออร์โทเคลส หรือ ซานิดีนเป็นแร่หลัก

- อะนอร์โทไซต์ (Anorthosite) เป็นหินอัคนีที่ประกอบด้วยแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์มากกว่าร้อยละ 90

- ทรายเฟลด์สปาร์ (Feldspathic Sand) ประกอบด้วยเฟลด์สปาร์และควอรตซ์

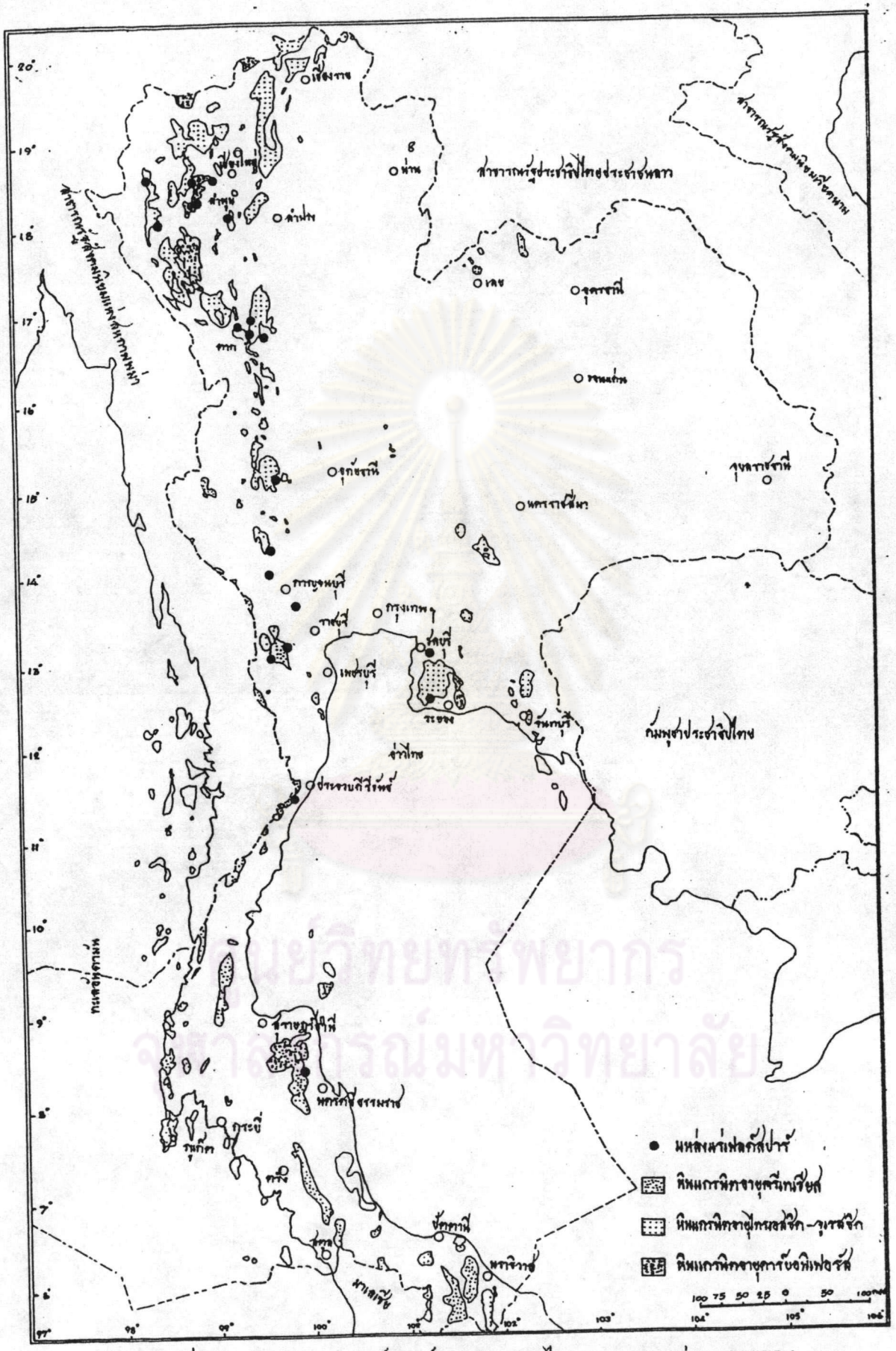
2.2.2 <u>แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทย</u>[41-48]

ตามแผนที่รูปที่ 2.7 แสดงแหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศไทย และการแผ่กระจายของหินแกรนิต โดยมีการผลิตแร่กระจายอยู่ทั่วประเทศ และมีการกำเนิดแตกต่างกัน แหล่งแร่ของไทยสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามปริมาณของ K_2O และ Na_2O ที่มีอยู่ในเนื้อแร่โดยไม่พิจารณาตามลักษณะการเกิด เนื่องจากการซื้อขายจะถูกกำหนดราคาตามปริมาณของ K_2O และ Na_2O ในเนื้อแร่เป็นหลัก การแบ่งประเภทแร่เฟลด์สปาร์โดยกำหนดตามปริมาณของส่วนประกอบร้อยละของแอลคาไลออกไซด์ มีดังนี้

2.2.2.1 <u>โพแทชเฟลด์สปาร์</u> (Potash Feldspar) หรือโปแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (Potassium Feldspar) จะมีปริมาณร้อยละของ K_2O ในเนื้อแร่มากกว่า 10 พบในเฟลด์สปาร์ที่ผลิตจากสายเพกมาไทต์และกราฟิกแกรนิต แร่ที่พบเป็นชนิด ไมโครไคลน์ และออร์โทเคลส บริเวณจังหวัดเชียงใหม่, ลำพูน, ตาก, อุทัยธานี, ราชบุรี และประจวบคีรีขันธ์

2.2.2.2 <u>โซดาเฟลด์สปาร์</u> (Soda Feldspar) หรือโซเดียมเฟลด์สปาร์ (Sodium Feldspar) จะมีปริมาณร้อยละของ Na_2O ในเนื้อแร่มากกว่า 7 แร่ที่พบมักเป็นแพลจิโอเคลส ชนิดแอลไบต์และโอลิโกเคลส ที่ผลิตจากหินเฟลด์สปาร์พบในบริเวณจังหวัดตาก, ราชบุรี และนครศรีธรรมราช

2.2.2.3 <u>เฟลด์สปาร์กะเทย</u> ที่ปริมาณร้อยละของ K_2O และ Na_2O ในเนื้อแร่มีปริมาณใกล้เคียงกัน[8] แหล่งแร่ชนิดนี้มีการผลิตจาก หินแกรนิตสีขาว, หินเฟลด์สปาร์, สายเพกมาไทต์ พบในบริเวณ จังหวัดตาก, กาญจนบุรี, เชียงใหม่, ลำพูน, ราชบุรี, อุทัยธานี, ชลบุรี, ระยอง, ปัตตานี และนครศรีธรรมราช



รูปที่ 2.7 แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ของประเทศไทย และการแผ่กระจายของหินแกรนิต[47]

2.2.3 ศักย์ทางแร่ (Mineral Potential)[47-48]

แหล่งแร่เฟลด์สปาร์มีความสัมพันธ์กับหินอัคนีโดยเฉพาะหินแกรนิต สำหรับประเทศไทย มีการกำเนิด 3 ชนิด จากสายเพกมาไทต์, หินเฟลด์สปาร์ และหินแกรนิตสีขาว

สายเพกมาไทต์ เป็นสายของหินอัคนีผลึกหยาบ มักเกิดร่วมกับหินอัคนีระดับลึก (Plutonic Rock) ที่มีขนาดผลึกเล็กกว่า และเกิดในระยะหลังของการเกิดหินอัคนีระดับลึก จะพบเป็นสายแทรกผ่านหินอัคนีระดับลึกและหินข้างเคียงตามแนวรอยแตก ในสายเพกมาไทต์จะให้เฟลด์สปาร์ชนิดแอลคาไลเฟลด์สปาร์มากกว่าแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ ดังนั้นจึงมีปริมาณร้อยละของ K_2O ในเนื้อแร่ค่อนข้างสูง ถ้ามีปริมาณร้อยละของ K_2O มากกว่า 10 จึงเป็นแหล่งเฟลด์สปาร์ชนิดโพแทชเฟลด์สปาร์ แต่ถ้ามีปริมาณร้อยละของ K_2O ใกล้เคียงกันกับ Na_2O จะเป็นแหล่งเฟลด์สปาร์กะเทย ซึ่งอาจจะพัฒนาให้เป็นโพแทชเฟลด์สปาร์ได้ โดยการลอยแร่ บริเวณที่มีศักย์ทางแร่สูง คือ บริเวณที่มีการแผ่กระจายของมวลหินอัคนีระดับลึก โดยเฉพาะแกรนิต เช่น บริเวณจังหวัดเชียงใหม่, ลำพูน, ตาก, ราชบุรี, กาญจนบุรี, ชลบุรี, ระยอง, ประจวบคีรีขันธ์ เป็นต้น

หินเฟลด์สปาร์ เป็นหินแกรนิตที่มีเฟลด์สปาร์และควอรตซ์ เป็นส่วนประกอบสำคัญ เฟลด์สปาร์ที่พบจะเป็นแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์มากกว่าแอลคาไลเฟลด์สปาร์ ดังนั้นจึงมีปริมาณร้อยละของ Na_2O สูงกว่า K_2O ถ้าปริมาณร้อยละของ Na_2O มากกว่า 7 จัดอยู่ในประเภทโซดาเฟลด์สปาร์ หากปริมาณร้อยละของ Na_2O ใกล้เคียงกันกับ K_2O จัดเป็นเฟลด์สปาร์กะเทย หินเฟลด์สปาร์มักพบตามแนวขอบของแนวหินอัคนีระดับลึก และเป็นพวกที่แทรกตัวเข้ามาในระยะหลัง บริเวณที่มีศักย์ทางแร่สูง ได้แก่ ตำบลหางดง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่, ตำบลแม่สลิด อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก, ตำบลโป่งกระทิง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี, ตำบลนบพิตำ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

หินแกรนิตสีขาวประกอบด้วยแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ แอลคาไลเฟลด์สปาร์ ควอรตซ์ และแร่ประกอบหินอื่น ๆ แร่สีดำที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดร่วมด้วยน้อยมาก มักพบตามขอบของแนวเทือกเขาแกรนิต โดยแทรกเข้ามาในระยะหลัง หินแกรนิตสีขาวจะให้ปริมาณร้อยละของ K_2O ใกล้เคียงกันกับ Na_2O จัดเป็นเฟลด์สปาร์กะเทย บริเวณที่มีศักย์ทางแร่สูงได้แก่ บริเวณรอบ ๆ แนวหินอัคนีมวลไพศาล จังหวัดตาก และแนวหินอัคนีจังหวัดราชบุรี

2.3 ภาวะการผลิต, การส่งออก และการใช้งานภายในประเทศ[33-39]

จากอัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมเซรามิกที่เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 20 ต่อปี และกำลังจะกลายเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่เพิ่มความสำคัญขึ้นทุกปี ส่วนสำคัญที่จะสนับสนุน คือ วัตถุดิบ ซึ่งที่ผ่านมาใช้วัตถุภายในประเทศแทบทั้งสิ้น มีปริมาณที่นำเข้ามาจากต่างประเทศไม่มากนัก[33] ซึ่งการมีวัตถุดิบภายในประเทศที่มีปริมาณเพียงพอได้คุณภาพ และราคาถูกจะเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากค่าแรงงานต่ำ

ภาวะการผลิตการส่งออก, การใช้งานของแร่เฟลด์สปาร์ ปี พ.ศ. 2531 พิจารณาจากตารางที่ 2.6 จากจำนวนเหมืองเปิดการประมาณ 30 เหมือง ผลผลิตประมาณ 288,208 เมตริกตัน, การใช้งานภายในประเทศ ประมาณ 99,503 เมตริกตัน การส่งออกโดยส่วนใหญ่เป็นแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ โดยที่แนวโน้มการส่งออกมีเป้าหมายของปี พ.ศ.2532 จำนวน 206,000 เมตริกตัน มูลค่า 124.4 ล้านบาท ปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 78.35, ราคาแร่ก้อนในปี พ.ศ. 2532 คงอยู่ในระดับเดียวกับปี 2531 คือ ตันละ 580 บาท และราคาแร่บดในปี พ.ศ. 2532 คาดว่าเท่ากับปี 2531 ราคาเฉลี่ยตันละ 1,400 บาท

การเพิ่มผลผลิตแร่เฟลด์สปาร์ ในปี พ.ศ.2531 มีการเติบโตโดยปริมาณ 3.95 เท่าของปี พ.ศ.2527 โดยอัตราการใช้แร่ต่อประชากรจาก 0.82 เป็น 1.82 ของปี พ.ศ. 2527 ถึง 2531

พิจารณาโดยรวมถึงความสำคัญของแร่เฟลด์สปาร์นับว่าสูงยิ่งขึ้น ของอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ความสม่ำเสมอของคุณภาพวัตถุดิบจึงต้องถูกทำการควบคุม เพื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพตามต้องการ ดังนั้นบทบาทของการใช้เทคโนโลยีของการผลิตนับวันมีความจำเป็นที่รองรับวัตถุดิบที่ต้องเข้มงวดยิ่งขึ้นไป

ตารางที่ 2.6

การผลิต, การส่งออกและการใช้แร่ภายในประเทศปี พ.ศ. 2527-2531[33-34,37-38]

พ.ศ.	2527		2528		2529		2530		2531	
ประเภทแร่เฟลด์สปาร์	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
การผลิต										
โซเดียม			92,620	114.1	107,964	75.6	164,835	115.2	288,208	201.7
โพแทสเซียม			11,966	19.3	7,199	12.2	4,246	6.9	5,478	9.3
รวม	74,404	107.9	104,586	133.4	115,163	87.8	169,081	122.1	293,686	211.0
การส่งออก										
โซเดียม	12,400	11.1								
- บด			3,315	5.2	3,533	5.2	4,960	6.9	6,824	10.1
- ก้อน			31,587	23.4	42,651	28.9	80,168	50.9	178,573	103.9
โพแทสเซียม	-		-		-		-		45	0.2
รวม	12,400	11.1	34,902	28.6	46,184	34.1	85,128	57.8	185,442	114.2
การใช้งานภายในประเทศ										
โซเดียม			44,329	52.5	76,995	53.9	75,737	53.02	94,407	66.1
โพแทสเซียม			12,073	19.6	5,703	9.7	5,119	8.7	5,096	8.7
รวม	41,628	60	56,402	72.1	82,698	63.6	80,856	61.72	99,503	74.1
ปริมาณการใช้แร่										
อัตราต่อประชากร*	0.82		1.09		1.56		1.50		1.82	
ประชากร**(40)	50,714		51,683		52,654		53,605		54,536	

หน่วย ปริมาณ : เมตริกตัน

มูลค่า : ล้านบาท

อัตราต่อประชากร* : กิโลกรัม

ประชากร** : พันคน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย