

## บทที่ 2

### แร่และหิน

#### (MINERALS AND ROCKS)

พื้นผิวของโลกส่วนที่เราอาศัยอยู่นี้จะประกอบไปด้วยแร่ ซึ่งเป็นธาตุหรือสารประกอบลักษณะเป็นของแข็งมีรูปผลึก แร่จะอยู่ทั่วไปทุก ๆ แห่งรอบตัวเรา เกือบทุกตารางของพื้นดินจะมีตัวอย่างของแร่จำนวนมากให้เห็น แร่อาจเกิดในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่นส่วนของหินที่โผล่ให้เห็น หินก็คือส่วนประกอบของแร่หลายชนิดนั่นเอง ดินในบริเวณทุ่งนาหรือทรายตามพื้นที่ท้องน้ำบางกรณีแร่จะเกิดอยู่ด้วยกันมาก ๆ และเป็นแร่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจก็เปิดทำเหมืองได้ แร่ที่หายากเช่นแร่ทองคำ และเงินถือเป็นพื้นฐานความมั่งคั่งของประเทศ นอกจากนี้เราอาจพบสิ่งที่ได้มาจากแร่มากมาย ตัวอย่างเช่น โตะ แก้วเหล็ก มีดที่ใช้ในครัวทำมาจากแร่เหล็ก ชนเงินทำมาจากแร่เงิน เหล่านี้ล้วนแต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากแร่ทั้งสิ้น

### 2.1 แร่

คำว่าแร่มีใช้กันหลายลักษณะ เช่นอาจจะใช้หมายถึงคุณค่าทางอาหารจึงคลุมไปถึงสิ่งที่เกิดจากสัตว์และพืชด้วย แต่ในทางธรณีวิทยานั้นความหมายของคำว่าแร่หมายถึงธาตุและสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยกระบวนการทางอนินทรีย์ ดังนั้นแร่จึงไม่เจริญเติบโตเหมือนต้นไม้หรือสัตว์ แต่แร่อาจงอกหรือแตกผลึกจนใหญ่ขึ้นได้ จากคำจำกัดความดังกล่าวเราจึงสามารถแยกสารประกอบชนิดต่าง ๆ ที่มีมนุษย์ผลิตขึ้นออกจากแร่ได้

ธาตุในส่วนของเปลือกโลกจะมีมากมายหลายชนิด แต่มีแร่ธาตุอยู่ไม่กี่ตัวเท่านั้นที่เกิดเป็นปริมาณมาก (ดูตารางที่ 2.1) ธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นแร่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นแร่ซิลิเกต เป็นส่วนใหญ่ เพราะธาตุออกซิเจนและซิลิคอนที่เป็นองค์ประกอบของแร่ซิลิเกต มีมากที่สุด

ตารางที่ 2.1 ธาตุที่สำคัญที่พบในเปลือกโลก

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกซิเจน (O)	46.6
ซิลิคอน (Si)	27.7
อะลูมิเนียม (Al)	8.1
เหล็ก (Fe)	5.0
แคลเซียม (Ca)	3.6
โซเดียม (Na)	2.8
โพแทสเซียม (K)	2.6
แมกนีเซียม (Mg)	2.1
อื่น ๆ	1.5
	100.00

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Long, 1974 หน้า 60)

2.2 ส่วนประกอบของแร่

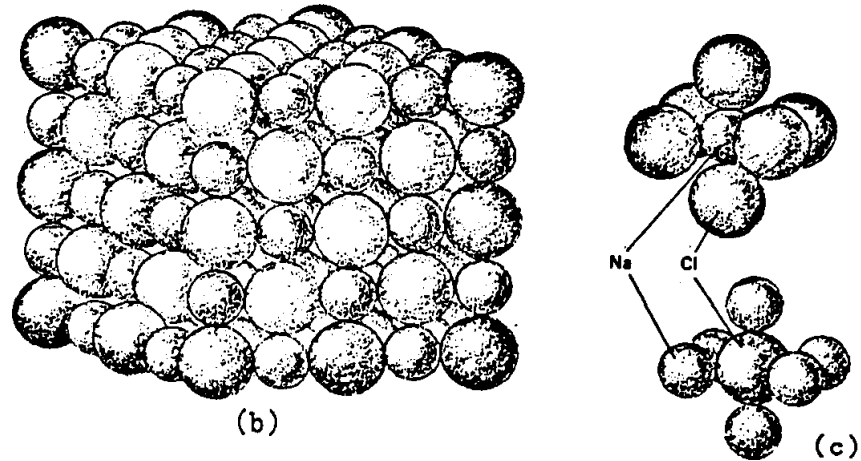
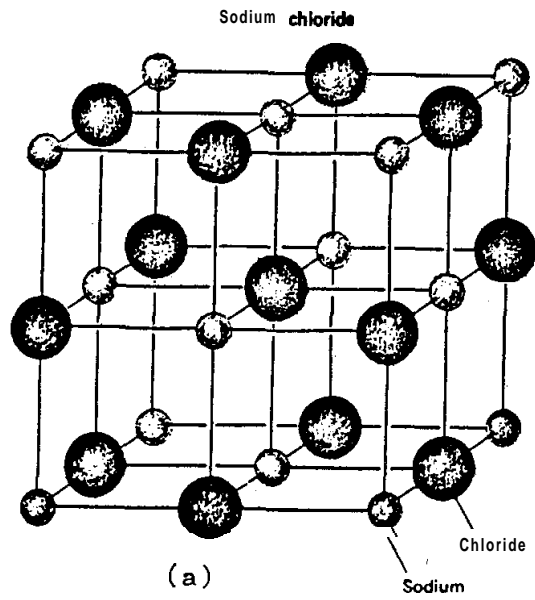
แร่ที่พบเกิดอยู่ในส่วนของเปลือกโลก ซึ่งเป็นส่วนเดียวที่เราสามารถศึกษาได้มีอยู่มากกว่า 2000 ชนิด แร่บางชนิดประกอบด้วยธาตุอย่างเดี่ยว เช่น แร่เพชร (C) ซึ่งเป็นธาตุคาร์บอน แร่ทองคำ (Au) แร่เงิน (Ag) แร่ทองแดง (Cu) แร่กำมะถัน (S) และแร่ปรอท (Hg) บางชนิดก็เกิดจากสารประกอบง่าย ๆ ระหว่างธาตุเพียงสองธาตุตัวอย่างเช่น แร่เฮไลต์ ประกอบด้วยธาตุสองธาตุคือโซเดียม (Na) และคลอรีน (Cl) ซึ่งมีจำนวนเท่ากันสามารถเขียนสูตรทางเคมีของแร่เฮไลต์ได้เป็น NaCl ซึ่งชี้ให้เห็นว่าทุก ๆ หนึ่งตัวของโซเดียมจะพอดี

กับทุก ๆ หนึ่งตัวของคลอไรด์ แร่ไฟไรต์แร่บางที่ก็เรียกว่า "แร่ทองของคนโง่" (Fool's gold) จะประกอบด้วยธาตุสองธาตุคือเหล็ก (Fe) และกำมะถัน (S) แต่ในแร่นี้จะต้องมีกำมะถันสองตัวจึงจะพอดีกับเหล็กหนึ่งตัว ดังนั้นแร่ไฟไรต์จะมีสูตรเป็น  $FeS_2$  และแร่บางชนิดก็เกิดจากสารประกอบที่สลับซับซ้อนก็มีดังเช่น แร่ซิลิมาไนต์ มีสูตรทางเคมีคือ  $Al_2SiO_5$  และแร่มิสโคไวต์ มีสูตรทางเคมีคือ  $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$  เป็นต้น

ส่วนประกอบของแร่อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย โดยบางโอกาสจะเกิดการแทนที่ของธาตุที่มีอะตอมขนาดเท่ากันแต่จะไม่ทำให้เกิดแร่ใหม่ขึ้น เช่น แร่โอลิวีน มีสูตรทางเคมีคือ  $(Mg,Fe)_2SiO_4$  ซึ่งแมกนีเซียมและเหล็กจะมีคุณสมบัติในการแทนที่กันได้ ดังนั้นเราสามารถกล่าวได้ว่าแร่ทุกชนิดประกอบด้วยธาตุที่คงที่หรือมีสัดส่วนเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย

### 2.3 โครงสร้างของแร่

การเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอะตอมของธาตุที่ประกอบเป็นแร่เรียกว่า โครงสร้างผลึก (crystalline structure) เนื่องจากแร่ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ชนิดระบบการจัดวางตัวของอะตอมภายในจึงต่างกัน ตัวอย่างเช่น แร่เฮไลต์ประจุบวกของโซเดียมจะอยู่สลับกับประจุลบของคลอไรด์ เป็นพันธะเคมีแบบไอออน (Ionic bond) และในโครงสร้างผลึกของแร่เฮไลต์โซเดียมไอออนแต่ละตัวจะมีคลอไรด์ไอออน 6 ตัวจับอยู่ด้วยเช่นเดียวกันคลอไรด์ไอออนแต่ละตัวก็มีโซเดียมไอออน 6 ตัวจับอยู่ด้วย (ดูรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของแร่เฮไลต์

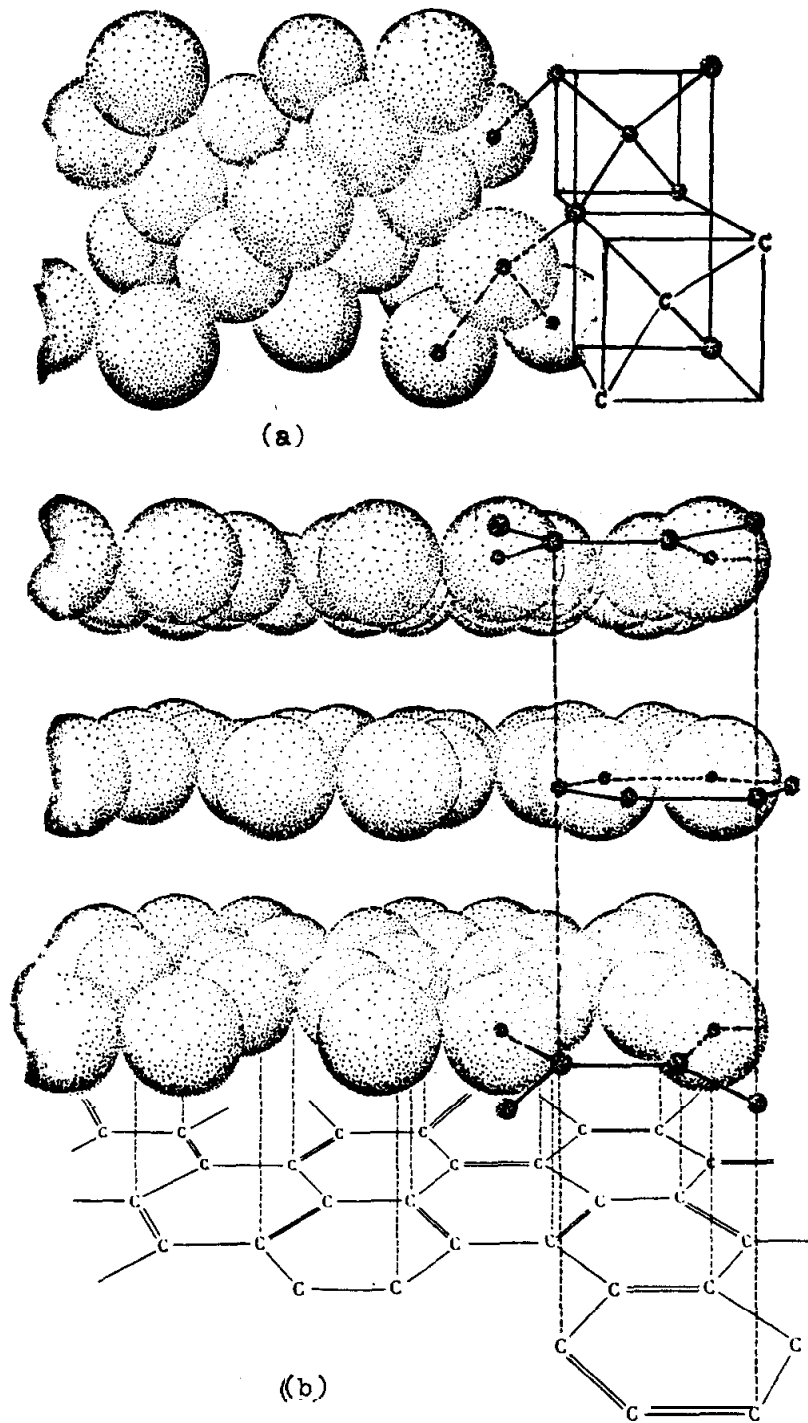
(ที่มา : Long, 1974 หน้า 59, 73)

ตามปกติแร่แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึกเฉพาะของตัวเอง ซึ่งมีประโยชน์ในการนำมาประกอบพิจารณาในกรณีที่แร่ทั้งสองประกอบด้วยธาตุที่เหมือนกัน แต่ก็มีธาตุหรือสารประกอบบางชนิดอาจเกิดเป็นแร่ได้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป กล่าวคือแร่เหล่านี้จะมีส่วนประกอบเหมือนกันทุกประการแต่จะมีโครงสร้างผลึกต่างแบบกัน (ดูตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแร่ที่มีส่วนประกอบอย่างเดียวกัน แต่โครงสร้างผลึกต่างกัน

ส่วนประกอบ	ชื่อแร่
C	แร่แกรไฟต์ แร่เพชร
CaCO <sub>3</sub>	แร่แคลไซต์ แร่อะราโกไนต์
FeS <sub>2</sub>	แร่ไพไรต์ แร่มาร์คาไซต์
SiO <sub>2</sub>	แร่ควอร์ตซ์ แร่โทรติไมต์ แร่คริสโทบาลิต แร่โคอีไซต์ แร่สติชโซไวต์

แร่เพชรและแร่แกรไฟต์ ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน แต่แร่ทั้งสองจะมีการเรียงของอะตอมของคาร์บอนที่แตกต่างกัน (ดูรูปที่ 2.2)



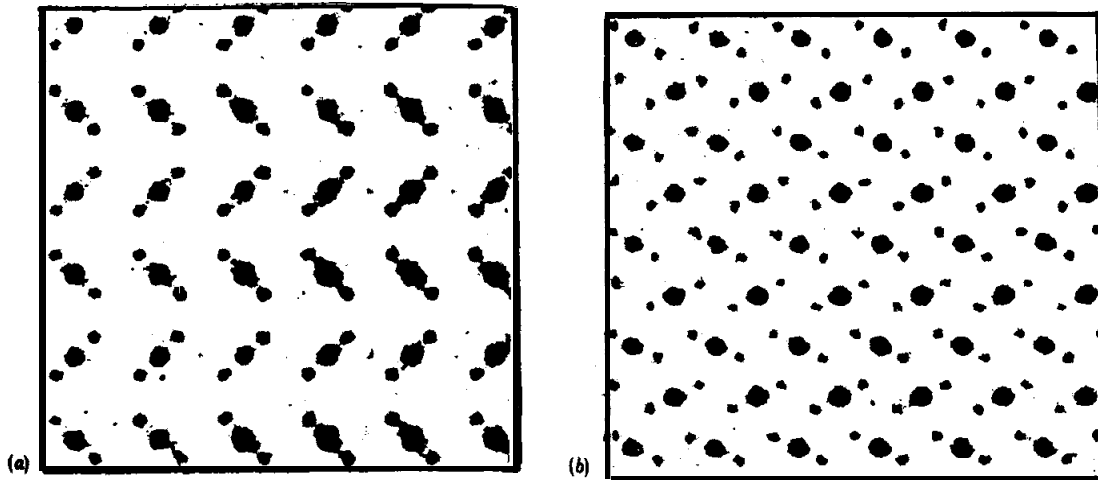
รูปที่ 2.2 การเรียงตัวที่แตกต่างกันของอะตอมของธาตุคาร์บอน

- (a) โครงสร้างผลึกของแร่เพชร
- (b) โครงสร้างผลึกของแร่แกรไฟต์

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 38)

แร่เพชรอะตอมของคาร์บอนแต่ละตัวจะสัมผัสกับคาร์บอนอะตอมอื่น ๆ อีก 4 ตัว ชนิดพันธะเคมีแบบร่วมอนุภาค (covalent bond) การจัดแบบนี้เป็นผลให้โครงสร้างยึดกันเหนียวแน่นมาก แร่เพชรจึงเป็นสารที่มีความแข็งมาก ส่วนแร่แกรไฟต์แต่ละตัวของอะตอมคาร์บอนจะจับกันในลักษณะพันธะเคมีแบบร่วมอนุภาคทางแนวราบกับอะตอมอื่นอีก 3 ตัว ทำให้เกิดลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นชั้น ซึ่งแร่จะแตกออกตามชั้นนี้เป็นเกล็ดบาง ๆ ได้ง่าย แร่แกรไฟต์จึงมีความแข็งน้อย

ส่วนแร่ไฟไรต์และแร่มาร์คาไซต์ ซึ่งเป็นสารประกอบ  $\text{FeS}_2$  แต่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน อีออนของเหล็กในแร่ไฟไรต์จะมีระยะการวางตัวเท่ากันทุกทิศทาง ซึ่งในแร่มาร์คาไซต์จะไม่เท่ากัน ระยะที่แตกต่างกันนี้ทำให้แร่ต่างกันถึงแม้ว่าจะมีส่วนประกอบเหมือนกัน (ดูรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 อะตอมของแร่ไฟไรต์ (a) และแร่มาร์คาไซต์ (b) จากภาพถ่ายเอกซ์เรย์ จุดดำใหญ่คืออะตอมของเหล็ก (Fe) และจุดที่เล็กคืออะตอมของกำมะถัน (S)

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 39)

แล้วอาจจะมีโครงสร้างผลึกที่ซับซ้อนยิ่งกว่านี้ เนื่องจากประกอบไปด้วยธาตุหลายชนิด และธาตุเหล่านี้รวมตัวกันในแบบที่ซับซ้อน

สี่ รูปร่างและขนาดของแร่แต่ละชนิดอาจจะเปลี่ยนได้ แต่การเรียงตัวของอะตอมภายในของแร่แต่ละชนิดจะคงที่เสมอ

ดังนั้นเราอาจสรุปความหมายของแร่ได้นอกจากจะเป็นของแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งเขียนสูตรทางเคมีได้แล้ว ยังจะต้องมีการเรียงตัวของอะตอมภายในอย่างเป็นระเบียบอีกด้วย

## 2.4 การตรวจสอบแร่

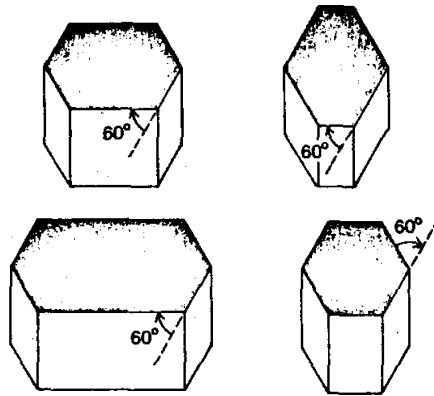
แร่หนึ่งแตกต่างกันด้วยส่วนประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของอะตอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบในแร่หรือโครงสร้างผลึกของแร่ตัวเอง ทำให้แร่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป คุณสมบัติทั้งหมดของแร่สามารถใช้ตรวจสอบแร่ได้ เช่น คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ แต่ที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปในเบื้องต้นของการตรวจสอบแร่นั้นส่วนใหญ่ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เช่นรูปผลึก ความแข็ง ความถ่วงจำเพาะ แนวแตก สี รอยขีด และลายเส้น เป็นต้น

1. **รูปผลึก (crystal form)** รูปผลึกคือของแข็งที่ประกอบด้วยผิวหน้าที่เป็นระนาบเรียบวางตัวสมมาตรกันเป็นรูปทรงเรขาคณิต ผิวหน้านี้เรียกว่าหน้าผลึก (crystal face) หน้าผลึกนี้เกิดจากการจัดวางตัวอย่างเป็นระเบียบของหน่วยโครงสร้างภายใน ซึ่งเป็นการวางตัวที่เป็นระเบียบของอะตอมของธาตุที่ประกอบเป็นแร่ตัวเอง เนื่องจากแร่ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ชนิดระบบการจัดวางตัวของอะตอมภายในจึงต่างกัน ทำให้ปรากฏออกมาเป็นรูปผลึกลักษณะต่าง ๆ ในแร่แต่ละชนิดจะมีรูปผลึกที่เป็นรูปเฉพาะของตัวเอง หน้าผลึกนี้ถ้าถูกทำลายก็จะกลายเป็นผิวขรุขระ แต่การจัดตัวของอะตอมภายในจะยังคงเป็นระเบียบอยู่เหมือนเดิม

แร่ชนิดเดียวกันที่มีรูปผลึกเหมือนกันมีข้อสังเกตอยู่อย่างหนึ่งคือ มักมีร่องรอยของมุมผลึกเท่ากันถึงแม้ว่าจะมีขนาดผลึกไม่เท่ากัน ผู้ที่สังเกตแรกเริ่มคือ นิโคไลส สเตโน (Nicolaus Steno ค.ศ. 1631-1687) โดยได้พบความจริงว่าผิวหน้าของผลึกควอร์ตซ์ตัดกันเป็นมุมเท่ากันเสมอ ไม่ว่าผลึกนั้นจะมีขนาดเท่ากันหรือไม่ทั้งนี้ต้องวัดที่มุมทแยงมุมเดียวกัน (ดูรูปที่ 2.4) สเตโนได้ตั้งกฎขึ้นมาเรียกว่า Law of constancy of interfacial angles หรือ Steno's



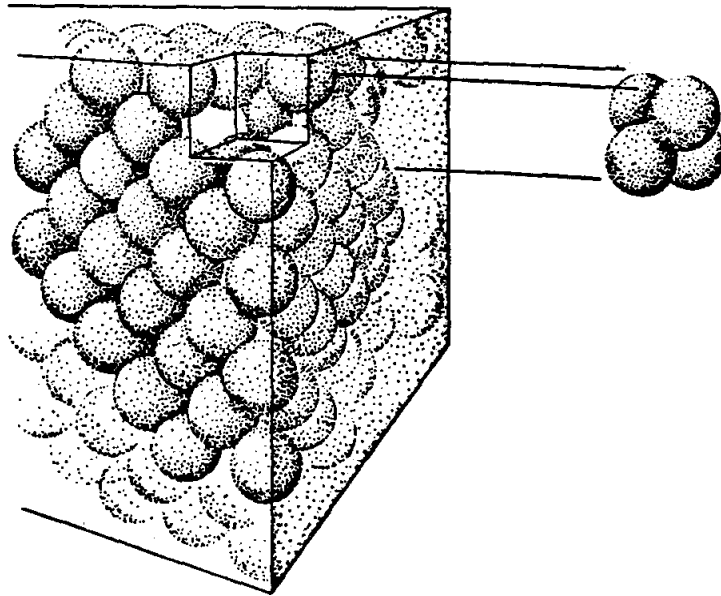
Law ในปี ค.ศ.1669 และเครื่องมือที่ใช้วัดมุมของรูปผลึกอย่างง่าย ๆ เรียกว่า contact goniometer



รูปที่ 2.4 Law of constancy interfacial angles

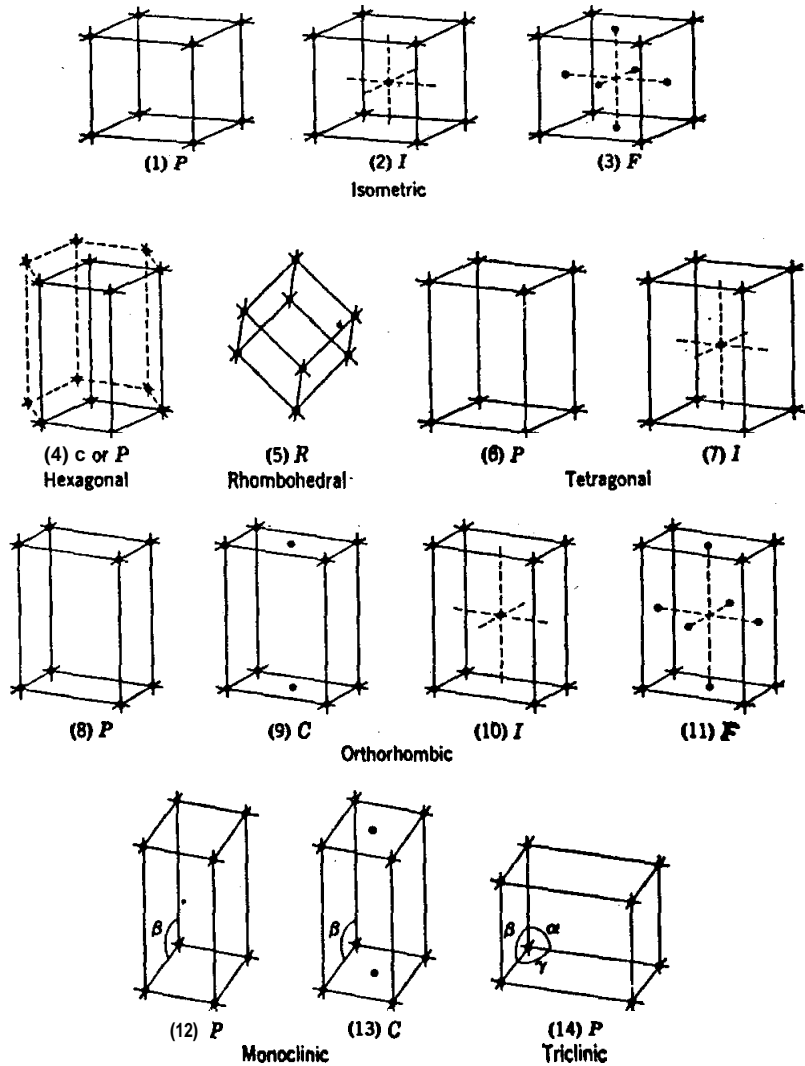
(ที่มา : McAlester & Hay, 1976 หน้า 36)

ผลึกจะประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุดของกลุ่มอะตอมที่มีการจัดตัวเป็นระเบียบเรียกว่า หน่วยเซลล์ (unit cell) แต่ละหน่วยของผลึกเดียวกันจะเหมือนกันทุกประการ (ดูรูปที่ 2.5) ขนาดของหน่วยเซลล์สามารถวัดได้เป็นอังสตรอม (Angstrom =  $\text{A}^\circ$ ,  $1 \text{ A}^\circ = 10^{-8}$  เซนติเมตร) การเรียงตัวของหน่วยเซลล์เหล่านี้จะเรียงตัวต่อเนื่องกันไปทั้ง 3 ทิศทาง (3 dimensions) เป็นระเบียบที่แน่นอนเรียกว่า space lattice หรือ crystal lattice ประกอบด้วยตำแหน่งหรือจุดต่าง ๆ ที่วางตัวเป็นระเบียบ ตำแหน่งหรือจุดเหล่านี้เป็นที่ซึ่งอะตอมหรืออิออนจะเข้ามาเกาะอยู่โดยที่ทุก ๆ ตำแหน่งจะมีสภาพแวดล้อมเหมือนกันหมด



รูปที่ 2.5 การเรียงตัวของอะตอมในผลึกแร่ทองแดง (Cu) รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เล็กประกอบด้วยอะตอมของทองแดง 4 ตัวจับกันจัดว่าเป็น 1 หน่วยเซลล์ ถ้าเอาหน่วยเซลล์เหล่านี้มาเรียงซ้ำกันใน 3 ทิศทางก็จะได้เป็นผลึกของก้อนแร่ทองแดง เป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ใหญ่  
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 41)

จากการค้นพบของ Bravais แบบของ space lattice ที่เป็นไปได้มีอยู่ 14 แบบด้วยกัน (ดูรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 14 Bravais space Lattices

*P*, *R* = อนุภาคอยู่เฉพาะที่มุมของหน่วยเซลล์

*I* = อนุภาคอยู่ที่มุมของหน่วยเซลล์กับมีอนุภาคอยู่ที่จุดศูนย์กลางของหน่วยเซลล์

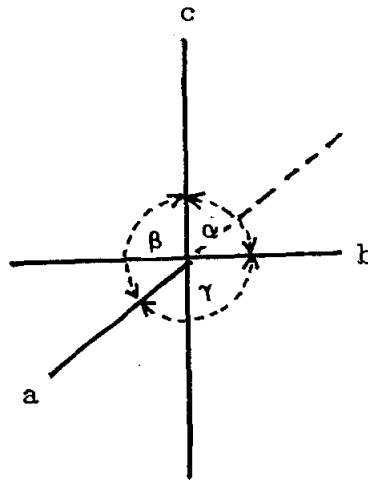
*F* = อนุภาคอยู่ที่มุมของหน่วยเซลล์กับมีอนุภาคอยู่ที่กึ่งกลางของหน้าทุกหน้าของหน่วยเซลล์

*C* = อนุภาคอยู่ที่มุมของหน่วยเซลล์กับมีอนุภาคอยู่ที่กึ่งกลางด้านตรงข้ามกัน 1 คู่

(ที่มา : Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 8)

แร่ทั้งหมดจะมีการจัดตัวของอะตอมภายในตาม Bravais space lattices ทั้ง 14 แบบ ซึ่งสามารถแยกประเภทของผลึกแร่ทั้งหลายออกได้เป็น 6 ระบบและทั้ง 6 ระบบแบ่งออกได้เป็น 32 แบบ เรื่องเกี่ยวกับผลึกแร่โดยละเอียดจะต้องศึกษาในวิชาผลึกวิทยา (Crystallography)

ตัวอย่างลักษณะผลึกที่เห็นง่าย ๆ เช่น ลูกเต๋ามีรูปเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แร่หลายชนิดเกิดในลักษณะนี้เช่นแร่กาลีน่า แร่ไพไรต์ เป็นต้น ในการศึกษาเรื่องรูปผลึกที่จะให้เข้าใจง่ายขึ้นจำเป็นจะต้องกำหนดแกนสมมุติขึ้นภายในรูปผลึก เมื่อตั้งแกนผลึกขึ้นมาแล้วจะเห็นว่ารูปลูกเต๋านั้นมีส่วนกว้างส่วนยาวส่วนสูงเท่ากัน จึงกล่าวได้ว่าแกนของลูกเต๋าเท่ากันหมดทั้งสามแกนและตั้งฉากซึ่งกันและกันด้วย ดังนั้นในการแบ่งรูปผลึกเป็นระบบต่าง ๆ นั้น อาศัยเกณฑ์ความแตกต่างของความยาวแกนผลึกและมุมระหว่างแกนผลึก ผลึกเกือบทุกชนิดจะมีลักษณะแกนผลึกแบบสามแกนผลึกคือมีแกนในแนวตั้งหนึ่งแกนและแกนในแนวราบอีกสองแกน (ดูรูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 แบบสามแกนผลึกและมุมระหว่างแกนผลึก

- a แกนอยู่ในแนวราบมุ่งเข้าหาผู้สังเกตการณ์
- b แกนอยู่ในแนวราบข้างผู้สังเกตการณ์
- c แกนอยู่ในแนวตั้ง

$\alpha$  มุมระหว่างแกน b และแกน c

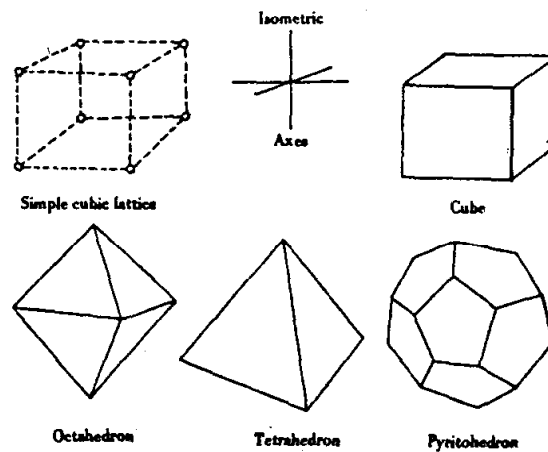
$\beta$  มุมระหว่างแกน a และแกน c

$\gamma$  มุมระหว่างแกน a และแกน b

ผลึกบางระบบอาจเป็นแบบสี่แกนผลึก โดยมีแกนในแนวราบสามแกนและแกนในแนวตั้งหนึ่งแกน แกนในแนวราบที่เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งแกนคือแกน d ซึ่งทำมุมกับแกน a และ b เท่ากับ  $120^\circ$  ใช้มุม  $\gamma$  แทน เช่นเดียวกับมุมระหว่างแกน a และ แกน b

ระบบผลึกของแร่ 6 ระบบมีดังนี้

1. ระบบไอโซเมตริก (Isometric system) มีแกนสามแกนเท่ากันและตัดกันที่กึ่งกลางเป็นมุมฉาก นั่นคือ  $a = b = c$  และ  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ตัวอย่างเช่นแร่ไพไรต์ แร่กำลัสนา แร่เฮไลต์ แร่การ์เนต แร่แมกนีไทต์

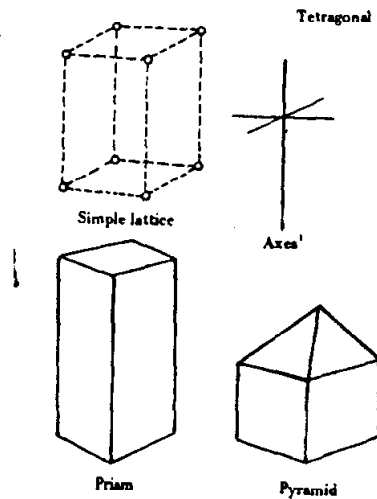


## รูปที่ 2.8 ผลึกระบบไอโซเมตริก

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 43)

2. ระบบเตตราโกนาล (Tetragonal system) มีแกนสามแกนตัดตั้งฉากกันที่กึ่งกลาง สองแกนยาวเท่ากันแกนที่สามอาจจะยาวหรือสั้นกว่าก็ได้ นั่นคือ  $a = b \neq c$  และ

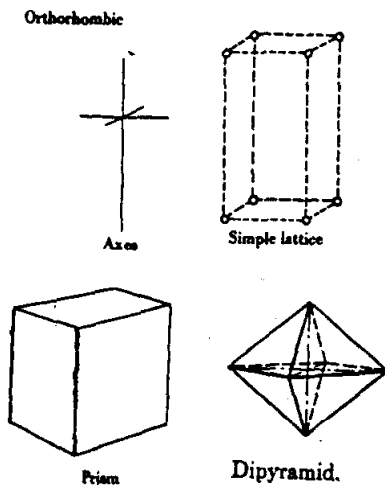
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ตัวอย่างเช่นแร่ดีบุก แร่เซอร์คอน แร่คาลโคไพไรต์ แร่ซีไลต์ แร่รูไทล์



รูปที่ 2.9 ผลึกระบบเตตราโกนาล

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 43)

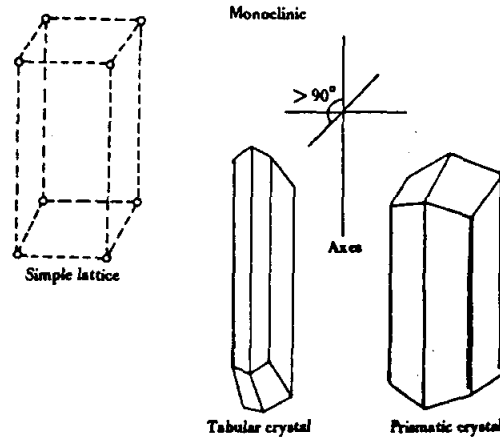
3. ระบบออร์โธรอมบิก (orthorhombic system) มีแกนสามแกนตั้งฉากที่กึ่งกลางแต่ยาวไม่เท่ากันเลย นั่นคือ  $a \neq b \neq c$  และ  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ตัวอย่างเช่น แร่โอลิวีน แร่แบไรต์ แร่อะราโกไนต์ แร่แอนไฮไดรต์ แร่สติบไนต์



รูปที่ 2.10 ผลึกระบบออร์โธรอมบิก

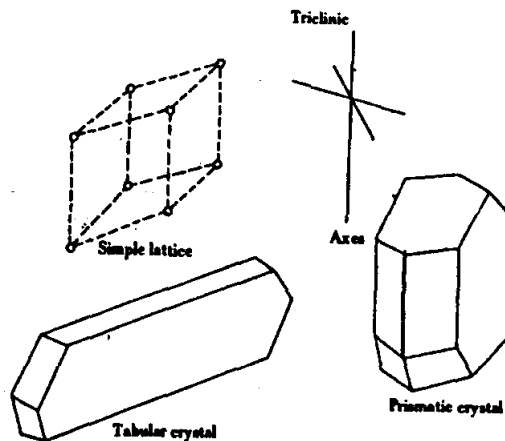
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 43 และ Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 90)

4. ระบบโมโนคลินิก (Monoclinic system) มีแกนสามแกนยาวไม่เท่ากันเลย สองแกนตัดตั้งฉากกัน ส่วนแกนที่สามตัดทำมุมกับสองแกนแรก นั่นคือ  $a \neq b \neq c$  และ  $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$  ตัวอย่างเช่น แร่ยิปซัม แร่อะซัวร์ไรต์ แร่ออร์โทเคลส แร่ไพรอกซีน แร่แอมฟีโบล



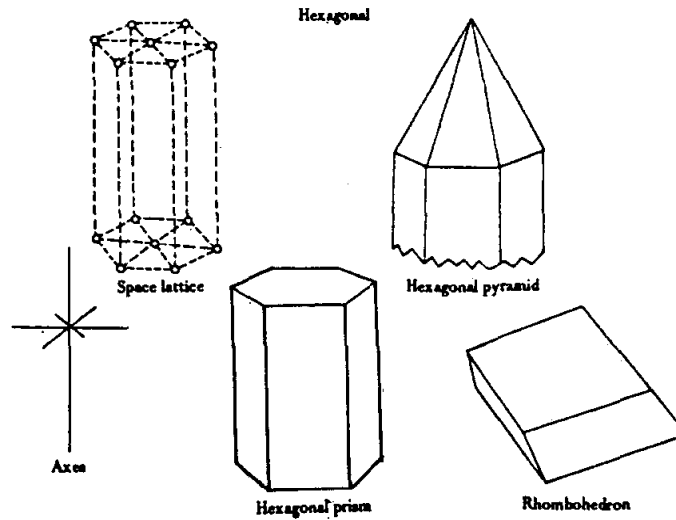
รูปที่ 2.11 ผลึกระบบโมโนคลินิก (ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า43)

5. ระบบไตรคลินิก (Triclinic system) มีแกนสามแกนยาวไม่เท่ากันและตัดไม่ตั้งฉากกันเลย นั่นคือ  $a \neq b \neq c$  และ  $\alpha \neq \beta \neq \gamma$  ตัวอย่างเช่นแร่ไคยาไนต์ แร่เทอร์คอยล์ แร่โวลลาสโทไนต์ แร่ไมโครไคลน์ แร่คาลแคนไทต์



รูปที่ 2.12 ผลึกระบบไตรคลินิก (ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า43)

6. ระบบเฮกซะโกนาล (Hexagonal system) มีแกนสี่แกนสามแกนอยู่ในแนวราบยาวเท่ากันและตัดทำมุม  $120^\circ$  ซึ่งกันและกัน แกนที่สั้นยาวหรือสั้นกว่าก็ได้และตั้งฉากกับสามแกนแรก นั่นคือ  $a = b = d \neq c$  และ  $\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$  ตัวอย่างเช่น แร่ควอร์ตซ์ แร่โมลิบดีไนต์ แร่แคลไซต์ แร่แกรไฟต์ น้ำแข็ง



รูปที่ 2.13 ผลึกระบบเฮกซะโกนาล

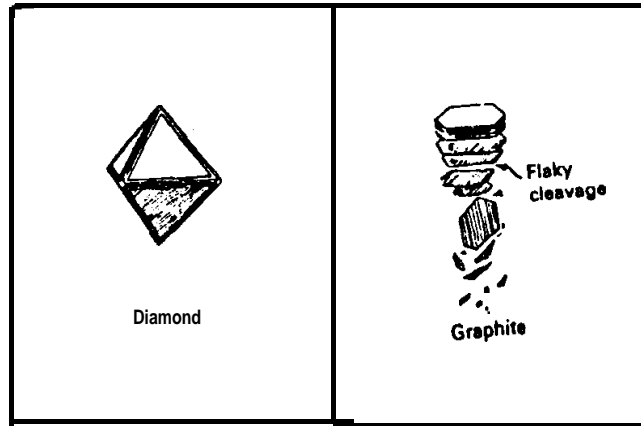
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 43)

ในยุโรประบบเฮกซะโกนาล แบ่งออกไปเป็นระบบใหญ่ ๆ อีก 2 ระบบ ดังนั้นจึงมี 7 ระบบผลึก แต่ในที่นี้ถือว่ามีเพียง 6 ระบบ ผลึกดัง ได้กล่าวมาแล้ว แร่ชนิดหนึ่ง ๆ จะเกิดเป็นผลึกซึ่งอยู่ในระบบผลึกเพียงระบบเดียวเท่านั้น

ธาตุหรือสารประกอบบางชนิดสามารถให้รูปผลึกหลายแบบซึ่งทำให้ชนิดแร่ต่างกัน รูปผลึกหลายแบบที่เกิดขึ้นจากสารชนิดเดียวกันเรียกว่า Polymorphism (Greek : Polys = many, morphe = shape or form) เนื่องจากมันมีโครงสร้างผลึกต่างๆ กัน ขณะที่เกิด เช่น กำมะถันอาจจะอยู่ในระบบออร์โทโรมบิกเป็นรูปผลึก 8 ด้าน (octahedrons) หรือมีรูปยาวคล้ายเข็มในระบบโมโนคลินิก เนื่องจากการเรียงตัวของอะตอมต่างกันจึงให้ผลึกเป็นสองแบบ อะตอมของคาร์บอนก็เช่นกันซึ่งเคยกล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดแร่เพชรและแร่แกรไฟต์ รูป



ผลึกของแร่เพชรจะมี 8 ด้าน และอยู่ในระบบไอโซเมตริก ส่วนรูปผลึกของแร่แกรไฟต์จะเป็นผลึกแบบมี 6 ด้าน จัดอยู่ในระบบเฮกซะโกนาล (ดูรูปที่ 2.14) ถึงแม้ว่าแร่ทั้งสองจะประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเหมือนกัน แต่รูปผลึกจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนแบบหนึ่ง เป็นแร่เพชรอีกแบบหนึ่ง เป็นแร่แกรไฟต์



รูปที่ 2.14 รูปผลึกของแร่เพชรและแร่แกรไฟต์ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเหมือนกัน (ที่มา : Gilluly & others, 1968 หน้า 10)

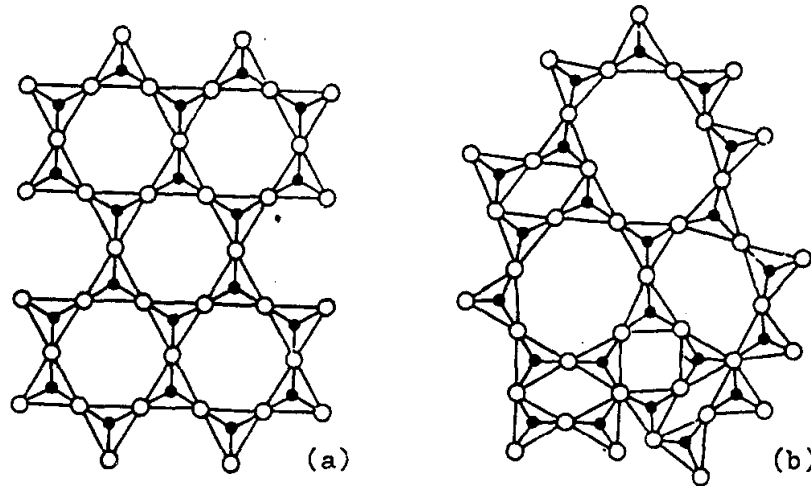
นอกจากนี้ก็มีรูปผลึกของแร่ไพไรต์เป็นรูปลูกบาศก์ (cube) ซึ่งอยู่ในระบบไอโซเมตริก แต่แร่มาร์คาไซต์จะมีรูปร่างเป็นแท่งแบนอยู่ในระบบออร์โทโรมบิก แร่ทั้งสองประกอบด้วย  $FeS_2$  เหตุผลก็เช่นเดียวกันคือรูปผลึกที่แตกต่างกันเกิดจากการเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกหรือโครงสร้างผลึกต่างกัน

โดยทั่วไปแร่เกือบทุกชนิดเมื่อเย็นตัวจะตกผลึก การตกผลึกของแร่นั้นถ้าพื้นที่รอบ ๆ กว้างใหญ่มากพอและปริมาณของแร่ไม่เข้มข้นนักแร่จะตกผลึกได้ใหญ่และสวยงาม แต่ถ้าช่องว่างเล็กและปริมาณของแร่ที่เย็นตัวเข้มข้นมากผลึกแร่จะเล็กและเบียดเสียดกันแน่นจนเสียรูปไปได้

การตกผลึกของแร่บางชนิดยังแสดงรูปร่างเฉพาะแบบหนึ่ง ๆ (habit) ซึ่งมักเกิดเป็นประจำ เป็นคุณสมบัติที่เด่นชัดอันหนึ่งซึ่งใช้ในการตรวจสอบชนิดแร่ได้ ตัวอย่างเช่น แร่ใยหิน ซึ่งเป็นแร่พวกเซอร์เพนทีนชนิดหนึ่งมักเกิดเป็นเส้นและเอียงคล้ายเส้นด้าย แร่เนโทไรต์จะมีลักษณะเรียวยาวคล้ายเข็มเล็ก ๆ เกิดรวมกันอยู่มากมาย แต่ละอันเห็นได้ชัดหรือแร่สติปไนต์

ลักษณะเป็นแผ่นแบนยาวแบบใบมีดหรือหนาด้านหนึ่งและบางอีกด้านหนึ่ง เป็นต้น

แต่ก็มีแร่บางชนิดที่เกิดโดยไม่มีรูปทรงผลึก เนื่องจากไม่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอะตอมและไม่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แน่นอน เราเรียกแร่พวกนี้ว่า Mineraloids แร่พวกนี้จะเกิดขึ้นภายใต้เหตุการณ์ที่ความกดดันและอุณหภูมิต่ำ ทำให้มันไม่แสดงสมบัติของรูปผลึกจึงเรียกว่าเป็นพวกไม่เป็นผลึกหรืออสัณฐาน (amorphous) ตัวอย่างเช่น แร่บอไซด์ แร่โลมอไนต์ แร่โอพอล และแก้วธรรมชาติ (volcanic glass) เป็นต้น (ดูรูปที่ 2.15)



รูปที่ 2.15 (a) แร่ที่มีรูปผลึกจะมีการเรียงตัวของอะตอมเป็นระเบียบ (แร่ควอร์ตซ์)

(b) แร่อสัณฐานจะมีการเรียงตัวของอะตอมไม่เป็นระเบียบ (แก้วธรรมชาติ)

(ที่มา : Sanders & others, 1976 หน้า 68)

2. ความแข็ง (Hardness) ความแข็งหมายถึงความทนทานของแร่ต่อการถูกขูดขีด เป็นคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวภายในของอะตอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ แรงยึดระหว่างอะตอมแน่นมากเท่าไร แร่ก็มีความแข็งมากเท่านั้น

ความแข็งเป็นคุณสมบัติที่วัดได้ง่ายและเป็นสิ่งแรกๆ ที่ควรจะทราบก่อนในการตรวจสอบแร่ แร่ที่มีความแข็งมากกว่าจะขีดแร่ที่อ่อนกว่าให้เป็นรอยได้ ส่วนแร่ที่มีความแข็งเท่า ๆ กันก็

จะต่างขีดขีงกันและกันให้เป็นรอย

ระบบความแข็งที่ใช้กันเป็นมาตรฐานคือ ระบบความแข็งของโมห์ (Moh's scale hardness) ซึ่งแบ่งความแข็งของแร่ออกเป็น 10 หน่วย (ดูตารางที่ 2.3) แร่ที่มีความแข็งเท่ากับ 1 จะเป็นแร่ที่อ่อนมาก และแร่ที่มีความแข็งเท่ากับ 10 จะเป็นแร่ที่ทนทานมาก

ตารางที่ 2.3 ระบบความแข็งของโมห์

ลำดับความแข็ง	แร่	ข้อสังเกต
1	ทัลก์	อ่อนลื่นมือ เล็บชูดเข้า
2	ยิปซัม	เล็บชูดเข้า แต่ผิวฝืดมือ
3	แคลไซต์	เหรียญบาทชูดเป็นรอย
4	ฟลูออไรต์	มีดหรือตะไบชูดเป็นรอย
5	อะพาไทต์	กระจกขีดเป็นรอยบนผิวแร่
6	ออร์โทแคลส	แร่ขีดกระจกจะเป็นรอยบนกระจก
7	ควอร์ตซ์	ให้รอยบนกระจกโดยง่าย
8	โทแพซ	ขีดแร่ที่แข็ง 1-7 ให้เป็นรอย
9	คอรัันดัม	ขีดแร่ที่แข็ง 1-8 ให้เป็นรอย
10	เพชร	ขีดแร่ทุกชนิดให้เป็นรอย

ระบบความแข็งของ โมห์ข้างต้นนั้น ใช้ประโยชน์ในการทดสอบหรือนำตัวอย่างแร่มาตรวจเทียบได้โดยง่าย แต่ถ้าไม่มีแร่มาตรฐานก็ใช้เครื่องมือง่าย ๆ ซึ่งประมาณความแข็งได้ดังนี้

เล็บมือแข็งประมาณ	2.5
เหรียญบาทหรือลวดทองแดงแข็งประมาณ	3.5
กระจกและมีดพับแข็งประมาณ	5.5

แร่ที่แข็งหรืออุปกรณ์ที่แข็งกว่าจะขีดแร่ที่อ่อนให้เป็นรอยได้ แร่ที่เกิดเป็นผลึกชัดเจน จะตรวจหาความแข็งได้ง่ายและได้ค่าถูกต้องที่สุด

3. ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความถ่วงจำเพาะวัดจากน้ำหนักของแร่เปรียบเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยถือเอาน้ำที่มีอุณหภูมิ 4° ซ ซึ่งมีความหนาแน่นสูงสุด ความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่น (density) ของแร่ คำนวณได้จากสูตรง่าย ๆ ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของแร่ในอากาศ}}{\text{น้ำหนักของแร่ในอากาศ} - \text{น้ำหนักของแร่ในน้ำ}}$$

ความถ่วงจำเพาะของแร่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักอะตอมของธาตุองค์ประกอบ ถ้ามีน้ำหนักอะตอมสูงจะทำให้ความถ่วงจำเพาะของแร่สูงด้วย และการจัดเรียงตัวของอะตอม ถ้าหากมีการจัดตัวของโครงสร้างภายในแน่นกระชับมากแร่จะมีความถ่วงจำเพาะสูง แต่ถ้าจัดตัวของโครงสร้างแบบหลวมจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ

การหาความถ่วงจำเพาะของแร่เพียงแต่ประมาณเอาอย่างง่าย ๆ ว่าแร่นั้นหนักหรือเบากันพอ โดยประมาณคร่าว ๆ ซึ่งทำได้ 2 วิธี

1. ความถ่วงจำเพาะอาจหาได้โดยเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีความถ่วงจำเพาะมาตรฐานเรียกของเหลวหนัก (heavy liquids) ที่นิยมใช้กันคือ

โบรโมฟอร์ม (Bromoform) ถ.พ. 2.80

เมทิลีนไอโอดด์ (Methylene iodide) ถ.พ. 3.33

สารละลายเซอร์ซี (Clerici solution) ถ.พ. 4.25

แร่ที่จะหาความถ่วงจำเพาะจะต้องเป็นแร่สะอาดบริสุทธิ์ ไม่ผสมหรือมีมลทินสกปรก ถ้าแร่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำยาแร่จะจม ถ้าต่ำกว่าแร่จะลอย เราก็สามารถประมาณความถ่วงจำเพาะได้ว่า แร่ใดหนักเบากว่ากัน

2. ประมาณความถ่วงจำเพาะด้วยมือ การประมาณแบบนี้ แร่ต้องมีขนาดโตพอสมควรและมีปริมาณเพียงพอ จะรู้สึกว่ารำหนักหรือเบากว่าปกติโดยเทียบกับแร่ที่รู้ความถ่วงจำ

เพาะแล้ว

แร่ประกอบหินโดยมากมี ถ.พ. ประมาณ	2.7
ค่าเฉลี่ย ถ.พ. ของแร่โลหะประมาณ	5
ค่าเฉลี่ย ถ.พ. ของแร่โลหะอยู่ระหว่าง	2.65-2.75

4. แนวแตก (cleavage) แนวแตกของแร่คือคุณสมบัติของแร่ซึ่งมักจะแตกเป็นแผ่นเรียบ ๆ เนื่องจากโครงสร้างของอะตอมภายในผลึก แนวแตกแบบนี้จะขนานไปกับผิวหน้าของผลึกแร่เสมอ แร่ต่าง ๆ อาจจะมีแนวแตกได้หลายทิศทางและมุมระหว่างแนวแตกอาจมีค่าต่าง ๆ กันได้ (ดูรูปที่ 2.16)

แนวแตกแนวเดียว แร่จะแยกออกในลักษณะเป็นแผ่น ๆ เช่น ในแร่ไมกา

แนวแตกสองแนวตั้งฉากกัน เช่น แร่ออร์โทเคลส แร่ไพรอกซีน

แนวแตกสองแนวไม่ตั้งฉากกัน เช่น แร่แอมฟีโบล

แนวแตกสามแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้แร่แตกออกเป็นรูปลูกบาศก์ เช่น แร่กาลีนนา แร่เฮไลต์

แนวแตกสามแนวไม่ตั้งฉากกัน แร่จะแตกออกในรูปที่คล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน เช่น แร่แคลไซต์

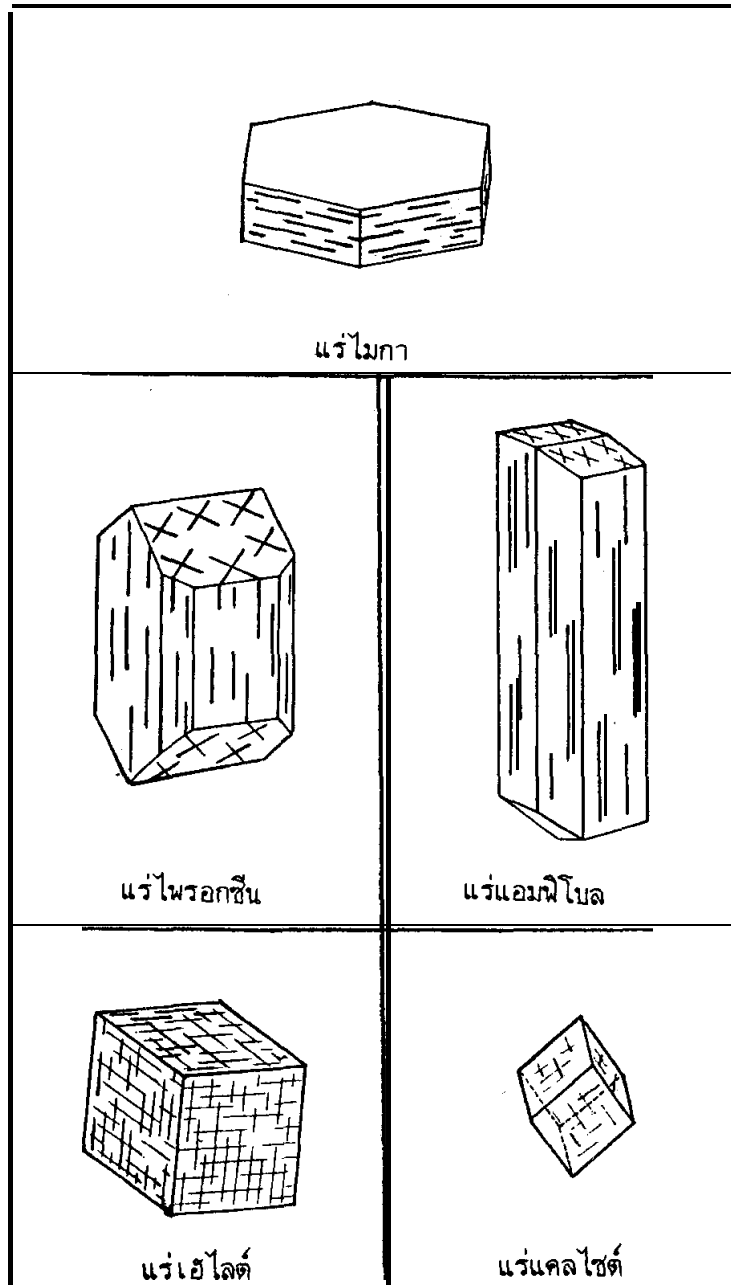
แนวแตกสี่แนวสังเกตได้จากรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าแปดหน้าประกบกันเป็นรูปออกตะฮีดรอน เช่น แร่ฟลูออไรต์

แนวแตกหกแนว เช่น แร่สฟาเลอไรต์

แร่ชนิดเดียวกันทุกก้อนจะมีแนวแตกในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เพราะการจัดตัวของอะตอมภายในเหมือนกัน แนวแตกแบบนี้อาจจะเห็นได้เมื่อแร่แตกแยกหลุดออกเองหรือจะเห็นได้เมื่อเราบดหรือทุบแร่ บางชนิดก็ชัดเจนมาก บางชนิดก็ไม่ชัดเจนจนต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ การอธิบายเกี่ยวกับแร่ที่มีแนวแตกแบบนี้เรามักใช้ดังนี้

แนวแตกสมบูรณ์ชัด (perfect cleavage) เป็นแนวแตกของแร่ที่เห็นได้ชัดเจนสมบูรณ์ โดยปกติแร่จะแตกหลุดออกเป็นแผ่น เป็นเกล็ด เมื่อถูกดึงหรือใช้แรงเพียงเล็กน้อย เช่น แร่ไมกา แร่แคลไซต์

แนวแตกที่ดี (good cleavage) เป็นแนวแตกที่เห็นได้ชัดด้วยตาเปล่า สามารถนิ  
หรือทุบออกได้ เช่นแร่แอมฟีโบล แร่ฟลูออไรต์



รูปที่ 2.16 รูปผลึกและทิศทางแนวแตกของแร่ชนิดต่าง ๆ  
(ที่มา : Alt, 1982 หน้า 16, 17, 23)

แนวแตกพอใช้ได้ (fair cleavage) เป็นแนวแตกที่พอจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ไม่ชัดเจนต้องใช้นิ้วขยายดู ทำให้หลุดแตกออกจากกันได้ยาก เช่น แร่เบอริล แร่อะพาไทต์

แนวแตกไม่ชัดเจน (poor cleavage) เป็นแนวแตกที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แนวแตกมีขนาดเล็กมากทำให้หลุดออกจากกันยาก เช่น แร่ดีบุก แร่คาลแคนไทต์

5. สี (color) สีเป็นคุณสมบัติที่เด่นชัดแต่เป็นสิ่งที่กำหนดชนิดของแร่ให้แน่ชัดลงได้ยาก โดยมากจะมีสารเจือปน (impurities) แร่บางชนิดก็มีสีเดียวหรือสองสี บางชนิดก็มีมากมายหลายสีคล้าย ๆ กันพาให้สับสนได้ง่าย การเกิดสีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการดูดซึมแสงของแร่ ในขณะที่แสงตกกระทบลงบนผลึกแร่ อำนาจการดูดซึมของแร่ขึ้น โดยตรงกับส่วนประกอบทางเคมี เราเรียกแร่สีนั้นว่า Idiochromatic ถ้าแร่ไม่มีสีเนื่องจากสารเจือปนบางอย่างซึ่งแทรกอยู่ในโครงสร้างหรือเนื่องจากอะตอมของธาตุบางธาตุใน โครงสร้างขาดหายไปเราเรียกแร่สีนั้นว่า Allochromatic

แร่สีจำพวก Idiochromatic เป็นแร่ที่มีสีแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลง เช่น แร่ทองคำ แร่ทองแดงธรรมชาติ แร่กำมะถัน มีสีเหลือง แร่มาลาไคต์มีสีเขียว แร่แมกนีไทต์มีสีดำ แร่ตะกั่วมีสีเทา เป็นต้น

แร่สีจำพวก Allochromatic เป็นแร่ชนิดเดียวกันอาจจะไม่มีสีหรือไม่มีสีก็ได้ และสีของมันเปลี่ยนแปลงได้ สารที่เจือปนอยู่ในแร่พวกนี้อาจมีขนาดใหญ่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจจะเล็กมาก เช่นแร่ฟลูออไรต์ อาจมีสีเขียว ม่วง ชมพูหรือไม่มีสี แร่ควอร์ตซ์มีสีขาว ม่วง เหลือง ชมพู เทา เป็นต้น

อย่างไรก็ตามแม้คุณสมบัติเรื่องสีจะไม่เป็นตัวบ่งหรือกำหนดชนิดของแร่ได้ชัดเจนสักก็ตาม แต่บางครั้งก็เด่นสะดุดตาและใช้ยึดถือได้

6. รอยขีด (streak) รอยขีดของแร่หมายถึงสีของแร่ที่เป็นผงละเอียดมักจะต่างกับสีของตัวแร่เอง ถึงแม้ว่าสีของแร่อาจเปลี่ยนแปลงได้แต่สีผงแร่จะคงที่ วิธีง่าย ๆ วิธีหนึ่งในการตรวจสอบรอยขีดของแร่โดยนำแร่ไปขีดกับแผ่นกระเบื้องไม่ได้เคลื่อนที่เรียก streak plate สีผงจะทิ้งไว้ให้เห็นบนแผ่นกระเบื้อง วิธีนี้ใช้ตรวจแร่บางอย่างได้เท่านั้น เพราะว่า streak plate มีความแข็ง 7 มันไม่สามารถตรวจแร่ที่มีความแข็งมากกว่านี้ได้ สีผงของแร่เป็นสีเฉพาะตัว เช่น

แร่ฮีมาไทต์ (แร่เหล็กแดง)  $Fe_2O_3$  มีสีแดง น้ำตาล ดำ หรือเทา จะมีสีผงเลือดหมู หรือน้ำตาลแดง

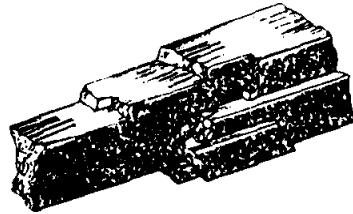
แร่ไลมอไนต์ (แร่เหล็กเหลือง)  $Fe_2O(OH) \cdot nH_2O$  มีสีน้ำตาลถึงดำ จะมีสีผงสีน้ำตาลเหลือง

แร่ไพไรต์ (แร่ทองคนโง่)  $FeS_2$  มีสีเหลืองอ่อน จะมีสีผงสีดำเขียว

แร่สฟาเลอไรต์ (แร่สังกะสี)  $ZnS$  มีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล จะมีสีผงสีน้ำตาลอ่อน

แร่แคสซิเทอไรต์ (แร่ดีบุก)  $SnO_2$  มีสีน้ำตาลหรือดำ จะมีสีผงสีขาวหรือสีเนื้ออ่อน ๆ

7. ลายเส้น (striation) แร่บางชนิดผิวหน้าของผลึกหรือผิวหน้าของแนวแตก จะมีเส้นตรงเล็ก ๆ หลายเส้นซึ่งอยู่ชิดกันและขนานกันเรียกลายเส้น เห็นชัดในแร่ควอร์ตซ์ แร่ไพไรต์ และแร่แพลจิโอเคลส (ดูรูปที่ 2.17) เป็นคุณสมบัติของแร่ที่เป็นผลของการเรียงตัวของอะตอมภายในของธาตุและเหตุการณ์ขณะที่ผลึกเกิด



รูปที่ 2.17 ลายเส้นของแร่แพลจิโอเคลสปรากฏให้เห็นบนด้านหนึ่งของแนวแตก

(ที่มา : Foster, 1983 หน้า 35)

8. คุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ (other physical properties) แร่อาจมีคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ อีก ซึ่งอาจช่วยในการตรวจสอบตัวอย่างแร่ได้ เช่น

ความเป็นแม่เหล็ก (magnetism) แร่บางชนิดถูกแม่เหล็กดูดติด เช่น แร่แมกนีไทต์ แร่ไพไรต์



คุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) แร่บางชนิดเมื่ออุณหภูมิและความกดดันเปลี่ยนแปลงจะแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น แร่ควอตซ์

การเรืองแสงและการรุ่งแสง (fluorescence and phosphorescence) แร่ที่เรืองแสงเมื่ออยู่ภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ หรือรังสีแคโทด เรียกแร่เรืองแสง (fluorescent mineral) ถ้าการเรืองแสงยังติดต่อกันไปภายหลังที่เอาแสงเหล่านั้นออกไป เราเรียกคุณสมบัติของแร่นี้ว่า การรุ่งแสง เช่น แร่แคลไซต์ แร่ซีไลต์

การหลอมได้ (fusibility) แร่สามารถแบ่งออกเป็นหลอมตัวได้ (fusible) และไม่หลอมตัว (infusible) แร่ที่หลอมตัวได้นั้นอาจจะแบ่งได้ตามลำดับความยากง่ายในการที่แร่นั้นหลอมตัวด้วย

การละลายได้ (solubility) การตรวจสอบการละลายได้ของแร่มักใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) นอกจากจะดูปฏิกิริยาแล้วจะดูการละลาย สีของสารละลายและผลของการละลายด้วย ซึ่งทำให้เราทราบว่าแร่นั้นเป็นพวกไทน และทำให้ทราบว่า มีธาตุอะไรบ้างจากสีของสารละลาย

รอยแตก (fracture) มีแร่จำนวนมากที่ไม่มีแนวแตกที่แน่นอน จะมีทิศทางอย่างไรก็ได้ และไม่จำเป็นต้องเป็นระนาบเรียบโดยมากแร่จะแตกออกเป็นผิวขรุขระ แต่ก็มี การแตกบางชนิดซึ่งเป็นลักษณะพิเศษช่วยในการตรวจสอบแร่ได้ เช่น แร่ควอตซ์จะมีรอยแตกโค้งเว้า (conchoidal) คล้ายฝาหอยด้านใน บางชนิดจะแตกออกมีผิวคล้ายเส้นไม้ (splintery) เช่นแร่ใยหิน บางชนิดจะแตกออกเป็นผิวขรุขระและคม (hackly) เช่นแร่ทอง เป็นต้น

ความเหนียว (tenacity) ความเหนียวหรือความคงทนของแร่ขึ้นอยู่กับแรงโคฮีชันของแร่ (mineral's cohesiveness) ทำให้แร่มีคุณสมบัติเกี่ยวกับความเหนียวต่าง ๆ กัน เช่น

เปราะ (brittle) แตกหรือหลุดเป็นผงได้ง่าย เช่น แร่ฟลูออไรต์

ตีเป็นแผ่นได้ (malleable) เช่นแร่ทอง

มีตัดตัดออกได้ง่าย (sectile) เช่นแร่แกรไฟต์

ดึงเป็นเส้นลวดได้ (ductile) เช่นแร่ทองแดง

งอได้ (flexible) ตัดทิ้งงอได้ แต่จะไม่กลับสู่รูปเดิมอีก เช่น แร่ยิปซั่ม  
ยืดหยุ่นได้ (elastic) เป็นแผ่นบางเมื่อกดแล้วสามารถจะกลับรูปเดิมได้  
เช่น แร่ไมกา

ความวาวหรือประกาย (luster) ความวาวเป็นคุณสมบัติในการสะท้อนแสง  
จากผิวแร่ อาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

ความวาวโลหะ (metallic luster) คือความวาวของแร่โลหะหรือแร่  
คล้ายโลหะ มีค่าความวาวสูง ได้แก่แร่โลหะธรรมชาติหรือแร่กลุ่มซิลไฟด์

ความวาวอโลหะ (non-metallic luster) แบ่งเป็น

แบบแก้ว (vitreous) แร่ประกอบหินส่วนใหญ่จะมีความวาวแบบนี้ เช่น  
แร่ควอร์ตซ์

แบบเพชร (adamantine) เช่นแร่เพชร

แบบยางสน (resinous) เช่นแร่ถ้ำขี้ผึ้ง

แบบมุก (pearly) เช่นแร่ทาลก์

แบบไหม (silky) ที่ผิวมีลักษณะเหลือบอาจจะเปลี่ยนสีได้ เช่นแร่ใยหิน

แบบน้ำมัน (greasy) เช่นแร่เพชรที่ยังไม่เจียรนัย

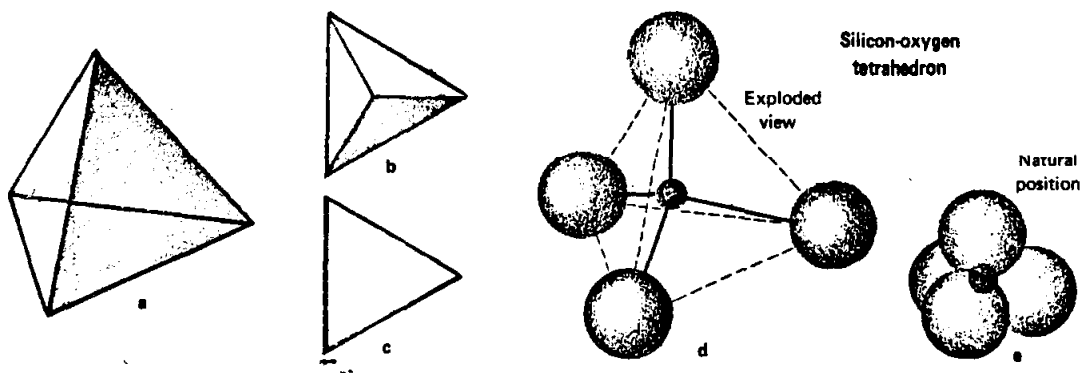
แบบไข (waxy) เช่นแร่คาลซิโคไนต์

แบบดิน (earthy) เช่นแร่ซอลด์

## 2.5 แร่ประกอบหิน

ถึงแม้ว่าจะมีแร่มากกว่า 2000 ชนิดที่ค้นพบแต่มีจำนวนน้อยเท่านั้นที่เป็นแร่ประกอบ  
หิน (rock-forming minerals) แร่ประกอบหินหมายถึงแร่ที่ประกอบอยู่ในหินเป็นส่วนใหญ่  
แร่เป็นสารเนื้อเดียวกัน (homogeneous) แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นสารบริสุทธิ์ แร่ประกอบหิน  
ส่วนมากมีส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงได้สาเหตุจากการแทนที่ของไอออนของธาตุบางอย่างเข้าไป  
ในธาตุอื่นโดยโครงสร้างผลึกไม่เปลี่ยน เราเรียกการแทนที่กันนี้ว่า solid solution หรือ  
isomorphism (iso = equal, morphic = form) การที่แร่เป็นสารเนื้อเดียวกันมันจะ  
มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกันในแร่แต่ละชนิด แต่ส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย

2.5.1 แร่ซิลิเกต (Silicates) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแร่ประกอบหิน เป็นซิลิเกต ซึ่งเป็นสารประกอบของซิลิคอน (Si) และออกซิเจน (O) จับตัวกันเป็นไอออนลบ (anion)  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  และไอออนลบนี้จะรวมกับโลหะหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น (ดูรูปที่ 2.18) เป็นการจับตัวกันของซิลิคอนและออกซิเจนในลักษณะที่เราเรียกซิลิคอนออกซิเจนเตตระฮีดรอน (silicon-oxygen tetrahedron)



รูปที่ 2.18 การจับตัวของออกซิเจนและซิลิคอนธรรมชาติในลักษณะที่เรียกซิลิคอนเตตระฮีดรอน a, b, c เป็นแบบเตตระฮีดรอนที่มองด้านตรง ด้านบน ด้านล่างตามลำดับ ส่วน d และ e เป็นการจับตัวของอะตอมของออกซิเจนและซิลิคอนเป็นแบบเตตระฮีดรอน (ที่มา : Long, 1974 หน้า 6)

ซิลิคอนออกซิเจนเตตระฮีดรอน ประกอบด้วยซิลิคอนไอออนซึ่งมีขนาดเล็กหนึ่งตัวมีรัศมี  $0.42 \text{ \AA}$  ล้อมรอบด้วยออกซิเจนไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 ตัวมีรัศมี  $1.40 \text{ \AA}$  ในแบบเตตระฮีดรอน ออกซิเจนไอออนมีประจุไฟฟ้า  $-8$  ในเตตระฮีดรอน และซิลิคอนไอออนมีประจุ  $+4$  ดังนั้นซิลิคอนออกซิเจนเตตระฮีดรอนจะมีประจุรวม  $-4$  เขียนเป็นสัญลักษณ์ได้เป็น  $(\text{SiO}_4)^{-4}$

แร่ในชุดซิลิเกตนี้ทุกตัวจะต้องมีซิลิคอนออกซิเจนเตตระฮีดรอน  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  เป็นส่วน

ประกอบหลัก โดยอาศัยลักษณะการจับตัวกันของเตตระอีตรอน เราสามารถแบ่งแร่พวกซิลิเกต ออกได้อีกเป็น 6 ประเภท (ดูตารางที่ 2.4)

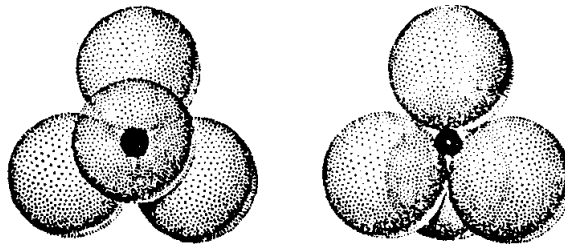
ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทของแร่ซิลิเกต

ประเภท	การจับตัว	อัตราส่วน Si : O		ตัวอย่างแร่ประกอบหิน
นีโซซิลิเกต (Nesosilicates)	ตัวเดี่ยวโดด ๆ (Isolated)	$SiO_4$ $Si_4O_{16}$	1 : 4	ตระกูลโอลิวีน
โซโรซิลิเกต (Sorosilicates)	จับกันเป็นคู่ (Double)	$Si_4O_{14}$ $Si_2O_7$	2 : 7	ตระกูลเอพิโดต
ไซโคลซิลิเกต (Cyclosilicates)	จับกันเป็นวง (Rings)	$Si_6O_{12}$	1 : 3	เบอริล
ไอนซิลิเกต (Inosilicates)	จับกันเป็นสายเดี่ยว (single chain)	$SiO_3$ $Si_4O_{12}$	1 : 3	ออบไซด์ (ตระกูลไพรอกซีน)
	จับกันเป็นสายคู่ (double chains)	$Si_4O_{11}$	4 : 11	ฮอร์เนเบลนด์ (ตระกูลแอมไฟโบล)
ฟิลโลซิลิเกต (Phyllosilicates)	จับกันเป็นแผ่น (sheet)	$Si_2O_5$ $Si_4O_{10}$	2 : 5	มัสโคไวต์ ไบโอไทต์ แรดดิทเทเนีย

ประเภท	การจัดตัว	อัตราส่วน Si : O		ตัวอย่างแร่ประกอบหิน
เทคโทซิลิเกต (Tectosilicates)	จับกัน 3 ทิศทาง (Frameworks)	(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub> SiO <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	1 : 2	ออร์โทเคลส แอลไบต์ อะนอร์ไทต์ ควอร์ตซ์

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Leet & Judson, 1971 หน้า 49)

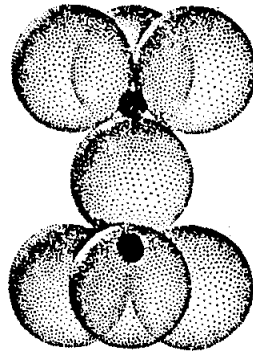
1. นีโอซิลิเกต ได้แก่พวกที่ SiO<sub>4</sub> เตตระฮีดรา (tetrahedra) อยู่ตามลำพัง ไม่จับตัวกับเตตระฮีดราอื่น แต่อาจจับตัวกับไอออนบวก (cations) อื่น ๆ ได้ ไม่มีการแชร์ออกซิเจน แร่ที่สำคัญได้แก่ แร่โอลิวีน : (Fe, Mg)<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub>



รูปที่ 2.19 SiO<sub>4</sub> เตตระฮีดรา

(ที่มา : Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 390)

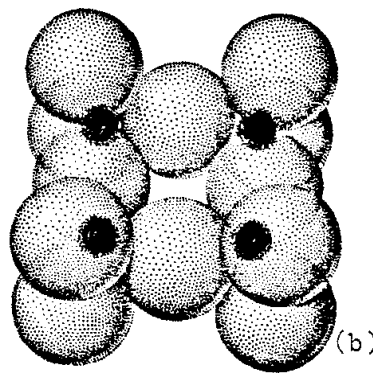
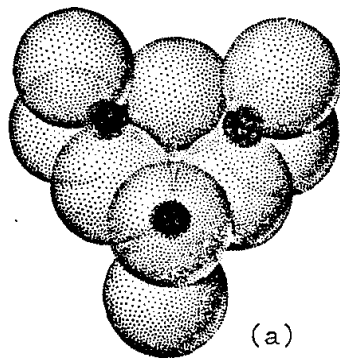
2. โซโรซิลิเกต ได้แก่พวกที่เตตระฮีดราสองตัวจับตัวกันโดยมีการแชร์ออกซิเจนหนึ่งตัว แร่ที่สำคัญได้แก่ อีพิโดต : Ca<sub>2</sub>(Al,Fe)Al<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(SiO<sub>4</sub>)(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(OH)

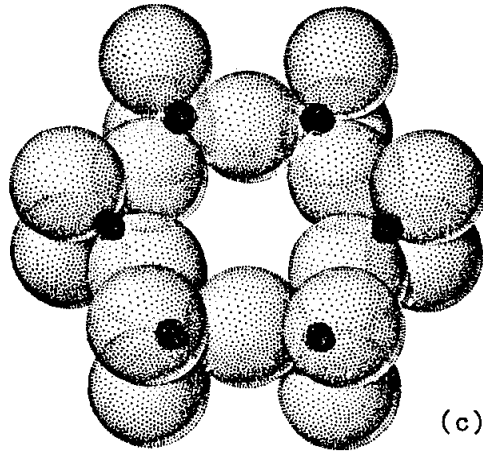


รูปที่ 2.20 กลุ่ม  $\text{Si}_2\text{O}_7$

(ที่มา : Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 414)

3. ไซโคลซิลิเกต ได้แก่พวกที่เตตระอีตราจับตัวกันเป็นวง อาจประกอบด้วยเตตระอีตรา 3, 4 หรือ 6 ตัว มีการแชร์ออกซิเจน 2 ตัว แร่ที่สำคัญได้แก่ แร่เบอริล :  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$





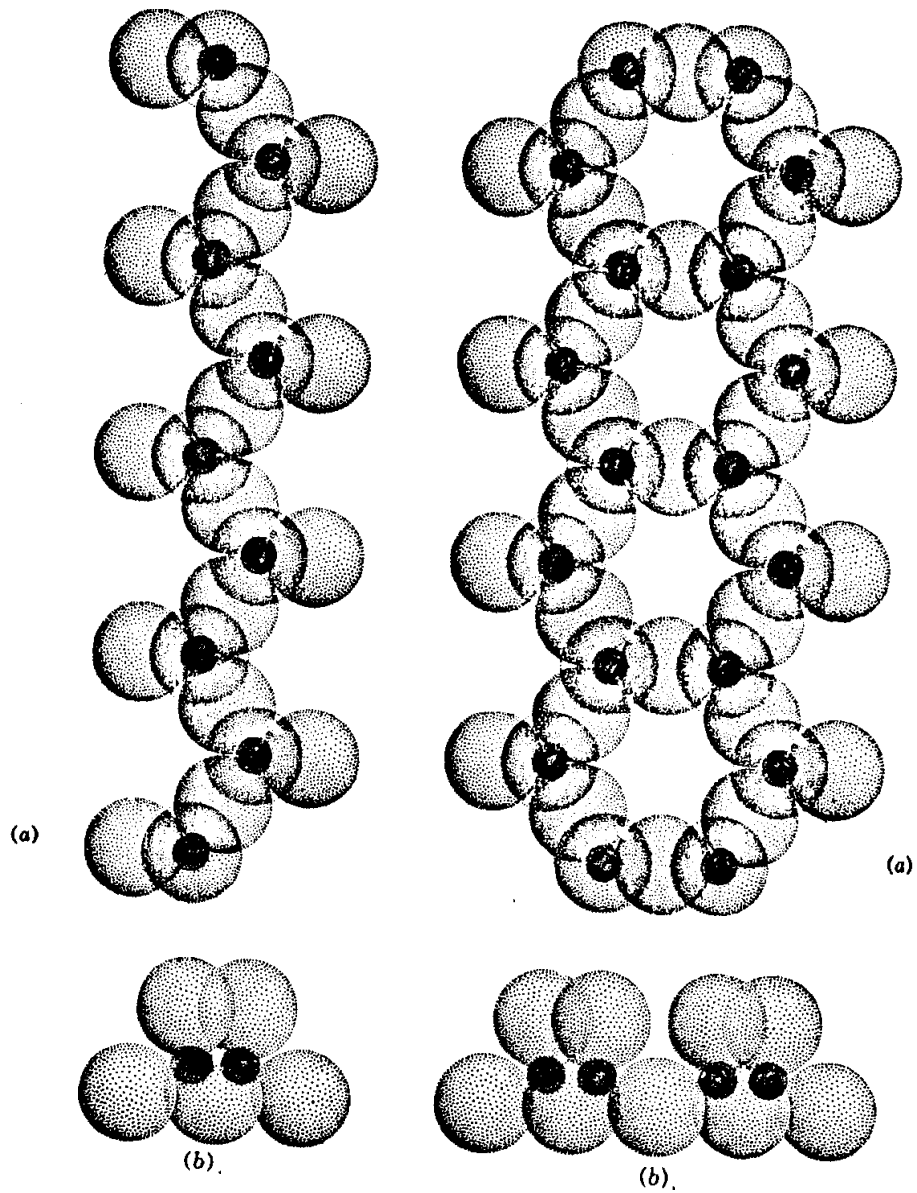
รูปที่ 2.21 a.  $\text{Si}_3\text{O}_9$  เป็นวง

b.  $\text{Si}_4\text{O}_{12}$  เป็นวง

c.  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$  เป็นวง

(ที่มา : Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 422)

4. ไอโนซิลิเกต ได้แก่พวกที่เตตระอีตราต่อกันเป็นแบบสายเดี่ยวหรือสายคู่ โดยมี  
การแชร์ออกซิเจน 2 หรือ 3 ตัว แร่ที่สำคัญได้แก่ แร่ตระกูลไฟรอกซีน  $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_3$   
และแร่ตระกูลแอมฟีโบล :  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$



1

2

รูปที่ 2.22 1.  $\text{SiO}_3$  (a) สายเดี่ยว ; (b) ด้านตัดขวาง

2.  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$  (a) สายคู่ ; (b) ด้านตัดขวาง

(ที่มา : Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 430)

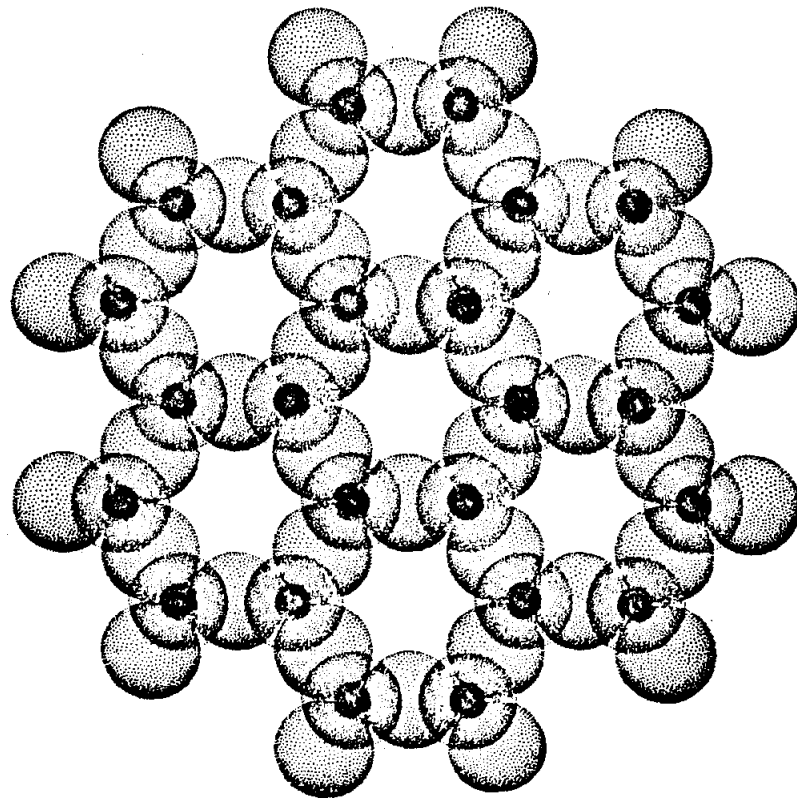


5. นิลซิลิเกต ได้แก่พวกที่เตตระฮีดร่าต่อกันออกเป็นแผ่นกว้างทำให้แร่พวกนี้มักมีลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด เรามักเรียกว่า sheet silicate มีการแชร์ออกซิเจน 3 ตัว พวกนี้ยังอาจแบ่งเป็นประเภทย่อยได้อีก ตามจำนวนแผ่นที่มักเกิดซ้อนกันอยู่

พวกที่มีแผ่นเดียว เช่น แร่ดินเหนียวพวกเคโอลิไนต์  $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$

พวกที่มีสองแผ่นซ้อนกัน เช่น แร่ทัลก์ :  $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$

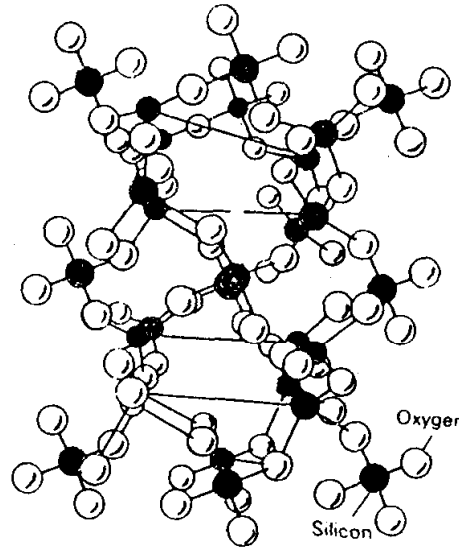
พวกที่มีหลาย ๆ แผ่นซ้อนกัน เช่น แร่ไมกาพวกมัสโคไวต์  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$



รูปที่ 2.23  $Si_2O_5$  โครงสร้างจับกันเป็นแผ่น

(ที่มา : Hurlbut, Jr., 1959 หน้า 448)

6. เททโทซิลิเกต ได้แก่พวกที่มีเตตระฮีดร่าเชื่อมต่อกันทั้งสามมิติเป็นแบบ framework ดังนั้นออกซิเจนทั้ง 4 ตัวจะถูกแชร์หมด โครงสร้างยุ่งยากซับซ้อน แร่พวกเททโทซิลิเกตนี้มีอยู่ประมาณสามส่วนสี่ของแร่ทั้งหมดในเปลือกโลก แร่ที่สำคัญได้แก่แร่ควอร์ตซ์ :  $SiO_2$



รูปที่ 2.24  $\text{SiO}_2$  โครงสร้างแบบ framework

(ที่มา : Beiser & Krauskopf, 1975 หน้า 50)

แร่ซิลิเกตที่ประกอบหินมากที่สุดคือแร่โอลิวีน แร่ออไรต์ แร่ฮอร์นเบลนด์ แร่ไบโอไทต์ แร่มิสโคไต์ แร่เฟลด์สปาร์ และแร่ควอร์ตซ์ ซึ่งแร่ทั้งหมดนี้เราจัดแบ่งเป็น 2 พวกคือ แร่เฟอร์โรแมกนีเซียน (Ferromagnesians) และแร่นอนเฟอร์โรแมกนีเซียน (Non-ferromagnesians) มีรายละเอียดต่อไปนี้

#### แร่ชุดเฟอร์โรแมกนีเซียน

แร่ซิลิเกตประกอบหิน 4 ตัวแรกคือ แร่โอลิวีน แร่ออไรต์ แร่ฮอร์นเบลนด์ และแร่ไบโอไทต์ ประกอบด้วยซิลิเกตออกซิเจนเตตระฮีดรารวมกับอ็อกซิเจนของเหล็กและแมกนีเซียม เหล็กอาจแทนที่กันได้กับแมกนีเซียมในโครงสร้างผลึกของแร่ซิลิเกตเหล่านี้ เพราะว่าอ็อกซิเจนของธาตุทั้งสองมีขนาดประมาณเท่ากันและมีประจุไฟฟ้าบวกเหมือนกัน แร่ซิลิเกตเหล่านี้จัดเป็นแร่ชุดเฟอร์โรแมกนีเซียน ซึ่งเป็นคำมาจากภาษาลาตินโดย ferrum หมายถึงเหล็กผสมกับแมกนีเซียม แร่เฟอร์โรแมกนีเซียนทั้ง 4 ตัวนี้จะมีสีเข้มมากหรือสีดำ มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าแร่ประกอบหินอื่น ๆ

แร่โอลิวีน ( $Mg, Fe$ )<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> เป็นแร่พวกนีไซซิลิเกต ประกอบด้วยซิลิกาเตตระฮีดรอนเดี่ยวโดด ๆ อีออนบวกที่มาจับตัวในโครงสร้างอาจเป็นแมกนีเซียมหรือเหล็กก็ได้ แมกนีเซียมหรือเหล็กมีคุณสมบัติในการแทนที่กันได้เพราะธาตุทั้งสองมีขนาดใกล้เคียงกันคือ ionic radii 0.97 และ 0.99 Å ตามลำดับ นอกจากนี้จำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดต่างก็มีสองเท่ากัน ถ้าแมกนีเซียมไปแทนที่เหล็กจะได้สูตรเป็น Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> เรียกว่าแร่ฟอร์สเทอไรต์ และถ้าเหล็กไปแทนที่แมกนีเซียมก็จะได้แร่โอลิวีนแบบที่เรียกว่าแร่ฟายาไลต์ ซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> การเปลี่ยนแปลงทางส่วนประกอบแบบนี้เราเรียก isomorphism โดยปกติแล้วแร่โอลิวีนจะมีธาตุแมกนีเซียมมากกว่าเหล็ก

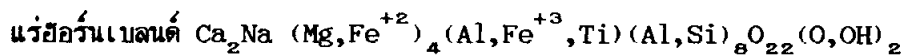
มีรูปผลิกระบบออร์โทโรมบิก หรือเป็นเม็ดแร่เล็ก ๆ (granular masses) ฝังอยู่ในหิน รอยแตกว่า ไม่มีแนวแตก ความแข็ง 6.5-7 ความถ่วงจำเพาะ 3.27-4.37 ค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของเหล็ก มีความวาวแบบแก้วสีเขียวมะกอกถึงสีเขียวเทาและสีน้ำตาล แสดงคุณสมบัติโปร่งใสถึงโปร่งแสง

แร่โอลิวีนเป็นแร่ประกอบหินที่พบมากในหินอัคนีชนิดที่เป็นด่าง (basic igneous rock)

แร่ออไรต์ (Ca, Na)(Mg, Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Al)(Si, Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> มีโครงสร้างแบบโอโนซิลิเกต ประกอบด้วยซิลิกาเตตระฮีดรอนจับตัวกันเป็นสายเดี่ยว มีอีออนบวกของเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และอลูมิเนียมมาจับ

แร่ออไรต์เป็นแร่ตัวหนึ่งในตระกูลไพรอกซีน ซึ่งไพรอกซีนมีรูปผลึกอยู่ในระบบโมโนคลินิกและระบบออร์โทโรมบิก และแร่แต่ละตัวในไพรอกซีนจะมีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายกันแร่ตระกูลแอมฟีโบลมาก แร่ออไรต์จะมีผลิกระบบโมโนคลินิก มีลักษณะเป็นแผ่นหนาและเป็นมวลเมล็ดขนาดใหญ่และเล็ก แนวแตกเรียบสองแนวทำมุม 87° และ 93° ความแข็ง 5-6 ความถ่วงจำเพาะ 3.2-3.4 ความวาวแบบแก้ว สีเขียวแก่ถึงดำ รอยขีดไม่มีสี แสดงคุณสมบัติโปร่งแสง

เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญตัวหนึ่ง พบมากในหินอัคนีชนิดเป็นด่าง และในแมกมาที่มีเหล็ก แคลเซียมและแมกนีเซียมมาก



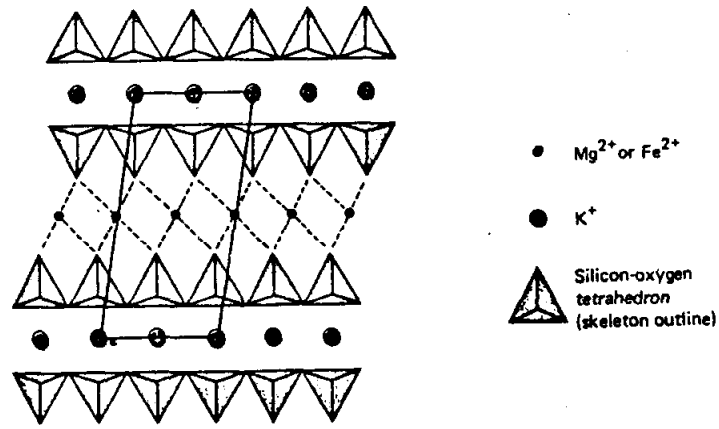
มีโครงสร้างแบบไอโซซิลิเกต จะประกอบด้วยซิลิกาเตตระฮีดรอลจับตัวกันเป็นสายคู่ และรวมกับไอออนบวกของเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม อลูมิเนียม

มีรูปผลึกระบบโมโนคลินิก ลักษณะผลึกเป็นแท่งยาวหรือเป็นเส้นใย มีเนื้อสมานแน่น และเป็นมวลเมล็ดขนาดใหญ่และเล็ก สีมืดแต่เขียวแก่จนถึงดำเหมือนแร่่อไจด์ รอยขีดไม่มีสี ความแข็ง 5-6 ความถ่วงจำเพาะ 3.2 ความวาวแบบแก้ว สำหรับผลึกที่เป็นเส้นใยจะวาวแบบใยไหม รอยแตกขรุขระ แสดงคุณสมบัติโปร่งแสง แนวแตกเรียบสองแนวทำมุม  $56^\circ$  และ  $124^\circ$  ซึ่งใช้แยกแร่ฮอร์นเบลนด์ออกจากแร่่อไจด์

แร่ฮอร์นเบลนด์เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญและพบทั่วไป จัดอยู่ในแร่ตระกูลแอมฟิโบล ซึ่งคล้ายกับแร่ตระกูลไพรอกซีน แต่ต่างกันที่ส่วนประกอบของแอมฟิโบลมีไฮดรอกซิล (OH) เพิ่มขึ้น และการเรียงตัวของซิลิกาเตตระฮีดรอลเป็นสายคู่ แร่ฮอร์นเบลนด์เป็นแร่ตัวสุดท้ายใน solid solution series ซึ่งเริ่มจากแร่แอนโทไฟลไลต์ และสิ้นสุดที่แร่ฮอร์นเบลนด์

แร่ฮอร์นเบลนด์เป็นแร่ปฐมภูมิ (primary mineral) ที่สำคัญในหินอัคนีชนิดที่เป็นกรด ชนิดที่เป็นกลาง และในหินแปร

แร่ไบโอไทต์  $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3 (\text{AlSi}_3\text{O}_{10}) (\text{OH})_2$  แร่ไบโอไทต์หรือแร่ไมกาดำ (black mica) เป็นแร่โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก อลูมิเนียมซิลิเกต ชื่อแร่ตั้งขึ้นเป็นเกียรติแก่นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ J.B. Biot แร่ไบโอไทต์ก็เหมือนกับแร่ไมกาอื่น ๆ คืออยู่ในพวกฟิลโลซิลิเกต ซึ่งเกิดจากเตตระฮีดรอลจับตัวกันเป็นแผ่นจะมีการแชร์ออกซิเจนสามตัว ส่วนออกซิเจนตัวที่สี่ไม่ถูกแชร์จะอยู่เหนือแนวระนาบของตัวอื่นทั้งหมด โครงสร้างพื้นฐานของแร่ไมกาจะประกอบด้วยแผ่นของเตตระฮีดรอลสองแผ่นประกบกันคล้ายแซนวิช (sandwich) ผิวที่เรียบอยู่ด้านนอก ส่วนผิวด้านในจะยึดติดกันด้วยไอออนบวก ในแร่ไบโอไทต์ไอออนตัวที่มายึดคือเหล็กและแมกนีเซียม และเตตระฮีดรอลสองแผ่นนี้จะซ้อนกับเตตระฮีดรอลอีกสองแผ่นอื่นในแบบแผ่นคู่ (double sheet) ซึ่งมีไอออนบวกของโพแทสเซียมเป็นตัวยึดเชื่อมอย่างไม่แน่นหนา ชั้นของแร่ไบโอไทต์หรือแร่ไมกาอื่น ๆ จะลอกออกเป็นแผ่น ๆ ได้ง่ายเพราะว่ามีแนวแตกที่สมบูรณ์ตามแนวที่โพแทสเซียมยึดอยู่ แตกออกเป็นแนวเรียบ (ดูรูปที่ 2.25)



รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างของแร่ไบโอไทต์

(ที่มา : Long, 1974 หน้า 66)

แร่ไบโอไทต์มีรูปผลึกระบบโมโนคลินิก เป็นแผ่นหนาคลายสีเหลี่ยมขนมเปียกปูน ปกติ มักเกิดเป็นแผ่นซ้อนกันแน่นเป็นเกล็ดหรือแผ่นบาง ๆ แผ่นแร่โค้งงอและกลับที่เติมได้ ความแข็ง 2.5-3 ความถ่วงจำเพาะ 2.8-3.2 ความวาวสะท้อนแสงคล้ายกระจก สีเขียวแก่ น้ำตาล ถึงดำ อาจพบสีเหลืองอ่อนได้ แผ่นบางจะมีสีคล้ายควีนไฟ

#### แร่ชุดนินเฟอร์โรแมกนีเซียม

แร่ประกอบหินซิลิเกตนอกจากแร่ชุดเฟอร์โรแมกนีเซียม ก็มีพวกแร่นินเฟอร์โรแมกนีเซียม ให้ชื่อนี้เพราะว่าเป็นแร่ที่ไม่มีเหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบ แร่ในชุดนี้คือ แร่มีสโคไวต์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่ควอร์ตซ์ แร่ทั้งหมดจะมีสีจางและมีความถ่วงจำเพาะต่ำอยู่ในช่วงประมาณ 2.6-3

แร่มีสโคไวต์  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$  แร่มีสโคไวต์หรือแร่ไมกาขาว (white mica) ที่ได้ชื่อนี้ว่ามีสโคไวต์ ก็เพราะครั้งหนึ่งเคยใช้แทนกระจกได้ในประเทศรัสเซียยุคเก่า (Muscovy) จะมีโครงสร้างผลึกพื้นฐานเช่นเดียวกับแร่ไบโอไทต์ แต่ในแร่มีสโคไวต์แต่ละคู่ของแผ่นเตตระฮีดรอลจะเชื่อมกันด้วยอลูมิเนียมไอออน ซึ่งในแร่ไบโอไทต์แผ่นคู่เกาะกันโดยมีโพแทสเซียมไอออน

เซียมมิออกแทรกอยู่อย่างไม่น่า เป็นแนวที่แร่แตกได้ง่าย แร่มีลโคไวต์อยู่ในพวกฟิลโลซิลิเกต ซึ่งมีสูตรเคมีเขียนได้ตามข้างบน แต่อาจจะมีเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม ลิเทียม ฟลูออรีน และไททาเนียม ปนอยู่จำนวนเล็กน้อย

รูปผลึกระบบโมโนคลินิก เป็นแผ่นบาง ๆ ซ้อนกันจนหนา แนวแตกเรียบสมบูรณ์มาก จนผลึกถูกลอกเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ แผ่นแร่จะโค้งงอและกลับที่เดิมได้ ความแข็ง 2.0-2.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.8-3.1 ความวาวแบบแก้วและแบบใยไหมหรือแบบมุก โปร่งใสและไม่มีสี เมื่อเป็นแผ่นบาง ๆ สำหรับแร่ที่ซ้อนกันหนา ๆ จะโปร่งแสงและมีสีต่าง ๆ กันคือ สีเหลือง น้ำตาล เขียว แดง

แร่เฟลด์สปาร์ แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินซิลิเกตที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่ง มีเกือบ 54 เปอร์เซ็นต์ของแร่ทั้งหมดในเปลือกโลก คำว่าเฟลด์สปาร์มาจากภาษาเยอรมันคือ *feld* = *field* และ *spar* = *mineral*

แร่เฟลด์สปาร์เป็นซิลิเกตของอลูมิเนียม โพแทสเซียม โซเดียมและแคลเซียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ผลึกอยู่ในระบบโมโนคลินิกและไตรคลินิก มีแนวแตกเรียบสองแนวเกือบตั้งฉากหรือตั้งฉากกัน ความแข็งประมาณ 6 และความถ่วงจำเพาะมีตั้งแต่ 2.55 ถึง 2.76 แร่เฟลด์สปาร์มีหลายชนิดด้วยกัน แตกต่างที่ส่วนประกอบและลักษณะอื่น ๆ

แร่เฟลด์สปาร์เป็นพวกเทคโทซิลิเกต เพราะว่าออกซิเจนออกซิอนทั้งหมดในเตตระฮีดร่าจะแชร์กันหมดเป็น 3 มิติ แต่ในเตตระฮีดร่าบางส่วนจะมีอลูมิเนียมออกซิอนซึ่งมีรัศมี  $0.51 \text{ \AA}$  และประจุ  $+3$  ( $\text{Al}^{+3}$ ) เข้าไปแทนที่ซิลิคอนซึ่งมีรัศมี  $0.42 \text{ \AA}$  และประจุ  $+4$  ( $\text{Si}^{+4}$ ) ในตอนกลางของเตตระฮีดร่า มันไม่สมดุลย์กันโครงสร้างผลึกต้องการออกซิอนบวกเพิ่มอีก ดังนั้น  $\text{K}^{1+}$ ,  $\text{Na}^{1+}$  หรือ  $\text{Ca}^{2+}$  จะมีโอกาสเข้าไปแทรกอยู่ด้วยทำให้แร่เฟลด์สปาร์มีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันไป

แร่เฟลด์สปาร์ซึ่งมีโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบ เรียกว่าออร์โทเคลสและแร่เฟลด์สปาร์ถ้ามีโซเดียมหรือแคลเซียมเป็นส่วนประกอบอยู่ เรียกว่าแพลจิโอเคลส (ดูตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 แร่เฟลด์สปาร์ชนิดต่าง ๆ

ไอออนบวก	ชื่อแร่	สัญลักษณ์	ชื่อแร่ตามส่วนประกอบ	สูตร
$K^+$	ออร์โทเคลส	Or.	โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์	$K(AlSi_3O_8)$
$Na^+$	แอลไบต์	Ab.	โซเดียมเฟลด์สปาร์	$Na(AlSi_3O_8)$
$Ca^{2+}$	อะนอร์ไทต์	An.	แคลเซียมเฟลด์สปาร์	$Ca(Al_2Si_2O_8)$

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Leet & Judson, 1971 หน้า 54)

แร่ออร์โทเคลสเป็นโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ซึ่งโซเดียมอาจไปแทนที่โพแทสเซียมได้ มีรูปผลึกอยู่ในระบบโมโนคลินิก แตกต่างจากแร่เฟลด์สปาร์ชนิดอื่น ๆ ตรงที่แนวแตกเรียบตั้งฉากกันและไม่มีลายเส้นบนผิวหน้าของแนวแตกเรียบ มีสีขาว เทา ชมพู รอยขีดสีขาว ความแข็ง 6 ความถ่วงจำเพาะ 2.57 ความวาวคล้ายแก้ว เกิดในหินอัคนีชนิดต่าง ๆ

แร่แอลไบต์เป็นโซเดียมหรือแคลเซียมเฟลด์สปาร์ มีรูปผลึกระบบไตรคลินิก มีแนวแตกทำมุมประมาณ  $86^\circ$  ซึ่งผิวหน้าของแนวแตกด้านหนึ่งจะมีลายเส้น แร่แอลไบต์อาจไม่มีสี มีสีขาว หรือเทา แร่บางก้อนอาจเล่นสีได้เราเรียก opalescence เป็นแร่ประกอบหินอัคนี หินชั้นและหินแปร

แร่แอลไบต์จะเกิดในลักษณะที่เรียกว่า solid solution หรือเรียก isomorphous คือมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แต่รูปผลึกเหมือนกัน จากแร่แอลไบต์ที่บริสุทธิ์ถึงแร่อะนอร์ไทต์บริสุทธิ์แคลเซียมจะเข้าแทนที่โซเดียมในสัดส่วนต่าง ๆ กันเท่าใดก็ได้ และพร้อมกับอลูมิเนียมก็เข้าแทนที่ซิลิคอน ถ้าสามารถทราบจำนวนอัตราส่วนของแคลเซียมต่อโซเดียมในแร่แอลไบต์ ก็สามารถบอกว่าเป็นแร่ชนิดใดได้ (ดูตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 แร่ชุดแพลจีโอเคลสเฟลด์สปาร์

ชื่อแร่	% แอลไบต์			% อะนอร์ไทต์
แอลไบต์ $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	100	-	90	0 - 10
โอลิโกเคลส	90	-	70	10 - 30
แอนดีซีน	70	-	50	30 - 50
ลาบราดอไรต์	50	-	30	50 - 70
ไบทาวไนต์	30	-	10	70 - 90
อะนอร์ไทต์ $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	10	-	0	90 - 100

แร่ควอร์ตซ์ ( $\text{SiO}_2$ ) แร่ควอร์ตซ์เป็นแร่ประกอบหินซิลิเกตที่พบมากรองจากแร่เฟลด์สปาร์ ประกอบด้วยซิลิคอนออกซิเจนเตตระฮีดรอล้วน ๆ เป็นพวกเททโทซิลิเกตออกซิเจนอ็อนทุกตัวจะแชร์กันหมด โดยที่ออกซิเจนอ็อนสองตัวจะจับตัวกับซิลิคอนอ็อนทุกหนึ่งตัว ซึ่งความสัมพันธ์อันนี้สามารถเขียนสูตรเป็น  $\text{SiO}_2$  แร่ควอร์ตซ์จะมีความแข็งมากเนื่องจากโครงสร้างผลึก

แร่ควอร์ตซ์เกือบจะเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุดและมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่คงที่ แต่อย่างไรก็ตามจากผลวิเคราะห์โดยใช้ spectrograph แสดงให้เห็นว่าผลึกที่สมบูรณ์แบบของมันก็ยังมียังมีร่องรอยของแร่อื่น ๆ ปนอยู่ด้วย เช่น ลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และไทเทเนียม

รูปผลึกแบบเฮกซะโกนาล มักจะเกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัวและท้าย บางครั้งเกิดเป็นผลึกแผ่ มีเนื้อสมานแน่นผลึกมีแทบทุกขนาด ความแข็ง 7 เป็นแร่หนึ่งในสเกลความแข็งของโมส์ ความถ่วงจำเพาะ 2.65 รอยแตกเว้า ความวาวคล้ายแก้ว สีอาจเป็นสีขาวหรือไม่มีสี ถ้ามีมลทินเจือปนอยู่จะมีสีต่าง ๆ สวยงามมาก เช่นสีม่วง (amethyst) สีแดงกุหลาบหรือชมพู (rose quartz) สีเหลืองถึงสีน้ำตาล (smoky quartz) และสีขาว (milky quartz) เนื้อโปร่งใสถึงโปร่งแสง



แร่ควอร์ตซ์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหินอัคนีชนิดที่มีซิลิกามาก ๆ

2.5.2 แร่ออกไซด์ (oxide minerals) แร่ออกไซด์เกิดจากการรวมตัวโดยตรงของธาตุกับออกซิเจน แร่เหล่านี้จะมีสูตรง่าย ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับแร่ซิลิเกตที่ซับซ้อน แร่ออกไซด์ปกติจะแข็งกว่าแร่กลุ่มอื่น ๆ ยกเว้นแร่ซิลิเกต และมีความหนักกว่ากลุ่มอื่นยกเว้นแร่ซัลไฟด์ ภายในกลุ่มแร่ออกไซด์มีธาตุที่สำคัญคือ เหล็ก โครเมียม แมงกานีส ตะกั่ว และอลูมิเนียม

แร่ออกไซด์ที่พบทั่วไปคือ น้ำแข็ง ( $H_2O$ ) คอแรนด์ม ( $Al_2O_3$ ) ฮีมาไทต์ ( $Fe_2O_3$ ) แมกนีไทต์ ( $Fe_3O_4$ ) แคลสซิเทอไรต์ ( $SnO_2$ )

2.5.3 แร่ซัลไฟด์ (sulfide minerals) แร่ซัลไฟด์เกิดจากการรวมตัวโดยตรงของธาตุกับซัลเฟอร์ ธาตุโดยมากที่รวมกับซัลเฟอร์คือเหล็ก เงิน ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และปรอท แร่ซัลไฟด์เหล่านี้บางครั้งจะเกิดเป็นแหล่งแร่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ เช่น ไพไรต์ ( $FeS_2$ ) คาลโคไซต์ ( $Cu_2S$ ) กาลีน่า ( $PbS$ ) สฟาเลอไรต์ ( $ZnS$ )

2.5.4 แร่คาร์บอเนตและซัลเฟต (Carbonate and Sulfate minerals)

ในแร่ซิลิเกตส่วนประกอบที่สำคัญคือซิลิโคนออกซิเจนเตตระฮีดร่า เป็นกลุ่มอ็อกซอนที่มีประจุ ( $SiO_4$ )<sup>-4</sup> แต่ยังมีกลุ่มอ็อกซอนอื่นอีกที่มีความสำคัญมากในทางธรณีวิทยา คือการรวมตัวของคาร์บอเนตหนึ่งตัวกับออกซิเจนสามตัว เขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ ( $CO_3$ )<sup>-2</sup> เป็นสารประกอบคาร์บอเนต ถ้ามีแคลเซียมอ็อกซอนมารวมตัวก็จะกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ( $CaCO_3$ ) ซึ่งหมายถึงแร่แคลไซต์ แร่แคลไซต์นี้เป็นแร่ประกอบหินที่พบทั่วไปในหินตะกอนพวกหินปูน กลุ่มอ็อกซอนอีกชนิดหนึ่งคือ ( $SO_4$ )<sup>-2</sup> เป็นการรวมตัวของซัลเฟอร์หนึ่งตัวกับออกซิเจนสี่ตัว กลุ่มอ็อกซอนนี้ถ้าไปรวมกับอ็อกซอนอื่นจะกลายเป็นสารประกอบซัลเฟต เช่น ถ้ามีแคลเซียมอ็อกซอนไปรวมก็จะเป็นแคลเซียมซัลเฟต ( $CaSO_4$ ) คือแร่แอนไฮไดรต์

## 2.6 การจัดระเบียบของแร่

เราทราบว่าแร่เป็นธาตุหรือสารประกอบซึ่งสามารถให้ความหมายของแร่ได้ดังนี้

1. เป็นธาตุหรือสารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในสภาวะที่เป็นของแข็ง (Solid state)
2. มีส่วนประกอบทางเคมีที่สามารถจะเขียนหรือแสดงได้ด้วยสูตรทางเคมี

3. มีโครงสร้างภายในที่เป็นระเบียบ

4. มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แน่นอน

จากคุณสมบัติของแร่เหล่านี้ เราพอที่จะแบ่งชนิดของแร่ที่คุณสมบัติเหมือนกันไว้เป็นพวกเดียวกัน ซึ่งส่วนมากเรามักจะแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี เพราะว่าเป็นคุณสมบัติที่แน่นอนหรือเปลี่ยนแปลงได้เพียงเล็กน้อยในวงจำกัด ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การจัดระเบียบของแร่ที่พบทั่วไปในธรรมชาติ

Elements	Compounds				
	Oxides, elements + O	Sulfides, elements + S	Carbonates, elements + CO <sub>3</sub> ion	Sulfates, elements + SO <sub>4</sub> ion	Silicates, elements + SiO <sub>4</sub> ion
Copper	Cassiterite	Chalcocite	Calcite	Anhydrite	Nonferromagnesian
Diamond	Corundum	Galena	Dolomite	Gypsum	Quartz
Gold	Hematite	Pyrite	Magnetite		Feldspars
Graphite	Ice	Sphalerite			Orthoclase
Iron	Magnetite				Plagioclase
Platinum					Albite
Silver					Anorthite
Sulfur					Muscovite
					Ferromagnesian
					Biotite
					Hornblende
					Augite
					Olivine

\*Minerals may be either elements or compounds, though not all elements or compounds are minerals.

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 57)

จากตารางที่ 2.7 เราแบ่งแร่ ออกได้เป็น 6 หมู่ใหญ่ ๆ ตามชนิดของไอออนลบที่ประกอบอยู่ เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีและโครงสร้างของแร่จะเปลี่ยนแปลงไปตามไอออนลบของสารประกอบมากกว่าไอออนบวก แต่ยังมีแร่ที่เกิดขึ้นส่วนน้อย ซึ่งเราไม่ได้จัดอยู่ในตารางนี้ อีกมาก ตัวอย่างเช่น

1. แฮไลด์ (Halides) ประกอบด้วยไอออนลบ  $F^{-1}$ ,  $Br^{-1}$ ,  $Cl^{-1}$ ,  $I^{-1}$
2. ฟอสเฟต (Phosphates) ประกอบด้วยไอออนลบ  $(PO_4)^{-3}$

3. อาร์เซเนต (Arsenates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (AsO<sub>4</sub>)<sup>-3</sup>
4. วานาเตต (Vanadates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (Vo<sub>4</sub>)<sup>-3</sup>
5. ทังสเตต (Tungstates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (WO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>
6. โมลิบเดต (Molybdates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (MoO<sub>4</sub>)<sup>-1</sup>
7. โครเมต (Chromates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (CrO<sub>4</sub>)<sup>-1</sup>
8. ไนเตรต (Nitrates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (NO<sub>3</sub>)<sup>-1</sup>
9. บอเรต (Borates) ประกอบด้วยอ็อกไซด์ (Bo<sub>3</sub>)<sup>-3</sup>

## 2.7 หิน

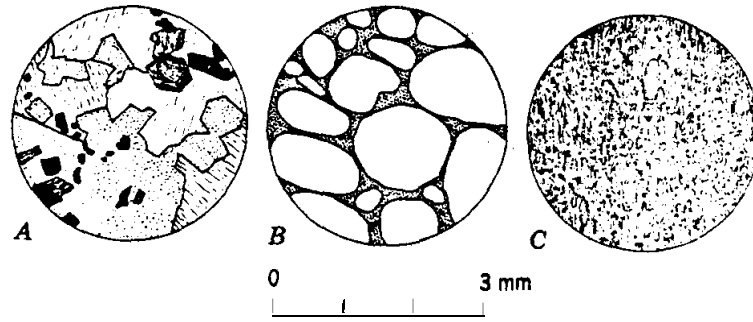
หินคือสารผสม (mixtures) ของแร่ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป แต่หินบางชนิดอาจประกอบด้วยแร่เพียงชนิดเดียวก็ได้ อยู่ในสภาพเป็นของแข็ง เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ ธรณีวิทยาขึ้นอยู่กับการศึกษาหิน เราพยายามที่จะศึกษาถึงส่วนประกอบ การกระจายไปยังแหล่งต่าง ๆ การเกิดและการถูกทำลายไปของหิน และศึกษาว่าทำไมหินบางแห่งถูกยกตัวสูงขึ้นเป็นทวีป บางแห่งจมลงเป็นน้ำมหาสมุทร

หินเป็นวัตถุที่มีมากที่สุดบนพื้นโลกเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุอื่น ๆ เราได้พบได้เห็นหินอยู่ทั่วไป อาจอยู่ในลักษณะของเศษหินตามทางหรือกวาดตามธารน้ำ ตามหน้าผา และอยู่เป็นหินดาน (bed rock) โผล่อยู่เหนือผิวดิน ในบางแห่งชั้นหินอยู่ใต้ผิวดิน จากการสังเกตหินทั่ว ๆ ไปหลาย ๆ แห่งจะพบว่าหินมีหลายแบบหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกตามลักษณะการเกิดของมันได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

พวกที่ 1 เป็นพวกหินอัคนี

พวกที่ 2 เป็นพวกหินตะกอนหรือหินชั้น

พวกที่ 3 เป็นพวกหินแปร



รูปที่ 2.26 แผ่นหินบาง (Thin-sections) ของหินทั้ง 3 ชนิดดูจากกล้องจุลทรรศน์

- (a) อนุภาคของหินอัคนีเป็นเหลี่ยมและยึดติดกัน
  - (b) อนุภาค (สีขาว) ของหินตะกอนมีลักษณะกลมและช่องว่างระหว่างอนุภาคจะมีสารเชื่อมอยู่
  - (c) อนุภาคของหินแปรเป็นแท่งยาวและวางตัวขนานกัน
- (ที่มา : Longwell & others, 1969 หน้า 11)

#### หินอัคนี (Igneous rocks)

คำภาษาอังกฤษ Igneous มาจากคำภาษาลาติน ignis แปลว่าไฟ (fire) หินอัคนีเป็นหินซึ่งครั้งหนึ่งเคยมีอุณหภูมิสูงและหลอมละลายอยู่ในลักษณะที่เราเรียกว่าแมกมา (magma) ต่อมาเย็นตัวลงและแข็งตัว (Solidification) กลายเป็นหินแข็ง เกิดจากการยึดกันเป็นกลุ่มของแร่ซิลิเกต ดังนั้นลาวา (lava) ที่ไหลออกมาจากปล่องภูเขาไฟเมื่อเย็นตัวลงและแข็งก็กลายเป็นหินอัคนี และมีหินอัคนีบางพวกที่โผล่ให้เห็นบนพื้นดินเกิดจากการเย็นตัวของแมกมาภายใต้ผิวดิน แต่ที่โผล่ให้เห็นเนื่องจากการกัดเซาะบริเวณนั้น

#### หินตะกอน (sedimentary rocks)

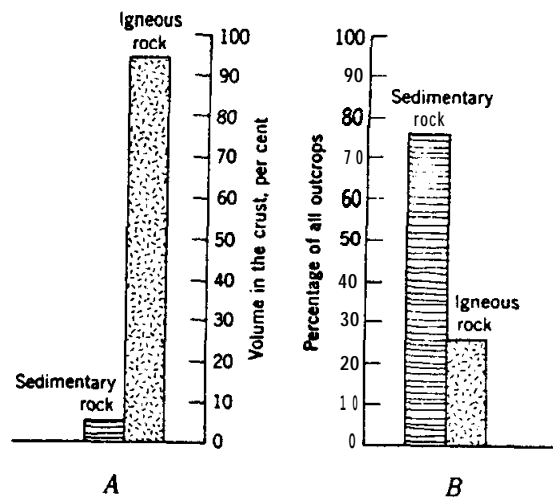
คำภาษาอังกฤษ sedimentary มาจากคำลาติน sedimentum แปลว่าการตกทับถม (settling) หินตะกอนเป็นหินที่เกิดจากการเศษหินที่แตกหักมาจากหินที่เกิดขึ้นก่อน ซึ่งปกติ

เศษหินเหล่านี้จะถูกกระแส น้ำ ลม ธารน้ำแข็งพัดพาไปยังที่อื่น เช่น คลื่นกระแทกกับหินชายฝั่ง จะได้เม็ดทรายและกรวดบริเวณชายฝั่ง ต่อมาเศษหินเหล่านี้แข็งตัวก็กลายเป็นหินตะกอนที่อุณหภูมิลดลงปกคลุมพื้นผิวโลกหรือใกล้ผิวโลก ลักษณะของหินตะกอนอย่างหนึ่งคือเป็นชั้น ๆ จึงเรียกได้อีกชื่อว่าหินชั้น

### หินแปร (Metamorphic rocks)

คำภาษาอังกฤษ metamorphic มาจากคำกรีก meta แปลว่าเปลี่ยน (change), morphe แปลว่ารูป (form) หินแปรเกิดจากหินเดิม ซึ่งอาจเป็นหินอัคนี หินตะกอน หรือหินแปรที่เกิดขึ้นก่อนเปลี่ยนเป็นหินใหม่ เนื่องจากถูกความร้อน ความกดดันและสารละลายทางเคมี ภายใต้ผิวโลกหินใหม่ที่ได้เราเรียกว่าหินแปร

หินส่วนมากภายในชั้นเปลือกโลกเกิดขึ้นมาครั้งแรกจากแมกมาเราพบว่า 95% ของหินทั้งหมดในเปลือกโลกเป็นหินอัคนีและหินแปรซึ่งกำเนิดมาจากหินอัคนี แต่บนผิวโลกเราจะพบหินตะกอนมากกว่า (ดูรูปที่ 2.27) ทั้งนี้เพราะว่าหินอัคนีเกิดขึ้นจากกระบวนการภายในบางส่วนเราไม่สามารถสังเกตเห็นได้ทันที ส่วนหินตะกอนนั้นเกิดจากกระบวนการภายนอกทำให้เราเห็นอยู่รอบ ๆ ตัวเราตลอดเวลา



รูปที่ 2.27 แสดงปริมาณของหินอัคนีและหินตะกอนในชั้นของเปลือกโลก

ส่วนหินแปรจะรวมอยู่ในหินอัคนีหรือหินตะกอนขึ้นอยู่กับกำเนิด

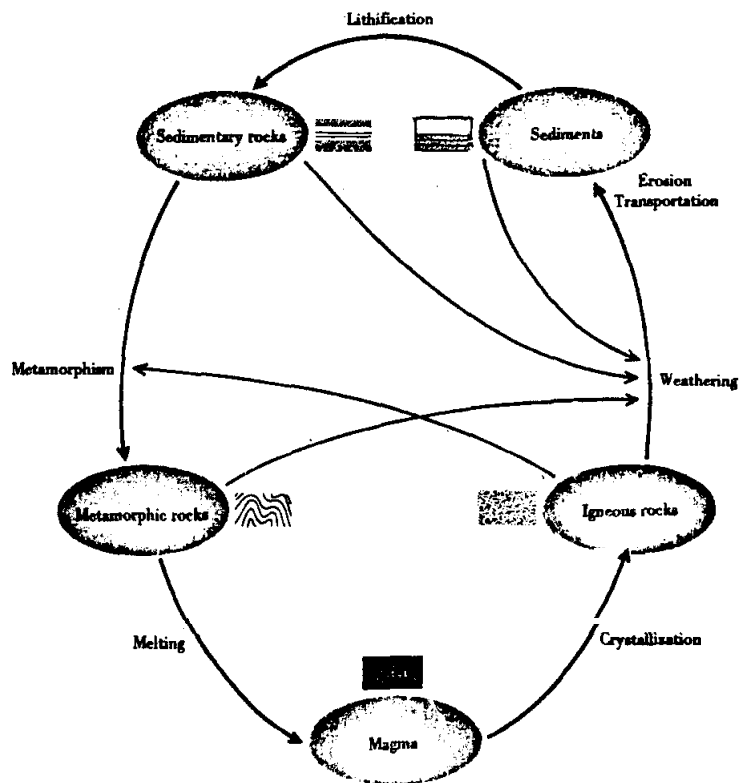
(A) โดยปริมาตร : หินอัคนี 95%, หินตะกอน 5%

(B) โดยพื้นที่ : หินอัคนี 25%, หินตะกอน 75%

(ที่มา : Flint & Skinner, 1977 หน้า 48)

## 2.8 วัฏจักรของหิน

หินอัคนี หินตะกอนและหินแปรทั้งสามชนิดนี้สามารถเปลี่ยนสภาพไปมาซึ่งกันและกันได้ เวลาและเหตุการณ์ที่เปลี่ยนทำให้หินชนิดหนึ่งเปลี่ยนสภาพไปเป็นหินอีกชนิดหนึ่ง (ดูรูปที่ 2.28) วงกลมใหญ่ในรูปแสดงวงจรที่ครบถ้วน ลูกศรภายในวงกลมแสดงการจذبวงจรให้สั้นเข้า ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นบ่อย ๆ ด้วย



รูปที่ 2.28 แสดงวัฏจักรของหิน(The Rock Cycle)

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 9)

วัฏจักรของหินเริ่มต้นจากแมกมาแข็งตัวหรือตกผลึก (Crystallization) เป็นหินอัคนี หินอัคนีเมื่อเกิดขึ้นมาแล้วจะเกิดการสลายตัวเป็นเศษหิน เศษหินจะถูกพัดพาโดยลม กระแสน้ำ และธารน้ำแข็ง ฯลฯ ไปยังที่อื่น ขณะที่เศษหินถูกพัดพาไปจะเกิดการสึกกร่อน กลายเป็นเศษหินเศษร่วนเล็กชิ้นน้อย เศษหินเศษแร่เหล่านี้เมื่อเกิดการสะสมตัวและแข็งตัว (Lithification) ก็จะกลายเป็นหินตะกอน หินตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วเมื่ออยู่ในภาวะที่เหมาะสมแก่การถูกแปรสภาพ (Metamorphism) ก็จะกลายเป็นหินแปร หินแปรอาจมีโอกาสจมลงไปถึงใต้ผิวดินเพราะการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก ถ้าหินดังกล่าวอยู่ภายใต้ความกดดันและอุณหภูมิสูงมาก ๆ ก็ จะหลอมตัว (Melting) กลายเป็นสารเหลวที่เรียกว่าแมกมา

หินอัคนีเมื่อถูกความกดดันและอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นภายในเปลือกโลกกระทำ หินอัคนีก็จะถูกแปรสภาพเป็นหินแปร ซึ่งมีแร่ประกอบและลักษณะลายเนื้อของหินผิดไปจากเดิม

หินตะกอนและหินแปรที่โผล่ขึ้นมาสู่ผิวโลกจะถูกกระบวนการผุพังสลายตัว ทำให้มันแตกหักเป็นเศษหินเศษร่วนขนาดต่าง ๆ กัน และจะถูกพัดพาไปทับถมกันใหม่เกิดเป็นหินตะกอนขึ้นมาใหม่

หินตะกอนที่เกิดขึ้นอาจจะถูกความร้อนและความกดดันสูงมากจนหินหลอมเหลวไป และเมื่อมันเย็นตัวลงจึงเกิดเป็นหินอัคนีชิ้นใหม่ได้

## 2.9 สรุป

เปลือกโลกประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 8 ตัว คือ ออกซิเจน ซิลิคอน อลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม

แร่คือธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยกระบวนการทางอนินทรีย์

ส่วนประกอบของแร่จะประกอบด้วยธาตุที่คงที่หรือมีสัดส่วนเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย

โครงสร้างของแร่คือ การเรียงตัวของอะตอมภายในอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะสำหรับแร่แต่ละชนิด

การตรวจสอบแร่ ใช้คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น รูปผลึก ความแข็ง ความถ่วงจำเพาะ แนวแตก สี รอยขีด และลายเส้น

รูปผลึกคือ รูปร่างภายนอกที่ปรากฏให้เห็นเด่นชัด ซึ่งเกิดจากโครงสร้างผลึก

ความแข็ง เป็นคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของอะตอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่

ความถ่วงจำเพาะ เป็นค่าตัวเลขเปรียบเทียบน้ำหนักของแร่กับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

แนวแตก เป็นแนวโน้มของแร่ที่จะแตกในทิศทางที่แน่นอนตามพื้นผิวที่เรียบ

สี ไม่สามารถใช้ตรวจสอบแร่ได้ทุกชนิด แต่โดยทั่วไปแร่ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบจะมีสีค่อนข้างเข้ม และแร่ที่มีลูมิเนียจะมีสีค่อนข้างจาง

รอยขีด หมายถึงสีของแร่ที่อยู่ในลักษณะเป็นผงละเอียด

ลายเส้น มีลักษณะเป็นลายเส้นเล็ก ๆ คล้ายเส้นด้ายเรียงขนานกัน หรือเป็นแถบแคบ ๆ ไปตามผิวหน้าผลึกแร่หรือพื้นผิวของแนวแตก

คุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ความเป็นแม่เหล็ก คุณสมบัติทางไฟฟ้า การเรืองแสง การหลอมได้ การละลายได้ รอยแตก ความเหนียว ความวาวหรือประกาย

แร่ประกอบหิน 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นแร่ซิลิเกต ซึ่งขึ้นอยู่กับซิลิคอน-ออกซิเจนเตตระฮีดรอน

แร่เฟอร์โรแมกนีเซียน ซึ่งได้แก่แร่โอลิวีน แร่ออไรต์ แร่ฮอร์นเฟลด์ และแร่ไบโอไทต์ มีเหล็กและแมกนีเซียนเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย

แร่โอลิวีนเป็นนโซซิลิเกต มีลักษณะเป็นเม็ดหรือจับกลุ่มกันอยู่ โดยทั่วไปจะมีสีโอลิว (olive)

แร่ออไรต์ เป็นไอโนซิลิเกต ในรูปเตตระฮีดรอสายเดี่ยวและแผ่นของแนวแตก (cleavage plane) เกือบจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน

แร่ฮอร์นเฟลด์เป็นไอโนซิลิเกตในรูปเตตระฮีดรอสายคู่ ซึ่งมีทิศทางของแนวแตกทำมุมกันประมาณ  $56^{\circ}$  และ  $124^{\circ}$

แร่ไบโอไทต์หรือแร่ไมกาดำ เป็นฟิลโลซิลิเกต

แร่นันเฟอร์โรแมกนีเซียน ได้แก่ แร่มีสโคไวต์ แร่เฟลด์สปาร์ส และแร่ควอร์ตซ์

แร่มีสโคไวต์ หรือแร่ไมกาขาว เป็นฟิลโลซิลิเกต

แร่เฟลด์สปาร์ส เป็นแร่ซิลิเกต ซึ่งประกอบหินมากที่สุด เป็นเททโรซิลิเกต



แร่ฮอร์โทเคลส คือ โปแทสเซียมเฟลด์สปาร์

แร่แอลไบต์ คือ โซเดียมเฟลด์สปาร์ และแร่อะนอร์ไทต์ คือแคลเซียมเฟลด์สปาร์

ทั้งแร่แอลไบต์และแร่อะนอร์ไทต์จัดอยู่ในชุดแร่แอลจิโอเคลส เฟลด์สปาร์

แร่ควอร์ตซ์เป็นแร่ซิลิเกต ซึ่งประกอบไปด้วยซิลิคอนออกซิเจนเตตระฮีดร่าเท่านั้น

แร่ออกไซด์เกิดขึ้น โดยตรงจากการรวมตัวของธาตุกับออกซิเจน

แร่ซิลไฟด์เกิดขึ้น โดยตรงจากการรวมตัวของธาตุกับซัลเฟอร์

แร่คาร์บอเนต เกิดจากการสร้างตัวรอบ  $\text{CO}_3^{2-}$

แร่ซัลเฟตเกิดจากการสร้างตัวรอบ  $\text{SO}_4^{2-}$

การจัดระเบียบของแร่โดยพิจารณาจากการที่เราพบว่าแร่จะเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของธาตุหรือสารประกอบในสภาวะที่เป็นของแข็ง ซึ่งแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบเฉพาะ นอกจากนี้ก็มีโครงสร้างผลึกและคุณสมบัติทางกายภาพที่แน่นอน

หินคือสารผสมของแร่ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป เป็นของแข็ง เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

หินแบ่งออกตามลักษณะการเกิดได้เป็น 3 ชนิดคือหินอัคนี หินตะกอนหรือหินชั้นและหินแปร

หินอัคนีเกิดจากการตกผลึกโดยตรงจากแมกมาหรือลาวาที่อุณหภูมิและความกดดันค่อนข้างสูง

หินตะกอนเกิดจากการแข็งตัวของเศษหิน เศษแร่ที่แตกหักออกมาที่อุณหภูมิชั้นบรรยากาศ

หินแปรเกิดจากการแปรสภาพของหินเดิมที่เกิดขึ้นก่อนกลายเป็นหินใหม่ ที่อุณหภูมิและความกดดันสูง

ความกดดันสูง

หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร สามารถเปลี่ยนสภาพไปมาซึ่งกันและกันได้ เราเรียกว่าวัฏจักรของหิน

## แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. ธาตุอะไบบ้างที่พบมากในเปลือกโลก ให้บอกชื่อเรียงลำดับตามน้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์
2. อธิบายความหมายของแร่ทางธรณีวิทยา
3. อธิบายสารต่อไปนี้ว่าเป็นแร่หรือไม่เพราะเหตุใด

เพชร	น้ำแข็ง
เกลือแกง	น้ำทะเล
ทอง	แก้ว
น้ำตาล	ทับทิมสังเคราะห์ (synthetic ruby)
ไม้	แอสฟัลต์ (asphalt)
ถ่านหิน	เพนนิซิลิน (peniciline)
หิมะ	

4. อธิบายโครงสร้างผลึกของแร่ (Crystalline structure)
5. ทำไมคุณสมบัติทางกายภาพของเพชรและแกรไฟต์จึงแตกต่างกันมาก
6. คุณสมบัติทางกายภาพของแร่มีอะไรบ้าง อธิบายคร่าว ๆ
7. ผลึก (crystal) คืออะไร มีประโยชน์อย่างไรในการศึกษาแร่
8. ระบบผลึก (crystal system) มีกี่ระบบ อธิบายพร้อมยกตัวอย่างแร่ในแต่ละระบบมาด้วย
9. จงอธิบายคำหรือข้อความต่อไปนี้

หน่วยเซลล์ (unit cell)

space lattice

Law of constancy of interfacial

Polymorphism

Isomorphism

10. ออสเจอร์ (amorphous) หมายถึงอะไร อธิบายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
11. อธิบายระบบความแข็งของโมห์
12. การตรวจสอบความถ่วงจำเพาะของแร่ ด้วยวิธีง่าย ๆ สามารถทำได้อย่างไรบ้าง

13. แนวแตก (cleavage) คืออะไร ช่วยจำแนกแร่ได้อย่างไร
14. ทำไมแร่ถึงมีสี และแร่บางชนิดมีสีเดียวบางชนิดมีหลายสี อธิบาย
15. ระบุสีรอยขีด (streak) ของแร่ที่เด่นมา 5 สี
16. รอยแตก (fracture) ต่างกับแนวแตก (cleavage) อย่างไร
17. อธิบายโครงสร้างของแร่ซิลิเกต และแร่ซิลิเกตแบ่งตามโครงสร้างมีกี่ประเภท
18. แร่ฟอร์สเทอร์ไรต์แตกต่างกับแร่ฟายาไลต์อย่างไร
19. แร่ตระกูลไพรอกซีนกับแร่ตระกูลแอมฟีโบล มีลักษณะเด่นที่แตกต่างกันอย่างไร
20. แร่ประกอบหินชุดแร่ไมกา ที่สำคัญมีอะไรบ้าง อธิบาย
21. ลักษณะเด่นที่สามารถใช้แยกแร่ฮอร์โทเคลสออกจากแร่แพลจิโอเคลสมีอะไรบ้าง
22. การระบุชื่อแร่ในชุดแพลจิโอเคลส จำเป็นต้องอาศัยการตรวจสอบทางด้านใดบ้าง อธิบาย
23. อธิบายลักษณะเด่นของแร่ควอร์ตซ์
24. แร่ที่ไม่ใช่แร่ซิลิเกตที่สำคัญ มีอะไรบ้าง และทำไมจึงนิยมแบ่งชนิดแร่ที่ไม่ใช่ซิลิเกตตามชนิดของอ็อกไซด์ในสารประกอบ
25. หินคืออะไร มีกี่ชนิด อธิบายละเอียด
26. อธิบายวัฏจักรของหิน