

### ชนิดของแร่ (Mineralogy)

ธาตุยูเรเนียมที่พบในธรรมชาติไม่เคยพบเป็นธาตุโลหะแท้ ๆ เหมือนทองคำหรือทองแดงเลย ปกติจะเกิดรวมอยู่กับธาตุอื่น ๆ เสมอ รวมแล้วมีแร่ยูเรเนียมมากกว่า ๑๐๐ ชนิด แต่ที่สำคัญจริง ๆ มีเพียงไม่กี่ชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุยูเรเนียมที่มีอยู่ในแร่ชนิดนั้น ๆ

ทางธรณีวิทยาได้แบ่งยูเรเนียมออกเป็น ๒ พวกใหญ่ ๆ ตามลักษณะการกำเนิดทางธรณีวิทยา คือ แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิ (Primary uranium minerals) และแร่ยูเรเนียมทุติยภูมิ (Secondary uranium minerals) ซึ่งจะได้อธิบายถึงแร่ที่สำคัญ ๆ ต่อไป

#### ก) แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิ

แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิคือ แร่ยูเรเนียมที่ขึ้นมาจากภายในโลกพร้อมกับหินอัคนีในสภาพที่หลอมเหลว โดย Igneous action เมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวมีลักษณะเป็นสายแร่ แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิจะคงลักษณะเดิมไว้สภาพแร่พวกนี้จะมีสีค่อนข้างแก่ เช่น สีดำ, หรือน้ำตาลดำ น้ำตาล และน้ำตาลปนเหลือง เป็นต้น ความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ ๔ ขึ้นไปจนถึง ๑๐ แล้วแต่ผลหินที่ปนอยู่ในแร่

แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิที่สำคัญแบ่งได้เป็น ๓ พวก คือ.

#### ๑. แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิชนิดออกไซด์

มีแร่ที่สำคัญคือ แร่พิทช์เบลนด์ และยูเรนิไนท์

#### แร่พิทช์เบลนด์ (Pitchblend)

แร่พิทช์เบลนด์เป็นแร่ยูเรเนียมที่สำคัญที่สุดในบรรดาหินแร่ยูเรเนียมเปอร์เซ็นต์สูง แหล่งแร่ที่สำคัญอยู่ที่เบลเยียม คองโก (ปัจจุบันเรียกว่าแซร์) แคนาดา เซ็กซ์โกลโลวาเกีย ทางตอนใต้ของออสเตรเลียและสหรัฐอเมริกา แร่ชนิดนี้มีความเข้มข้นของยูเรเนียมออกไซด์ ( $U_3O_8$ ) ๕๐-๘๐ เปอร์เซ็นต์กำเนิดแบบอสัณฐาน (Amorphous) ลักษณะทั่วไปมีสีดำปนเทาหรือดำปนน้ำเงิน มีความวาวแบบยางหรือซีดงและบางที่ก็ผิวด้านและฉ่ำ เมื่อบดให้ละเอียดผงแร่จะมีสีดำ, ดำแกมเขียว หรือดำปนเทา ซึ่งก็ไม่แตกต่างไปจากสีเดิมนัก รอยแตกจะมีลักษณะโค้งและเว้าคล้ายแก้วแตก (uneven, subconchoidal) ความแข็งเท่า ๆ กับเหล็กคือ ๕-๖ และความถ่วงจำเพาะ ๖-๘ หรืออาจจะสูงกว่า ๘ ขึ้นอยู่กับผลหินที่ปนอยู่ในแร่

แร่พิทช์เบลนด์มักจะเกิดในสายแร่พวก sulphide veins มีลักษณะเป็นก้อนหรือเป็นชั้นบาง ๆ (seams) อยู่ในสายแร่บางที่อาจจะพบเป็นก้อนกลม ๆ มีผิวเรียบ แร่ตอนที่อยู่ใกล้ ๆ ผิวหินหรือที่โผล่ให้เห็น

จะเปลี่ยนเป็นแร่สีเหลือง สีส้ม หรือสีเขียว แร่ยูเรเนียมที่มีสูตรต่าง ๆ เหล่านี้จะแทรกตัวอยู่ตามรอยแตกของหินที่อยู่ข้างเคียงกับแร่พิทช์เบลลินด์เดิม

### แร่ยูเรไนท์ (Uraninite)

แร่ยูเรไนท์ก็คือแร่ชนิดเดียวกับแร่พิทช์เบลลินด์นั่นเอง แต่มีลักษณะผลึกแบบ Isometric system และมีสูตรทางเคมีเป็น  $UO_2$  (Uranous oxides) แต่ที่พบกันทั่ว ๆ ไปจะมีสูตรอยู่ระหว่าง  $UO_2$  และ  $U_3O_8$  ปกติจะมี  $UO_3$  อยู่ด้วยเสมอ มีเนื้อแร่สะอาดกว่าแร่พิทช์เบลลินด์โดยมี  $U_3O_8$  ๖๔-๘๔ เปอร์เซ็นต์ และมักจะมีธาตุที่สำคัญเกิดอยู่ด้วยคือธอเรียมและธาตุพวก Rare earths เช่นซีเรียม (Ce) เป็นต้น ความเข้มข้นของธอเรียมออกไซด์ ( $ThO_2$ ) อาจสูงถึง ๑๔ เปอร์เซ็นต์ใน Thorium uraninite ใน Pegmatitic uraninite มียูเรเนียมออกไซด์ ( $U_3O_8$ ) โดยเฉลี่ยประมาณ ๒ เปอร์เซ็นต์ พวก Hydrothermal vein uraninite ปกติจะมีธอเรียมออกไซด์น้อยกว่า ๐.๒๕ เปอร์เซ็นต์ ส่วนธาตุพวก Rare earths นั้นจะมีอย่างน้อย ๑๐ เปอร์เซ็นต์ และอาจจะมีความเข้มข้นสูงในแร่ยูเรไนท์ ซึ่งมีกำเนิดแบบ Pegmatitic origin

แร่ยูเรไนท์มักจะไม่ค่อยเกิดร่วมกับแร่พิทช์เบลลินด์ ส่วนใหญ่จะมีกำเนิดในหิน Pegmatite

### ๒. แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิชนิดซิลิเกต

นอกจากแร่ยูเรเนียมที่กล่าวถึงแล้วทั้ง ๒ ชนิด ยังมีแร่ที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งคือแร่ coffinite ซึ่งเป็นแร่ยูเรเนียมซิลิเกต มีสูตรอยู่ระหว่าง  $U_2(SiO_4)_2$  และ  $U_2(OH)_4(SiO_4)$  (Garrels และ Christ, 1959) หรือ  $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$  (Phoenix, 1959)

แร่คอฟไฟไนท์มีปริมาณยูเรเนียมออกไซด์  $U_3O_8$  สูงสุดประมาณ ๗๐ เปอร์เซ็นต์ และส่วนใหญ่จะเกิดรวมอยู่กับพวก coalified wood หรือ Carbonaceous material อื่น ๆ โดยวิธีการที่เรียกว่า Replacement ซึ่งเป็นลักษณะการกำเนิดที่สำคัญของแร่ชนิดนี้ นอกจากนี้ พบเกิดรวมอยู่ใน Vanadiferous ores ซึ่งมีสีด้า (montroseite,  $VO(OH)$ ) ส่วนแร่ยูเรเนียมที่เกิดอยู่กับพวก Nonvanadiferous ores นั้นมักจะเป็นแร่ยูเรไนท์ ส่วนคอฟไฟไนท์แทบจะไม่มีเอาเลย แร่คอฟไฟไนท์มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดสีด้า และแวววาวซึ่งจะพบแทรกอยู่ตามรอยแตกของหินรวมอยู่กับพวก carbonaceous material ดังกล่าวแล้ว

แร่ทั้ง ๓ ชนิดดังกล่าวข้างต้นจะไม่เรืองแสงเมื่อกระทบแสงอุลตราไวโอเล็ต

๓. แร่ยูเรเนียมปรวมภูมิชนิด Multiple complex oxides

แร่ชนิดนี้เป็นแร่ที่เกิดร่วมกับตระกูล multiple complex oxides ของธาตุโคสโมเนียม (Cb) แทนทาลัม (Ta) และไทเทเนียม (Ti) แร่ตระกูลนี้มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง ๔-๗ มีสีค่อนข้างจางจนถึง สีเข้ม เช่น สีน้ำตาลแดง และสีดำ รอยแตกจะไม่สม่ำเสมอและมีรอยเว้าคล้ายกระจกแตก ผิว นอกจะด้านหรือคล้าย ๆ ยางสน และมีความวาวกึ่งโลหะ เมื่อบดเป็นผงละเอียดจะมีแร่สีอ่อนกว่าสีแร่เดิม เช่น แร่ samarskite เมื่อเป็นผงละเอียดจะมีสีน้ำตาลหรือสีออกแดง ๆ ซึ่งผิวแร่เดิมเป็นสีดำ แร่บางตัวจะ เรืองแสง เมื่อกระทบแสงอุลตราไวโอเล็ต แร่พวกนี้มักจะเกิดอยู่ในสายหินเบ็กมาไทท์ มีบางชนิดที่เกิดแบบ dissemination ในหิน granite gneisses

แร่ตระกูลนี้มีแร่ที่สำคัญ ๆ แบ่งได้เป็น ๒ พวก คือ

๓.๑ แร่ที่มีธาตุโคสโมเนียม-แทนทาลัมเป็นองค์ประกอบ มีแร่ที่สำคัญคือ แร่ betafite, euxenite-polycrase, fergusonite-formanite, pyrochlore-microlite, samarskite และ priorite (blomstrandite) แร่จำพวกนี้มีแร่ betafite เท่านั้นที่ให้  $U_3O_8$  สูงสุดคือประมาณ ๒๗ เปอร์เซ็นต์

๓.๒ แร่ที่มีธาตุไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบ แร่ที่สำคัญคือ davidite และ branmerite ซึ่งมีความเข้มข้นของ  $U_3O_8$  ๗-๔๑ เปอร์เซ็นต์ ส่วน davidite ให้  $U_3O_8$  ประมาณ ๔-๒๐ เปอร์เซ็นต์

ข. แร่ยูเรเนียมทุติยภูมิ

แร่ยูเรเนียมทุติยภูมิคือ แร่ที่มีกำเนิดมาจากการแปรเปลี่ยนหรือสลายตัวของแร่พวกปรวมภูมิ โดยวิธีการผุพังตามธรรมชาติและน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดเป็นแร่ยูเรเนียมชนิดใหม่ (รูปที่ ๒) ซึ่งอาจจะเกิดอยู่ ณ ที่เดิม หรืออาจจะถูกพัดพาไปในลักษณะที่เป็นของเหลวร่วมกับธาตุอื่น ๆ แล้วตกตะกอนเป็นแร่ยูเรเนียม แร่ยูเรเนียมประเภทนี้จึงมีมากมายหลายชนิด

แร่ยูเรเนียมชนิดทุติยภูมิมีลักษณะที่สำคัญคือ จะมีสีสด เช่น สีเหลือง, สีเขียว และสีส้ม เป็นต้น แร่พวกนี้มักจะพบเกิดอยู่ตื้น ๆ หรือบนผิวดิน มีลักษณะเป็นผงละเอียดเคลือบผิวหน้าของหินหรือเม็ดทรายหรือตาม รอยแตกในหินต่าง ๆ บางครั้งจะพบเกิดรวมกันเป็นหย่อม ๆ หรือเป็นแผ่นบาง ๆ ซ้อนกัน แร่พวกนี้ส่วนมาก จะมีความเข้มข้นของ  $U_3O_8$  ต่ำกว่าแร่ยูเรเนียมในท์หรือพิทซ์เบลลินด์ อย่างไรก็ตามมีความสำคัญที่จะเป็นตัวนำให้ พบว่า เมื่อพบแร่พวกนี้แล้วควรจะคาดคะเนว่าแหล่งยูเรเนียมชนิดปรวมภูมิควรจะอยู่ที่ระดับลึกลงไป

แร่ยูเรเนียมทุติยภูมิมีมากกว่า ๑๔๐ ชนิด แต่จะกล่าวถึงเฉพาะแร่ที่สำคัญ ๆ เท่านั้น ได้แก่พวกแร่วานาเดท ฟอสเฟต ซิลิเกต และคาร์บอเนต (คุณสมบัติและส่วนประกอบของแร่ดังกล่าวดูตารางที่ ๑) ซึ่งสรุป ได้ดังนี้

ตารางที่ ๓ คุณสมบัติและส่วนประกอบของแร่ยูเรเนียมและธอเรียมที่สำคัญ

Mineral & Composition	Color, Streak (S) Fluorescence (F)	Luster (L)	Crystal System	Fracture
<u>Primary uranium mineral</u>				
1. <u>Oxides</u>				
Uraninite-UO <sub>2</sub> 65-85 % U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Black to dark gray. S-black to dark olive. L-glassy to submetallic. F-none.		Isometric	uneven to conchoidal
Pitchblende	Black to dark gray. S-black to dark olive. L-pitch like, dull. F-none			uneven to conchoidal
2. <u>Silicates:</u>				
Coffinite	Black. S-black to dark olive. L-adamantine. F-none.		Tetragonal	uneven
<u>Secondary uranium minerals</u>				
1. <u>Vanadates:</u>				
Carnotite	Canary yellow. S-yellow. L-earthy, pearly to silky in crystals. F-none		Monoclinic	

(รวบรวมจาก Ninninger, 1956, P.240-259; Heinrich, 1958, P.26-149;)

H	G	Habit	Mode of Occurrence	Remarks
5-6	8-10.5	cubes	Placers, less commonly in Pegmatites and granits.	Sometimes has bronze tarnish. Soluble in $HNO_3$ & $H_2SO_4$
5-6	6-9	botryoidal, banded, massive.	In veins & bedded deposits with sulfides & hydrocarbons.	Variety of uraninite occurring without crystal or in veins associated with base-metal sulfides and low in thorium
5-6	5	Fine-grained massive	Intimately mixed with uraninites fine-grained carbonaceous material, black vanadium minerals.	Associated with carbonaceous material. Occurring in black "ores" in sedimentary rocks
2-3	4	Earthy, thin coatings.	In sandstone; often associated with carbonized wood and fossil bones	Color sometime dulled or concealed by organic or iron staining or by dark vanadium minerals. In such cases ore may be brown, black or greenish

Mineral & Composition	Color, Streak (S) Luster (L) Fluorescence (F)	Crystal System	Fracture
-----------------------	---	----------------	----------

Tyuyamunite	yellow, greenish-yellow	Orthorhombic	-
$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{V}_2\text{O}_8 \cdot 5-8 \text{H}_2\text{O}$ up to 55 % $\text{U}_3\text{O}_8$	S-yellow. L-earthy. F-none	hombic	

## 2. Phosphates

autunite	yellow, yellow green to pale green. S-yellowish. L-vitreous to pearly. F-yellow green	Tetragonal	-
$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10-12 \text{H}_2\text{O}$ 63% $\text{U}_3\text{O}_8$			

Torbernite	Pale to dark green, emerald green. S-pale green.	Tetragonal	-
$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ 60 % $\text{U}_3\text{O}_8$			

Saleeite:	Lemon to greenish yellow. S-pale yellow. L-pearly. F-bright yellow (long wave) to pale yellow or yellow green (short wave)	Tetragonal	-
$\text{Mg}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-10$			

H	G	Habit	Mode of Occurrence	Remarks
2-3	3-4	Earthy masses, scales, or coatings	Similar to carnotite	Analogous to carnotite with calcium substituting for potassium, often associated with carnotite.
2-2.5	3-3.2	Rectangular, mica like masses or tabular crystals	Associated with uraninite, gummite, uranophane; in oxidized zone of most uranium deposits.	Arsenic may substitute for phosphorous.
2-3	3-4	square plates, mica like masses.	In oxidized zone of uranium deposits as coatings on rocks and other minerals. Associated with copper minerals.	Common alteration product of primary uranium minerals.
2-3	3-4	Thin rectangular plates	Common association with Co, Ni and Fe in oxidized pitchblende deposits	An alteration product of pitchblende. Small amount of Pb and Al may substitute for Mg.

Mineral & Composition	Color, Streak(S) Luster(L) Fluorescence(F)	Crystal System	Fracture
3. <u>Silicates:</u>	Lemon yellow, pale green.	Monoclinic	-
Uranophane $\text{Ca}(\text{H}_3\text{O}_2)_2(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 65 % $\text{U}_3\text{O}_8$	S-pale yellow. L-pearly to greasy. F-none or faint yellow green		
4. <u>Mutiple Complex Oxides</u>			
Brannerite (U, Ca, Fe, Y, Th) $3\text{Ti}_5\text{O}_{16}$ 17-50 % $\text{U}_3\text{O}_8$	Black to reddish brown. Usually altered to brown or yellow brown. S-dark greenish brown. L-vitreous, F-none	Monoclinic	conchoidal
Betafite. (U, Ca) (Cb, Ta, Ti) $3\text{Ti}_5\text{O}_{16}$ -27 % $\text{U}_3\text{O}_8$	Black yellow brown S-Dark brown to yellow-brown. L-vitreous to greasy. F-none.	Isometric	conchoidal
Davidite (Fe, Ce, U) (Ti, Fe, V, Cr) $3 \cdot (\text{O}, \text{OH})_7$ 4-10 % $\text{U}_3\text{O}_8$	Black. S-black to dark-brown. L-Submetallic, vitreous. F-none.	Hexagonal	Subconchoidal to uneven

H	G	Habit	Mode of Occurrence	Remarks
2-3	3-4	Radiating group of minute needle like crystals, earthy; occasionally massive and fibrous.	Inveins, pegmatites, granites, limestones, as coatings along joints and fractures	Alteration product of uraninite, gummite and other uranium
4-5	4-5.5	prismatic crystals, rounded masses or grains.	pegmatites, granite, placers	Decomposed by hot concentrated $H_2SO_4$
4-5.5	4-5	Octahedral crystals	pegmatites, occasionally in placers.	Commonly altered to brown or yellow-green. Form S-black slag in blowpipe (F-lame) flame.
4-6	4-5.4	massive; Occasionally large crystals.	High temperature viens	Intimately associate with ilmenite. Usually moderate -ly magnetic with hand magnet often has greenish -yellow, tyuyamunite when exposed to weathering

Mineral & Composition	Color, Streak(S) Luster(L) Fluorescence(F)	Crystal	Fracture
Samarskite Rare-earth columbate 9-18 % $U_3O_8$	black to drak brown in color and streak. L-glassy, greasy. F-none	Orthorhom- bic	conchoidal
<u>5. Carbonates:</u>			
Schroekingerite $NaCa_3(UO_2)(CO_3)_3(SO_4)$ 10 $H_2O$ up to 30 % $U_3O_8$	yellow to greenish yellow. S-pale yellow greenish yellow. L- pearly to vitreous. F- bright yellow green.	Orthorhom- bic	-
<u>Thorium Minerals</u>			
Monazite $(Ce, La, Th)Po_4$ 1-18 % $ThO_2$ 0.1-1.0 % $U_3O_8$	yellow, yellow brown, red brown, greenish. S-color- less to pale brown or yellow. L-waxy, vitreous. F-none	Monoclinic	conchoidal
Thorianite- $ThO_2$ 55-90 % $ThO_2$ 0-33 % $U_3O_8$	Gray to black. S-black S-black gray, greenish. L-submetallic to greasy. F-none.	Isometric	Irregular to conchoidal

---

H	G	Habit	Mode of Occurrence	Remarks
5-6	4-6	massive, rough prismatic	Pegmatites, less common in placers	Brownish or reddish when powdered.
1-2.5	2.5	Hexagonal	As pellets in gypsum- bearing, sandy clay; as coating in the oxidized zone of vein deposits.	Soluble in water
5-5.5	4-6-5.4 incre- ases with thor- ium entent	Flattered crystals; rounded grains	In placers as rounded grains. In pegmatites and granites as crystals	Not a commercial source of uranium. to thorium content. Infusible. Partly. Soluble in HCl
5-7	8.10	Cubes	Placers; less commonly in pegmatites and granite.	Sometimes has bronze tarnish. Soluble in HNO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

---

---

Mineral & Composition	Color, Streak(S) Luster(L) Fluorescence(F)	Crystal System	Fracture
Thorite-ThSiO <sub>4</sub> 35-80 % ThO <sub>2</sub> 0-25 % U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Black, brown, orange orange yellow, green. S-yellow, orange, light brown greenish. L-glassy dull if altered. F- none or faint deep blue.	Tetragonal	Conchoidal

---