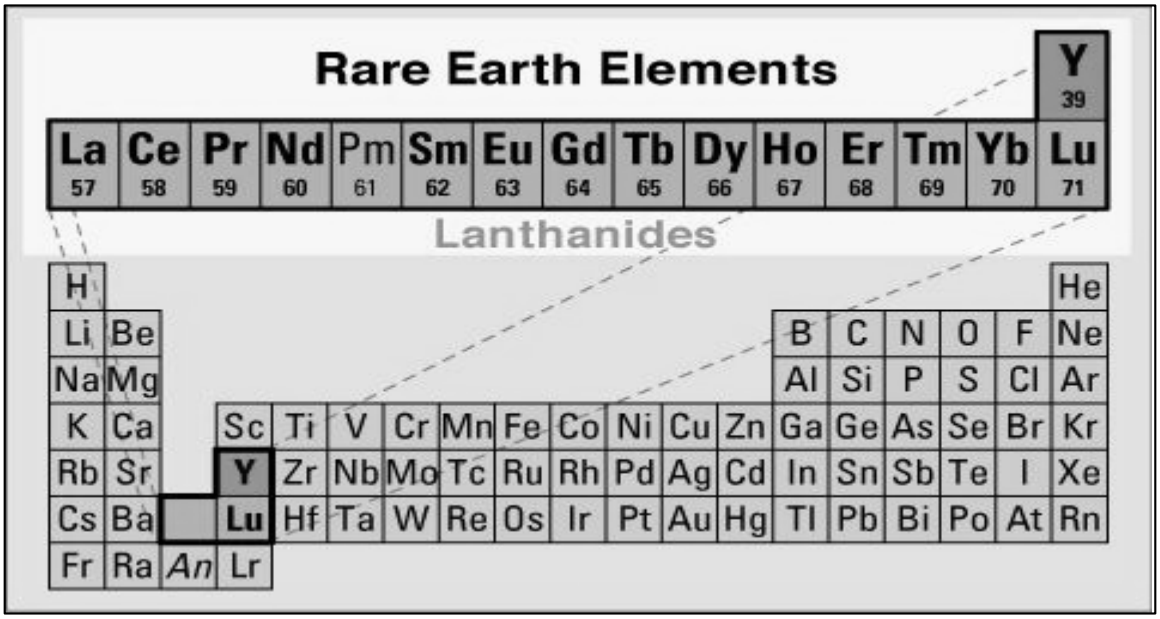
การกำเนิดแร่หนัก-ธาตุหายาก

ธาตุหายาก หรือ “rare earths” เป็นกลุ่มโลหธาตุที่อยู่ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์ (lanthanide series) บางครั้งอาจเรียกว่า กลุ่มแลนทานัมส์ (lanthanous) หรือ กลุ่มแลนทานอยด์ (lanthanoids) ซึ่งประกอบด้วยธาตุ 15 ธาตุ มีเลขอะตอมตั้งแต่ 57 ถึง 71 ธาตุ ทั้งหมดนี้มีตำแหน่งตามตารางธาตุจัดอยู่ในกลุ่ม III B (รูปที่ 1) นอกจากนี้ อิตเทรียม (Y) เลขอะตอม 39 และสแกนเดียม (Sc) เลขอะตอม 21 มักนับรวมไว้ในกลุ่มของธาตุหายากด้วย เพราะมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงมาก



รูปที่ 1 แสดงธาตุหายาก หรือ “rare earths” ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์ประกอบด้วยธาตุ 15 ธาตุ

การจำแนกธาตุหายาก

กลุ่มธาตุหายากมีการแบ่งจัดจำแนกเป็นกลุ่มย่อยตามระบบที่ USGS ใช้โดยยึดหลักตามที่ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) ได้กำหนดไว้ออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ ***กลุ่มธาตุหายากเบา*** (light rare earth elements: LREE) หรือกลุ่มซีเรียม (Cerium group) และ***กลุ่มธาตุหายากหนัก*** (heavy rare earth elements: HREE) หรือกลุ่มอิตเทรียม (Yttrium Group)

- กลุ่มธาตุหายากเบา ซึ่งประกอบด้วย 8 ชนิดธาตุที่มีเลขอะตอม 57 ถึง 64 ได้แก่แลนทานัม (La)ซีเรียม (Ce) เพรซีโอดิเมียม (Pr) นีโอดิเมียม (Nd) โพรมีเทียม (Pm) ซาแมเรียม (Sm) ยูโรเพียม (Eu) และแกโดลิเนียม (Gd)

- กลุ่มธาตุหายากหนัก ซึ่งประกอบด้วย 8 ชนิดธาตุที่มีเลขอะตอม 65 ถึง 71 ได้แก่ เทอร์เบียม (Tb) ดีสโพรเซียม (Dy) โฮลเมียม (Ho) เออร์เบียม (Er) ทูเลียม (Tm) อิตเทอร์เบียม (Yb) ลูทีเทียม (Lu) และอิตเทรียม (Y)ทั้งนี้ธาตุสแกนเดียม (Sc) นั้นไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มย่อยกลุ่มใดได้ เนื่องจากลักษณะของอะตอมที่มีขนาดเล็กกว่าธาตุตัวอื่นๆในกลุ่มในธรรมชาตินั้นมีแร่กว่า 200 ชนิดที่มีธาตุหายากเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปในจำนวนนี้มีราว 73 ชนิดแร่ที่จัดเป็น “*แร่*

ให้ธาตุหายาก (rare earth minerals)" หรือในบางครั้งอาจเรียกสั้นๆว่า "*แร่หายาก*" คือแร่ที่มีกลุ่มธาตุหายากเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในโครงสร้างผลึกโดยมีเพียงแร่หลัก 4 ชนิดคือแบสต์เนไซต์ (bastnaesite: (Ce, La)$(CO_3)F$) โมนาไซต์ (monazite: (Ce, La, Th)PO_4) ซีโนไทม์ (xenotime: YPO_4) และอะพาไทต์ที่ให้ธาตุหายาก (REE-bearing apatite: $(Ca, Ce)_5(PO_4)_3(F,OH,Cl)_3$)

รูปแบบการกำเนิดแหล่งธาตุหายาก

ในธรรมชาติแหล่งแร่สำหรับธาตุหายากสามารถเกิดสัมพันธ์กับหินหลายประเภท หลากชนิดทั้งหินอัคนี หินตะกอน และหินแปรซึ่งสามารถจำแนกและจัดรวมกลุ่มแหล่งธาตุหายากตามลักษณะความสัมพันธ์ของกระบวนการก่อกำเนิดและสะสมตัว (genetic deposit types) ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่เป็นแหล่งแบบปฐมภูมิ และกลุ่มที่เป็นแหล่งแบบทุติยภูมิ

แหล่งธาตุหายากปฐมภูมิ

โดยทั่วไปแมกมาที่เกิดจากการหลอมละลายบางส่วนของเนื้อโลกส่วนบน (upper mantle) และแมกมาที่ได้จากการหลอมตัวของหินหรือตะกอนจากเปลือกโลกมักมีความสมบูรณ์ของธาตุหายากสูง ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะอะตอมขนาดใหญ่ของธาตุหายาก และภายใต้สภาพแวดล้อมที่สัมพันธ์กับแมกมาและน้ำแร่ร้อนสำหรับแหล่งธาตุหายากในกลุ่มนี้ อาจจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ (1) แหล่งที่เกิดสัมพันธ์กับหินคาร์บอเนไทต์และ/หรือหินอัคนีเนื้ออัลคาไลน์ (2) แหล่งที่เกิดไม่สัมพันธ์กับหินคาร์บอเนไทต์หรือหินอัคนีเนื้ออัลคาไลน์

- **แหล่งที่เกิดสัมพันธ์กับหินคาร์บอเนไทต์และ/หรือหินอัคนีเนื้ออัลคาไลน์ (Carbonatite-associated and/or alkaline igneous rock-associated deposits)**

หินคาร์บอเนไทต์ (carbonatite) คือหินอัคนีชนิดพิเศษที่มีต้นกำเนิดมาจากการหลอมตัวของเนื้อโลกส่วนบน (upper mantle) เป็นแมกมาที่อุดมไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แต่มีปริมาณซิลิกาต่ำ และเมื่อแข็งตัวจะให้เนื้อหินประกอบขึ้นด้วยแร่คาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งมวลหินคาร์บอเนไทต์ส่วนใหญ่ที่พบมักเกิดร่วมกับมณฑลหินอัคนีซับซ้อนเนื้ออัลคาไลน์ (alkaline igneous rock complexes) ภายในแผ่นทวีปที่ค่อนข้างมีความเสถียร (relatively stable crustal region) โดยเฉพาะในบริเวณที่มีระบบรอยเลื่อนขนาดใหญ่ หรือที่มีร่องทรุดตัวกลางแผ่นทวีป (rifting) เกิดขึ้นแหล่งธาตุหายากประเภทนี้มีแร่อัลคาไล (alkali minerals) ชนิดต่างๆเป็นแร่บ่งชี้ที่สำคัญเช่นแร่โซดาไลต์ (sodalite: สีน้ำเงินเข้ม) ยูเดียไลต์ (eudialyte: สีชมพู/แดง) แอ็คไมต์ (acmite: สีน้ำตาล/เขียว) อัลคาไลแอมฟิโบล (alkali-amphiboles: สีน้ำเงิน/ดำ) รินโคไลต์ (rinkolite: น้ำตาลแดง/น้ำตาลเหลือ) และแกโดลิไนต์ (gadolinite: สีเขียว/น้ำตาล-ดำ)เป็นต้น

- **แหล่งที่เกิดไม่สัมพันธ์กับหินคาร์บอเนไทต์หรือหินอัคนีเนื้ออัลคาไลน์ (Carbonatite or alkaline igneous rock-unrelated deposits)**

แหล่งปฐมภูมิกลุ่มย่อยนี้ไม่สัมพันธ์กับมวลหินอัคนีเนื้ออัลคาไลน์ แต่เกิดร่วมกับหินอัคนีเนื้ออื่น ๆ โดยมีหลากหลายชนิดรูปแบบย่อยขึ้นอยู่กับกระบวนการก่อตัวของแร่ ที่เกิดจากไอหรือสายน้ำแร่ร้อนผ่านกระบวนการแทนที่แบบฝังประ (disseminated) หรือแบบมวล (massive) หรือการเกิดโซนชิ้นหินเหลี่ยม

(hydrothermal breccia) รวมไปถึงกระบวนการแปรสภาพ โดยชนิดที่มีความสำคัญที่สุดในกลุ่ม คือ แหล่งธาตุหายากที่เกิดร่วมกับแร่เหล็ก (iron-REE deposits) หรือ “iron-oxide-copper-gold (IOCG)” deposit ที่เรียกทั่วไปว่า “Olympic Dam” type

<u>แหล่งธาตุหายากทุติยภูมิ</u>

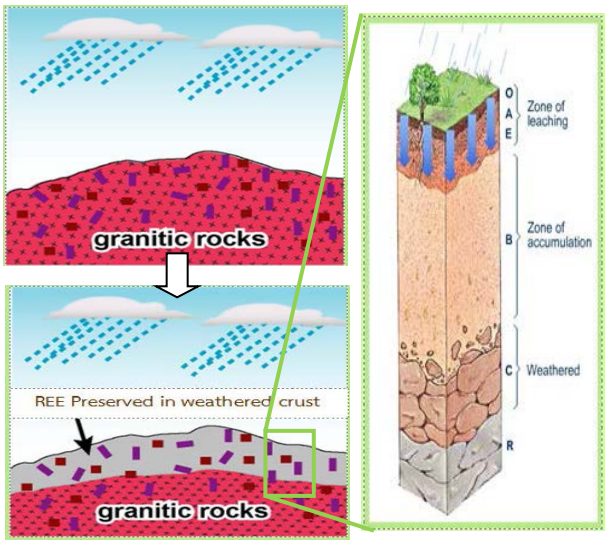
โดยทั่วไป แหล่งธาตุหายากกลุ่มจะเกิดสัมพันธ์กับกระบวนทางตะกอนวิทยา (Sedimentaryprocess-related Deposits) ที่เกี่ยวข้องกับการผุพังทางกายภาพและการผุสลายทางเคมีของเนื้อหินต้นกำเนิด ซึ่งจะทำให้แร่ให้ธาตุหายาก หรืออนุภาคของธาตุหายากหลุดออกมาจากจุดกำเนิดเดิม แล้วมีการเคลื่อนย้ายหรือพัดพามาสะสมรวมตัวกันใหม่เป็นแหล่งแบบทุติยภูมิที่สามารถจำแนกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

แหล่งแบบลานแร่ (Placer Deposits)

แหล่งธาตุหายากแบบลานแร่นี้เป็นแหล่งที่เกิดจากการที่แร่ให้ธาตุหายากที่คงทนต่อการผุสลายตัว มักมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง (ถ.พ.) และยังคงหลงเหลือจากการผุพังของหินต้นกำเนิด อาทิ โมนาไซต์ ซีโนไทม์ และซามาสไกต์ ถูกเคลื่อนย้ายหรือพัดพามาสะสมตัวใหม่ปะปนกับแร่หนักที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงชนิดอื่น ๆ เช่น ดีบุก อิลเมไนต์เซอร์คอน รูไทล์การ์เนต และ/หรือ ทองคำซึ่งสะสมตัวในสภาพแวดล้อมภายใต้อิทธิพลของระบบทางน้ำบนบก (fluvialile, lacustrine และ deltaic) เกิดเป็นแหล่งแร่แบบลานแร่ (placer deposits) และ/หรือผสมผสานกับอิทธิพลของกระแสคลื่นลม กระแสคลื่นขนานชายฝั่ง (long-shore currents) และน้ำขึ้น-น้ำลง เกิดเป็นแหล่งแร่แบบตะกอนชายหาดและเนินทราย (beach and dune sand deposits) เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยเคยมีการผลิตแร่หายากประเภทนี้เป็นแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีต

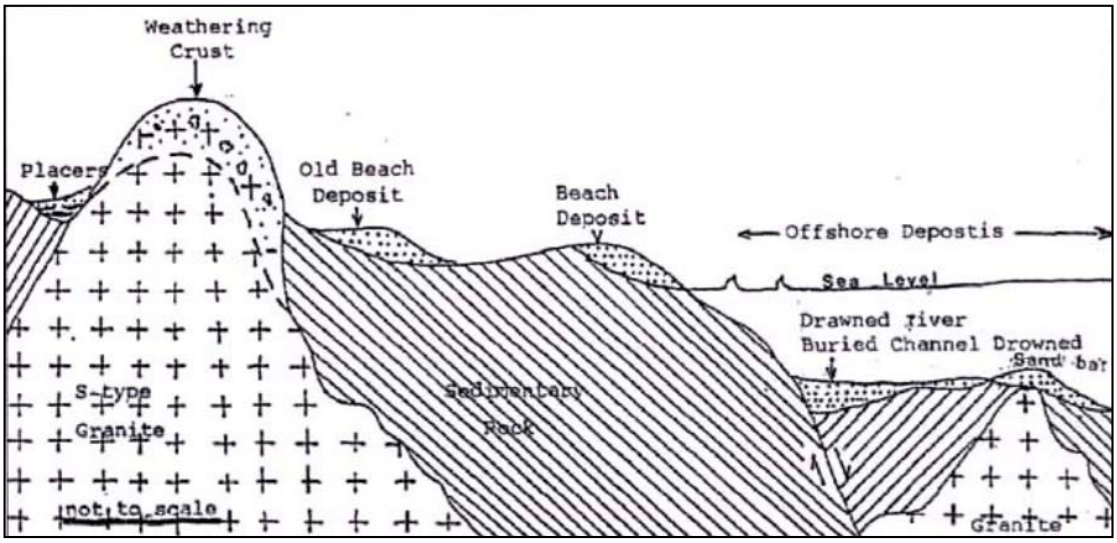
แหล่งแบบตกค้างสะสม (Residual Accumulation Deposits)

แหล่งธาตุหายากแบบตกค้างสะสมนี้เป็นแหล่งที่เกิดจากอิทธิพลของกระบวนการผุพังทางเคมีอยู่กับที่ระดับสูง (in-situ deep chemical weathering) ของหินต้นกำเนิดซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณความสมบูรณ์ของแร่ให้ธาตุหายากในชั้นดิน/หินผุวางตัวเป็นชั้นหนาปิดทับเหนือมวลหินสดและสำหรับพื้นที่หินแกรนิตที่มีความสมบูรณ์ของธาตุหายาก (REE-rich host rocks) ที่อยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความชุ่มชื้นสูง และมีลักษณะธรณีแปรสัณฐานที่เสถียรเป็นระยะเวลานานซึ่งจะมีระดับการผุพังทางเคมีสูงส่งผลให้แร่ให้ธาตุหายากตกค้างในชั้นดิน/หินผุบางส่วนไม่สามารถคงสภาพความเป็นแร่ไว้ได้จะปลดปล่อยอะตอมของธาตุหายากออกมาและถูกจับยึดไว้ที่ผิวผลึกของแร่ดินที่เป็นผลมาจากการผุพังของแร่เฟลด์สปาร์และแร่ประกอบหินชนิดอื่นในเนื้อหินต้นกำเนิด ในรูปแบบของการดูดซับไอออน (Ion-adsorption type) (รูปที่ 2) (ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช, 2558)



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบจำลองของการเกิดแหล่งแร่หนัก-ธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่เหนือมวลหินแกรนิต (คัดลอกจาก www.agsci.psu.edu, 2012)

ในปัจจุบันแหล่งธาตุหายากที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มี 3 รูปแบบหลัก ได้แก่แหล่งที่สัมพันธ์กับหินคาร์บอเนไทต์และหินอัลคาไล (โดยมีแร่แบสต์เนไซต์ โมนาไซต์และอะพาไทต์ เป็นแร่หลัก) แหล่งแร่แบบลานแร่ (โดยพบแร่โมนาไซต์และซีโนไทม์สะสมตัวร่วมกับแร่หนักอื่น ๆ) และแหล่งแร่แบบตกค้างสะสมแบบดูดซับปะจุ (โดยไอออนของธาตุหายากถูกดูดซับไว้ด้วยผลึกแร่ดินที่ตกค้างในชั้นดิน/หินผุเหนือมวลหินแกรนิต)สำหรับประเทศไทยนั้น มีศักยภาพสูงที่จะสามารถพบแหล่งธาตุหายากทุติยภูมิที่สัมพันธ์กับมวลหินแกรนิตได้ทั้ง 2 แบบ คือ แหล่งแร่แบบลานแร่ และแหล่งแร่แบบผุพังอยู่กับที่ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ภาคตัดขวางแสดงลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่โลหะหายากแบบทุติยภูมิชนิดต่าง ๆ ที่พบในประเทศไทย (กิงดาว เคลือบทอง และจำรูญ อุ้ยศิริไพศาล, 2553)

เอกสารอ้างอิง

กิ่งดาว เคลือบทอง และจำรูญ อุ้ยศิริไพศาล (2553). *การจัดทำและกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติและการใช้ทรัพยากรแร่โลหะหนักและโลหะหายากของประเทศไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี. หน้า 53.

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช (2558). *สถานการณ์แร่หนัก-ธาตุหายาก*. กรุงเทพฯ: สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี. หน้า 2-17.