

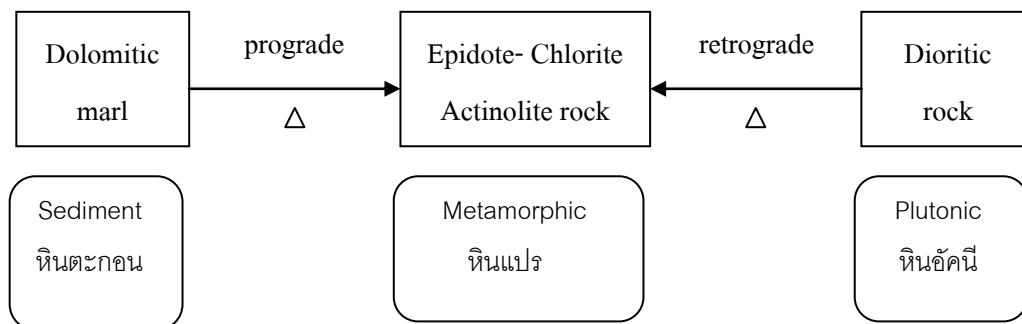
9.4 แหล่งแร่ที่สัมพันธ์กับหินแปร

9.4.1 บทนำ

โดยทั่วไปการแปรสภาพ (metamorphism) มักเกิดขึ้นในลักษณะหรือภาวะทางเคมีที่คงที่ แต่อุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้ได้ก๊าซ เช่น CO_2 , CH_4 , S , H_2O จนเกิดการหลบหนีไปจากระบบหรือที่ๆมันเกิดได้ ซึ่งภาวะเช่นนี้ย่อมทำให้ส่วนประกอบโดยรวมเกิดการเปลี่ยนแปลงแหล่งความร้อนจากกระบวนการแปรสภาพอาจนำเอาส่วนประกอบบางอย่างที่ไม่ได้อยู่ในหินเดิมเข้ามาได้ด้วย โดยกระบวนการที่เรียก "metamorphosis" ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการแปรสภาพหินเป็นภาวะคงที่ทางเคมี แต่การแปรสลับเปลี่ยน (metasomatism) กลับไม่ใช่เพราะมีการนำพาเอาสารอื่นจากหินอัคนีเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

ในการศึกษาแหล่งแร่นั้น มีค่าทางการแปรสภาพหินที่สำคัญ 3 อย่างคือ

- 1) การแปรสภาพลำดับส่วน (Metamorphic differentiation) เป็นคำรวมๆ สำหรับกระบวนการต่างๆ ที่แร่หรือกลุ่มแร่แยกจากหินแม่หรือหินเดิมในระหว่างการเกิดการแปรสภาพหิน เช่น แร่โกเมน (garnet) ผลึกดอกแปรในหินชีสมีไมกา (segregate)
- 2) การแปรสภาพผนวก (Metamorphic convergence) เป็นคำที่แสดงถึงการเกิดการแปรสภาพ 2 ทิศทางสวนกัน (opposite direction) แต่ให้ผลลัพธ์เป็นอย่างเดียวกัน เช่น ที่ได้แสดงในไดอะแกรมข้างล่าง ณ ที่อุณหภูมิหนึ่ง หินไดโอไรต์อาจแปรสภาพย้อนกลับ (retrogressive) ในขณะที่หินปูนดินโดโลไมต์ (dolomitic marl) แปรสภาพต่อเนื่อง (progressive) จนทำให้ได้หินที่มีองค์ประกอบทางแร่แบบเดียวกัน คือ หิน epidote-chlorite-actinolite



- 3) การแปรสภาพแพร่กระจาย (Metamorphic diffusion) เป็นการเคลื่อนย้ายสารโดยการแพร่กระจายจากส่วนหนึ่งของมวลหินไปยังอีกส่วนหนึ่งโดยการแปรสภาพหิน การแพร่กระจายดังกล่าวต้องอาศัยตัวกลางในการแพร่กระจาย เช่น ของไหลจากหินหนืดหรือของไหลจากแร่ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหรือคาร์บอนเนต โดยที่การแพร่กระจายบางครั้งพบว่าเกิดในสภาพที่เป็นของแข็งก็ได้ด้วย

สำหรับการจำแนกแหล่งแร่หินแปรนั้น ในหนังสือเล่มนี้อาศัยชนิดหินเป็นตัวกำหนดโดยเน้นเฉพาะการแปรสภาพไพศาล(แบบกินบริเวณ)โดยเฉพาะในแถบแนวคดโค้งใหญ่(fold belts)หลายคนได้เสนอว่าการจำแนกแหล่งแร่แปรสภาพกับแหล่งแร่ที่ไม่แปรสภาพหาจุดแบ่งได้ยาก(no sharp boundary)และหลายแหล่งแร่ที่ได้เคยกล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนๆ หลายแหล่งเป็นแหล่งแร่แปรสภาพแบบชั้นต่ำด้วยเช่น

- 1) แหล่งแร่ทอง-ยูเรเนียมในหินกรวดของวิคตอเรียแสดงลักษณะการแปรสภาพชั้นต่ำด้วย จนทำให้เกิดการกระจายตัวของแร่ใหม่และเกิดมีแร่ใหม่ด้วย ซึ่งหลายคนที่ไม่แปลกใจว่าการเกิดของแหล่งแร่คงมาจากการสะสมตัวในลานแร่ในอดีต (paleoplacer) นั่นเอง
- 2) แหล่งแร่ VMS มักเกิดอยู่ในหินภูเขาไฟ(-ตะกอน)ที่แปรสภาพไป เช่น กลุ่มชุดแร่ pumpellyite ไปเป็นกลุ่มชุดแร่ chlorite ซึ่งเราก็สามารถตรวจสอบชนิดหินเดิมได้ว่าเป็นหินภูเขาไฟสีเข้มถึงเข้มปานกลางได้ เช่น อิกนิมไบรต์ ทัฟฟ์ หินละลายรูปหมอนหรือหินตะกอน เช่น หินดินดานสีดำ หินทรายสกปรก (graywacke) หินเชิร์ต ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากสนาม แม้บางแห่งหินเกิดการแปลงสภาพหินโดยน้ำร้อนจนแทบจำไม่ได้

ซึ่งในที่นี้เราจะไม่อธิบายถึงแหล่งแร่ที่เกิดร่วมกับหินแปรชั้นต่ำ แต่จะให้ความสนใจพวกที่มีการแปรสภาพชั้นสูงถึงชั้นปานกลางมากกว่า โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

- ก) แหล่งแร่ถูกแปรสภาพ (metamorphosed deposits) : แหล่งแร่เกิดมาก่อนการแปรสภาพ แต่การแปรสภาพไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแจ่มชัด
- ข) แหล่งแร่จากการแปรสภาพ (metamorphogenic deposits) : แหล่งแร่ที่เกิดจากหรือเป็นผลมาจากการบวนการแปรสภาพโดยตรง ซึ่งเกี่ยวข้องกับของไหลแปรสภาพและการกักเก็บจากการแปรสัณฐานและโครงสร้าง
- ค) แหล่งแร่ผสมการแปรสภาพ (metamorphogenic deposits) : แหล่งแร่ที่เกิดมีค่าเชิงพาณิชย์อยู่ก่อนแล้ว ก่อนการแปรสภาพซึ่งต่อมาแหล่งเพิ่มค่าความสมบูรณ์ของแหล่งจนมีค่าเชิงพาณิชย์เนื่องจากการแปรสภาพ

9.4.2 แหล่งแร่ถูกแปรสภาพ

การแปรสภาพชั้นสูงอาจบดบังลักษณะเฉพาะของหินจนแทบจำหินเดิมไม่ได้ อย่างไรก็ตามสำหรับนักสำรวจโลหะที่ทำงานในภูมิภาคที่หินถูกแปรสภาพอย่างมาก ต้องพยายามหาคำตอบเพื่อหาสภาพแวดล้อมเดิมที่หินเกิดการสะสมตัวให้ได้ ซึ่งถ้าเขาทำได้เขาก็สามารถประเมินค่าแหล่งแร่ได้

หลายพื้นที่ดังกล่าวมักรองรับด้วยหินไนส์ ปัญหาสำคัญที่พวกเขาต้องตอบให้ได้คือเป็นหินพาราไนส์ (para-gneiss) หรือหินออร์ทไนส์ (orthogneiss) หรือถ้าจะพูดให้ถูกคือหินเดิมเป็นหิน pelitic (เพลลิติก) หรือหินภูเขาไฟ ถ้าบอกได้น่าจะเป็นอย่างหลังก็จะดีเพราะอาจได้แหล่งแร่ VMS ได้ (ดูรูป 9.4.1)

แหล่งทองคำแฮมโล (Hemlo) รัฐออนตาริโอ (แคนาดา) ซึ่งมีปริมาณสำรอง 75 ล้านตัน ณ ที่ความสมบูรณ์ของทอง 8.6 นตล(ppm) การเกิดแหล่งแร่อยู่ในหินแปรชั้นกรีนชีสจนถึงแอมฟิโบลต์ เช่น ชิสมิควอร์ต-ไมก้า ไฟรต์และหินไนส์ เนื่องจากมีแร่ควอร์ตเป็นรูปลูกตา นักสำรวจแถบนั้นรู้ว่าหินเดิมน่าจะเป็นตะกอนภูเขาไฟสีจาง (felsic pyroclastics) ด้วยเหตุนี้หลายท่านจึงจำแนกแหล่งแร่ทองแบบนี้ให้มีการเกิดเป็นแบบภูเขาไฟฟั่น (volcanic exhalative)

ที่อเมริกาเหนือแหล่งแร่สังกะสี-แมงกานีส-เหล็กของเหมืองแฟรงคลิน(Franklin)ในรัฐนิเจอร์ซี ก็อาจเรียกได้ว่าเป็นแหล่งแร่ที่ถูกแปรสภาพ แหล่งแร่จัดเป็นแหล่งแมงกานีสในหินตะกอน (sedimentary manganese deposit) สังกะสีมีแมงกานีสที่สำคัญก็คือ แร่แฟรงคลินไนด์(franklinite) มีสูตร $(\text{Fe, Zn Mn})\text{O}$ $(\text{Fe, Mn})_2\text{O}_3$ ซึ่งเป็นแร่สปีเนลชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณถึง 50% และแร่เวลเลมไมต์(willemite)สูตร $(\text{Zn}_2\text{SiO}_4)$ ประมาณ 30%, และแร่ซินไซต์ (Zincite) สูตร (ZnO) ประมาณ 6% ที่เหลือเป็นแร่ไร้ค่า (gangue) หรือกากแร่ เช่น แคลไซต์ ประมาณ 10% และมีแร่ประกอบอื่นๆ อีก เช่น แร่ tephroite $(\text{Mn}_2\text{SiO}_4)$, Zinc pyroxene, Zinc amphibole, gahnite (= Zinc spinel) และ Mn-garnet รวมแล้วมากกว่า 100 แร่

สำหรับออสเตรเลียเหมืองโบรเคนฮิลล์ (Broken Hill) ในรัฐนิวเซาท์เวลส์ (รูป 9.4.2) ที่ถูกค้นพบตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เกิดอยู่ในหินไนส์อายุพรีแคมเบรียน ต่อมาหลังจากนั้นในรัฐนิวเซาท์เวลส์ จึงได้มีการค้นพบแหล่งใหม่ๆ ขึ้น เช่น ช่วง ค.ศ.1960 พบแหล่งแร่ที่นามาควาลันด์ (Namaqualand) (อาฟริกาใต้) และคาราจาซ (Carajas) ในป่าอะเมซอน (บราซิล)

ในแถบนามาควาลันด์ ได้มีการค้นพบปริมาณแร่ชนิดใหม่ ปริมาณสำรองของแร่โลหะพื้นฐานที่ว่ามีมากกว่า 400 ล้านตัน และที่แหล่งที่ชื่อแกมส์เบิร์ก (Gamsberg) มีปริมาณสำรองถึง 150 ล้านตัน ณ ความสมบูรณ์สังกะสี 7.1% และตะกั่ว 0.5% สำหรับลักษณะธรณีวิทยาของแหล่งและภาพตัดขวางได้แสดงไว้ในรูป 9.4.3 ส่วนแหล่งอูโตคัมปู(Outokumpu) ของประเทศฟินแลนด์ได้แสดงในรูป 9.4.4

9.4.3 แหล่งแร่ผสมการแปรสภาพ

การแปรสภาพหินอาจยังผลให้แหล่งแร่เศรษฐกิจถูกทำลายไปได้ หรืออาจทำให้เกิดการเพิ่มความสมบูรณ์ของสินแร่ในแหล่งด้วยก็ได้ ดังนั้นส่วนประกอบหรือองค์ประกอบของแร่ในแหล่งจึงเป็นตัวกำหนดปฏิกิริยา (reactivity) ในระหว่างการแปรสภาพได้ แร่โครไมต์อาจจะเหลืรอดมาได้เพราะเป็นแร่ที่ทนทาน ส่วนแร่ซัลไฟด์หลายตัวไม่สามารถทนต่อสภาวะการแปรสภาพได้ แร่ซัลไฟด์(รวมทั้งทองคำ)จึงเคลื่อนย้ายตัวไปอยู่ในที่ที่มีความดันต่ำ) เจกเช่นแร่ควอร์ตในหินชีสหรือหินไนส์เหมือนกัน ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นในอุโมงค์หรือในหินโผล่ หลายครั้งที่เราเห็นแร่ซัลไฟด์ไปกระจุกอยู่ในส่วนของหินที่มีความดันต่ำและถึงแม้เมื่ออุณหภูมิ-ความดันสูงขึ้น เช่น ที่กลุ่มชุดแร่หินแปรสูงๆ แร่ไพไรต์จึงทำปฏิกิริยากับแร่ซิลิเกตของ Mg และ Fe จนเกินเป็นแร่พิไรไทต์ (FeS) และ Mg-silicates ตัวอื่น

ในมอโรคโคเหมืองไบเด้า (Bleida) แหล่งแร่ VMS ชนิดเบสซีที่ถูกแปรสภาพและเกิดรอยเลื่อนหลังเกิดแหล่งแร่ (post-ore faulting) ยังผลให้ปริมาณทองแดงในแหล่งสูงขึ้น การเกิดเป็นวงแร่ (zoning) ตั้งแต่แร่บอไนต์ → แคลโคไพไรต์ → แคลโคไพไรต์+ไพไรต์(pyrite) สามารถสังเกตได้โดยตรงในบริเวณแนวรอยเลื่อน ทำให้สามารถทำเหมืองทองแดงได้เป็นจุดๆ

การแปรสภาพหิน - แบบไพศาล และรวมทั้งแบบสัมผัส - อาจเกิดการตกผลึกของแร่ซัลไฟด์ใหม่ แหล่งแร่ซัลไฟด์โดยเฉพาะ SEDEX มักมีผลึกของแร่ซัลไฟด์ละเอียด ดังนั้นในแง่โลหะการหรือการ

ถลุงแร่จึงเป็นเรื่องไม่คุ้มทุนแม้ว่าจะมีคุณภาพดีก็ตาม แต่การตกผลึกใหม่ของแร่ทำให้ได้แร่ผลึกใหญ่ขึ้นอีก ทั้งส่วนที่เป็นผลึกเจริญร่วมมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำเหมืองได้

ในทางตรงข้าม แหล่งแร่อาจถูกทำลายลงก็ได้ขณะเกิดการแปรสภาพ เช่น การถูกยัดออก (ดูรูป 9.4.1) จนถึงแตกเป็นท่อนๆ คล้ายไส้กรอก (boudinage) หรือทำให้สินแร่แตกร่วนไปหมดก็ได้ การเกิดรอยแตกมักส่งผลให้เกิดการแทรกตัวของสายแร่ที่ไม่มีสินแร่ซึ่งส่งผลให้ตัวสินแร่มีคุณภาพด้อยลงได้

9.4.4 แหล่งแร่จากการแปรสภาพ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วความสมบูรณ์ของแหล่งแร่อาจเพิ่มขึ้นได้ โดยการแปรสภาพลำดับส่วน เช่น ทำให้หินไนส์หรือชีสต์มีความสมบูรณ์ขึ้น โดยปราศจากปริมาณปูน (lime) และการเกิดแร่เดี่ยว (monomineralic) ในรูปก้อนกลม ชั้นหินของแร่จำพวกอะลูมิเนียม ซิลิเกต เช่น ไดอไนต์หรือซิลิมาไนต์ และ อะลูมิเนียมออกไซด์ (คอร์ันดัม) ในพม่า ศรีลังกา และจีนตอนใต้ แหล่งแร่พลอยมีค่าหลายแหล่ง เช่น แซฟไฟร์ ทับทิม (ruby) หยก (jade) ก็เกิดในหินปูนที่ถูกแปรสภาพไป ดังนั้นในการทำเหมืองจึงทำในบริเวณที่มีการผุพังของหินสูงๆ หรือใบลานแร่ ซึ่งแร่พลัด (detrital) มาจากแหล่งปฐมภูมิ

แหล่งแร่ทองคำในสายแร่ควอร์ตพบมากในบริเวณแถบกรีนสโตน (greenstone หรือหินสีเขียว) ทั้งในคานาดา ออสเตรเลีย และซิมบับเว (Zimbabwe) แต่การเกิดของแหล่งแร่ยังมีการถกเถียงแบบไม่มีที่สิ้นสุด ในตอนช่วงแรกของการศึกษาวิจัย คิดว่าน่าจะเป็นการเกิดในแบบสายแร่ร้อน แบบอุณหภูมิสูงปานกลาง (mesothermal) โดยมีหลักฐานยืนยันไม่มากนัก แต่ในสมัยต่อมาจนถึงช่วงปัจจุบัน การศึกษาภาวะการเกิดได้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการแปรสภาพไพศาลแบบกินเวลายาวนาน (prolong regional metamorphism) โดยที่ทองคำและควอร์ตเกิดการเคลื่อนตัวโดยกระบวนการแปรสภาพหิน (แบบ) แพร่กระจาย (ดูรูป 9.4.5 และ 9.4.6) เข้าไปในบริเวณความดันต่ำ เช่น จมูกแนวคดโค้ง (fold nose) สายแร่จากรอยปริ (gash vein) หรือบริเวณแนวรอยแตกเค้นอัด (shear zone) ซึ่งลักษณะแปรสัณฐานดังกล่าวนี้เกิดหลังจากการเกิดหินสีเขียว (Greenstone) เป็นระยะเวลาานานมาก ซึ่งสายแร่ทองเหล่านี้มักมีความสมบูรณ์ต่ำ แต่ในบางแห่งก็สามารถทำเหมืองได้จากบริเวณแหล่งแร่หินผุอยู่กับที่ (residual หรือ in-situ deposit) และจากลานแร่ น้ำพา

9.4.5 แนวทางการสำรวจ

กล่าวโดยสรุป (ดูฐานข้อมูลที่ 11) หินแปรอาจทำให้เกิดแหล่งแร่ได้ถ้าการแปรสภาพเกิดหลังตัวแหล่ง การแปรสภาพหินอาจทำให้แหล่งแร่ที่มีสินแร่เดิมอยู่แล้วสมบูรณ์ขึ้นเพราะอาจทำให้การแต่งแร่ทำได้ง่ายและประหยัดขึ้นเนื่องจากแร่ผลึกหยาบขึ้น อย่างไรก็ตามแหล่งแร่ซัลไฟด์จากหินตะกอน เช่น แหล่งแมกอาเธอร์รีเวอร์ (ออสเตรเลีย), หรือแหล่งโศวาคพาส (คานาดา) กลับไม่สามารถแต่งแร่ในลักษณะนั้นได้ แม้มีการแปรสภาพหินแล้วก็ตาม ที่เป็นเช่นนี้เพราะปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่กระจายตัวอยู่ในหินช่วยขวางกั้นการขยายตัวของผลึก ในปัจจุบันหลายท่านเชื่อว่าสายแร่ควอร์ตปนทองหรือควอร์ตปนพลวงกำเนิดจากการ

แปรสัณฐานและการแปรสภาพหิน ยิ่งถ้าสายแร่ควอร์ตแสดงลักษณะการแตกหักหรือรอยแตกหลายครั้งและถูกปิด (cealed) หรือเชื่อมต่อ (annealing) เป็นระยะเวลายาวนานอาจเป็นลักษณะสำคัญต่อการสำรวจดั่งแหล่งแร่จึงไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้กับแนวเส้นโครงสร้างหลัก (major lineament) เสมอไป แต่บ่อยครั้งกลับพบว่าแหล่งแร่อยู่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นหินที่แสดงการแตกหัก (brittle) กับชั้นหินที่ไม่แสดงการแตกหัก (ductile) กระบวนการบางอย่าง เช่น การสูญเสียน้ำ (dehydration, ในรูป 9.4.5) และการกระจายตัวด้านข้าง (lateral secretion, รูป 9.4.6) ทำให้วิศวกรโลหกรรมสนใจ เนื่องจากเป็นสิ่งที่ได้จากโครงการเจาะหลุมลึกของรัสเซียและเยอรมันนั่นเอง

อนึ่ง ข้อมูลที่แสดงถึงแหล่งแร่สำคัญ ๆ ของโลก ที่เกิดร่วมในหินแปรได้รวบรวมไว้ในฐานข้อมูลที่ 11

รูป 9.3.2 รูปแบบการพัฒนาของชั้นแซบโบรไลต์และชนิดแร่ โดยมีชั้นคิลาแลงพัฒนาอยู่ด้านบน ให้สังเกตว่าชั้นคิลาแลงมีความหนาต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพความรุนแรงของการผุพังและภูมิฐานในแต่ละพื้นที่ เช่น ที่ Baithuis ใน Surinam, Pocos de Caldas ในบราซิล

รูป 9.3.81 เหมือง Silvermine A-รูปบนเป็นแผนที่แหล่งแร่ และ B- รูปร่างแสดงภาพตัดขวางในแนว AB ของรูปบนผ่าน
แหล่ง Upper G และ Lower G (Taylor & Andrew, 1978)

ฐานข้อมูลที่ 9.11 แหล่งแร่ที่เกิดร่วมในหินแปร(จาก Aleva & Westerhof, 1989)

MINERAL DEPOSSITS HOSTED BY METAMORPHIC ROCKS

Ore grade, reserves and sulphur isotopes at aggeneys and Gamsberg