

## แหล่งแร่ร้อน (hydrothermal deposits)

วนัฐชยา ชัดศรี และ ปัญญา จารุศิริ  
กองทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี

แหล่งแร่ประเภทนี้มักเกิดเป็นสายแร่ (veins, หนา >1 มม.) หรือสายแร่เล็ก ๆ (veinlets, หนา <1 มม.) ส่วนใหญ่เกิดจากการตกผลึกของแร่จากน้ำร้อนไปตามรอยแตกหรือผนังของหินเฮอร์ (host rock) และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหินเฮอร์ (กพร.) การสะสมตัวของแร่เกิดขึ้นในช่องว่างของหินและไม่แทรกเข้าไปในเนื้อหินเฮอร์ ทำให้แบ่งแยกขอบเขตของช่องว่างและเนื้อหินเฮอร์ได้อย่างชัดเจน สายแร่ที่สะสมตัวในช่องว่างของหินเฮอร์นี้เรียกว่า “แหล่งแร่ร้อน (hydrothermal deposit)” (รูปที่ 1) เนื่องจากแร่ชนิดต่าง ๆ ในสายแร่เกิดจากการตกผลึกของสารละลายในน้ำร้อน ในกรณีที่รอยแตกของหินเฮอร์ที่มีสายแร่เกิดอยู่ โดยหินเฮอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ไปด้วย เช่น บางส่วนของหินเฮอร์อาจเกิดการละลายหรือถูกละลายไปโดยน้ำร้อน หรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำร้อนหรือไอของน้ำร้อนแล้วเกิดแร่ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุขอบเขตของสายแร่และหินเฮอร์ได้ชัดเจนเรียกแหล่งแร่ชนิดนี้ว่า “แหล่งแร่ร้อนแบบแทนที่ (hydrothermal replacement deposit)” ซึ่งจากสารละลายน้ำร้อนไปแทนที่หินเฮอร์และเกิดเป็นแร่ชนิดใหม่ และมักเกิดในหินที่ละลายน้ำได้ดี เช่น หินปูน เป็นต้น สายแร่ร้อนที่เกิดจากการแทนที่จึงถือว่าเป็นกระบวนการเกิดสายแร่แบบแปรสภาพด้วยน้ำร้อน (hydrothermal metamorphism)



(<http://earthsci.org/mineral/mindep/vein/vein.html>)

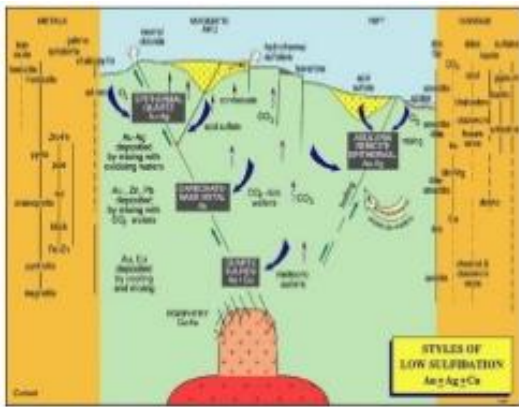


(<https://www.pwsalestone.com/category/28/>)

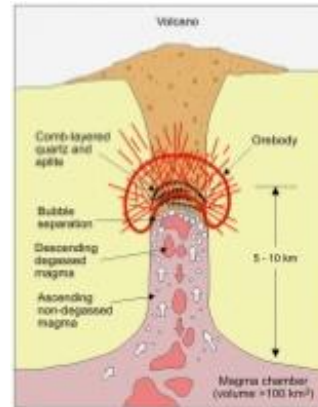
รูปที่ 1 แผ่นหินเรียบแสดงลักษณะและรูปร่างของสายควอตซ์ (ขนาดเล็ก) ช้าย-จากออสเตรเลีย ขวา-จากไทย

สายแร่ร้อนเกิดขึ้นที่ความลึกระดับต่างกันและที่อุณหภูมิต่างกัน (ตั้งแต่ 50 °C - 600 °C) จึงนิยมใช้การแบ่งตามความลึกและอุณหภูมิที่เกิด (ปัญญา จารุศิริ, 2555) โดยจัดแบ่งออกได้เป็น 3 จำพวกใหญ่ ๆ (รูปที่ 2) ได้แก่

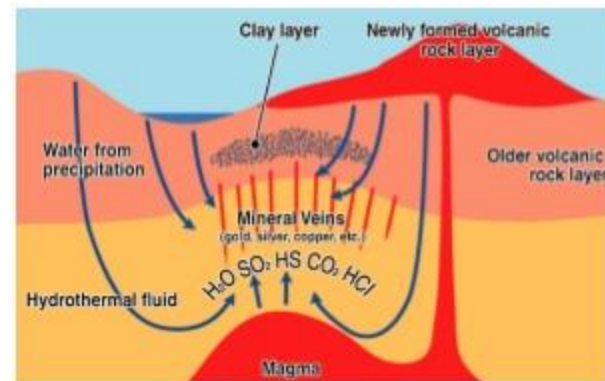
**Epithermal** : hydrothermal ore deposits formed at shallow depths (less than 1500 meters) and fairly low temperature (50 - 200 °C)



**Mesothermal** : hydrothermal ore deposits formed at intermediate depths (1500 - 4500 meters) and temperature (200 - 500 °C)



**Hypothermal** : hydrothermal ore deposits formed at substantial depth (greater than 4500 meters) and elevated temperature (400 - 600 °C)



(<http://earthsci.org/mineral/mindep/vein/vein.html>)

รูปที่ 2 ชนิดของสายแร่ร้อนที่แบ่งตามความลึก ได้แก่ ลีทิกมาก (> 4.5 กม) ลีทิกปานกลาง (1.5 - 4.5กม) และลีทิกน้อย (หรือตื้น <1.5 กม)

**ก. แหล่งแร่ระดับลีทิกมาก (Hypothermal deposits)**

แหล่งแร่ระดับลีทิกมากมักเกิดขึ้นที่ระดับความลึกจากผิวดินหลายๆ (> 4.5 กม.) มีอุณหภูมิและความดันสูง โดยอุณหภูมิการเกิดอยู่ระหว่าง 400 - 600 องศาเซลเซียส เช่น สายแร่ดีบุก-ทังสแตน-โมลิบดีนัม (cassiterite-wolframite-(molybdenum) vein), สายแร่ทองคำ (gold-quartz veins) (รูปที่ 3), สายแร่ทองแดง-ทัวร์มาลีน (copper-tourmaline veins), และสายแร่ตะกั่ว-ทัวร์มาลีน (lead-tourmaline veins) โดยทั่วไปแร่ที่มักพบในการเกิดแบบนี้ เช่น ควอตซ์ (quartz) ฟลูออไรต์ (fluorite) ทัวร์มาลีน (tourmaline) และโทแพส (topaz) ส่วนแร่รอง เช่น ทองคำ (native gold : Au) กาลีนา (galena : PbS) คาลโคไพไรต์ (chalcopyrite : CuFeS<sub>2</sub>) ไพไรต์ (pyrite : FeS<sub>2</sub>) โมลิบดีไนต์ (molybdenite : MoS<sub>2</sub>) บิสมัททินไนต์ (bismuthinite : Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), และอาร์เซนไพไรต์ (arsenopyrite : FeAsS) หลายแห่งพบแร่ออกไซด์ เช่น ยูรานินไนต์ (uraninite : UO<sub>2</sub>) แคสซิเทอไรต์ (cassiterite : SnO<sub>2</sub>) แมกนีไทต์ (magnetite : Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) วุลแฟมไมต์ (wolframite : (Fe,Mn)WO<sub>4</sub>) ซีไลต์ (scheelite : CaWO<sub>4</sub>) ดังนั้นแร่ที่เกิดจากแหล่งแร่ร้อนลีทิกมาก (hypothermal deposits) เช่น ทองแดง (Cu) โมลิบดีนัม (Mo) ดีบุก (Sn) ทังสแตน (W) ทองคำ (Au) และตะกั่ว (Pb) เป็นต้น



(1)



(<https://www.youtube.com/watch?v=L1mazxo190g>)

(2)



(Lupulescu และคณะ, 2014)

รูป 3 (1) ตัวอย่างสินแร่ทองคำในสายแร่ควอร์ต (High Grade Gold Quartz Vein With Bornite, Chalcopyrite & Galena)  
 (2) อะลันไดต์ (allanite)-สินแร่ซีเรียม (cerium-Ce) ในสายเพกมาไทต์ ควอร์ต-มัลโคไวต์ เหมือนเบนสัน (Benson Mine),  
 St. Lawrence County รัฐนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา

### ข. แหล่งแร่ระดับลึกปานกลาง (Mesothermal deposits)

สำหรับแหล่งแร่ระดับความลึกปานกลาง เกิดการสะสมตัวที่ระดับความลึก (1.5 - 4.5 กม.) อุณหภูมิ และความดันระดับปานกลาง โดยมีอุณหภูมิระหว่างช่วงอุณหภูมิ 200 - 300 องศาเซลเซียส เช่น ควอตซ์ และแร่คาร์บอเนต เช่น แคลไซต์ calcite :  $\text{CaCO}_3$  แองเคอไรต์ (ankerite :  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ) ซิเดอไรต์ (siderite :  $\text{FeCO}_3$ ) โดโลไมต์ (dolomite :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) และโรโดโครไซต์ (rhodocrosite :  $\text{MnCO}_3$ ) แร่ที่พบในสายแร่ระดับลึกปานกลาง ได้แก่ ทองคำธรรมชาติ (native gold) และแร่ซัลไฟด์ของตะกั่วทองแดงและสังกะสี เช่น กาลีนา (galena :  $\text{PbS}$ ) สฟาเรอไลต์ (sphalerite :  $\text{ZnS}$ ) ซาลโคไพไรต์ (chalcopyrite :  $\text{CuFeS}_2$ ) ไพไรต์ (pyrite :  $\text{FeS}_2$ ) บอร์ไนต์ (bornite :  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) อาร์เซนไพไรต์ (arsenopyrite :  $\text{FeAsS}$ ) และเตทราเฮดไรต์ (tetrahedrite :  $(\text{Cu,Ag})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) สินแร่โลหะที่เกิดในสายแร่ระดับความลึกปานกลาง เช่น ทองคำ เงิน ตะกั่ว และ สังกะสี (รูปที่ 4)

(1)



(<https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/26167013931>)

(2)

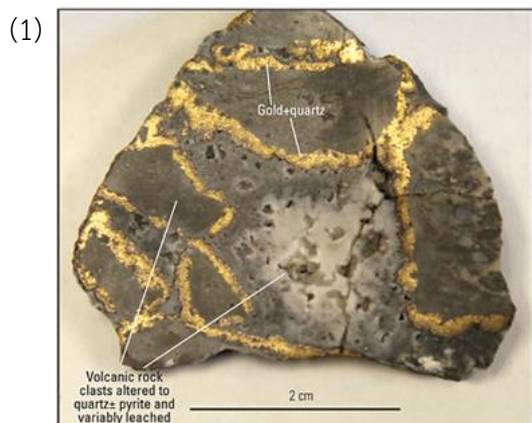


(<https://www.pinterest.com/pin/470907704762756783/>)

รูปที่ 4 (1) ตัวอย่างสินแร่สังกะสี-ตะกั่ว (galena-sphalerite-quartz) ยาว 5 ซม. จากเหมือง Meche, Zacatecas เม็กซิโก  
 (2) ตัวอย่างสินแร่ทองคำ-อาร์เซนไพไรต์ ในสายควอร์ต ในคาลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

### ค. แหล่งแร่ระดับตื้น (Epithermal deposits)

แหล่งแร่ระดับตื้นเกิดการสะสมตัวของสินแร่ที่ระดับตื้นใกล้ผิวโลก (<1.5 กม.) มีระดับอุณหภูมิและความดันต่ำ โดยมีอุณหภูมิระหว่าง 50 °C - 200 °C แร่ที่พบ เช่น ควอตซ์ (Quartz) โอปอล (opal) คาลซีโดนี (chalcedony : SiO<sub>2</sub>) แคลไซต์ (calcite : CaCO<sub>3</sub>) อะราโกไนต์ (aragonite : CaCO<sub>3</sub>) โดโลไมต์ (dolomite : CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) เฮไลต์ (halite : HCl) ฟลูออไรต์ (halides fluorite : CaF<sub>2</sub>) แบไรต์ (barite : BaSO<sub>4</sub>) คลออาร์จีไรต์ (chlorargyrite : AgCl) รีอัลการ์ (realgar : AsS) ซินนาบาร์ (cinnabar : HgS) สติบไนต์ (stibnite : Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) ไพไรต์ (pyrite : FeS<sub>2</sub>) ออแคนไทต์ (acanthite : Ag<sub>2</sub>S) ออร์พิเมนต์ (orpiment : As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) ทองคำ เป็นต้น สินแร่โลหะที่พบในแหล่งสายแร่ระดับตื้น เช่น ทองคำ (รูปที่ 5) เงิน พลวง และปรอท เป็นต้น (John และคณะ, 2018)



(<https://www.icmj.com/magazine/article/high-sulfidation-epithermal-deposits-4121/>)

(ภาพจาก USGS Scientific Investigation Report 2010-5070-Q)



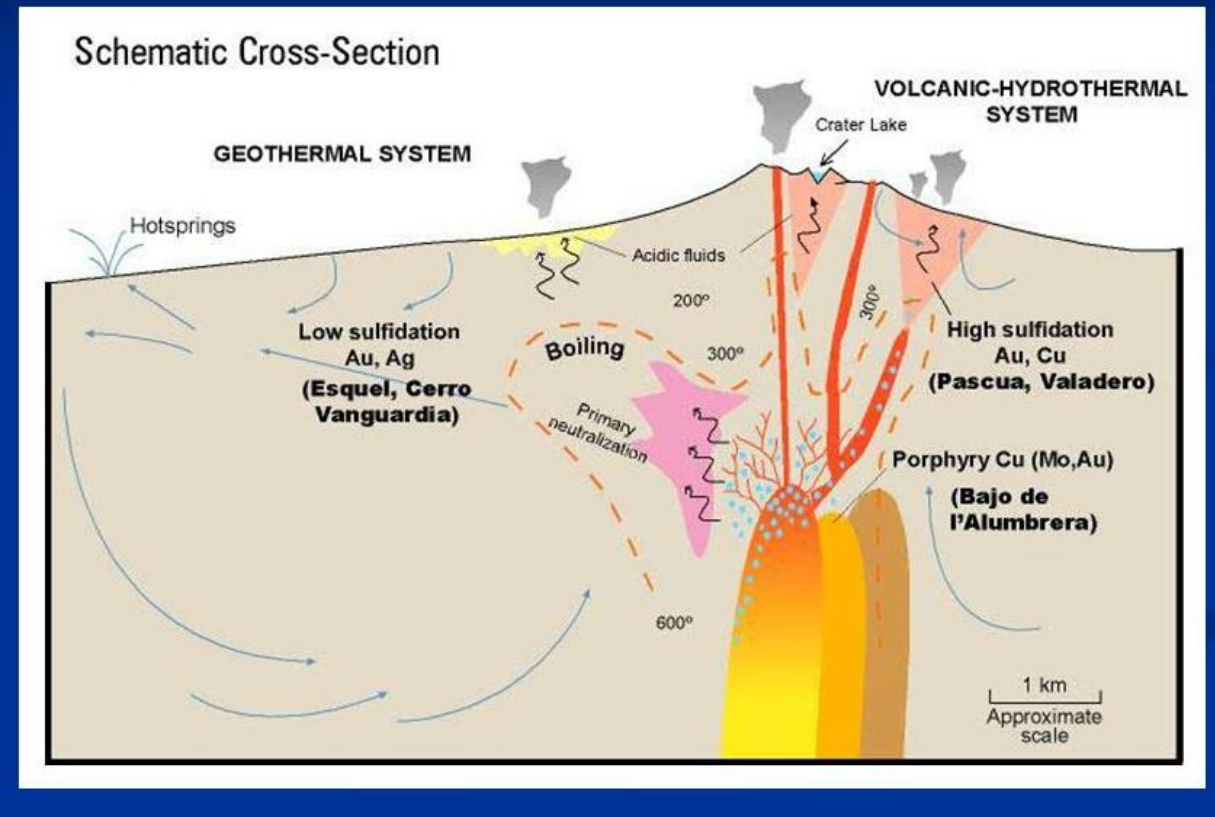
(<https://www.japangold.com/index.php/projects/epithermal-gold/hakuryu-project/225-geology-and-mineralisation>)

รูปที่ 5 ตัวอย่างแร่ทองคำในสายควอตซ์ (1) high sulfidation (2) low sulfidation

สายแร่ทองคำหลายแห่งเกิดจากกระบวนการดังกล่าว ในไทยแหล่งแร่ทองคำที่เหมืองอัครา จังหวัดพิจิตร ที่เกิดสัมพันธ์กับหินภูเขาไฟเป็นการเกิดแบบแหล่งแร่ระดับตื้นด้วยกระบวนการแบบสะสมซิลไฟด์ต่ำ (low sulfidation) ส่วนทองคำโตะโมะในสายควอตซ์ จึงเป็นเป็นการเกิดแบบแหล่งแร่ระดับลึกมาก (hypothermal deposit) (รูปที่ 6)

# Epithermal Systems

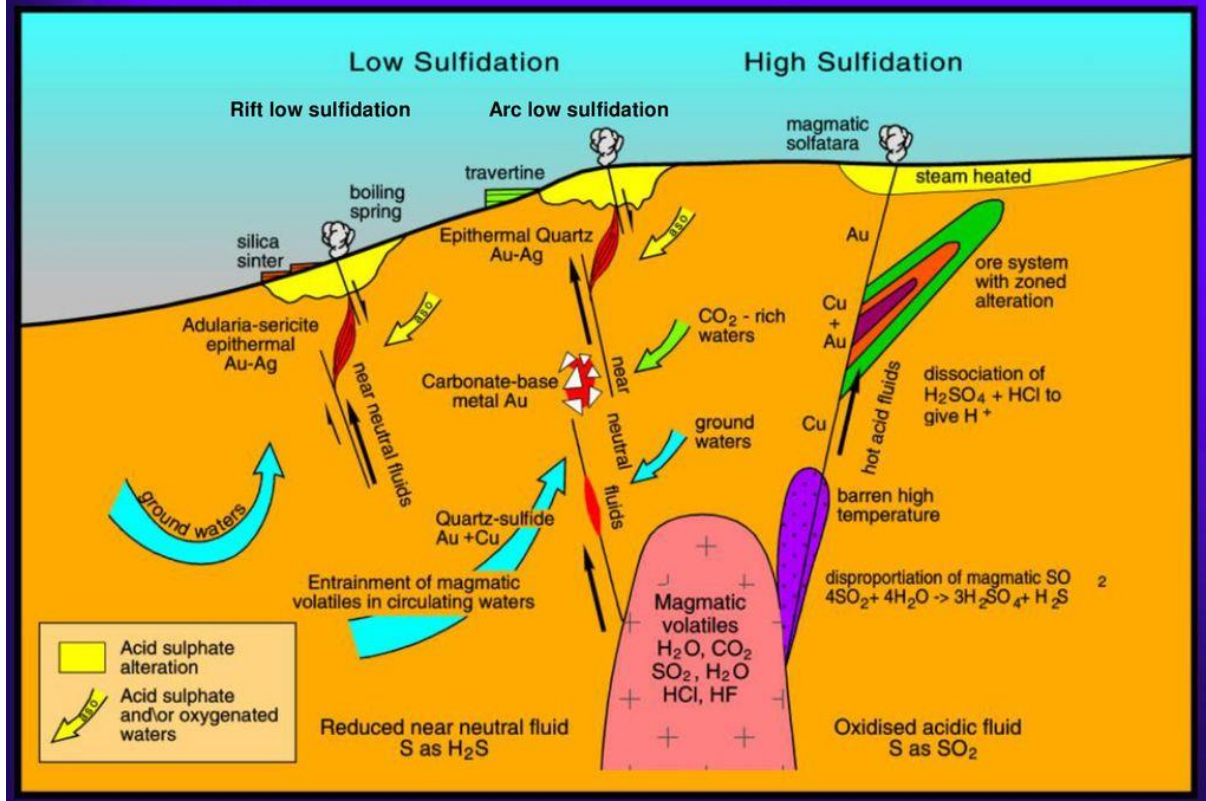
## Low and high sulphidation deposits



(<https://slideplayer.com/slide/13801410/>)



# High versus Low Sulphidation



(<https://slideplayer.com/slide/13801410/>)

รูปที่ 6 แบบรูปการเกิดแหล่งแร่ทองคำระดับตื้น (epithermal gold deposit) 2 แบบ คือ แบบสะสมซัลไฟด์ต่ำ (low sulfidation) ทำให้มีสภาพกรดสูง และแบบสะสมซัลไฟด์สูง (high sulfidation) จึงมีสภาพกรดสูง ภาพบนเกี่ยวข้องกับระบบการเกิดที่สัมพันธ์กับสภาพปัจจุบันที่มีพุน้ำร้อน ภาพล่างเป็นแนวทางการเกิดแหล่งแร่ที่ดูเหมือนแบบสะสมซัลไฟด์สูงสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแหล่งทองแดงลายดอก (porphyry copper deposit) มากกว่า

ที่นี้ลองสังเกตหินในสนามหญ้าหลาย ๆ ก้อน หรือกระทงหินก่อสร้าง บางก้อนอาจมีริ้วสีขาวเหมือนแร่ควอตซ์ จึงน่าจะมีทองคำเหมือนกันใช่หรือไม่ คำตอบ คือ “ไม่” เพราะไม่ใช่ว่าทุกก้อนที่มีลักษณะของสายแร่จะมีทองคำ แต่การที่เราบอกว่ามีได้นั้น ต้องอ้างอิงข้อมูลจากผลการวิเคราะห์หรือการทดสอบคร่าว ๆ เช่น เอาหินก้อนดังกล่าว มาบดให้ละเอียดแล้วลองทำการเลียย (panning) (รูปที่ 7) หรือร้อนดูว่ามีทองหรือไม่ ซึ่งส่วนใหญ่ “ทอง” หรือ “คำ” ในภาษาลาว มักมีปริมาณน้อยมาก คือ อยู่ในหน่วย ppm เช่น 1 ppm (นตล) หรือ หิน 1 ตัน มีทอง 1 กรัม เป็นต้น



([https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news\\_144127](https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news_144127))

([https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g469387-d13544048-i305669656-Dusty\\_Tracks\\_Off\\_Road\\_Adventures-Barberton\\_Mpumalanga.html](https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g469387-d13544048-i305669656-Dusty_Tracks_Off_Road_Adventures-Barberton_Mpumalanga.html))

รูปที่ 7 (1) ชาวบ้านตื่นร้อนทองด้วยเลียย (gold panning) ที่อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ภูมิปัญญาที่สืบทอดกันมากกว่า 200 ปี หลังมีน้ำป่าชะหน้าดิน พวกเขาต้องลงคลองไปร่อนทองกัน และเชื่อกันว่าทองบางสะพานเป็นทองคำที่ดีที่สุดในประเทศ)

(2) นักท่องเที่ยวแวะร้อนทองด้วยเลียยที่เมืองยูริกา (Eureka City) ทางตอนเหนือของรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

#### แหล่งอ้างอิงข้อมูล

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) กระทรวงอุตสาหกรรม <http://lc.dpim.go.th/kb/440> (สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2560)

ปัญญา จารุศิริ 2555. เอกสารประกอบวิชา Mineral Exploration. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

John, D.A., Vikre, P.G., du Bray, E.A., Blakely, R.J., Fey, D.L., Rockwell, B.W., Mauk, J.L., Anderson, E.D., and Graybeal, F.T., 2018, Descriptive models for epithermal gold-silver deposits: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–Q, 247 p., <https://doi.org/10.3133/sir20105070Q>.

Lupulescu, M.V., Bailey, D.G., David G. Bailey, Hawkins, M., Carl, J., and Chiarenzelli, J., 2014. The Benson Mines, St. Lawrence County, New York: History of the Discovery, Mining, and Mineralogy of the Deposit. *Rocks & Minerals* 89(2):118-13. DOI: 10.1080/00357529.2014.865431.

<http://earthsci.org/mineral/mindep/vein/vein.html>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Vein\\_\(geology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vein_(geology))

<https://slideplayer.com/slide/13801410/>

<https://www.youtube.com/watch?v=L1mazxo19Og>

<https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/26167013931>

<https://www.icmj.com/magazine/article/high-sulfidation-epithermal-deposits-4121/>

<https://www.japangold.com/index.php/projects/epithermal-gold/hakuryu-project/225-geology-and-mineralisation>

[https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news\\_144127](https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news_144127))

<https://www.pinterest.com/pin/470907704762756783/>

<https://www.pwsalestone.com/category/28/>

([https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g469387-d13544048-i305669656-Dusty\\_Tracks\\_Off\\_Road\\_Adventures-Barberton\\_Mpumalanga.html](https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g469387-d13544048-i305669656-Dusty_Tracks_Off_Road_Adventures-Barberton_Mpumalanga.html))