

## 慶南 固城 東海鑛山의 地質 및 鑛床

金 鍾 大\*

### Geology and Ore Deposits of the Donghae Mine, Goseong Area

Jong Dae Kim

**Abstract:** The Donghae mine locates at Jangjoari, Koseongun, Kyongsang-nam-do.

The geology of the mine consists of the upper part of Chindong Formation conformably overlain by tuffaceous Koseong Formation. These formations are intruded by the granodiorite and the basic dikes.

The ore mineralization occurs in the fault breccia pipe at the center of a granodiorite stock. The estimated dimension of the breccia pipe is  $7m \times 70m \times 200m$ . The host rock has distinctive hydrothermal alteration halos consisting hematite zone, chlorite zone, epidote zone and sericite zone from outer zone to the ore vein.

The ore mineralization occurred in the three distinctive stages. The ore minerals formed in the first stage are pyrite, sphalerite, chalcopryrite, stannite and tetrahedrite. Galena and arsenopyrite are formed in the second stage. Some sphalerite grains include exsolution dots of the chalcopryrite.

It is suggested that the ore mineralization occurred by a boiling of a hydrothermal fluid during its initial stage and subsequent cooling and  $CO_2$  fugacity drop of remaining hydrothermal fluid by a ground water mixing aided vertical zoning of the ore minerals.

#### 序 論

東海鑛山은 慶南 固城郡 東海面 長佐里에 位置한다. 이 鑛山은 永豐鑛業(株)에 의하여 集中的으로 探查 되기 前까지는 노동 부근에서 富鑛部를 亂掘한 흔적이 보인다. 永豐鑛業은 1968年~1969年과 1976年~1978年 2次에 걸쳐 이 鑛山의 地表地質調査 및 약 3,000m의 試錐와 垂坑掘下등을 포함하는 開坑探查를 실시한 바 있다. 그 후 休鑛中에 있던 것을 東亞學塾이 引受하여 1985年~1987年에 300m의 試錐와 垂坑 120m, 水平坑道 280m를 포함하는 開坑探查를 實施한 후 2個片 60m의 深度까지 採掘한 후 產量성이 劣化되어 현재는 휴광중에 있다.

이 鑛山에 대한 研究調査 結果는 國內外學術誌에는 發表된 바 없으나 미 발간 자료로서 오민수(1968, 영풍광업탐사보고) 및 한갑수(1978, 영풍광업탐사보고)

등의 자료를 인용할 수 있었다.

이 研究는 鑛床 周邊의 地質, 鑛床의 產出狀態, 品位分布, 鑛石鑛物의 共生關係등을 研究하고 鑛床의 成因을 考察하여 본 것이다.

이 研究는 東亞大學校 工科大學 附設 資源開發研究所의 研究費에 의하여 실시하였으며 이 報告書를 發刊 하도록 허락하여 주신 東亞學塾에 謝意를 表하는 바이다.

#### 地 質

이 鑛山의 地質은 下部로 부터 siltstone으로 代表되는 堆積層과 이들을 不整合으로 덮는 凝灰質砂岩을 주로 하고 이들을 貫入한 花崗閃綠岩 岩株와 鹽基性 岩脈으로 構成된다(Fig. 1).

下部堆積層은 주로 綠色 siltstone으로 構成되며 드물게 灰色 砂岩層을 挾在한다. 이 層은 대체로  $N7^{\circ}E, 5^{\circ}SE$ 의 走向 및 傾斜를 가진다(Fig. 2). 이 層은 花崗

\* 東亞大學校 資源工學科

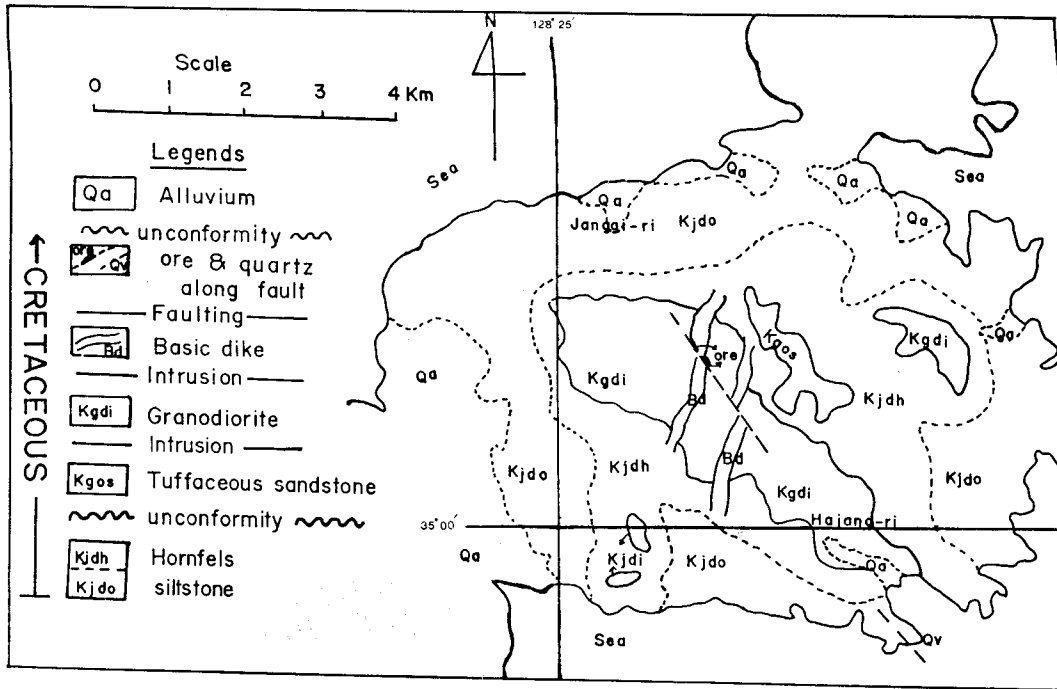


Fig. 1 Geologic map of Donghae mine area.

閃綠岩 貫入部 주위에서는 국부적인 彎曲(open fold) 現象을 보이는데 이는 前記한 火成岩 貫入이 forceful intrusion이었음을 나타내는 것으로 해석된다. 이 층의 siltstone은 細粒 silt (fine silt) 크기의 비교적 分級이

잘 된(well sorted) 石英을 주로 하고 粘土鑛物類를 隨伴하는 層과 粘土鑛物類를 主로하고 石英 細粒을 드물게 함유하는 층이 交互하는 縞狀石理를 발달시킨다. 層理面에서는 漣痕이 관찰된다. 이 층에 挾在하는 灰色砂岩은 두께 1~2m이며 延長 200m 內외의 렌즈상을 이루는데 造岩鑛物이 주로 分級이 잘 된(well sorted) 中粒質 石英으로 이루어진 층과 分級度가 낮고(poorly sorted) 造岩鑛物中 長石類 및 岩屑이 많은 層으로 2大別 된다. 이들 砂岩層은 前記한 siltstone 內에서 명확한 境界를 나타내며 分布한다. 以上과 같은 특징들을 종합하면 이 下部堆積岩層은 淺水性 堆積層으로서(朴魯榮外, 1963; 張泰雨 外, 1983) 가끔 砂質物質의 급격한 供給을 받은 tidal flat deposit(Reineck外, 1975) 일 가능성을 示唆한다. 이 層의 泥質部는 後의 廣域變成作用에 의하여 綠泥石, 綠簾石, 方解石 및 赤鐵石 등의 鑛物로 變成하였으며 花崗閃綠岩 貫入體 주위에서는 특히 再結晶作用으로 塊狀을 이루며 hornfels化 하였다. 이 地域에 分布하는 下部堆積層은 慶尙系 鎮東層의 上部 層準에 해당되는 것으로 보인다(朴魯榮 外, 1963; 張泰雨 外, 1983).

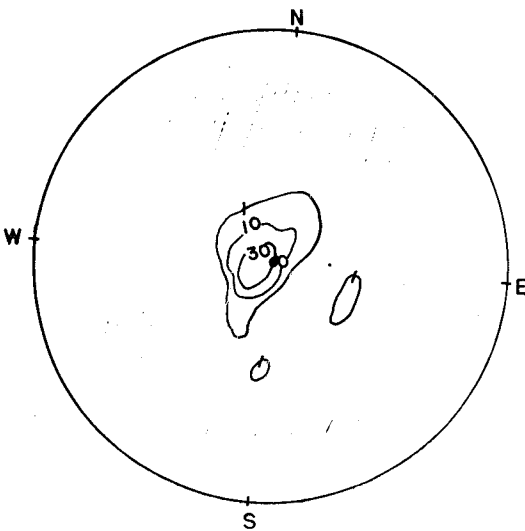


Fig. 2 64 poles to the bedding plane in Jindong Formation around granodiorite intrusion at Donghae mine. Contours are 0~1%, 1~10%, 10~30% per 1% area.

凝灰質砂岩은 이 地域에 殘存하는 堆積層의 最上位 層으로서 前記한 鎮東層의 上部를 不整合으로 덮고 있다. 이 층은 대체로 EW, 20°N의 主향과 경사를 가

진다. 이 층은 中粒質 火山灰와 石英을 주로 하고 matrix supported pebble을 含有하여 層理의 發達이 良好한데 斜層理도 여러 곳에서 관찰된다. 이 層의 構成岩石 中 礫의 含量은 이 層의 基底部에서는 礫岩을 이루며 또한 斜層理의 底部에서도 현저히 증가한다. 礫은 대체로 安山岩類로 구성되나 下位인 鎭東層의 siltstone片도 많다. 以上과 같은 現象들은 이 層이 鎭東層의 上部에서 傾斜不整合의 관계로 堆積하였음을 잘 설명하고 있다. 本 岩을 顯微鏡으로 觀察한 바에 의하면 凝灰質 石基는 대체로 vitrified되어 유리질을 이루었으며 基質內의 石英은 細粒質로서 亞角狀을 이룬다. 變成鑛物로서는 stilpnomelane-epidote-calcite-sericite를 多量 含有하며 磁鐵石 및 赤鐵石의 不透明 鑛物을 多量 含有한다. 本 岩은 淡綠灰色 내지 淡灰色을 띠우며 보통 岩石에 比하여 가벼운 특징이 있으므로 石材로 使用하려는 시도를 하는 곳도 있다. 이 層은 張泰雨(1983)등에 의하여 忠武圖幅 地域에서는 榆川層群의 最下位 地層인 固城層으로 分類하고 本 層 堆積時부터 慶尙盆地에서 火岩活動이 始作된 것으로 보았다.

花崗閃綠岩 岩株는 上長里와 下長里를 연결하는 계곡에 비교적 넓게 분포하는 外에 到處에서 小規模의 岩株가 노출한다. 本 岩은 鎭山부근에서는 鎭東層을 貫入하였으며 그 貫入接觸部의 鎭東層은 상당한 범위 에 걸쳐 接觸變成作用을 받아 hornfels化하고 있다. 本 岩은 또한 그 貫入時 被貫入岩層을 撓曲시킬 경도의 forceful intrusion의 양상을 보이고 있다. 本 岩은 鑛物組成과 組織이 多様하여 細粒質에서 粗粒質의 花崗岩, 花崗閃綠岩 및 閃綠岩등의 岩相을 보인다. 이와같은 樣相은 또한 深度分布에서도 보여 주는데 (Fig. 3) 全體 試錐深度 150m 中 表層에 가까운 30m는 粗粒質 花崗閃綠岩으로서 石英 및 正長石의 含量이 比較적 적이 으나 壓碎帶를 지나 70m~140m까지는 中粒質이고 等粒質인 典型的인 花崗閃綠岩의 岩相을 보이며 深度 140m 以後의 鑛體에 接觸하는 淡赤色 花崗閃綠岩은 다시 粗粒質 花崗閃綠岩으로서 石英과 正長石의 量이 현저히 증가하며 紋狀石理를 보이기도 한다. 本 岩은 그 岩相에 따라 綠灰色, 淡灰色, 혹은 淡赤色을 띠우며 主構成鑛物은 andesine을 主로 하고 少量의 石英, 正長石 및 黑雲母를 含有한다. 그러나 閃綠岩의 岩相을 띠는 岩石은 角閃石을 含有한다. 本 岩은 磁鐵石의 含量이 1%에 이르기까지 높은 것이 특징이다. 斜長石은 diabasic texture를 보인다. 黑雲母 및 斜長石은 흔히 綠泥石과 綠簾石化하기도 하였으며 熱水變質作用을 받은 부분에서는 赤鐵石化作用을 받아 淡赤色을 띤다. 上

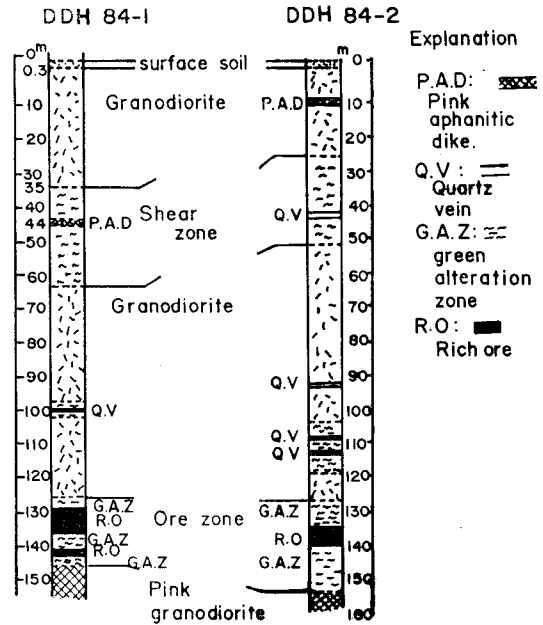


Fig. 3 Geologic log of the drill cores from Donghae mine.

長里와 下長里에 分布하는 本 岩 岩株는 그 中心部 부근에 N35°W 方向의 斷層破碎帶를 發達시켰으며 이 破碎帶內에 金, 銀, 銅, 鉛, 亞鉛의 鑛體를 形成하였다.

鹽基性岩脈은 鑛體 가까이에서 鎭東層 및 花崗閃綠岩을 끊고 貫入하고 있다. 이 岩脈은 花崗閃綠岩을 貫入한 곳에는 該 岩相의 뚜렷한 차이에 依하여 明白히 區分되나, 該 연장부가 鎭東層의 hornfels化한 地層內에 貫入하면 兩 岩相이 매우 類似하여 該들간의 識別이 어려운 경우가 많다. 이 岩脈은 脈幅 20~200m, 延長 2km 가량의 追跡이 可能하였다. 이 岩脈은 鑛體를 배태한 斷層에 依하여 절단되어 left lateral한 이동을 보이고 있다. 이 岩脈은 暗黑色의 치밀질 岩相을 띠며 顯晶質 石基內에 中粒의 灰白色 斜長石 斑狀을 가진 斑狀石理를 보일 때도 있다. 本 岩의 石基는 綠泥石, 綠簾石化 하여 中粒質化 하기도 하며 黑雲母 및 角閃石의 變成殘留物이 綠泥石 혹은 綠簾石의 變成環을 가지고 나타나기도 한다. 本 岩은 1% 內外의 磁鐵石을 함유한다.

變成作用과 母岩變質

이 鑛山에서 관찰되는 變成作用은 廣域變成作用으로서의 硅化作用, 綠泥石-綠簾石-絹雲母化作用, stilpnomelane-綠簾石化作用등과 接觸變質作用으로서의 再結晶作用을 포함하는 綠泥石-綠簾石-絹雲母化作用

외에 熱水變質作用으로서의 赤鐵石化作用, 綠泥石化作用, 綠簾石化作用, 絹雲母化作用 및 高령토化作用 등이 있다.

鎮東層은 廣域變成作用을 받아 광범위하게 chert화 하였으며 세일部는 低溫變成하여 綠泥石—綠簾石—絹雲母—albite의 變成礦物을 含有한다. 凝灰質砂岩은 stilpnomelane—綠簾石을 含有하는 비교적 高溫性 變成相을 보이는데 이는 아마도 本岩層 堆積 以後의 활발한 火山活動을 반영한 것으로 사료된다. 花崗閃綠岩 貫入 變成層의 鎮東層은 接觸變成作用을 받아 hornfels의 halo를 형성하였는데 이 岩石은 暗灰色의 緻密質 岩相을 보이며 綠泥石—綠簾石—絹雲母의 變成礦物들이 silt 크기의 石英粒들 사이에 生成된 것이 確認된다. 이 hornfels는 再結晶作用에 의하여 層理를 잃을 경우에는 이를 貫入한 鹽基性岩脈과의 野外 判別이 매우 어렵다.

熱水變質作用은 鑛體 가까이 발달한 赤鐵石化作用을 最外廓으로하여 花崗閃綠岩을 淡赤色으로 着色하나 顯微鏡下에서도 赤鐵石의 鑛物粒을 發見하기는 어렵다. 그러나 그 着色 정도는 花崗閃綠岩의 微細한 破碎面을 따라 강하게 나타나는 網狀分布(stockwork)를 보인다. 赤鐵石化帶와 鑛脈 사이에 발달한 綠泥石帶, 綠簾石帶, 絹雲母帶는 花崗閃綠岩을 綠色 緻密質 岩石으로 變質시키고 있으며 最內部의 絹雲母化帶內에서는 白雲母의 自形 斑晶이 보인다. 高嶺土化作用은 鑛化帶內에서 方鉛石, 閃亞鉛石 등의 細脈과 함께 破碎面을 따라 細脈으로 分布하며 기타 初期 鑛化時期부터 계속 生成된 것으로 보이는 石英脈과 鑛化期末에 形成된 것으로 보이는 方解石의 細脈 등이 發達하고 있다.

### 地質構造

이 鑛山의 地質構造는 대체로 緩慢한 傾斜를 보이는 堆積層과 花崗閃綠岩 岩株의 貫入 및 그로인한 局部的인 堆積岩의 撓曲 그리고 火崗閃綠岩內에 發達한 斷層 破碎帶 등으로 특징지워 진다.

鎮東層에 발달한 局部的인 撓曲現狀에 대한 花崗閃綠岩 岩株의 貫入이 미치는 영향에 대하여 알아 보기 위하여 岩株 주위를 둘러싼 堆積層의 層理面의 走向 및 傾斜를 측정하여 pi diagram을 작성한 결과 대부분의 層理에 對한 pole이 N7°E, 5°SE의 層理面을 나타내는 위치에 集中하는 결과를 얻었다(Fig. 2). 이 값은 鎮東層의 일반적인 層理面의 走向과 傾斜에 일치하는 것으로서 堆積層內의 局部的인 撓曲들은 매우 open fold이며 花崗閃綠岩 岩株 貫入時 作用한 垂直歪力의 作用에 의하여 發生했을 可能性을 示唆한다. 만일 이

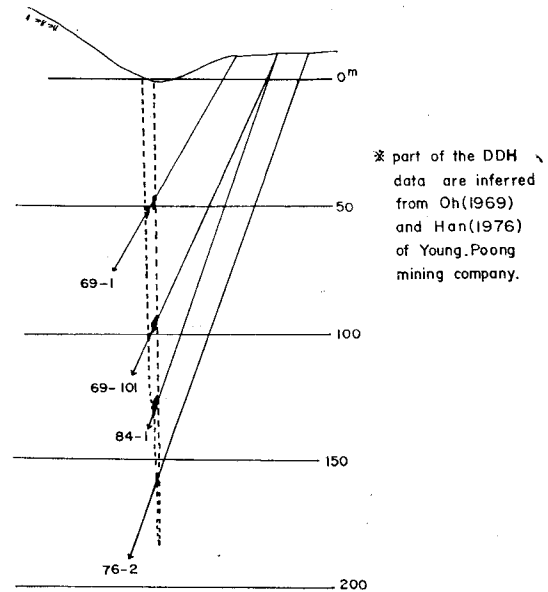


Fig. 4 Cross section of 3 drill hole site.

들 撓曲들이 어떤 橫壓力에 의하여 發生하였다면 이들의 pole은 gridle을 形成하였을 것이다.

花崗閃綠岩 岩株內에 發達한 斷層破碎帶는 N35°W의 走向과 80°NE의 傾斜를 보이며 破碎帶의 幅은 地表面下 170m에서는 1m에 不過하나 上部로 가면서 점차 증가하여 100m 下部에서는 7m에 달하며 地表面에서는 10m까지 增大하고 있다(Fig. 3, 4). 이 斷層은 地表面에서는 鹽基性岩脈들을 left lateral하게 끊고 이동시키고 있다(Fig. 1).

下長里 入口해안 노두에서 이 斷層의 연장선상에 2條의 石英脈이 發見되나(Fig. 1) 主鑛體를 배태하는 斷層破碎帶와 이 石英脈이 연결된 증거를 그 사이에서 發見할 수 없으며 오히려 이들 두 構造는 독립하였을 가능성을 永豐鑛業의 試錐結果에서 確認할 수 있었다. 따라서 主鑛體를 배태하는 斷層은 그 東北側 block을 가라 앉힌 것으로 해석된다. 이는 이 block이 斷層 上盤에 해당하는 점, 이 block內에 鑛體를 배태하는 破碎帶外에 그와 30m 거리에서 약 7m幅의 다른 平行 破碎帶가 發達한 점 및 이 斷層의 西南쪽 block은 비교적 破碎作用을 적게 받은 점으로 類推할 수 있다. 破碎作用은 顯微鏡的 構造인 鑛物의 微細한 龜裂로부터 수 cm의 岩石片(Fig. 5) 혹은 수 m의 岩塊를 이루는 등 다양하다.

### 鑛 床

이 鑛山의 鑛床은 前記한 斷層破碎帶를 충진한 脈狀

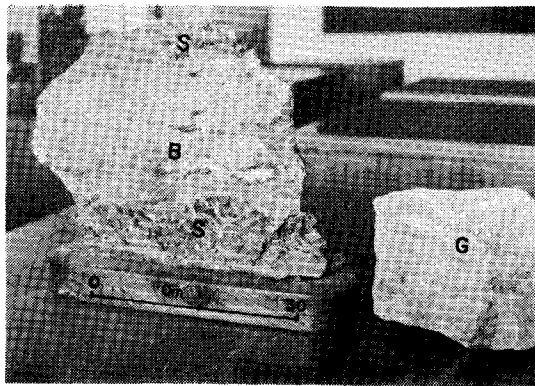


Fig. 5 Photographs of two ore samples from Donghae mine.

- S: Alternating bands of sphalerite and galena.
- B: Breccias are strongly silicified. The fractures in the breccias are filled with sphalerite, galena, quartz and calcite.
- G: Comb structural growth of galena, quartz and calcite.

합 금, 銀, 銅, 鉛, 亞鉛 鑛床이다.

鑛床의 노두는 斷層破碎帶의 走向 延長에 따라 3個 所에서 관찰되나 北西側의 2個 鑛化帶는 試錐結果 深部로 가면서 貧鑛帶를 형성하였고 中村 부근의 主鑛體만이 健全한 발달을 보인다. 主鑛體는 垂直深度 170m까지 試錐로 確認되었으며 探掘跡에 의하여 확인된 120m level(3번坑) 상부는 脈幅 7m, 延長 70m 로서 chimney狀 鑛體를 이루고 있다(Fig. 4, 6). 이 중 에서 富鑛部는 幅 1m 內外, 延長 5~20m의 렌즈狀으로 발달되며 이와같은 富鑛部들이 전체 鑛化帶內에서 1枚 내지 2枚가 斷續的으로 獨立 혹은 平行 發達하거나 尖滅한다. 이들 富鑛部는 綠色 變質帶에 의하여 싸이는데 이 變質帶는 약하게 鑛染되어 있어서 經濟性은

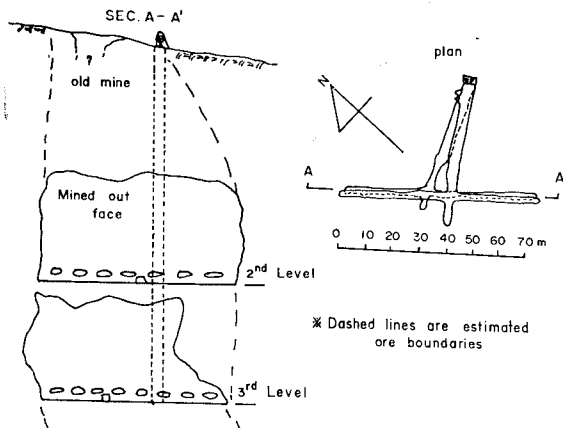


Fig. 6 Underground map of Donghae mine.

없으나 岩盤이 脆弱하여 全體 鑛化帶가 探鑛 대상이 될 수 밖에 없다.

이들 富鑛部의 品位는 表 1과 같다.

富鑛帶內에서의 鑛石鑛物의 分布는 方鉛石이나 閃亞鉛石이 대체로 縞狀構造를 이루는 外에 角礫間의 空隙을 充填한 櫛狀構造를 보일 때도 있다(Fig. 5). 角礫들은 심하게 硅化되어 있고 흔히 stockwork狀으로 鑛化되어 있다.

鑛石鑛物의 垂直帶狀分布

主鑛體의 鑛石鑛物은 黃鐵石, 黃銅石, 閃亞鉛石, stannite, 黝銅石, 方鉛石, 硫砒鐵石등이며 脈石鑛物은 石英, 方解石을 주로 하고 綠簾石, 綠泥石, 絹雲母등을 포함한다. 螢石은 主鑛體에서는 發見되지 않으나 主鑛體밖의 破碎帶에서 確認된다.

이들 鑛石鑛物은 漸移的인 垂直分布를 보이는데 地 表로 부터 下部 170m level에서는 脈幅이 좁고(0.75m) 鉛, 亞鉛의 含量이 적으며(Pb 3.9%, Zn 1.5%) 舍金量이 증가한(7g/t) 石英脈을 이루는데 對하여 硫砒鐵石은 下部 120m level에서 下部 80m level보다 현저히 많은 量이 관찰되고 閃亞鉛石도 下部 120m level에서 下部 80m level보다 증가하는 現狀을 보이는 반면 方鉛石은 下部 80m level에서 下部 120m level보다 增加하는 現상을 보인다. 이와같은 現상은 銀의 含量이 上部로 가면서 增加하는 現狀과 一致하고 있다(표 1).

鑛物의 共生關係

前述한 鑛物들의 共生關係를 鑛化期別로 區分하면 Fig. 7과 같다.

黃鐵石은 鑛脈의 主構成鑛物을 이루기는 하나 그 含量은 5% 以內로서 比較적 적은 편이다. 이 鑛物은

Stage	I	II	III
Minerals			
Pyrite	_____		
Sphalerite	-----		
Chalcopyrite	-----	----	
Stannite	_____		
Tetrahedrite	_____	----	
Galena		_____	
Arsenopyrite		_____	
Quartz			-----
Calcite			_____
Fluorite			_____

Fig. 7 Paragenetic sequence of ore and gangue minerals from Donghae mine.

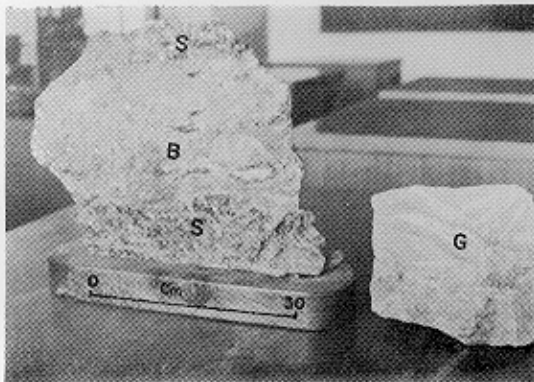


Fig. 5 Photographs of two ore samples from Dongbae

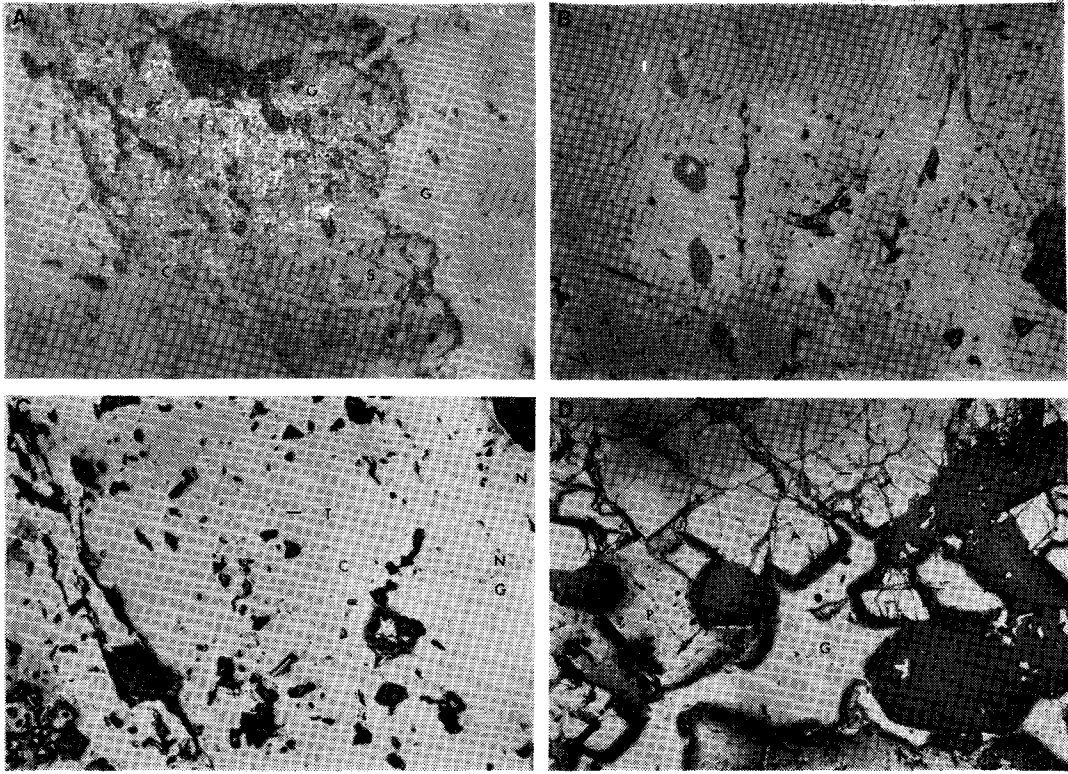


Fig. 8 Photomicrographs of the ores from Donghae mine.

- A) sphalerites are either cut by the fine veinlets of quartz (Q) and galena (G) or replaced by chalcopyrite (C).  
The actual bottom length of the photograph is 1mm.
- B) A large grain of sphalerite (medium gray) contains minute exsolution dots of chalcopyrite (white specks).  
The actual bottom length of the photograph is 0.2mm.
- C) The chalcopyrite (C) either contains tetrahedrite (T) or replaced by stannite (N) at the boundary with galena (G).  
The actual bottom length of the photograph is 0.2mm.
- D) Euhedral arsenopyrites (A) are replacing pyrite (P) and galena (G). Q: Quartz.  
The actual bottom length of the photograph is 1mm.

粗粒 他型으로 密集 分布하나 全體의으로는 方鉛石, 閃亞鉛石등과 함께 縞狀構造를 이룬다. 이 鑛物은 閃亞鉛石, 黃銅石, 方鉛石 및 硫砒鐵石에 의하여 交代된 石理를 보일 때가 많다.

閃亞鉛石은 이 鑛脈의 主 構成鑛物로서 粗粒의 自形 및 他形 結晶이다. 脈의 走向, 傾斜方向으로의 縞狀構造가 뚜렷하다. 이 鑛物은 흔히 石英 혹은 方鉛石에 의하여 잘리우거나 交代된 石理를 보인다(Fig. 8-A). 閃亞鉛石은 또한 黃銅石과 가까이 接한 部分에서는 흔히 黃銅石과 exsolution texture를 보이기도 한다(Fig. 8-B).

黃銅石은 微量의 隨伴鑛物에 속하기는 하나 閃亞鉛

石과 함께 꾸준히 보이는 鑛物이다. 이 鑛物은 黃鐵石을 직접 交代하거나 閃亞鉛石을 交代하였으며 stannite, 黝銅石등을 包裹하고 있어 交代된 石理를 보이며(Fig. 8-C) 方鉛石 및 硫砒鐵石으로도 交代되어 있다.

Stannite는 極微粒으로서 드물게 黃銅石과 함께 分布한다.

黝銅石은 역시 極微粒으로서 黃銅石과 함께 分布하기도 하지만 드물게 方鉛石을 細脈으로 끊거나 閃亞鉛石을 直接 交代하기도 한다.

方鉛石은 이 鑛脈의 主 構成鑛物로서 粗粒의 自形 및 他型 結晶이다. 鑛脈의 走向 및 傾斜 方向으로의 縞狀構造가 뚜렷하다. 이 鑛物은 흔히 石英脈內에 drop

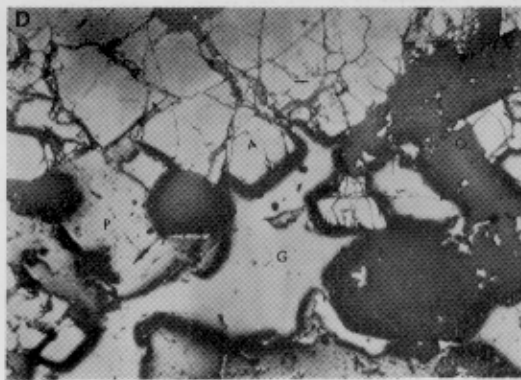
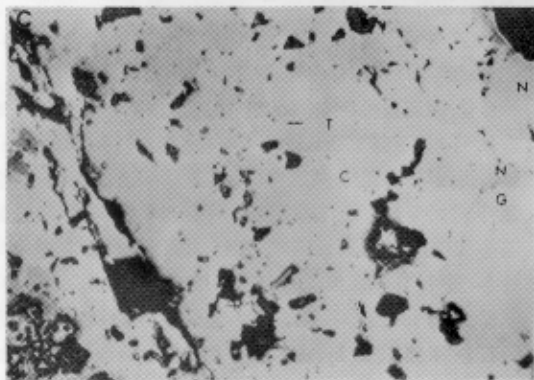
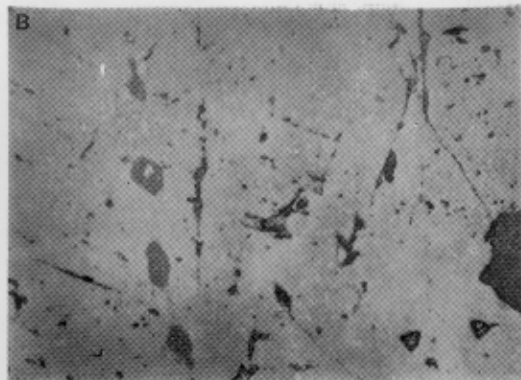
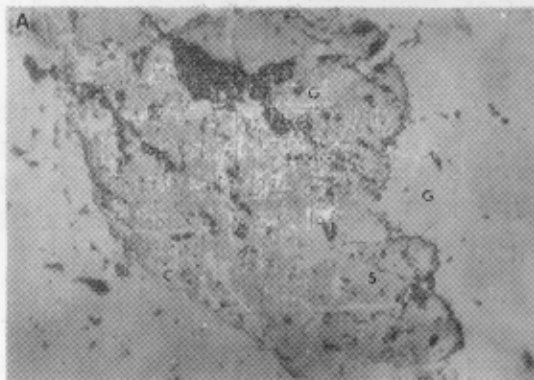




表 1 東海鑛山 主 鑛體 品位表.

Level	시료번호	매폭(m)	금(g/t)	은(g/t)	연(%)	아연(%)	동(%)	비 고
2 層(지표면하 80 m Level)	북 5	1.30	1.47	623	21.3	4.3	0.8	1. 각 시료 채취 간격은 5m 2. 시료의 분석은 동아대학교 자원공학과에서 습식 및 fire assay에 의하였음. 3. 몇개의 시료는 온산제련소 분석실의 분석치와 비교하였음.
	// 4	1.20	1.27	145	5.2	2.9	0.2	
	// 3	1.40	1.23	464	14.3	15.6	0.3	
	// 2	1.40	2.02	137	23.0	5.8	0.1	
	// 1	1.20	2.92	91	4.2	2.3	0.2	
	0	1.20	1.35	40	3.4	2.2	0.1	
	남 1	1.20	0.67	25	0.8	3.1	0.1	
	// 2	1.20	0.46	14	0.1	2.5	0.1	
	// 3	1.20	4.84	14	0.5	1.3	0.1	
	// 4	1.20	2.38	36	1.4	5.0	0.3	
	// 5	1.20	3.09	77	2.2	3.9	0.3	
3 層(지표면하 120 m Level)	북 4	1.20	0.04	8	1.7	1.0	0.2	
	// 3	1.30	0.87	46	1.5	2.7	0.1	
	// 2	1.50	1.01	74	1.5	2.3	0.1	
	// 1	1.20	0.90	—	3.4	1.7	0.1	
	0	1.20	1.04	61	3.0	1.5	0.2	
	남 1	1.20	2.86	258	6.2	7.6	0.3	
	// 2	1.20	3.78	330	15.0	10.9	0.4	
	// 3	1.60	0.25	108	4.3	7.1	0.1	
	// 4	1.20	0.69	209	6.2	10.7	0.3	
	// 5	1.20	1.3	129	3.6	5.0	0.4	
	// 6	1.80	0.56	220	7.3	11.2	0.5	
시추시료								온산제련소 분석실 분석치
132~133.5m			6.2	178	5.1	14.2	—	
133.5~135m			Tr	15	0.5	2.7	—	
141.5~142.5m			3.1	959	42.6	6.6	—	
			0.73	394	16.0	18.2	—	
아연정광의 XRF data (온산제련소 분석)	Zn 52.92%	S 31.2%	Mn 0.033%	Sn 0.1%	CaO 0.16%	Fe 6.14%		
	Co 0.01%	In 0.007%	F 0.0014%	SiO <sub>2</sub> 4.39%	Pb 1.69%	Ni 0.002%		
	Hg0.0011%	Au 0.2g/t	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.24%	Cu 0.6%	As 0.35%	Tl 0.00002%		
	Ag 161g/t	MgO 0.073%	Cd 0.4%	Sb 0.0016%	Bi 0.00037%	Ge 0.0002%		
	Cl 0.29%							

狀의 包裹物로 分布하기도 하며 前記한 모든 鑛物과의 境界面 부근에서는 前記한 鑛物들을 交代한 石理를 보인다.

硫砒鐵石은 대체로 粗粒의 自形 結晶을 이루며 鑛體의 深部로 가면서 현저히 증가한다. 이 鑛物은 黃鐵石, 黃銅石을 交代하며 특히 方鉛石과 接觸 부분에서도 自形의 結晶面을 이룬다(Fig. 8-D). 이 鑛物은 石英 혹은 方解石의 細脈에 의하여 잘리우는 수가 있다.

石英은 鑛脈을 이루는 主要 脈石鑛物로서 前記한 모든 鑛石鑛物을 捕獲하거나 그들에 의하여 捕獲되기도 하며 閃亞鉛石, 方鉛石 및 方解石과 함께 縞狀構造를

이루기도 한다. 이 鑛物은 또한 脈의 延長方向에서 漸移的으로 方解石으로 移化하는 양상을 띠운다.

方解石은 이 鑛脈의 縞狀構造의 일부분을 이루기도 하나 흔히 脈을 끊거나 혹은 母岩의 角礫을 끊는 細脈으로 분포한다.

螢石은 主 鑛脈內에서는 觀察되지 않으나 第2破碎帶에서 細脈(1~2cm)으로 발달한다. 이 螢石脈은 方解石을 동반하며 螢石은 淡綠色을 띠운다.

以上과 같은 鑛物들의 鑛脈內에서의 分布樣相과 共生關係 및 顯微鏡構造등을 종합하여 불매 鑛化期는 早期로부터 I, II, III期로 區分된다.

鑛化期 I는 黃鐵石, 閃亞鉛石, 黃銅石, stannite 및 黝銅石의 晶出期이다. 이 時期는 黃銅石이 閃亞鉛石으로부터 exsolution 할 수 있는 最高溫度(334±17°C, Kelley et al., 1970)와 暗褐色의 閃亞鉛石 및 鑛物組合 등으로 보아 鑛化溫度는 比較的 高溫이었을 것으로 思料된다.

鑛化期 II는 方鉛石의 晶出期였으며 黃銅石 및 黝銅石이 드물게 方鉛石을 交代하였다. 이 時期末에는 砒砒鐵石이 前記한 鑛物들을 交代하였다.

鑛化期 III는 方解石의 晶出期이며 螢石은 이 時期末에 方解石을 交代한 것으로 보이지만 螢石의 晶出時期는 별도로 區分할 수도 있을 것이다.

石英은 全 鑛化期를 통하여 계속 精출하였다.

### 鑛床의 成因에 對한 考察

固城 東海鑛山의 鑛脈發達은 花崗閃綠岩 岩株內에 發達한 斷層破碎帶內에 局限된다. 이 斷層破碎帶는 幅 7m, 延長 70m, 垂直深度 200m內외의 chimney狀으로서 그 生成原因은 花崗閃綠岩 生成 後의 正斷層運動에 의한 1次 破碎作用과 熱水溶液의 湧出에 의한 2次 破碎作用을 고려할 수 있다. 1次破碎作用이 正斷層運動에 의한 것이었음은 地質構造 說明에서 언급한 바 있으며 2次破碎作用이 追加되었을 가능성은 破碎帶內의 角礫들이 미세한 stockwork로 鑛化 및 硅化되어 있으며 부분적으로 미약하나마 圓磨되어 있는 것으로 유추가 가능하다. 만약 熱水溶液이 鑛化期 初期에 boiling 하였다면 破碎帶內에서의 throttling은 결국 角礫들을 2次 破碎하게 되었을 것이기 때문이다. (Sillitoe, 1985; Burnham, 1985).

熱水鑛床 生成 初期의 boiling에 의한 鑛床生成은 現在로서는 널리 알려진 사실이다. Kelley와 Turneure (1970)는 Bolivia의 錫, 텅스텐 鑛脈의 初期 成因을 鑛液의 boiling에 의한다고 하였으며 이들은 다만 boiling에 의한 鑛床生成은 鑛化溫度가 400°C 아래로 떨어지면 그 效果가 없다고 하였으나 Drummond와 Ohmoto (1985)는 그들의 “熱水溶液의 boiling에 대한 thermodynamic model研究”에서 open system에서의 金, 銀, 銅, 鉛, 亞鉛鑛物의 晶出은 低溫에서도 初期 boiling期에 매우 효과적이라는 사실을 立證한 바 있다. 後者들은 또한 boiling에 의하여 生成된 鑛床은 炭酸鹽鑛物과 石英을 主要 脈石으로 하며 silica에 對한 鑛石鑛物의 含量比가 다른 어떤 鑛化作用에 의한 鑛床에 比하여 높다고 하였으며 鑛物의 垂直帶狀分布는 CO<sub>2</sub> fugacity에 의하여 決定된다고 하였다. CO<sub>2</sub> fugacity와 鑛化溫度가 鑛石鑛物의 垂直帶狀分布에 미치는 影響에 대하여는

Shikazono(1985)에 의하여 熱水變成鑛物의 研究에서 밝혀진 바 있다. 筆者는 巨濟 東海鑛山의 研究(1986)에서 이 鑛山의 成因을 鑛液內의 CO<sub>2</sub> fugacity가 黑色 셰일中에 含有된 有機物質로부터 生成된 CO<sub>2</sub>로 인하여 급격히 증가함으로써 安山岩質岩 및 黑色셰일의 接觸帶에서 黑色셰일內에 集中的으로 銅의 鑛石鑛物이 晶出하였음을 提案한 바 있다. 그러나 固城 東海鑛山의 경우는 母岩이 花崗閃綠岩으로서 이 鑛床의 熱水溶液은 그 上昇過程에서 外部로부터 CO<sub>2</sub>의 補充이 불가능하였을 것이며 오히려 open system이었다면 CO<sub>2</sub> fugacity는 점차 감소하였을 것이기 때문에 이 鑛山의 成因을 CO<sub>2</sub> fugacity만의 變化에 의한 것으로 보기는 어렵다.

以上の 여건으로 보아 固城 東海鑛山의 鑛石鑛物들은 初期에 熱水溶液의 boiling에 의하여 晶出하고 그 上昇過程에서 CO<sub>2</sub> fugacity의 점진적인 變化에 의하여 鑛石鑛物의 垂直帶狀分布가 이루어졌을 것으로 사료된다.

固城 東海鑛山의 成因으로서 고려되어야 할 또 다른 作用은 熱水溶液과 地下水의 混合이다. 鑛體의 母岩이 不透水性인 花崗閃綠岩이며 斷層破碎帶는 그 延長성이 짧은 chimney 狀을 이루는 점을 고려하면 地下水의 移動은 매우 제한되어 있을 것으로 보이지만 鑛化帶內에서의 熱水溶液의 boiling 및 throttling에 의한 地下水의 對流循環은 의외로 빠르게 일어나 地下水가 鑛床의 冷却 및 pH의 變化에 作用하였을 가능성은 배제할 수 없다. 이와 유사한 結論은 Kelley 및 Turneure (1970)와 金奎漢(1987) 등에 의하여 Bolivia의 錫鑛脈 및 上東重石鑛山의 成因에서 各各 提案한 바 있다.

### 結 論

1) 이 鑛山의 地質은 siltstone으로 代表되는 下部堆積層과 이들을 不整合으로 덮는 凝灰質砂岩 및 이들을 貫入한 花崗閃綠岩 岩株 및 鹽基性 岩脈으로 構成된다.

2) 下部堆積層은 花崗閃綠岩의 貫入岩株 沿邊部에서 接觸變質作用을 받아 再結晶作用 및 綠泥石-綠簾石-絹雲母化作用을 포함하는 hornfels化 하였다.

3) 下部堆積層은 花崗閃綠岩의 forceful intrusion에 의하여 그 接觸部 부근에서 拗曲現狀을 보이며 花崗閃綠岩은 下長里와 上長里를 연결하는 N35°W, 80°NE의 正斷層 破碎帶를 形成하였다.

4) 鑛床은 前記한 斷層破碎帶를 充填한 脈狀 含金, 銀, 銅, 鉛, 亞鉛 鑛床이다. 主鑛體를 이루는 破碎帶는 幅 7m, 延長 70m 垂直深度 200m 內외의 chimney 狀을 이룬다.

5) 鑛體 주위의 熱水變質作用은 赤鐵石化帶를 최의 階으로 하여 綠泥石帶, 綠簾石帶 및 絹雲母帶를 이룬다.

6) 主鑛體의 鑛石鑛物은 鑛化期 I의 黃鐵石, 閃亞鉛石, 黃銅石, stannite, 黝銅石과 鑛化期 II의 方鉛石, 硫砒鐵石이 있다. 石英은 全 鑛化期에 걸쳐 晶出하였으며 方解石 및 螢石은 鑛化期 III의 脈石鑛物이다. 이들 鑛物은 垂直帶狀分布를 보이는데, 銀을 포함하는 方鉛石은 鑛體의 上部로 가면서 증가하고 閃亞鉛石, 黃銅石, 硫砒鐵石 등은 鑛體의 下部로 가면서 증가하는 현상을 보인다.

7) 이 鑛床의 鑛床生成溫度는 鑛石鑛物의 組合, 母岩變質帶의 變成鑛物의 組合, 閃亞鉛石으로 부터 黃銅石의 exsolution 現狀등을 고려하면  $334 \pm 17^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$  일 것으로 사료된다.

8) 固城 東海鑛山의 鑛石鑛物들은 正斷層破碎帶內의 open system에서 初期에 熱水溶液의 boiling에 의하여 晶出하고 이 熱水溶液의 上昇過程에서 地下水등의 혼합에 의하여 冷却함과 동시에  $\text{CO}_2$  fugacity의 變化가 일어나 鑛石鑛物의 垂直帶狀分布를 이루는 것으로 사료된다.

### 參 考 文 獻

Burnham, C.W. (1985) Energy release in subvolcanic environment: Implication for breccia formation. *Econ. Geol.*, v. 80, No. 6, p.1515-1522.  
 張泰雨 外 5人(1983) 한국지질도 1:50,000 충무도폭 한국동력자원연구소.  
 Drumond, S.E. and Ohmoto, H. (1985) Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal Systems. *Econ. Geol.*, v. 80, No. 1, p.

126-147.

金鍾大(1986) 巨濟 東亞鑛山의 地質 및 鑛床. 鑛山地質, 19卷, 특별호. p.103-112.

Kim Kyuhan, O.J. Kim and Lee Hangjai (1987) Stable isotope studies of W-bearing metasomatic skarn and hydrothermal vein minerals, and associated igneous rocks in the Sangdong tungsten ore deposits, South Korea. *Pacific science Association 16th congress, abstracts. v. 1, p.121 and his presentation*

Kelley, Wm. C. and Turneaure, F.S. (1970) Mineralogy, paragenesis and geochemistry of the tin and tungsten deposits of the Eastern Andes, Bolivia. *Econ. Geol.*, v. 65, No. 6, pp.609-680.

吳敏秀(1969) 東海鑛山試錐探鑛綜合報告書. 永豐鑛業(株) 技術室. 미발간.

朴魯榮·池楨蔓(1963) 한국지질도 1:50,000 진동리도폭. 국립지질조사소.

Ramdohr, P. (1980) The ore minerals and their intergrowths. 2nd edition. v. 1 and v. 2.

Shikazono, N.(1985) Gangue minerals from Neogene vein type deposits in Japan and estimate of their  $\text{CO}_2$  fugacity. *Econ. Geol.*, v. 80, No. 3, p.754-768.

Sillitoe, R.H. (1985) Ore related breccia volcano-plutonic arcs. *Econ. Geol.*, v. 80, No. 6, p.1467-1514.

Singh, I.B. and Reineck, H.E. (1975) Depositional sedimentary environments. Corrected reprint of the first edition, Springer-Verlag, p.355-372.