

## 三光 金 鑛床의 鑛化 溫度 및 根源에 關한 研究

文 建 柱\*

### Study on the Temperature and the Origin of Mineralization at the Samkwang Au Deposits

Kun Joo Moon

**Abstract:** The Samkwang mine is one of gold deposits distributed mainly in the southwestern province (Chungnam) of the Korean peninsula. Golds occur in quartz veins aged of  $223 \pm 4$  MA according to K-Ar age dating from muscovite in a pegmatitic quartz vein. Quartz veins intrude Precambrian biotite-granite gneiss and mica schist of unknown age.

Fluid inclusions in the quartz show a range of homogenization temperatures from 159 to 274°C. A calculated temperature from the isotopes of the galena-sphalerite pair is 375°C. Two phases-fluid inclusions homogenized either by liquid or vapor phase are frequently observed in specimens over 260°C, which may indicate the boiling of the fluids. Pressure of formation of the quartz veins inferred by the homogenization temperatures of liquid-CO<sub>2</sub> bearing fluid is 1kb. Based on these data, it is assumed that the temperature of the formation of the Samkwang mine may lie in between 350°-230°C.

$\delta^{34}\text{S}_{\text{E}}$  values of sulphide minerals show narrow range of +2.1 to +4.6, and show a trend of enrichments of  $^{34}\text{S}$  in the fluid from deep to the surface.  $\delta^{34}\text{S}_{\text{E}}$  in the fluid estimated is less than 3 permil, suggesting sulphur fluid originated from the magma.

#### 序 言

80年代에 들어서면서 國際市場의 金屬價 瀑落으로 因한 金屬鑛床開發의 不振에도 不拘하고 韓國의 金鑛床단은 前年代에 比해 보다 活潑한 稼行과 開發이 進陟되고 있음은 多幸한 일이다. 韓國動力資源研究所 鑛山開發部의 84年度 當面課題의 一環으로 群小 金鑛床의 綜合開發 可能性 研究를 위한 金鑛床調査中 著者는 課題의 次元을 벗어나 鑛床의 成因에 對한 研究를 目的으로 三光鑛山의 경우 세차례에 걸쳐 坑內外調査를 하는동안 別途試料를 採取하였고 이에對한 鑛物의 顯微鏡의 觀察, 流體包有物의 研究 및 黃同位元素分析을 通한 三光 鑛床의 生成溫度 및 鑛化流體의 同位元素에 依한 鑛床成因을 推定해 보는 一聯의 研究를 試圖하였다.

本 研究의 目的은 忠南-全北 一帶에 散在分布하는 金鑛床들에 對한 諸搬資料가 貧困한 此際에 그 生成時期, 溫度等 生成條件을, 한 鑛床의 경우 만이라도 推定

\* 韓國動力資源研究所

해 봄으로써 國內 金鑛床 成因研究에 寄與코져 本 研究를 試圖하였다.

#### 地質 鑛床 概要

三光鑛山의 地質은 大興圖幅(Figs. 1, 2)의 中央南部에 해당되는 部分의 地質로 넓게 分布하는 先캄브리아 紀(Hurley & Lee 1970)의 維鳩花崗片麻岩과 이에 捕獲되어진 變成堆積岩 및 月峴里層으로 이루어져 있다.

本鑛山은 일부 變成堆積岩과 花崗片麻岩中에 存在한 石英脈에 方鉛石, 閃亞鉛石, 黃銅石, 硫砒鐵石과 함께 產出되는 金銀을 稼行對象으로 삼고 있다. 石英脈의 走向은 N70°E 혹은 S30°E에 55~65°SW으로 傾斜한다. 脈幅은 數 cm에서 30cm以內이고, 走向延長은 約 1,500m에 이른다. 脈은 數個條로 發達하나, 이중 주로 開發된 脈名은 통동脈, 본항脈, 국사봉맥, 국성脈이다. 현재까지 本鑛山內 平均 金含量은 5~60g/ton이다(정영부와 문영환 1984). 著者의 鑛山 調査時에 採取된 試料中 分析된 金·銀·鉛·亞鉛의 含量關係는 아래와 같다.

시료번호	金(g/t)	銀(g/t)	鉛(%)	亞鉛(%)
SK-29	14.3	6	tr	tr
SK-34	1.0	21	0.87	0.11
SK-39	12.5	6	tr	tr

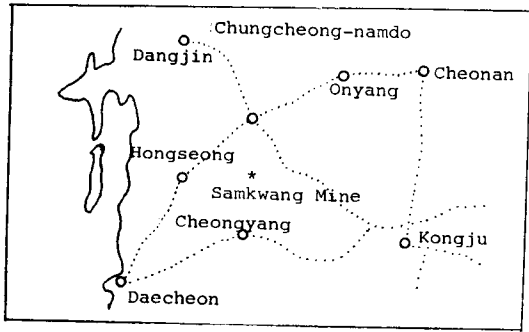


Fig. 1 Location map of the Samkwang mine.

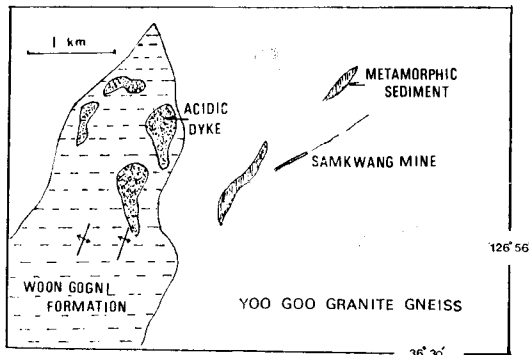


Fig. 2 Geological map of the Samkwang mine area.

金の産狀

鄭榮富와 文英煥(1984)에 의해 調査報告된 바에 의하면 鏡下에서 自然금이 斑晶으로 硫砒鐵石內에 溶離되어 나타나며 金世鉉(1985)이 提示한 觀察寫眞(Fig. 3)에 의하면 自然금이 硫砒鐵石內 작은 裂隙을 일부 充填한 상태로 나타나고 있다. 앞의 대표적인 試料分析 結果에서 金の 含有가 鉛·亞鉛의 발달과 逆比例하고 있는 傾向을 보이고 있음은 三光鑛山의 金の 産出은 硫砒鐵石과 密接한 共生關係를 갖는 것으로 間接說明해 준다.

三光鑛山의 石英脈에서 肉眼으로 쉽게 관찰되는 黃化礦物은 閃亞鉛石>方鉛石>黃銅石>硫砒鐵石 順으로 小量씩 分布되어있다. 顯微鏡下에서 관찰되는 바에 의하면 黃鐵石과 硫砒鐵石이 흔히 함께 나타나며, 특히 黃鐵石은 自形~半自形의 形態를 유지하면서 硫砒鐵石



Fig. 3 A photomicrograph showing an occurrence of gold in sulfide minerals at the Samkwang mine.

과 함께 閃亞鉛石-方鉛石등에 의해 捕獲되어지거나 交代되어있음을 흔히 관찰할 수 있어 大략적인 黃化礦物의 晶出順序는 黃鐵石-硫砒鐵石>閃亞鉛石-方鉛石>黃銅石의 順으로 되어있음을 推定케 한다. 硫砒鐵石은 또한 方鉛石과 함께 나타나는데 대체로 硫砒鐵石은 巨晶을 이루어 殘存하나 方鉛石과 밀접히 共生하는 閃亞鉛石內에서는 거의 관찰되지 않는다. 硫砒鐵石과 흔히 共生하는 黃鐵石은 훨씬 적은 粒子로 나타나며 이 두 礦物이 곳에 따라서 破裂되어져, 方鉛石과 閃亞鉛石에 의해 交代되고 있음을 볼 수 있다. 閃亞鉛石內에 溶離組織이 보이며, 黃銅石은 斑點狀 또는 細脈狀으로 나타나며, 閃亞鉛石을 交代한 痕跡을 보이면서도 곳에 따라서는 方鉛石에 의해 交代되어지기도 하여 복잡한 生成期의 先後關係를 보여준다.

石英脈의 生成時期

變成堆積岩中에 發達된 石英脈中 일부는 페그마틱한 組織을 部分的으로 보여 巨晶의 白雲母群集을 採取할 수 있다. 물론 含金石英脈과 同一한 時期의 것으로 確認되는 同一延長을 觀察할 수 없으나 그 産狀이 거의 類似하고 가까운 空間에서 延長豫測線에 놓여 있으므로 일단 同一時期의 것으로 가정하고서 採取된 白雲母로부터 얻은 K-Ar年代 測定値는 223±4MA인 트라이아스紀의 것으로 밝혀졌다. 三光鑛山의 金 鑛化時期가 이와 같다면, 이는 玉房의 灰重石脈에서 採取한 黑雲母의 生成時期(265±4MA)와 類似한 바 鑛化時期와 關聯된 마그마의 活動이 現 地表에 들어나 있지 않는 點으로 미루워 金銀-重石의 鑛化作用과 밀접한 關係 花崗岩類는 深部에 潛在할 可能性이 크다고 推測해 볼 수 있다.

流體包有物

廣範圍한 規則的 試料採取가 不可能한 形便인을 勘案하여 통동항의 主水平坑道와 探鑛掘進中인 垂坑 및 이와 연결되는 3, 5, 6坑道에서 黃化鑛物을 含有하는 部分의 石英脈을 對象으로 試料를 採取하여 流體包有物 觀察를 實施하였다.

많은 우유 빛 白色石英은 流體包有物을 보이지 않고, 보인다 해도 觀察키 어려울 정도의 작은 것들만 보이기 때문에 드물게 나타나는 透明한 部分의 石英이 가지는 包有物만이 觀察對象으로 삼았다. 觀察된 流體包有物은 0.03mm이하 눈(目) 모양의 것들로 冷却實驗은 極히 制限된 數의 包有物 만으로 이루어져 均質化 溫度測定 以前에 이들을 우선적으로 관찰하였다.

大部分의 流體包有物은 二相의 것들로 加熱臺上에서 液狀으로 均質化하나 試料에 따라서는 一部 氣狀으로 均質化하는 것들이 함께하고 있음을 보여준다. 또 드물게 室溫(17°~20°C)에서 液體 CO<sub>2</sub>를 갖는 三相의 包有物을 觀察케 한다(SK-7 및 SK-20).

高倍率(500×)로 觀察possible 많은 流體包有物들이 實際 測定時(350×)는 觀察이 어려워 特히 冷却實驗과 三相의 觀察에는 우리 裝備로는 問題點이 많아 그 改善없이는 많은 重要한 諸情報를 收集 할 수 없음이 지극히 안타까운 일이라 아니할 수 없다. 三相의 液體 CO<sub>2</sub>를 갖는 包有物의 溫度는 한 試料(SK-7 & 20)에서 여러차례 반복 測定한 結果는 모두 CO<sub>2</sub>部分이 25°C에서 液相으로 均質化하였다.

冷却實驗은 적어도 -110°C 이하까지 冷却시킨후 관찰하여야 함에도 불구하고 裝置의 不完全함으로 -50°C까지 冷却후 관찰 함으로 CO<sub>2</sub>게스의 冷却溫度(-56°)도 確認키 어려웠다. 本 관찰 對象 包有物이 冷却후 보여준 共融溫度(첫 溶解溫度)는 -18~-20°C이고 얼음이 사라지는 溫度는 -1.2°C에서 -2.2°C에 걸치는 좁은 범위의 冷却溫度를 보여주었다. 만약 MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> 등 기타 鹽들을 함유한 流體가 存在한다면 -50°C 정도에서는 氷結되기가 어렵기 때문에 測定된 流體包有物은 그 流體가 거의 H<sub>2</sub>O-NaCl系의 것이었을 것으로 推定할 수 있다.

冷却溫度를 測定한 包有物을 다시 찾아 加熱시키는 作業이 거의 不可能하여 同一試料片에서 쉽게 찾아진 다른 包有物을 對象으로 均質化溫度를 測定하였다 (Table 1). 室溫에서 液體 CO<sub>2</sub>를 보이는 包有物은 182~184°C에서 均質化하며 대체로 二相의 包有物은 159°C~274°C에 걸쳐 均質化한다. 氣相均質化하는 包有物이 비교적 높은 溫度에서 觀察되는데 가까운 部分

Table 1 Homogenization temperatures of fluid inclusions in the quartz at the Samkwang mine.

Sample No.	Homogenization Temperature	Freezing Temperature	Reference
SK-2	159~160		liquid -CO <sub>2</sub>
SK-7	170~197 217~218	-1.5, -2.2	
SK-10	205~207	-1.1, -1.3	
SK-13	210, 274	-1.2	
SK-15	174~176		
SK-20	182~184 260~262		
			liquid CO <sub>2</sub> Homogenized at +25°C

의 일부 包有物은 液相均質化하면서 氣相均質化하는 것과 同一 均質化 溫度를 260°C이상에서 보이고 있어 本鑛山의 石英脈을 形成한 流體는 約 260°C에 이르기까지 대체로 二相(沸騰)을 유지하였음을 示唆해준다 (Roedder, 1979).

流體가 보이는 좁은 범위의 冷却溫度로 미루워 그 流體는 지극히 낮은 鹽의 묽은 溶液이었음을 알 수 있고 流體가 供給되는 初期에는 開放系(open system)에서 流體가 二相으로 構造線~弱線을 따라 流入되며 溫度의 下落과 함께 石英을 晶出시켰을 것으로 본다. 後續되는 流體는 石英의 晶出과 함께 通路의 閉鎖로 閉鎖系에서 部分壓이 形成되며 一旦 沸騰이 停止된 狀態로 溫度의 下落이 壓力上昇에 따라 있었을 것으로 推定된다. 液體 CO<sub>2</sub>를 가진 包有物을 갖는 試料片에서 낮은 鹽도를 보이는 包有物이 H<sub>2</sub>O만의 流體라고 가정할 경우 이들의 均質化溫度는 液體 CO<sub>2</sub>를 갖는 包有物의 均質化溫度와 거의 같으므로(180°C) 이를 根據로 捕獲當時 壓力을 規定할 수 있다. Roedder와 Bodnar의 資料를 이용해 약 0.77g/cc의 密度(+25°C均質化溫度로부터 推定)를 갖는 含 CO<sub>2</sub>게스 包有物이 180°C에서 含水만의 包有物과 거의 同時에 均質化하는 溫度로부터 얻을수 있는 壓力은 약 1kb이다(Roedder, 1979; Hollister & Crawford, 1981). 壓力補正을 要하는 260°C 이하의 낮은 溫度를 보이는 流體包有物의 均質化溫度中 最低溫度 159°C는 補正後 實際溫度는 230°C가 되며 이보다 높은 218°C는 약 288°C가 된다. 260°C이상의 溫度에서도 일부 試料片에서는 液相均質化하는 流體包有物이 觀察되고 있음은 流體의 沸騰이 部分的으로 일어났음을 示唆해주고 있다. 따라서 流體의 連續된 供給은 通路의 開閉現象이 間歇(간헐)交叉하였음을 假定한다면 260°C이상의 溫度에서도 1kb의 壓力補正을 適用치 않을 수 없다. 이럴 경우 補正溫度는 350°C정

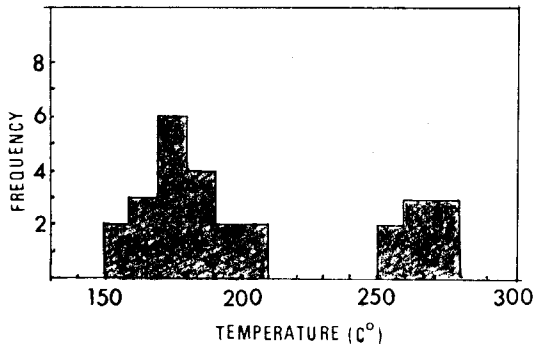


Fig. 4 Distribution of fluid inclusion homogenization temperatures in quartz from the Sankwang mine.

도가 되므로 이는 後述되는 黃安定同位元素로부터 推算되는 溫度와 近似한 값에 이르게 되기 때문에 대체로 補正溫度는 合當한 結果로 보아 壓力推定에 無理가 없음을 認定할 수 있다.

Fig. 4에서 보여주는 바와같이 均質化溫度의 分布가 두 群으로 區分되고 있는 것은 바로 流體의 流入이 最終的으로 開放에서 閉鎖되어짐으로서 壓力上昇에 따른 溫度의 下落이 이루어져서 別途의 高低 두 溫度群을 形成케 된 것으로 생각된다. 本鑛山의 石英脈은 350°C 이상의 溫度로부터 점차 冷却되어가는 동안 流體로부터 石英이 晶出되어졌는바 流體가 약 290°C에서 230°C에 이르는 동안에 가장 活潑하게 많은 石英이 晶出되어짐으로서 形成되어졌다고 推定된다.

### 黃安定同位元素

流體包有物의 均質化溫度로부터 鑛床生成溫度를 推定함에 있어 그 信憑性을 點檢하고 또 黃化鑛物의 根源에 對한 安定同位元素의 根據를 提示하기 爲하여 地熱計로도 使用할 수 있도록 肉眼의으로 共存한다고 觀察되는 閃亞鉛石-方鉛石 雙 및 黃鐵石-黃銅石 雙을 抗內深度를 考慮하면서 採取된 石英脈으로부터 分離하여 各鑛物別 安定同位元素( $\delta^{34}\text{S}$ ) 分析을 하였다. 試料 內容 및 分析 結果는 Table 2와 같다. 分析은 투손(Tucson)의 아리조나大學(University of Arizona) 同位元素 地化學實驗室에서 實施된 것으로  $\text{SO}_2$ 의 標準은 Tasmanian Tullah galena와 NBS(National Bureau of Standard) sphalerite를 이용한 것이며 本分析의 精密度는  $\pm 0.18\%$ (permil)이다.

三光鑛山의 石英脈에 胚胎되는 가장 우세한 黃化鑛物들이 갖는  $\delta^{34}\text{S}$ 값은 아주 좁은 範圍에 해당하는  $+2.1 \sim +4.6$  permil 사이에 놓여있음이 밝혀졌다. Table

Table 2  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfide minerals from the Sankwang mine.

Sample No.	Minerals	$\delta^{34}\text{S}$ CDT	Sampling place
1.	Galena	$+3.0 \pm 0.08$	104 cross, 0 level
2.	Sphalerite	$+4.6 \pm 0.08$	
3.	Galena	$+2.7 \pm 0.06$	4-5 cross, -2 level
4.	Sphalerite	$+3.8 \pm 0.06$	
5.	Galena	$+2.1 \pm 0.05$	5 cross, -5 level
6.	Sphalerite	$+3.5 \pm 0.09$	
7.	Chalcopyrite	$+3.9 \pm 0.03$	104 cross, 0 level
9.	Pyrite	$+4.2 \pm 0.03$	4-5 cross, -2 level
10.	Chalcopyrite	$+3.9 \pm 0.04$	
11.	Pyrite	$+3.6 \pm 0.06$	5 cross, -5 level

Table 2(B) The increasing trend of  $^{34}\text{S}$  with depth at the Sankwang mine.

Sea level	level	galena	sphalerite	pyrite
200M	-0	+3	+4.6	
150M	-2	+2.7	+3.8	+4.2
80M	-5	+2.1	+3.5	+3.6

Table 3 Estimated temperatures calculated from isotopic compositions of the sphalerite-galena pairs.

Sample No. s of pairs	$\Delta_{\text{gn-sph}}$	$\Delta \frac{1}{2}$	Temperature
1 & 2	1.6	1.264911	375°C
3 & 4	1.1	1.048808	508°C
5 & 6	1.4	1.1831253	420°C

2(B)에서 보여주고 있듯이 閃亞鉛石과 方鉛石이 갖는  $\delta^{34}\text{S}$ 값은 深度에 따라 減少한다. 이같은 規則的 變化는 流體中 黃의 同位元素가 深部로부터 上昇함에 따라  $^{34}\text{S}$ 의 富化現象이 隨伴되었음을 立證해 주고 있다.

地質溫度計로서의 情報는 試料-1이 갖는  $\Delta_{\text{gn-sph}}$ 로부터 計算된 375°C만이 適切한 黃化物의 生成溫度로 首肯되나 其他試料의 溫度는 分明히 化學平衡下에서 方鉛石과 閃亞鉛石이 晶出되지 않았음을 500°C이상의 溫度로부터 推定할 수 있다(Table 3).

Sakai(1968)와 Ohmoto(1972)는 熱水鑛物의 黃同位元素 成分은 流體의 pH와  $f_{\text{O}_2}$  뿐만 아니라 溫度와 流體內에 含有된 黃의 平均 同位元素 成分( $\delta^{34}\text{S}_{\text{E}}$ )에

따라 左右되고 있음을 보여주었다.

제한된 情報만으로 流體의 物理-化學的 條件을 規定하는 것은 無理이지만 既 發表된 相圖를 利用하여, pH, fO<sub>2</sub>의 關係를 測定된 黃化鑛物의 δ<sup>34</sup>S값을 가지고 推定해 볼 수 있다. Ohmoto(1972)가 明示한 것 처럼 黃化鑛物이 보이는 δ<sup>34</sup>S의 富化現象이 黃鐵石>閃亞鉛石>方鉛石의 傾向을 대체로 보이고 있으므로 δ<sup>34</sup>S<sub>py</sub>값과 δ<sup>34</sup>S<sub>Es</sub>값은 거의 一致한다고 假定할 수 있다(Ohmoto, 1972). 試料 1과 2 4gn-sph로부터 얻은 375°C를 黃化鑛物이 晶出된 溫度로 規定할 수 있으므로(Table 3), T=350°C에서 그려진 Ohmoto(1972, 1979)의 δ<sup>34</sup>S<sub>py</sub>, pH 및 fO<sub>2</sub>의 關係圖(Table 5)를 이용해 本 三光鑛山 δ<sup>34</sup>S<sub>py</sub>의 값에 맞는 條件을 推定하면 다음과 같다.

$$\delta^{34}S_{Es} = \text{약} +3\% \quad \Sigma S = 0.1 \text{ moles/kg H}_2\text{O}$$

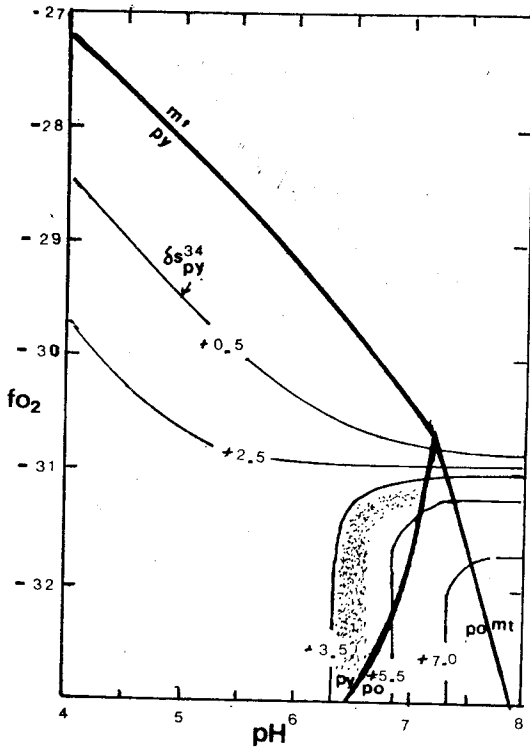


Fig. 5 A diagram showing the fO<sub>2</sub>-pH relationships between the stability fields of sulfide minerals estimated from the sulfur isotopic composition of sulfide minerals at 350°C from the Samkwang Mine. Heavy solid lines: the mineral stability boundaries among pyrite-pyrrhotite-magnetite in solutions containing 0.1 moles/kg H<sub>2</sub>O total sulfur. Thin lines: δ<sup>34</sup>S countours for pyrite under a condition of δ<sup>34</sup>S<sub>Es</sub>=+3permil. The spotted area implies stability field of pyrite occurring at the Samkwang mine.

$$\text{pH} = +6 \sim +7$$

$$\text{Log}f\text{O}_2 = -31 \sim -32$$

黃化鑛物의 δ<sup>34</sup>S값이 아주 좁은 범위에 걸쳐 나타나며 δ<sup>34</sup>S<sub>Es</sub>가 +3permil 이하로 規定할 수 있으므로 黃化鑛物의 含黃流體는 마그마 根源임을 斷定할 수 있고 黃化鑛物이 石英보다 높은 溫度에서부터 晶出되어 있음을 把握할 수 있다.

### 結 言

三光鑛山 含金石英脈의 石英內 流體包有物이 보이는 均質化溫度와 黃安定同位元素分析結果로부터 推定되는 石英脈生成溫度는 약 370°C의 높은 溫度에서부터 黃化鑛物이 晶出되기 始作했을 것이며 石英脈內 黃化鑛物이 貧弱한 點으로 미루워 鑛化初期에만 流體內에 黃의 濃度가 짙었을 뿐 後期에는 極히 微量만이 流體에 含有되었을 것으로 본다. 石英이 晶出되는 동안 流體는 流入路의 閉閉現象에 따라 260°C이상의 溫度에서 沸騰하였으며 黃이 처음 晶出된 溫度로부터 점차 식어가는 過程에서 거의 液相의 流體로 移動하면서 1kb의 壓力下에서 290°C로부터 230°C 사이에 가장 많은 石英을 晶出시켜 大規模의 石英脈을 形成하였다. 黃安定同位元素에 依한 流體의 根源은 火成(마그마)起源으로 現在 露出되지 않은 트라이아스(223MA)紀의 鑛化活動이 韓半島에 있었음을 探知케 한다.

### 謝 辭

實驗室利用에 협조해 주신 서울大學校 朴喜寅教授와 文相鎬助教授께 感謝드리며 黃同位元素分析을 직접 맡아 해준 옛 동료 Dr. Chris께 감사드립니다. 현미경 사진의 인용을 허용한 尙志大 金世鉉 교수, 現地 案內와 試料準備에 誠意를 아끼지 않은 一信三光現場의 後學洪東杓께, 아울러 機會를 提供한 一信鑛業에 深深한 感謝를 表한다.

### 參 考 文 獻

김세현 (1985) 삼광광산 광물 현미경 관찰. 미발표.  
 엄상호·이민성 (1963) 대흥도폭. 국립지질 조사소.  
 정영부·문영환 (1984) 金鑛調查報告書(Ⅱ) 대한광업 진흥공사.  
 Hollister, L.S., and M.L. Crawford (eds.) (1981) Fluid inclusions: Applications to petrology. Mineral Assoc. Canada Short Course Handbook, v. 6, 304p.  
 Hurley P.M., and Lee J.H. (1970) M.I.T. report.  
 Ohmoto, H. (1972) Systematics of carbon and sulfur isotopes in hydrothermal ore deposits. Econ. Geol.,

- v. 67, p. 551-578.
- Ohmoto, H. and Rye, R.O. (1979) Isotope of sulfur and carbon. In: Barnes, H.L. (ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd ed. New York, John Wiley and Sons, p. 509-567.
- Roedder, E. (1979) Fluid inclusions as samples of ore fluids. In: Barnes, H.L. (ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd ed. New York, John Wiley and Sons, p. 509-557.
- Sakai, H. (1968) Isotopic properties of sulfur compounds in hydrothermal processes. *Acta*, v. 12, p. 150-169.