

柳川 蒼鉛鑛床의 鑛石鑛物, 流體包有物 및 安定同位元素

李鉉具* · 庾鳳哲* · 金尙中*

Ore Minerals, Fluid Inclusions and Stable Isotopes of the Yucheon Bismuth Deposits, Korea

Hyun Koo Lee*, Bong-Cheal Yoo* and Sang Jung Kim*

ABSTRACT : The Yucheon Bi deposits at Cheongha, Gyeongsangbugdo, is of a middle Paleogene (49 Ma) vein type, and is hosted in sandstone and shale of Banyawal formation in Cretaceous age. Based on mineral paragenesis, vein structure and mineral assemblages, two mineralization stages were distinguished. The stage I consists of quartz with small amount of chlorite, pyrite, epidote, halloysite, vermiculite, serpentine and rutile associated with sericitization. The stage II is characterized by Bi mineralization such as bismuthinite, Bi-Cu-Pb-S mineral, tetradymite, native gold, pyrite, pyrrotite, arsenopyrite, wolframite, rutile, hematite, sphalerite, chalcopyrite, galena with alteration of sericite, chlorite, K-feldspar, albite and epidote. Fluid inclusion data indicate that fluid temperature and NaCl equivalent wt.% salinity range from 431 to 150°C and from 19.2 to 0.18 wt.% in the stage II. Evidence of boiling during the base-metal mineralization indicates pressures 241 to 260 bars. Sulfur fugacity ($-\log f_{S_2}$) deduced by mineral assemblages and compositions ranges from 5.1 to 5.7atm in early stage, from > 8.4 atm in middle stage and from 13.5 to 19.3 atm in late stage. It suggests that complex histories of progressive cooling, dilution and boiling were occurred by the mixing of the fluids. The $\delta^{34}S$, $\delta^{18}O$ and δD data range from 2.5 to 3.9‰, -0.5 to -4.1‰ and -29.7 to -47‰, respectively. It indicated that hydrothermal fluids may be magmatic origin with boiling and mixing of meteoric water increasing paragenetic time.

序 言

柳川鑛床은 慶尙累層群의 반야월층내에 발달된 NE계의 裂隙을 充填한 含蒼鉛 熱水鑛床으로서 慶尙北道 浦港市 北區 淸河面 柳溪里, 동경 129°16' 10"~129°18' 08", 북위 36°11'~36°13' 에 위치한다.

이 鑛床은 1968년 絹雲母를 대상으로 구갱을 중심으로 15 m정도 開發하였으나, 1968년 신화홍산에 의해 鑛業權이 이전되어 絹雲母와 蒼鉛을 대상으로 1973년 5월 休鑛 신고를 내기까지 본갱, 중앙갱, 유계갱 및 상갱을 중심으로 총 2,500 m정도를 開發하였다. 1990년에 임택수에 의해 鑛業權이 이전되어 현재까지 본갱을 중심으로 採鑛이

이루어지고 있으며 絹雲母는 재래식 수비시설을 이용하여 정제하고 있다.

鑛床周邊의 岩石學的, 構造地質學的, 層序學的 및 地球物理學的의 연구는 김옥준 등 (1968), 윤선 등 (1991; 1994), 윤성효 (1988), 윤혜수, 김봉균 (1983), 이상만 등 (1987), 김인수 (1992), 진명식 등 (1988), 이병주, 송교영 (1995), 이현구 등 (1992), Chang *et al.* (1990), 민경덕 등 (1982; 1988; 1992), 채명곤, 장태우 (1994) 등이 發表되어 있으나 鑛床에 대한 研究로는 대한광업진흥공사 (기술조사보고서, 1982; 1986) 등이 報告되어 있을 뿐 자세한 研究는 없다. 따라서 이 研究에서는 柳川鑛床의 蒼鉛鑛物에 대한 광물의 共生關係, 化學組成, 流體包有物, 安定同位元素, 母岩의 變質特性 및 鑛床의 生成時期등을 규명하고 蒼鉛鑛化作用의 物理化學的 環境을 고찰하고자 한다.

* 忠南大學校 地質學科 (Department of Geology, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

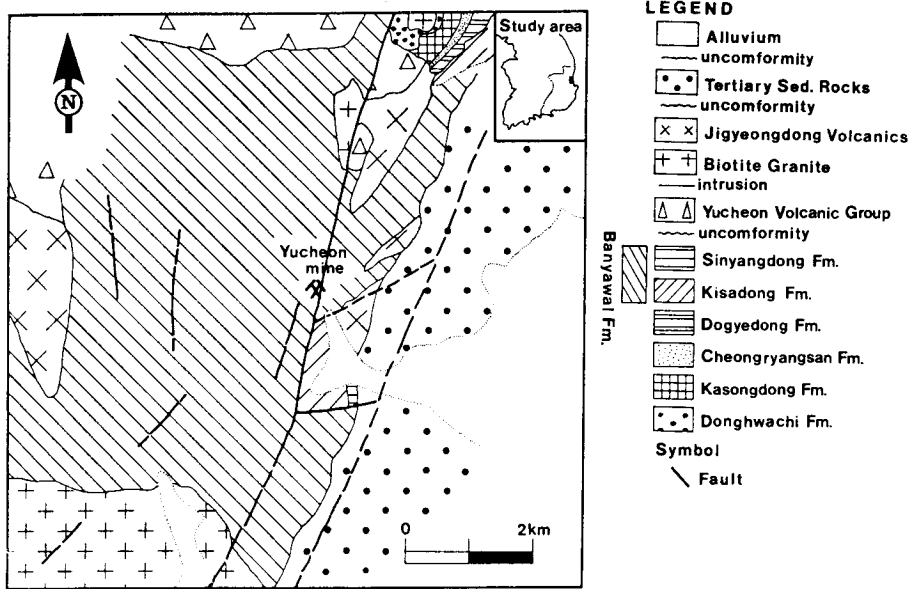


Fig. 1. Geological map of the Yucheon Bi mine area.

地質概要

柳川鑛床의 周邊地質은 김옥준 등 (1968), Chang *et al.* (1990)의 研究와 現場調査를 토대로 수정 보완하였다. 鑛床附近에는 白堊紀 慶尙累層群의 하양층군이 넓게 分布되며 이를 白堊紀 중-말기의 楡川火山岩層群이 不整合으로 피복하고 있다. 또한 石英斑岩, 鹽基性岩脈, 黑雲母花崗岩, 珪長岩質岩脈과 中性岩脈이 貫입 分布되며 이들을 제3기의 堆積岩類가 不整合으로 被覆한다 (Fig. 1).

하양층군은 鑛床 주변에 밀양소분지형 층서인 반야월층과 영양소분지형 층서인 동화치층, 가송동층, 청량산층, 오십동층, 도계동층, 기사동층 및 신양동층이 넓게 分布된다. 동화치층은 砂岩, 적색실트질세일, 礫岩, 礫質砂岩으로 構成되며 層의 최대 두께는 500 m 정도이다. 가송동층은 두께가 50~100 m로 주로 變質 적색실트암, 細粒砂岩, 녹회색이암, 切트 및 切트질세일로 構成된다. 청량산층은 火山性 礫으로 構成된 礫암, 응회암, 사암 및 이암으로 構成되며 두께는 300 m 정도이다. 오십동층은 10여개의 玄武岩質 및 安山岩質 용암류, 礫암, 사암과 적색세일로 構成된 堆積岩類로 두께는 500 m 정도이다. 도계동층은 두께가 150~250 m 정도로 적색실트질세일과 사암으로 構成되며 전반적인 走向과 傾斜는 N10~30°E, 30~50°SE이다. 반야월층은 주로 礫質砂岩 내지 사암, 세일로 構成되며 石英斑岩의 貫입에 의해 호온펠스화작용을 받았다. 이 地層의 主向은 N3~10°E 내지 N3~10°W이고, 경사는 20~

30°SW 내지 10~30°SE이다. 기사동층은 切트력역암층들이 협제되는 것을 제외하고는 도계동층과 類似하며 두께는 200 m 정도이다. 신양동층은 두께가 200 m 정도로 주로 암회색 세일로 構成되며 砂岩과 礫岩이 협제되어 있다.

유천화산암층군은 鑛床의 서북쪽에 分布되며 주로 安山岩質 火成쇄설물로서 현미경하에서 사장석, 석영, 녹염석, 녹니석 및 견운모로 構成되어 있다. 흑운모 화강암은 鑛床의 남서쪽과 북동쪽에 분포되며 中粒내지 細粒質로 석영보다 장석이 우세하다. 構成鑛物로는 석영, 정장석, 흑운모, 사장석이 주이고 저어콘, 견운모로 되어 있다. 지경동화산암은 鑛床의 서쪽에 分布되며 응회암, 유문암 및 유문암질 용암으로 構成된다. 構成鑛物로는 石英, 長石, 斜長石, 絹雲母등으로 構成되어 있다. 석영반암은 반야월층내에 貫入 분포되며 方向性은 NS 내지 N10~20°E이다. 이 암석은 石英과 자색 長石이 반정으로 存在하며 유백색 또는 담홍색을 띤다. 構成鑛物로는 석영, 정장석, 사장석과 소량의 흑운모 및 견운모로 構成되어 있다. 규장암질 암맥은 본갱 입구와 여러 지역에서 貫入 分布되며 中粒내지 現정질로 담홍색을 띤다. 현미경하에서 미문상조직이 보이며 석영, 카리장석이 주이고 백운모, 흑운모, 각섬석으로 構成되어 있다. 鹽基性岩脈 (안산암질암)은 鑛床附近의 여러곳에서 貫入 분포되며 方向性은 주로 NE계열을 갖는다. 構成鑛物로는 사장석, 각섬석, 휘석이 주로 斑晶을 이루고 있으며 少量의 견운모, 녹니석, 방해석으로 構成되어 있다. 중성암맥은 鑛床附近에서 貫입 分布되며 방

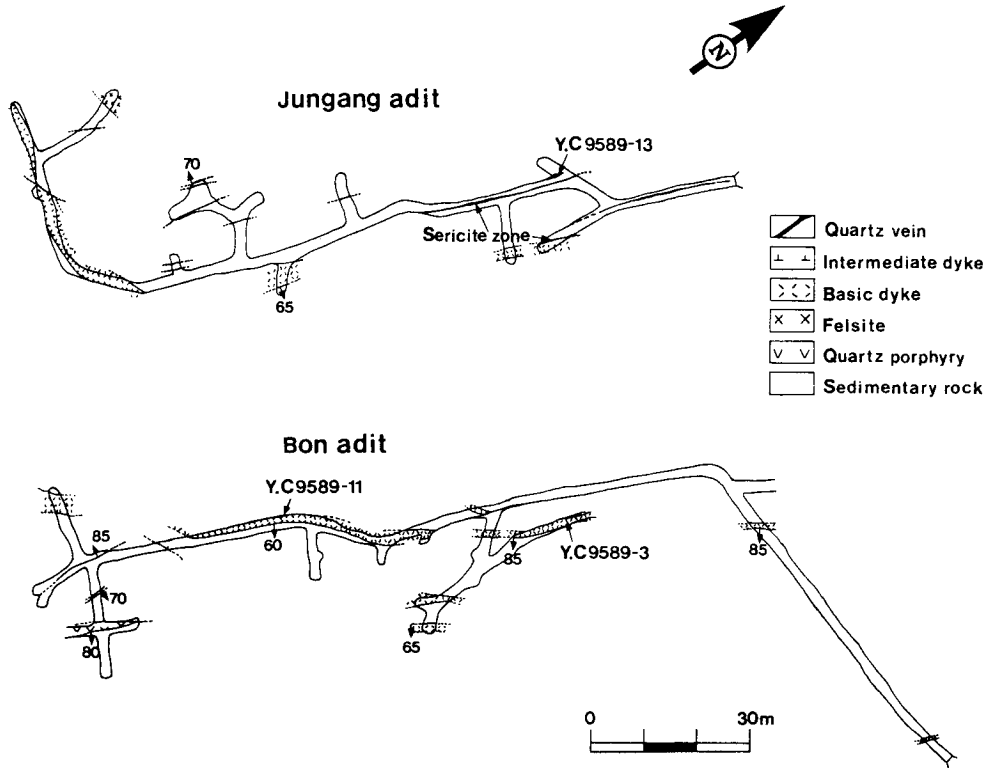


Fig. 2. Underground geological map of the Yucheon Bi deposits.

향성은 주로 NE계열이다. 構成鑛物로는 사장석, 휘석이 주이고 소량의 흑운모, 녹니석, 방해석으로 되어 있다. 제 3기堆積岩類는 鑛床의 남동쪽에서 북동방향으로 分布되며 역암, 실트암 및 이암으로 構成된다.

地質構造 및 鑛床의 生成時期

鑛床附近에는 단층, 절리등이 發達되어 있으며 이는 양산단층의 構造運動과 밀접한 관계를 갖는다 (채병곤과 장태우, 1994; 윤선 등, 1991; Chang *et al.*, 1990; 김인수, 1992; 이병주, 송교영, 1995). 이 鑛床에서 관찰되는 斷層은 주향이 N30°E, 경사 75°SE이며 단층대 周邊에는 심한 광화작용과 본경에서 N20°E, 80°SE의 斷層에서 drag현상도 觀察된다. 그리고 암맥들 및 절리들의 方向성이 대부분 NE계열이며 부분적으로 NW계열이 소수 發見된다. 이런 현상을 채병곤과 장태우 (1994)에 의해 보고된 梁山斷層의 運動과 관련된 고응력장 解析을 통한 5회의 斷層關聯 地塊 運動史로 설명하면 아래와 같다. 처음 ENE-WSW압축 및 NNW-SSE신장에 의해 N20°~40°E방향의 小斷層이 우수주향이동운동을 하였고, 그후 이들 동일 배

향의 小斷層들은 NW-SE신장의 정단층성 경사이동 運動과 ENE-WSW압축 및 NNW-SSE신장의 우수주향이동 운동에 의해 차례로 再活되었다. 그후, NNE-SSW압축 및 WNW-ESE신장으로 N60°~80°E방향의 小斷層들이 좌수 주향이동운동을 하며 生成되었고, 最후로 WNW-ESE압축의 逆斷層性 경사이동운동에 의한 층상단층이 전술한 모든 배향의 小斷層들을 절단에 의해 柳溪里附近에서 대 단층의 가치를 形成하여 북쪽으로 發達하며 斷層帶로 접근함에 따른 단열 간격의 減少현상이 발견된다고 하였다. 이러한 관점에서 이 鑛床에서 觀察되는 단층이 단층관련 지괴운동사에 의해 形成되었다고 본다면 이 鑛床의 모암 변질광물인 絹雲母에 대한 K-Ar법을 이용한 絶對年齡은 梁山斷層의 最소 形成時期을 시사한다. 絹雲母에 대한 絶對年齡 측정 결과 48.51±1.08 Ma로서 신생대 제 3기의 광화작용임이 確認되었으며 梁山斷層은 最소한 신생대 제 3기 이전에 形成되었음을 意味한다.

鑛床 및 鑛石

柳川鑛床은 반야월층에 발달된 N30°E의 構造帶를 따

라 형성된 絹雲母鑛體와 含蒼鉛鑛脈鑛體로 구성되어 있다. 이 鑛體들은 상갱, 유계갱, 구갱, 중앙갱, 본갱을 개설하여 開發하였으나 현재 본갱을 제외한 모든갱은 入坑이 불가능하다. 본갱의 현장조사와 대한광업진흥공사 (기술조사보고서, 1982)의 資料를 토대로 각 갱에 대해 說明하면 다음과 같다 (Fig. 2).

상갱은 해발 260 m 지점에 露出된 1 m 정도의 폭을 갖는 脈의 직하부를 탐광하기 위하여 3 m 정도 沿脈掘進되어 있다. 노두에는 약간의 絹雲母와 드물게 미립의 蒼鉛鑛이 광염되어 있으며 延長은 7~8 m 정도 확인되었으며 蒼鉛의 품위는 0.23%이다. 유계갱은 상갱에서 약 40 m 하부에 위치한 갱으로서 100 m 沿脈掘進되었으나 鑛體의 발달이 미약하여 갱도굴진이 극히 불규칙하다. 구갱은 유계갱으로부터 25 m 하부에 位置한 갱으로서 10 m 정도 探鑛掘進하였으나 중앙갱의 개설로 인해 中斷되었다.

중앙갱은 구갱에서 21 m 하부에 位置한 갱으로서 노두 및 유계갱에서 착맥된 하부 鑛體를 탐광하기 위해 개설하여 175 m 정도 연맥굴진되어 있다. Y.C.9589-13지점에서 發見된 base metal-석영-형석맥은 N30°E, 60°SE方向으로서 연장은 양호하지 않다. 맥폭은 부광대에서 최대 30 cm 정도이나 1 cm 정도의 含黃鐵石細脈들도 수개조 같은 方向으로 발달한다.

본 갱은 중앙갱에서 확인된 脈의 심부를 探鑛하기 위해 중앙갱으로부터 30 m 하부에 N15°E方向으로 본갱을 개설 약 70 m 크로스 掘進하여 N40°E방향의 본맥을 착맥한 후 약 120 m 연맥굴진되어 있다. 絹雲母鑛體는 중성암의 貫入에 의해 열기성암맥 (안산암질암맥)과 직접 접하는 곳(Y.C.9589-3)에서 산출되며 瓊狀 形態를 갖는다. 맥폭은 수cm에서 150 cm 이내이고 延長성은 양호하지 않으며 계속적인 構造運動에 의해 심하게 교란되어 있다. 含蒼鉛石英-螢石脈은 본갱의 시료위치 Y.C.9589-11지점에서 맥폭이 수cm에서 15 cm 정도로 母岩 또는 絹雲母화된 암편을 핵으로 하여 各력상 암맥이 發達되어 있으며 自形의 석영, 형석 및 常연광물이 觀察된다.

鑛石鑛物과 共生關係

柳川鑛床을 구성하는 鑛石鑛物은 黃鐵石, 磁硫鐵石, 赤鐵石, 鐵망간重石, 硫砒鐵錫, 閃亞鉛石, 黃銅石, 方鉛石, 輝蒼鉛石, 自然金, 테트라다이마이트, Bi-Cu-Pb-S系 鑛物, 蒼鉛酸化鑛物 및 輝銅石 등이 產出된다. 脈石鑛物으로는 石英, 螢石, 金紅石 및 Al-Si-O系鑛物 등이 관찰된다. 母岩은 絹雲母化, 綠泥石化, 粘土化, 綠簾石化, 珪化, 蛇紋石化, 알바이트화, 카리長石化 및 黃鐵石化作用 등의 變質을 받았다. 이

Minerals	Stage I	Stage II
Sericite	_____	_____
Chlorite	_____	_____
Serpentine	_____	_____
Epidote	_____	_____
Al-Si-O mineral	_____	_____
Hematite	_____	_____
Rutile	_____	_____
Wolframite	_____	_____
Pyrrhotite	_____	_____
Arsenopyrite	_____	_____
Pyrite	_____	_____
Sphalerite	_____	_____
Chalcopyrite	_____	_____
Galena	_____	_____
Bi-Cu-Pb-S mineral	_____	_____
Bismuthinite	_____	_____
Native gold	_____	_____
Tetradymite	_____	_____
Bi oxide mineral	_____	_____
Chalcocite	_____	_____
K-feldspar	_____	_____
Albite	_____	_____
Quartz	_____	_____
Fluorite	_____	_____

Fig. 3. Paragenetic sequence of minerals from the Yu-cheon Bi deposits.

와같은 鑛石鑛物과 脈石鑛物에 대하여 野外調査와 室內實驗을 통한 광석광물의 共生關係 및 組織을 기초로 한 鑛物의 晶出順序는 다음과 같이 2時期로 구분된다 (Fig. 3).

제 I時期 : 이 時期는 鹽基性岩脈 (安山岩質岩脈), 石英斑岩 및 慶尙累層群의 堆積岩類 등이 中性岩脈의 貫入에 의한 絹雲母鑛化時期로 주성분광물은 絹雲母, 石英이며 부구성광물로 綠泥石, 綠簾石, 金紅石, 黃鐵石, 할로이사이트, 버미클라이트, 蛇紋石 등이 產出된다.

제 II時期 : 이 時期는 蒼鉛鑛化時期로 주성분광물은 黃鐵石, 硫砒鐵石, 閃亞鉛石, 黃銅石, 輝蒼鉛石과 小量의 磁硫鐵石, 鐵망간重石, 赤鐵石, 自然金, 테트라다이마이트, Bi-Cu-Pb-S系 鑛物, 蒼鉛酸化鑛物 및 輝銅石 등이 產出된다. 그리고 脈石鑛物으로는 石英, 螢石, Al-Si-O系 鑛物 및 金紅石 등이 產出된다. 또한 母岩變質로는 絹雲母化, 綠泥石化, 카리長石化, 알바이트화 및 綠簾石化作用이 관찰된다.

磁硫鐵石은 산출빈도와 산출량이 매우 적으며 黃鐵石 또는 黃銅石내에 포획되어 產出된다 (Fig. 4A). 黃鐵石은 石英-螢石脈내에 광염상과 세맥상 形態로 산출되며 산출

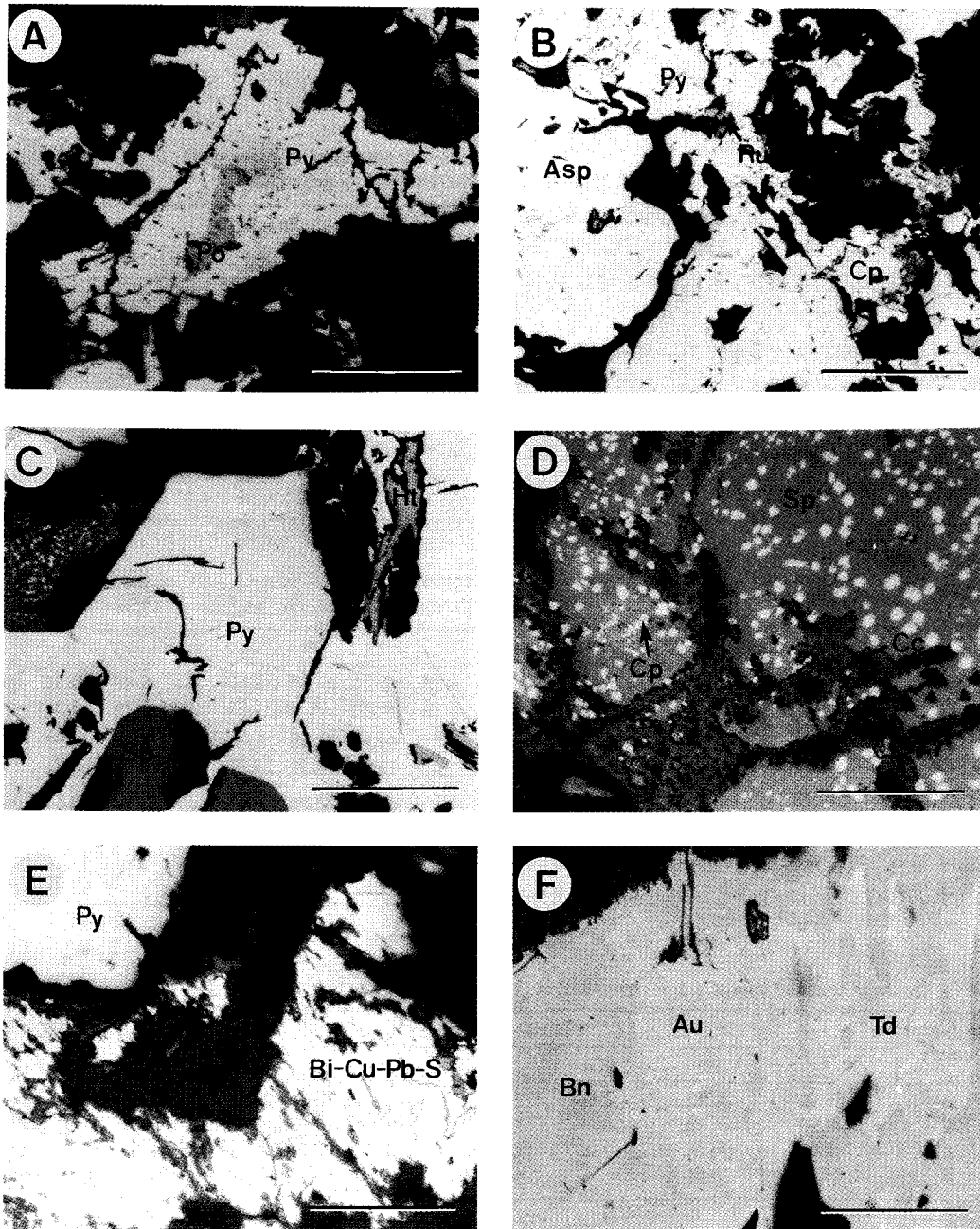


Fig. 4. Photomicrographs of ore minerals from the Yuceon Bi deposits. A; Pyrrhotite included in pyrite, B; Arsenopyrite and chalcopyrite coexisting with pyrite, C; Sphalerite and hematite coexisting with pyrite, D; Chalcopyrite coexisting with sphalerite, E; Bi-Cu-Pb-S mineral coexisting with pyrite, F; Bismuthinite and tetradymite coexisting with native gold. Abbreviation Po; Pyrrhotite, Py; Pyrite, Asp; Arsenopyrite, Ht; Hematite, Ru; Rutile, Sp; Sphalerite, Cp; Chalcopyrite, Bn; Bismuthinite, Td; Tetradymite, Au; Native gold. Cc; Chalcocite. Scale bar indicated 100 micron in length.

량과 산출빈도가 높다. 그리고 대부분의 鑛石鑛物과 共生 또는 共存關係를 갖는다. 현미경하에서의 주요한 産狀은

硫砒鐵石, 黃銅石과 동시에 晶出한 것 (Fig. 4B), 赤鐵石, 閃亞鉛石과 동시에 晶出한 것, 閃亞鉛石 및 方鉛石에 의

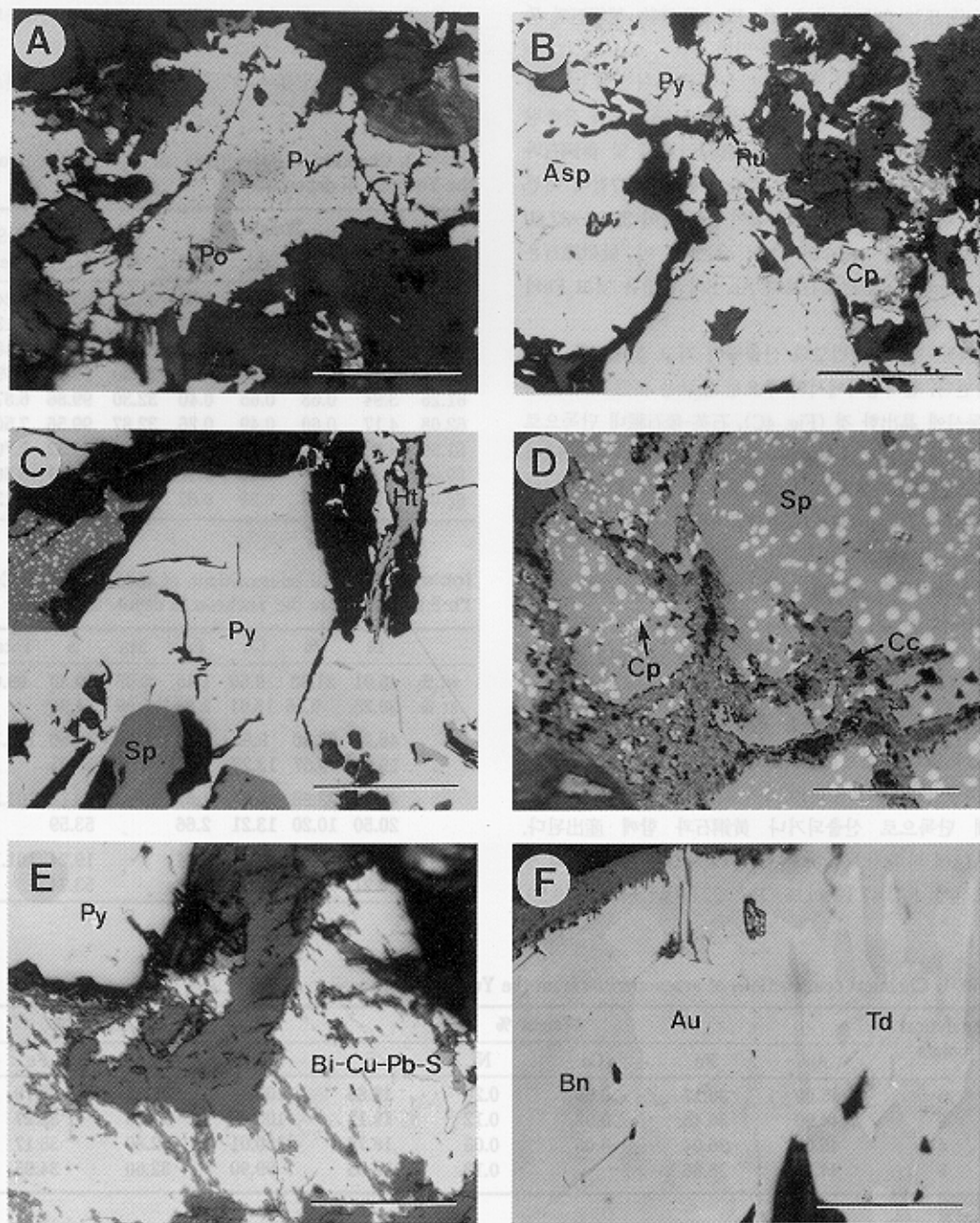


Fig. 4. Photomicrographs of ore minerals from the Yuceon Bi deposits. A: Pyrrhotite included in pyrite, B: Arsenopyrite and chalcopyrite coexisting with pyrite, C: Sphalerite and hematite coexisting with pyrite, D: Chalcopyrite coexisting with sphalerite, E: Bi-Cu-Pb-S mineral coexisting with pyrite, F: Bismuthinite and tetradymite coexisting with native gold. Abbreviation Po: Pyrrhotite, Py: Pyrite, Asp: Arsenopyrite, Ht: Hematite, Ru: Rutile, Sp: Sphalerite, Cp: Chalcopyrite, Bn: Bismuthinite, Td: Tetradymite, Au: Native gold. Cc: Chalcocite. Scale bar indicated 100 micron in length.

해 交代 또는 充填된 것, Bi-Cu-Pb-S系 鑛物, 黃銅石과 동시에 晶出한 것 (Fig. 4E) 등이 있다.

硫砒鐵石은 정동이 잘 發達된 곳에서 광염상 또는 자형으로 黃鐵石과 함께 산출되며 산출빈도는 적으나 산출량은 높다. 현미경하에서 黃鐵石, 鐵閃石, 重石 및 黃銅石과 동시에 觀察된다. EPMA에 의한 4개 粒子 17점에 대한 定量分析 결과는 Table 1과 같이 As함량이 32.38~32.80 at.%로서 좁은 領域의 값을 갖는다. 이 硫砒鐵石은 stoichiometric 硫砒鐵石보다 As, S의 含量은 낮고 Fe의 含量은 약간 높다.

閃亞鉛石은 산출빈도와 산출량이 적고 黃鐵石과 함께 산출된다. 현미경하에서의 주요한 産狀은 黃鐵石, 赤鐵石과 동시에 晶出한 것 (Fig. 4C), 石英-螢石脈내 단독으로 産出된 것, 方鉛石에 의해 交代된 것 등이 있다. EPMA에 의한 定量分析 결과는 Table 2와 같이 FeS mole%가 6.13에서 7.70 mole%로서 조성의 變化가 거의 없다.

黃銅石은 黃鐵石 다음으로 산출량과 산출빈도가 높다. 현미경하에서의 주요한 産狀은 石英-螢石脈내에 단독으로 産出되는 것, 閃亞鉛石내에 bleb상태로 産出되는 것 (Fig. 4D), Bi-Cu-Pb-S系 鑛物과 함께 산출되는 것 등이 있다. 方鉛石은 산출량과 산출빈도가 매우 낮으며 현미경하에서 閃亞鉛石의 간극을 充填 또는 交代한 것, 石英내에 단독으로 産出된 것, 黃鐵石의 간극을 充填 또는 交代한 것 등이 있다. Bi-Cu-Pb-S系 鑛物은 주로 石英-螢石脈내에 단독으로 산출되거나 黃銅石과 함께 産出된다. EPMA에 의한 化學分析 結果는 Table 3과 같이 4점의 평균조성은 Bi; 47.19 wt.%, Pb; 22.89 wt.%, Cu; 9.59

wt.%, Fe; 1.55 wt.%, Mn; 0.03 wt.%, S; 19.30 wt.%의 含量을 갖는다.

輝蒼鉛石은 II기 末期에 다량 산출되며 산출빈도는 낮으

Table 2. Chemical compositions of sphalerites from the Yucheon Bi deposits.

Zn	Weight %						FeS mole%
	Fe	Cu	Cd	Mn	S	Total	
62.37	3.58	0.43	0.28	0.03	33.56	100.26	6.24
61.76	3.49	0.26	0.23	0.29	33.44	99.47	6.13
62.33	3.75	0.34	0.53	0.30	32.66	99.91	6.48
61.97	3.99	0.76	0.17	0.18	32.30	99.11	7.09
61.26	3.94	0.63	0.65	0.40	32.30	99.86	6.87
62.08	4.17	0.60	0.49	0.26	32.87	99.56	7.50
61.50	4.30	0.98	0.56	0.25	31.90	99.52	7.70
59.96	3.91	1.17	0.51	0.17	32.06	98.61	6.86
62.07	4.02	1.25	0.29	0.02	32.28	99.91	7.13

Table 3. Chemical compositions of unidentified Bi-Cu-Pb-S mineral from the Yucheon Bi deposits.

	Bi	Pb	Cu	Fe	Mn	S	Total
wt.%	46.91	21.93	9.50	1.46	0.05	19.30	99.05
at.%	20.28	9.56	13.51	2.36	0.08	54.36	
	46.91	22.40	9.85	1.60	0.08	19.50	100.35
	19.94	9.67	13.77	2.55	0.13	54.01	
	47.75	23.55	9.35	1.67	-	19.14	101.35
	20.50	10.20	13.21	2.66		53.59	
	47.17	23.68	9.64	1.48	-	19.24	101.13
	20.21	10.23	13.57	2.37		53.74	

Table 1. Chemical compositions of arsenopyrites from the Yucheon Bi deposits.

Analytical points	Weight %						Atomic %	
	As	Fe	Co	Ni	S	Total	As	Fe
5	45.00	36.17	0.04	0.20	18.83	100.24	32.65	35.70
3	44.90	36.46	0.02	0.12	19.12	100.62	32.38	35.27
4	45.08	36.04	0.06	0.05	18.78	100.01	32.80	35.17
5	44.87	35.86	-	0.12	19.05	99.90	32.60	34.95

Table 4. Chemical compositions of bismuthinite from the Yucheon Bi deposits.

Bi	Ag	Te	Se	Pb	S	Total	Structural formulae (total atoms=5)
80.81	0.42	0.01	0.30	0.02	18.55	100.08	(Bi _{1.99} Ag _{0.02}) _{2.01} (S _{2.97} Se _{0.02}) _{2.99}
81.72	0.42	0.03	0.24	0.23	18.56	101.22	(Bi _{2.00} Ag _{0.02}) _{2.02} (S _{2.96} Se _{0.02}) _{2.98}
80.48	0.00	0.04	0.32	0.18	18.77	99.80	Bi _{1.97} (S _{3.00} Se _{0.02}) _{3.02}
80.22	0.43	0.01	0.00	0.29	19.13	100.30	(Bi _{1.95} Ag _{0.02}) _{1.97} S _{3.03}
81.38	0.00	0.00	0.32	0.25	19.21	101.21	Bi _{1.96} (S _{3.01} Se _{0.02}) _{3.03}

나 產出量은 높다. 현미경하에서의 주요한 產狀은 螢石내에 단독으로 產出되는 것과 自然金, 테트라다이마이트와 동시에 晶出한 것 (Fig. 4F) 등이 있다. EPMA에 대한 定量分析 結果 Table 4와 같이 輝蒼鉛石내에 미량의 Ag (0.00~0.42 wt.%), Te (0.00~0.04 wt.%), Se (0.00~0.32 wt.%), Pb (0.02~0.29 wt.%)가 含有되어 있다. 自然金은 현미경하에서 소량 觀察되며 輝蒼鉛石, 테트라다이마이트와 함께 產出된다. EPMA에 의한 定量分析 結果 Table 5와 같이 自然金내에 Ag (0.19~2.94 wt.%), Bi (1.57~3.75 wt.%)가 含有되어 있다. 테트라다이마이트는 輝蒼鉛石 및 自然金과 共生한다. EPMA에 대한 定量分析 結果 Table 6과 같이 微量의 Se (0.17~0.18 wt.%), Sb (0.17~0.21 wt.%), Pb (0.00~0.21 wt.%)가 含有되어 있다.

流體包有物

流體包有物의 연구는 鑛脈을 구성하고 있는 脈石鑛物들

Table 5. Chemical compositions of native gold from the Yucheon Bi deposits.

Weight %				Atomic %		
Au	Ag	Bi	Total	Au	Ag	Bi
97.33	0.44	2.44	100.21	96.91	0.82	2.29
96.86	0.45	3.23	100.54	96.19	0.82	3.02
96.17	0.85	2.03	99.05	96.53	1.55	1.92
94.49	2.94	2.53	99.96	92.42	5.25	2.33
95.68	1.56	3.75	100.99	93.75	2.79	3.47
94.74	1.56	2.69	98.99	94.62	2.85	2.53
96.20	0.40	3.10	99.70	96.34	0.73	2.93
97.84	0.43	2.64	100.91	96.76	0.77	2.46
97.34	0.72	2.56	100.61	96.32	1.30	2.38
97.01	0.77	2.38	100.16	96.38	1.40	2.23
97.45	0.23	2.98	100.66	96.79	0.42	2.79
95.90	0.32	2.63	98.85	96.91	0.59	2.51
96.01	0.72	3.03	99.76	95.84	1.31	2.85
95.57	1.00	2.50	99.07	95.81	1.84	2.36
97.01	1.18	2.35	100.53	95.70	2.12	2.19
96.06	2.06	1.57	99.69	94.82	3.17	1.47
97.62	0.19	3.00	100.81	96.85	0.34	2.81

Table 6. Chemical compositions of tetradymite from the Yucheon Bi deposits.

Bi	Te	Se	Sb	Pb	S	Total	Structural formulae (Total atoms=5)
58.25	35.45	0.30	0.18	0.14	4.78	99.10	(Bi _{1.96} Sb _{0.01}) _{1.97} (Te _{1.95} Se _{0.03}) _{1.96} S _{1.05}
59.44	34.43	0.32	0.17	0.05	4.43	98.80	(Bi _{2.03} Sb _{0.01}) _{2.04} (Te _{1.93} Se _{0.03}) _{1.96} S _{0.99}
59.26	35.06	0.20	0.21	0.00	4.69	99.41	(Bi _{2.00} Sb _{0.01}) _{2.01} (Te _{1.94} Se _{0.02}) _{1.96} S _{1.03}
59.56	34.91	0.27	0.18	0.21	4.71	99.83	(Bi _{2.00} Sb _{0.01}) _{2.01} (Te _{1.92} Se _{0.02}) _{1.94} S _{1.03}

중 광석광물과 共存하는 鑛化II時期的 石英과 螢石을 대상으로 하였다. 이 鑛床에서 산출되는 流體包有物의 形態는 negative form, oval, tabular, irregular, tabular와 round 形態로 존재한다. 그리고 包有物의 크기는 최저 수 μm에서 최고 60 μm 정도이고 產出形態는 대부분이 균집형이나 단독으로 產出되는 것도 있다. 이 流體包有物은 室溫에서 觀察되는 相의 種類, 충진도, 가열시험시 均一化되는 상태에 따라 다음과 같이 3型으로 分類되었다 (Fig. 5).

A型은 기상과 액상의 2상으로 充진도가 다양한 包有物로서 가열시험시 액상으로 均一化된다. 이 型에 속하는 包有物은 石英, 綠色螢石, 白色螢石 및 紫色螢石 전반에 걸쳐 產出된다 (Fig. 5C). B型은 기상과 액상의 2상으로 充진도 50%이상인 包有物로서 가열시험시 기상으로 均一化된다 이 型에 속하는 包有物은 石英과 白色螢石에서 觀察된다 (Fig. 5B). C型은 L_{H2O}+V_{H2O}+S의 3相包有物로서 充진도가 50%미만이다. 이 型에 속하는 包有物은 고상이 암염인 것과 운모인 것이 產出된다. 암염을 함유한 包有物은 석영내에서 少量 산출되며 (Fig. 5A) 운모를 함유한 包有物은 자색형석에서 產出된다 (Fig. 5D).

均一化溫度

加熱實驗은 II時期的 石英과 螢石을 대상으로 하였으며 研究對象 鑛物내 流體包有物의 均一化溫度는 Fig. 6과 같다. 石英내에 산출되는 A型 包有物의 均一化溫度는 242~431°C, 絹雲母와 共生關係를 갖는 綠色螢石내에 산출되는 A型 包有物의 均一化溫度는 177~375°C, base-metal과 共生關係를 갖는 白色螢石내에 산출되는 A型 包有物의 均一化溫度는 243~379°C, B型 包有物은 357~403°C, 蒼鉛鑛物과 共生關係를 갖는 紫色螢石내에 산출되는 A型 包有物의 均一化溫度는 150~327°C, C型 包有物중 운모를 함유한 포유물은 165~358°C이다. 또한 많은 包有物들이 물의 臨界溫度인 374.15°C 근처에서 均一化되어진다. 이것은 NaCl-H₂O계에서의 臨界 거동을 보여주며 白色螢石에서는 전형적인 沸騰현상이 관찰된다. 그리고 鑛化II 時期 早期에서 末期로 감에 따라 溫度의 급격한 減少가

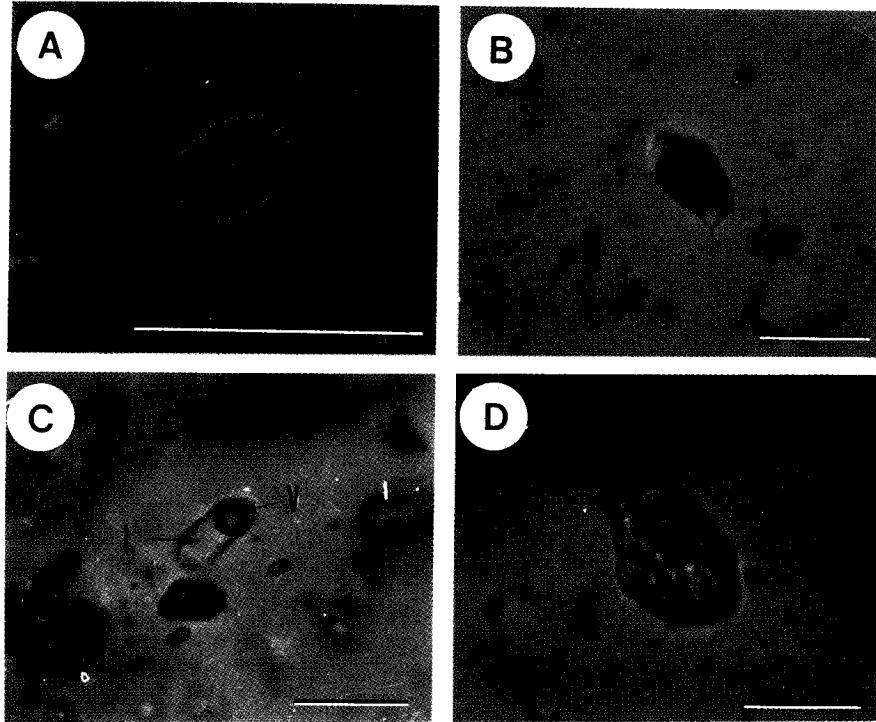


Fig. 5. Microphotographs of fluid inclusions in quartz and fluorite from the Yucheon Bi deposits. A; type C inclusion in quartz, B; Type B inclusion in quartz and white fluorite. C; Type A inclusion in quartz, green fluorite, white fluorite and pink fluorite. D; Type C inclusion in pink fluorite. Scale bar indicated 30 micron in length.

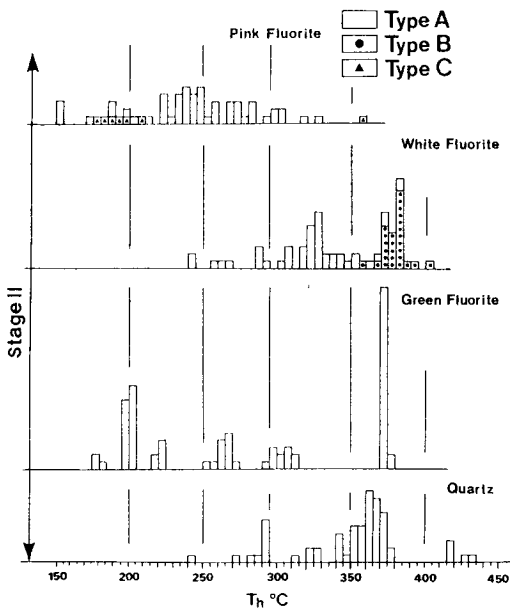


Fig. 6. Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions from the Yucheon Bi deposits.

觀察된다.

鹽濃度

II時期에 산출되는 流體包有物의 NaCl 상당염농도는 Fig. 7과 같다. 石英내에 산출되는 A型 包有物은 NaCl-CaCl₂-H₂O系와 NaCl-H₂O系가 觀察된다. 이중 후자의 NaCl 상당염농도는 0.18~19.2 wt.%, 絹雲母와 共生關係를 갖는 綠色螢石내에 산출되는 A型 包有物의 염농도는 0.35~7.2 wt.%, base-metal과 共生關係를 갖는 白色螢石내에 산출되는 A型 包有物은 0.5~2.2 wt.%, B型 包有物은 0.9~2.1 wt.%, 蒼鉛鑛物과 共生關係를 갖는 紫色螢石내에 산출되는 A型 包有物은 0.2~3.5 wt.%, 암염을 함유하는 것을 제외한 C型 包有物은 0.5~1.6 wt.%이다.

均一化溫度와 鹽濃度の 關係

II時期에 산출되는 流體包有物의 均一化溫度와 鹽濃度の 關係를 도시하면 Fig. 8과 같이 鑛化II時期 早期에는

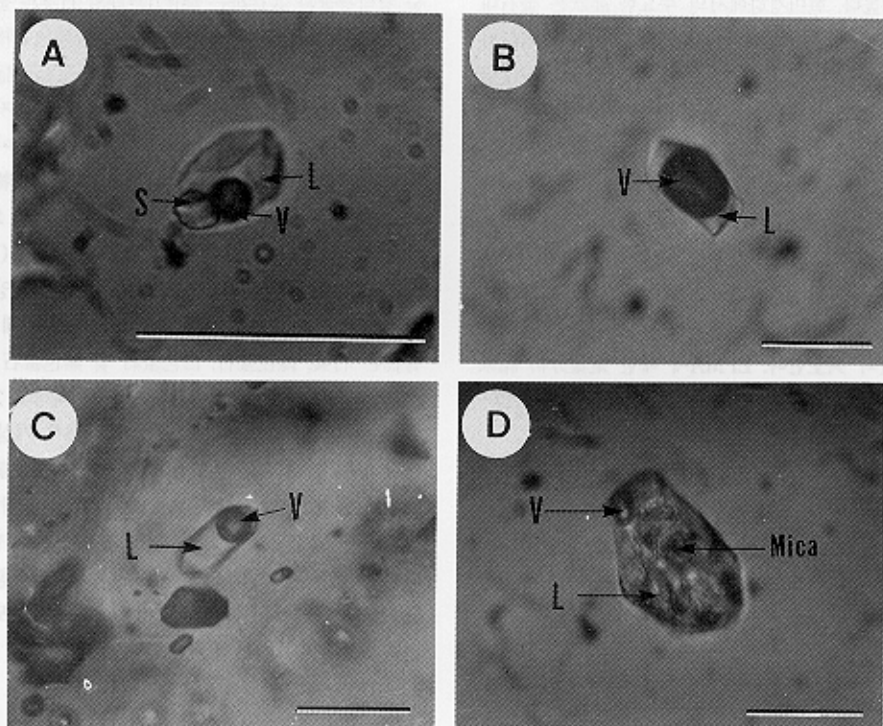


Fig. 5. Microphotographs of fluid inclusions in quartz and fluorite from the Yucheon Bi deposits. A: type C inclusion in quartz, B: Type B inclusion in quartz and white fluorite. C: Type A inclusion in quartz, green fluorite, white fluorite and pink fluorite. D: Type C inclusion in pink fluorite. Scale bar indicated 30 micron in length.

溫度와 鹽濃度의 급격한 減少가 觀察되고 末期로 감에 따라 鹽濃度의 변화없이 溫度의 급격한 減少가 관찰된다. 이는 淺水의 流入에 의한 冷却作用 및 稀釋作用과 계속적인 熱水의 급격한 冷却作用을 의미한다.

安定同位元素

安定同位元素分析을 위해 鑛化 II時期的 絹雲母, 石英, 黃鐵石, 黃銅石 및 輝蒼鉛石을 대상으로 基礎科學研究所

에서 分析하였다. $\delta^{34}\text{S}$ 값은 CDT, $\delta^{18}\text{O}$ 와 D는 SMOW등의 標準試料을 사용하여 分析하였다. 이들의 分析誤差 範圍는 $\delta^{34}\text{S}$ 가 $\pm 0.2\%$, $\delta^{18}\text{O}$ $\pm 0.2\%$, δD $\pm 1\%$ 이다.

黃

II時期的 黃鐵石, 黃銅石, 輝蒼鉛石에 대하여 黃安定同位元素 分析을 실시한 結果 Table 7과 같이 黃鐵石, 黃銅石 및 輝蒼鉛石의 $\delta^{34}\text{S}$ 값은 3.5~3.7%, 3.8%과 2.9%을 갖는다. 이 鑛床에서 產出되는 絹雲母, 카리長石 및 鑛石鑛物로 볼때 鑛化流體내의 黃은 주로 H_2S 상태로 存在했던 것으로 생각된다. 流體包有物의 均一化溫度 자료에 의거하여 各 黃化鑛物과 平衡狀態에 있는 H_2S 의 값을 계산 (Ohmoto, Rye, 1979)하면 黃鐵石과 黃銅石에 대한 $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ 값은 각각 2.5~2.8%, 3.9%이다.

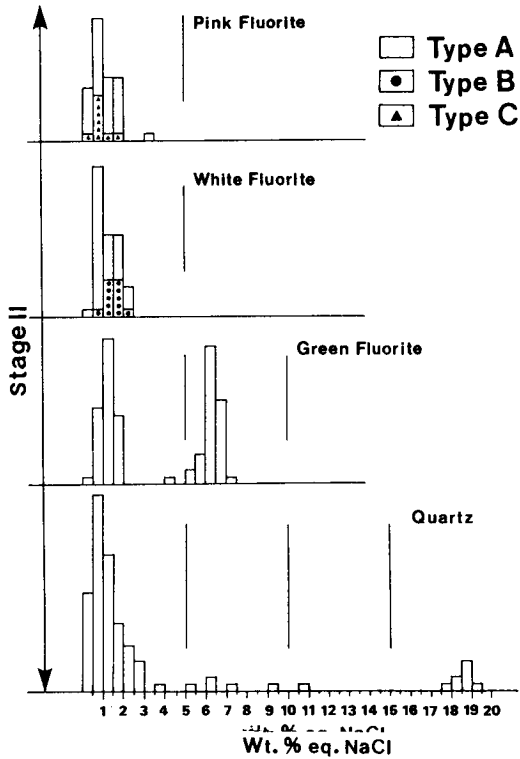


Fig. 7. Histogram of salinities of fluid inclusions from the Yucheon Bi deposits.

水素 및 酸素

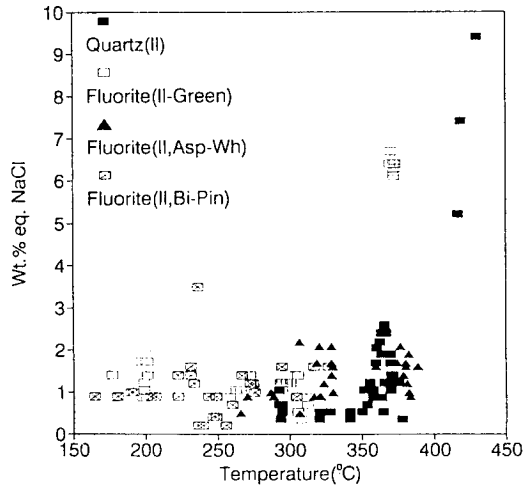


Fig. 8. Homogenizing temperature vs salinity for fluid inclusions from the Yucheon Bi deposits.

Table 7. Sulfur, Oxygen and hydrogen isotope data(%) of sulfide minerals, sericite and quartz from the Yucheon Bi deposits.

Sample No.	Mineral	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$	T_1 (°C)
Y.C.95810-14	Pyrite	3.7	2.8					385
	Chalcopyrite	3.8	3.9					385
Y.C.94101-9	Pyrite	3.5	2.5					350
Y.C.9689-1	Biscuthinite	2.9						
Y.C.94101-16	Sericite			1.0	-81	-0.8	-47	370
Y.C.941101-17	Sericite			1.4	-64	-0.5	-29.7	370
Y.C.95810-15	Quartz			0.7		-4.1		370
Y.C.9589-1	Quartz			4.5		-0.8		350

II時期的 母岩變質 產物인 絹雲母와 石英을 대상으로 水素 및 酸素安定同位元素 分析을 실시한 結果 Table 7과 같이 絹雲母와 石英의 $\delta^{18}\text{O}$ 와 δD 값은 각각 1.0~1.4‰, -64~-81‰ 및 0.7~4.5‰을 갖는다. 流體包有物의 均一化溫度資料와 鑛化作用시의 鑛化流體에서 絹雲母-물, 石英-물사이의 酸素 및 水素同位元素가 平衡을 유지하며 交換이 있었다고 생각될때 絹雲母와 물 (Suzuki, Epstein, 1976., Friedman, O'Neil, 1977)과 石英과 물 (Matsushita *et al.*, 1979)의 分別式을 이용하여 計算하면 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 와 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 값은 각각 -0.5~-0.8‰, -29.7~-47‰ 및 -0.8~-4.1‰을 갖는다.

考 察

柳川鑛床은 慶尙累層群의 堆積岩類에 발달된 NE계열의 斷層帶를 따라 形成된 含蒼鉛 熱水鑛床鑛床으로서 野外調査 및 鑛物의 共生關係를 기초로하여 絹雲母 鑛化時期와 蒼鉛鑛化時期로 分類되어진다. 鑛化 I時期인 絹雲母 鑛化時期에는 주로 絹雲母, 石英으로 構成되어 있으며 부 구성광물로 綠泥石, 黃鐵石, 할로이사이트, 버미클라이트, 蛇紋石, 綠簾石 및 金紅石등이 產出된다. 鑛化 II時期인 含蒼鉛石英-螢石脈 鑛化時期에는 絹雲母, Al-Si-O系 鑛物, K-長石, 알바이트, 綠泥石, 綠簾石, 金紅石, 石英 및 螢石등이 산출되고 鑛石鑛物로는 黃鐵石, 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 赤鐵石, 鐵망간重石, 閃亞鉛石, 黃銅石, 方鉛石, 輝蒼鉛石, 自然金, Bi-Cu-Pb-S系 鑛物, 테트라다이미이트등이 產出된다.

II時期的 早期에는 黃鐵石-硫砒鐵石-磁硫鐵石이 共生關係를 갖는다. 이 共生鑛物 中 硫砒鐵石의 As at.%는 32.38~32.80로서 Kretschmar, Scott (1976)과 Scott (1983)등이 제시한 상관도에 圖示하면 이 때의 生成溫度는 453~474°C, 黃分壓은 $10^{-5.1} \sim 10^{-5.7}$ atm이다. 이는 早期에 產出되는 石英 및 螢石의 均一化溫度 (242~431°C)보다 약간 높은 값을 갖는다. 中期와 末期에는 黃鐵石-赤鐵石-金紅石-閃亞鉛石과 輝蒼鉛石-自然金-테트라다이미이트가 共生關係를 갖는다. 閃亞鉛石의 FeS mole%는 6.13~7.70와 鑛物組合群에 대해 Barton and Skinner (1979)등이 제시한 熱力學的 자료를 이용하여 상관도에 圖示하면 中期 共生群의 生成溫度 및 黃分壓은 $> 344^\circ\text{C}$, $> 10^{-8.4}$ atm이고 輝蒼鉛石-自然金-自然蒼鉛의 교점과 末期의 流體包有物 均一化溫度를 중첩하여 보면 生成溫度는 150~255°C, 黃分壓은 $10^{-13.5} \sim 10^{-19.3}$ atm이다 (Fig. 9). 이 자료를 Afifi *et al.* (1988a, b)에 의한 Stanley 鑛山에서 산출되는 自然金, 테트라다이미이트 및 輝蒼鉛石에 대해 200°C일때 f_{Te_2} - f_{S_2} 상관도에 圖示하여 얻은 값은 $10^{-12} \sim$

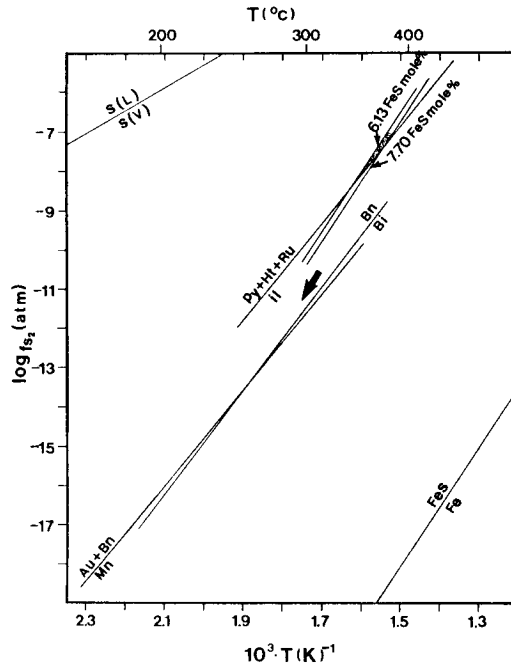


Fig. 9. Temperature- f_{S_2} diagram showing the formation conditions of Bi minerals from the Yucheon Bi deposits. Abbreviation : Py; Pyrite, Ht; Hematite, Ru; Rutile, Il; Ilmenite, Bn; Bismuthinite, Bi; Native bismuth, Au; Native gold, Mn; Maldonite.

10^{-16} atm (黃分壓)과 $10^{-11.2}$ atm이하 (텔루륨分壓)이며 Shikazono *et al.* (1990)에 의한 Okuyama鑛山에서 산출되는 에렉트림과 테트라다이미이트의 生成溫度는 193~284°C로서 비교적 잘 一致한다.

II時期的 絹雲母의 生成條件 (pH)을 알아보기 위해 380°C의 條件에서 Fournier, Truesdell (1973), Henley *et al.* (1984) 및 Helgeson (1969)의 자료를 適用하면 이 때의 pH는 4.02이며 早期에는 K-長石이 產出되며 末期로 감에 따라 알바이트가 產出된다. 이는 溫度의 減少와 더불어 $a\text{K}^+/\text{aH}^+$ 는 減少하고 $a\text{Na}^+/\text{aH}^+$ 는 增加하였으며 pH는 다소 中性쪽으로 移動되었음을 意味한다. 또한 中期에는 綠泥石이 晶出되며 이는 水素이온의 용탈에 의해 pH가 다소 낮아진 熱水溶液과 母岩에서 용탈된 Ca, Mg, Na 및 Fe이온들이 溫度, pH, 解離된 鹽의 量 및 溶液내에 F이온의 濃도에 대한 Ca, Mg이온의 농도비 變化에 의해 알바이트 및 다량의 螢石이 形成된 것으로 推定된다. II時期的 早期에는 磁硫鐵石이 中期에는 赤鐵石이 黃鐵石과 共生關係를 갖는다. 이는 鑛化作用이 進行됨에 따라 鑛化流體의 酸化狀態가 赤鐵石 安定領域으로 變化하였음을 意味한다.

이 研究에서는 含岩鹽 流體包有物의 濃度는 구하지 못하였으나 鑛床에서 산출되는 石英 및 螢石내에 産出되는 流體包有物을 통해 熱水溶液은 광화작용이 進行됨에 따라 高염도의 NaCl-CaCl₂-H₂O계로부터 저염농도의 NaCl-H₂O계로 變化하였음을 알수 있고 沸騰現狀 및 臨界舉動을 하는 包有物이 관찰된다. 이들 자료 중 臨界舉動(391°C, 1.6 wt.%, 384°C, 0.9 wt.%)과 沸騰現狀(383°C, 1.0 wt.%)을 Sourirajan, Kennedy (1962)와 Hass (1972)가 제시한 도표에 圖示하면 鑛化流體의 壓力은 241~260 bar에 해당한다.

이 鑛床에서 산출되는 黃化鑛物의 δ³⁴S_{H₂S}는 2.5~3.9%로서 비교적 좁은 範圍를 갖는다. 또한 絹雲母와 石英의 酸素 및 水素 安定同位元素 값은 각각 δ¹⁸O_{H₂O}: -0.5~-4.1%, δD_{H₂O}: -29.7~-47%이고 沸騰에 의한 酸素同位元素 편이현상이 觀察된다 (Hedenquist, 1991; Truesdell et al., 1977). 이와같은 δ³⁴S_{H₂S}와 δ¹⁸O_{H₂O}, δD_{H₂O}의 자료로 볼때, 鑛化流體는 마그마기원의 熱水溶液으로부터 계속적인 淺水의 流入에 의한 稀釋作用 및 沸騰現狀이 있었던 것으로 解析되어지며 이에 따라 絹雲母作用과 함께 金屬鑛物의 晶出이 있었던 것으로 보인다.

結 論

1. 柳川鑛床은 慶尙累層群의 堆積岩내에 발달하는 N 30°E의 裂隙을 充填한 含蒼鉛 熱水性 脈狀鑛床이다.
2. 鑛床의 生成時期는 49 Ma로서 梁山斷層과의 關係로 볼때 梁山斷層의 運動開始 時期는 신생대 제 3기 이전일 가능성이 많다.
3. 鑛化作用은 絹雲母鑛化時期와 蒼鉛鑛化時期로 나눌 수 있으며, 絹雲母鑛化時期는 絹雲母, 石英, 綠泥石, 黃鐵石, 할로사이트, 버미클러라이트, 蛇紋石, 綠簾石, 金紅石 등이 정출하였고 蒼鉛鑛化時期에는 base metal 鑛物, 輝蒼鉛石, 自然金, Bi-Cu-Pb-S系 鑛物, 테트라다이마이트 등이 晶出하였다.
4. 流體包有物 및 共生鑛物의 상평형관계등으로 推定한 生成溫度, 鹽濃度 및 黃分壓은 早期; 242~474°C, 0.5~19.2 wt.%, 10^{-5.1}~10^{-5.7} atm, 中期; >344°C, >10^{-8.4} atm, 末期; 150~255°C, 0.2~3.5 wt.%, 10^{-13.5}~10^{-19.3} atm이다. 鑛床의 壓力은 241~260 bar정도로 추정된다.
5. 黃化鑛物의 δ³⁴S_{H₂S}는 2.5~3.9%이며 石英과 絹雲母에서 구한 δ¹⁸O_{H₂O}와 δD_{H₂O}는 -0.5~-4.1%과 -29.7~-47%로서 이 鑛床의 鑛化流體는 마그마기원으로부터 淺水의 流入이 있었던 것으로 보인다.

謝 辭

이 研究는 教育部 基礎科學研究所育成事業에 의한 學術研究組成費(BSRI-96-5419), 戰略鑛物資源研究센터 및 일부는 學術振興財團(新進研究人力 研究獎勵金 支援事業)의 支援으로 수행되었다. 이 研究를 수행하는 동안에 K-Ar 年代測定을 허락해 주신 日本 岡山理科大学 板谷徹丸教授와 流體包有物 測定裝置를 대여해 준 韓國資源研究所 吳敏秀博士 및 全北大學校 地質學科 鄭在一教授에게 심심한 謝意를 표한다. 또 이 原稿에 대한 많은 助言을 해준 李讚熙博士와 野外調査 및 室內實驗을 도와준 徐昊澤學士에게도 感謝의 뜻을 표한다.

參考文獻

- 金玉準, 尹銑, 吉永駿 (1968) 淸河도폭 설명서. 國立地質調査所.
- 金仁洙 (1992) 새로운 東海의 成因모델과 梁山斷層계의 走向移動運動. 地質學會誌, 28, p.84-109.
- 大韓鑛業振興公社 (1982) 柳溪鑛山 기술조사보고서.
- 大韓鑛業振興公社 (1986) 鑛床試錐 調查報告 제 9호.
- 閔庚德, 金玉準, 尹碩奎, 李大聲, 金奎漢 (1988) 韓國 南部의 白堊紀末 이후의 火成活動과 鑛化作用 대한 板構造論의 適用性 研究 (II). 地質學會誌, 24권, 특별호, p.11-40.
- 閔庚德, 金玉準, 尹碩奎, 李大聲, 朱承煥 (1982) 韓國南部의 白堊紀末 이후의 火成活動과 鑛化作用 대한 板構造論의 適用性 研究 (I). 鑛山地質, 15권, 제 3호, p.123-154.
- 閔庚德, 尹惠洙, 文熙壽, 李鉉具, 金仁洙 (1992) 浦項 및 장기盆地에 대한 古地磁氣, 層序 및 構造研究; 重力探査에 의한 湧해 및 형산강지역의 地質構造. 鑛山地質, 25권, 제 3호, p.351-358.
- 尹銑, 김중열, 이연규, 정규귀 (1994) 浦項盆地의 슬립면構造 (I); 浦項市 北西部의 학전층. 地質學會誌, 19권, 제 1호, p.15-26.
- 尹銑, 章基弘, 유환수, 이영길 (1991) 韓半島 南部의 제3기 盆地 發達史. 鑛山地質, 24권, 제 3호, p.301-308.
- 尹成孝 (1988) 浦項盆地 北部(七浦-月浦일원)에 分布하는 火山岩類에 대한 岩石學的, 層序의 研究. 鑛山地質, 21권, 제 2호, p.117-129.
- 尹惠洙, 金鳳均 (1983) 新제 3기 浦項盆地 東部 연변(七浦부근)의 層序. 地質學會誌, 19권, 제 4호, p.252-257.
- 李炳株, 송교영 (1995) 浦項盆地내 地殼變形 解析. 資源環境地質, 28권, 제1호, p.69-77.
- 李商萬, 金相旭, 陳明植 (1987) 南韓의 白堊紀-제 3기 火成活動과 地構造의 意義. 地質學會誌, 제 23권, 제 4호, p.338-359.
- 李鉉具, 文熙壽, 閔庚德, 金仁洙, 尹惠洙, 板谷徹丸 (1992) 浦項 및 장기盆地에 대한 古地磁氣, 層序 및 構造研究; 火山岩類의 K-Ar 年齡. 鑛山地質, 25권, 제 3호, p.337-349.
- 陳明植, 金星載, 辛性天, 李周娟 (1988) K-Ar 및 螢石트랙法에 의한 韓國 東南部地域 花崗岩 및 火山岩 의 岩石鑛物 年齡 測定研究. 韓國動力資源研究所 研究報告書, KR-88-6D, p.53-84.
- 채병곤, 張泰雨 (1994) 淸河-盈德地域 梁山斷層의 운동사 및 관련단열 發達狀態. 地質學會誌, 30권, 제 4호, p.379-394.
- Afifi, A. M. Kelly, W. C. and Essene, E. J. (1988a) Phase

- relations among tellurides, sulfides, and oxides: I. Thermochemical data and calculated equilibria. *Econ. Geol.*, v.83, p.377-394.
- Afifi, A. M. Kelly, W. C. and Essene, E. J. (1988b) Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides: II. Applications to telluride-bearing ore deposits. *Econ. Geol.*, v.83, p.395-404.
- Barton, P.B. Jr., and Skinner, B.J. (1979) Sulfide mineral stabilities. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed., Wiley-Interscience, p.404-460.
- Chang Ki-Hong, Woo Byung-Geol, Lee Jin-Hyung, Park Soon-Ok, Yao Akira (1990) Cretaceous and early cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang basin, S. Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, Vol. 26, No. 5, p.471-487.
- Friedman, I., and O'Neil, J.R. (1977) Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest; in Fleischer, M. (ed.), *Data of Geochemistry*, Sixth Ed. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper, 440-Kk, p.kk 1-kk12.
- Fournier, R. O., and Truesdell, A. H. (1973) An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v.37, p.1255-1275.
- Hass, J. L. (1971) The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Econ. Geol.*, v.66, p.940-946.
- Hedenquist, J. W. (1991) Boiling and dilution in the shallow portion of the Waiotapu geothermal system, New Zealand. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v.55, p.2753-2765.
- Helgeson, H. C. (1969) Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. *Am. Jour. Sci.*, v.267, p.729-804.
- Henley, R. W., Truesdell, A. H., and Barton, P. B. Jr. (1984) Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems. *Society of economic geologists, Reviews in economic geology*, v.1, 267p.
- Kretschmar, U., and Scott, S. D. (1976) Phase relation involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canadian Mineral.*, v. 14, p.364-386.
- Matsuhisa, Y., Goldsmith, J. R., and Clayton, R. N. (1979) Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 43, p.1131-1140.
- Ohmoto, H., and Rye, R.O. (1979) Isotopes of sulfur and carbon. In *geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed., Wiley-Interscience, p.509-567.
- Scott, S. D. (1983) Chemical behavior of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Min. Mag.*, v.47, p.427-435.
- Shikazono, N., Nakata, M., and Shimizu, M. (1990) Geochemical, mineralogical and geologic characteristics of se- and te-bearing epithermal gold deposits in Japan. *Min. Geol.*, v.40, p.337-352.
- Suzuoki, T., and Epstein, S. (1976) Hydrogen isotope fractionation between OH-bearing minerals and water. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 40, p.1229-1240.
- Truesdell, A. H., Natheson, M., and Rye, R. O. (1977) The effects of subsurface boiling and dilution on the isotopic composition of Yellowstone thermal waters. *J. Geophys. Res.*, v.82, p.3694-3703.

1996년 3월 19일 원고접수