

月留鑛山産 金-銀鑛物과 鑛床의 生成環境

李鉉具* · 庚鳳哲* · 鄭光永** · 金基鉉***

Au-Ag Minerals and Geneses of Weolyu Gold-Silver Deposits, Chungcheongbukdo, Republic of Korea.

Hyun Koo Lee*, Bong-Cheal Yoo*, Kwang Young Jeong** and Kee Hyun Kim***

ABSTRACT: The Weolyu gold-silver deposits at Hwanggan, Chungcheongbukdo, is of a late Cretaceous (74.24 ± 1.63 Ma) epithermal vein-type, and is hosted in the quartz porphyry of late Cretaceous age. Based on mineral paragenetic sequence interpreted from vein structure and mineral assemblages, three stages mineralization were distinguished. A variety of ore minerals occurs including pyrite, sphalerite, chalcopyrite, galena with small amount of electrum, native silver, argentite, pearceite, sb-pearceite, argyrotite. The gangue minerals are quartz, rutile, calcite, apatite, fluorite and rhodochrosite. Wall-rock alteration such as pyritization, chloritization, sericitization, silicification is observed near the quartz veins. Au-Ag minerals were crystallized at middle and late stage of the two mineralization sequences. Results from the analysis of fluid inclusion and thermodynamic calculation indicate that Au-Ag mineral deposits were formed primarily by cooling and dilution of hydrothermal fluids ($165 \sim 313^\circ\text{C}$, $0.4 \sim 2.4\text{wt.}\%$ equivalent NaCl) with some degree mixing of meteoric water.

序 言

月留鑛山은 백악기말의 石英斑岩내에 발달된 NE계의 열극을
충진한 熱水性 含金-銀鑛脈鑛床으로서 忠淸北道 永東郡 黃澗面
院村里, 東經 $127^\circ 54'$, 北緯 $36^\circ 14'$ 부근에 위치한다.

本 鑛山은 1934년 發見된 후 간헐적으로 개발되어 오다가
1981년 鑛業權이 移轉되어 2개 level 총 1300여 m가 연맥굴진
되었고 1일 30톤처리 選鑛場이 가설되어 1990년까지 開發되어
왔으나 그이후 현재까지 休鑛中에 있는 鑛床이다.

本 鑛床에 대한 지금까지의 研究報告는, 廣域地質에 대하여는
김규봉 등(1986)에 의한 조사보고가 있고, 鑛床에 대한 연구로는
유재우 (1984), Yun (1987), 최선규 등 (1988), Yun et al. (1993),
So et al. (1993)등에 의한 研究가 報告되어 있으나, 含金-銀鑛物의
産狀과 化學組成 및 鑛化作用에 대한 지화학적 특징은 아직 충
분히 밝혀져 있지 않다.

따라서, 本 研究에서는 月留鑛床의 金-銀鑛物에 대한 鑛物의

共生關係, 化學組成, 流體包有物, 母岩의 變質 特性을 밝힘으로써
金-銀鑛化作用의 生成環境을 考察하고자 한다.

地質概要

月留鑛山의 周邊地質은 김규봉 등 (1986)에 의해 자세히 보
고되어 있어, 여기서는 그 概要만을 설명하고자 한다.

本 研究地域은 小白山變成岩複合體가 鑛山의 남서쪽에 북동
방향으로 넓게 분포되어 있으며 이를 백악기 永東層群의 퇴적
암류가 不定습으로 피복하고 있다. 또한 상기의 암류들을 후기에
관입 또는 분출한 火山岩類, 長石斑岩 그리고 石英斑岩이 전 지
역에 걸쳐 분포되어 있다 (Fig. 1).

선캠브리아기의 소백산변성암복합체는 黑雲母片麻岩 과 花
崗片麻岩으로 구성되어 있다. 黑雲母片麻岩은 本 鑛山의 동남
쪽에 넓게 분포되어 있으며, 암상은 일반적으로 組立質이며
엽리의 관찰이 힘들다 간혹 石英과 長石과 같은 無色鑛物과 黑雲
母와 같은 有色鑛物에 의한 엽리구조가 관찰된다. 엽리의 走向은
 $N30 \sim 70^\circ E$, 傾斜는 $30 \sim 80^\circ NW$ 이다. 主構成 鑛物은 石英, 正
長石, 斜長石, 黑雲母 및 白雲母등이고, 副成分 鑛物은 미량의
탄산염류 및 絹雲母등이다.

花崗片麻岩은 本鑛山의 남동부에 분포되어 있고, 일반적인 암
상은 암회색 또는 회색을 띠며 입도는 중립질이다. 片理의 走向은
 $N60^\circ E$, 傾斜는 $40 \sim 60^\circ SE$ 를 갖는다. 構成鑛物은 石英, 斜長石,

*忠南大學校 自然科學大學 地質學科 (Department of Geology, College of Natural Sciences, Chungnam National University, Taejon 305-764, Republic of Korea)

**忠南女子中學校 (Chungnam Girl's Middle School, Taejon 301-070, Republic of Korea)

***忠南大學校 自然科學大學 海洋學科 (Department of Oceanography, College of Natural Sciences, Chungnam National University, Taejon 305-764, Republic of Korea)

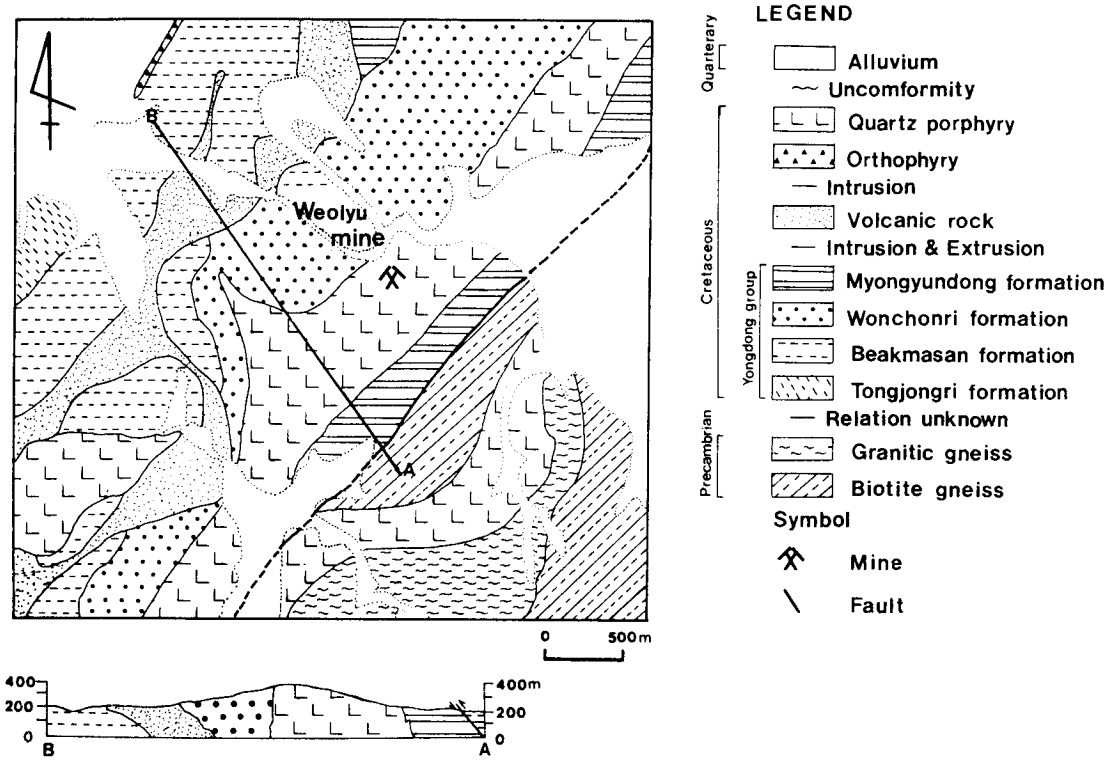


Fig. 1. Geological map of the Weolyu gold-silver mine area.

白雲母, 黑雲母, 微粒斜長石 등이다.

백악기 영동층군의 堆積岩類로는 동정리층, 백마산층, 원촌리층 그리고 명륜동층이 분포된다. 동정리층은 본 鑛山의 북서쪽에서 북동방향으로 대상 분포되며 주로 역암으로 구성된다. 走向과 傾斜는 NS 또는 N10~30°E, 30~60°SE를 갖는다. 역은 규암, 花崗岩質岩, 片麻岩, 세일, 千枚岩으로 구성되어 있다. 백마산층은 본 지역의 북서쪽에서 북동방향으로 대상 분포되며 주로 흑회색의 砂岩으로 구성되며 흑색의 세일이 狹在된다. 층리의 발달은 양호하며 走向은 N30~45°E, 傾斜는 15~50°SE이다. 원촌리 층은 본 鑛山으로부터 북서쪽으로 300여 m 떨어진 지점에 북동방향으로 대상 분포되며 응회암내지 응회질사암으로 구성되어 있다. 층리면의 走向은 N60~70°E, 傾斜는 35~45°SE의 방향성을 갖는다. 명륜동층은 본 鑛山의 남동쪽에서 북동방향으로 대상 분포되며, 자색 내지 담황색의 역암으로 구성되고 이질사암과 세일이 混재된다. 층의 走向은 N30-50°E, 傾斜는 40°NW이다. 礫은 규암, 花崗岩質岩, 片麻岩, 세일, 千枚岩 및 화산암 등으로 구성되어있고 礫의 크기는 수 cm에서 10~20 cm에 달한다.

火山岩類은 본 鑛山의 북서쪽에서 북동방향으로 대상 분포되며 백마산층, 원촌리층을 관입하였다. 본 岩類의 암색은 암회색, 암

적색, 암록색을 띠며 다공질이다. 長石斑岩은 백마산층을 북동방향으로 관입하였고 암상은 담황녹색을 띤다. 構成鑛物은 正長石, 斜長石, 微粒石英 그리고 不透明鑛物 등이 관찰된다. 石英斑岩은 본 鑛床의 모양을 이루고 있으며 堆積岩類를 북동방향으로 관입하여 대상 분포한다. 암상은 회백색, 유백색, 담록색이며, 石英斑晶이 자형을 이룬다.

鑛床

鑛床概要

月留金-銀鑛床은 백악기말의 石英斑岩내에 發達하는 NE계의 열극을 증진한 熱水性 鎔金-銀石英脈鑛床이다. 본 鑛床의 鎔金-銀石英脈은 중앙맥, 남부맥 및 동부맥의 3개 石英脈으로 구성된다 (Fig. 2).

1) 중앙맥은 走向 N10~20°E, 傾斜 65°NW이고, 脈幅이 0.3 m에서 3.0 m 이내로 맥의 연장성은 불량하다. 광맥의 산상은 대체로 맥상형이나 망상형을 이룬다. 그리고 중앙맥과 중앙맥 하 1경에서 각각 300여 m와 100여 m 연맥굴진되어 있다.

2) 남부맥은 중앙맥 남쪽 약 100여 m 지점에서 거의 중앙맥과



Fig. 2. Underground geological map of the Weolyu gold-silver deposits.

평행하게 발달된 맥으로서 脈幅은 5 cm에서 20 cm내외로 약 130여 m 연맥굴진되어 있다.

3) 동부맥은 走向 N65°E, 傾斜 65°NW이고, 맥폭이 10 cm에서 1.5 m 이내로 月留鑛床의 3개 맥 중에서 가장 고품위의 石英맥으로서 약 200 m 연맥굴진되어 있다. 또한 동부맥은 일부에서 葉기성맥에 의해 관입되어 있는 것이 관찰된다.

광체주변에 발달된 母岩變質의 산물인 粘土鑛物에 대해서 X-선 회절분석결과 각각 絹雲母, tosudite, smectite/mica 混合層鑛物등이 확인되었으며, 동일한 鑛化作用의 變質產物로 생각된다. 또한 광체주변의 모암인 石英斑岩에 대한 현미경관찰 결과에서는 變質鑛物로는 石英斑岩 正長石 주변부나 脈쇄대를 따라 絹雲母化作用이 현저하며, 白雲母, 黑雲母의 주변부에서는 綠泥石化作用이 관찰된다. 母岩變質의 산물인 絹雲母에 대한 연대 측정결과 74.24 ± 1.64 Ma로서 백악기말의 鑛化作用임이 확인되었다. 이것은 무주-영암지역의 鑛化時期인 74.8 ± 1.9 (소철섭 등, 1991)와 비슷한 시기를 나타내고 있다.

鑛石鑛物의 共生關係

月留金-銀鑛床을 구성하는 鑛石鑛物은 黃鐵石, 閃亞鉛石, 黃銅石, 方鉛石이 주성분 鑛物로 산출되며, 소량의 金紅石, 에렉트럼, 輝銀石, 피어사이트, 안티모니피어사이트, 自然銀, 아지르다이트등이 산출된다. 脈石鑛物로는 石英, 方解石, 螢石, 능망간석, 白雲母, 인회석 등이 관찰된다. 모암의 변질은 絹雲母化作用, 綠泥石化作用, 硅化作用, 黃鐵石化作用등이 관찰된다. 이와 같은 鑛石鑛物과 脈石鑛物에 대하여 야외조사와 鑛石鑛物의 共生관계 및 조직을 기초로 한 鑛物의 정출순서는 다음과 같이 3時期로 구분되었다 (Fig. 3).

제 I 時期; 이 시기는 모암변질時期로서, 絹雲母化作用, 綠泥石化作用, 黃鐵石化作用, 硅化作用등이 관찰되고, 脈石鑛物로는 石英, 인회석 및 금홍석등이 산출된다. 鑛石鑛物은 黃鐵石 정출된다 (Fig. 4.A).

제 II 時期; 이 시기는 金-銀鑛化時期로 主構成 鑛石鑛物로는 黃鐵石, 閃亞鉛石, 黃銅石, 方鉛石, 에렉트럼, 自然銀과 소량의 輝銀石, 피어사이트, 안티모니피어사이트, 아지르다이트등이 산출된다. 그리고 脈石鑛物로는 石英, 방해석, 능망간석등이 산출된다. 또한 부분적으로 모암이 각력화되어 있고 이곳은 絹雲母

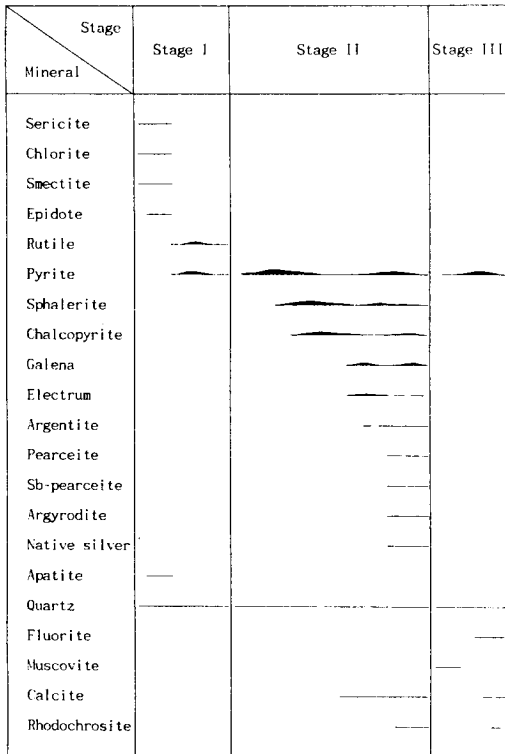


Fig. 3. Paragenetic sequence of minerals from the Weolyu mine.

化作用이 현저하며 각력 사이에는 黃鐵石이 충전되어 있다. 주된脈石鑛物인 石英의 세맥주위에는 모암이 綠泥石으로 변질된 것도 관찰된다. 그리고 II 時期 말기에 Ag-sulfide의 沈澱과 함께 방해석이 沈澱되었다. 이 방해석은 조기에 정출한 石英의 세맥을 충전한 형태로 산출되거나 후기의 石英과 함께 산출된다. 黃鐵石은 모암의 열극을 따라 세맥상으로 산출되는 것과 石英맥의 중앙부와 주변부에 자형 또는 반자형으로 산출되며 대부분의鑛石鑛物과 공생, 공존관계를 갖고 있다. 현미경하에서 관찰되는 주요한 產出狀態는 1) 조기에 정출한 黃鐵石의 간극을 후기에 정출한 方鉛石, 閃亞鉛石, 輝銀石, 에렉트럼이 충전한 것. 2) 조기에 정출한 黃鐵石의 주변부를 따라 輝銀石, 피어사이트, 閃亞鉛石이 교대한 것. 3) 閃亞鉛石, 에렉트럼과 동시에 정출된 것 등이 관찰된다.

閃亞鉛石은 대부분 세립질로서 현미경하에서만 관찰되며, 현미경하에서 산출되는 주요한 產出狀態는 1) 조기에 정출한 黃鐵石을 후기에 정출한 閃亞鉛石이 충전 또는 교대한 것. 2) 조기에 정출한 閃亞鉛石을 후기에 정출한 黃鐵石이 충전한 것. 3) 조기에 정출한 閃亞鉛石의 간극을 후기에 정출한 輝銀石, 自然銀이 충전 또는 교대한 것 (Fig. 4.B). 4) 에렉트럼, 輝銀石, 方鉛石과 동시에 정출된 것 (Fig. 4.D). 5) 石英맥내에 단독으로

산출되는 것 등이 관찰된다. EPMA에 의한 7개 시료 17개 입자 86점에 대한 정량분석 결과는 Table 1과 같다. 이 도표에서와 같이 本鑛床의 閃亞鉛石은 FeS mole%가 5.86에서 0.87 mole%까지 함유되어 있다. 이것은 공생하는 鑛石鑛物에 따라 차이를 보이지 않고 단일 입자내에서 Fe 함량의 변화를 보여주기 때문에 閃亞鉛石이 생성될 당시 부분적으로 비평형상태에 있었음을 시사한다. ZnS+FeS+MnS계 삼각도에 도시하면 Fig. 5와 같다. 이 그림에서와 같이 MnS 함량이 2 mole%내이고 ZnS와 FeS mole%가 부의 상관관계를 갖는다.

方鉛石은 閃亞鉛石에 비해 산출빈도와 산출량이 적고 鎳銀鑛物과 밀접한 관계를 갖고 산출된다. 현미경하에서의 주요한 產出狀態는 1) 조기에 정출한 黃鐵石의 간극을 충전한 方鉛石. 2) 조기에 정출한 閃亞鉛石의 간극을 충전 또는 교대한 方鉛石. 3) 조기에 정출한 方鉛石의 간극을 輝銀石, 피어사이트, 自然銀이 충전 또는 교대한 것. 4) 조기에 정출한 方鉛石을 黃鐵石이 포획한 것. 5) 閃亞鉛石, 아지르다이트와 동시에 정출된 것 (Fig. 4.E) 등이 관찰된다. 黃銅石은 산출량과 산출빈도가 낮으나 鑛床 전체에 걸쳐 널리 분포된다. 현미경하에서 두가지의 산출 형태를 갖는다. 閃亞鉛石내에 bleb 상태로 산출되는 것과 閃亞鉛石과 공존하지 않고 단독으로 산출되는 것이 있다. 여기에서 단독으로 산출되는 黃銅石은 方鉛石을 교대하고, 閃亞鉛石과 함께 산출되는 것은 용리 또는 disease 형태로 산출된다. 현미경하에서의 產出狀態는 1) 조기에 정출한 黃鐵石을 포획한 黃銅石. 2) 石英내에 에렉트럼과 동시에 정출한 黃銅石. 3) 조기에 정출한 方鉛石을 교대한 黃銅石. 4) 閃亞鉛石과 용리조직을 갖는 것 등이 관찰된다.

에렉트럼은 주로 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 黃銅石, 輝銀石 등과 밀접한 공생관계를 갖고 산출되며 石英내에 단독으로 정출되는 것도 산출빈도에 있어서 매우 높은 편이다. 현미경하에서의 주요한 產出狀態는 다음과 같다. 1) 黃鐵石과 공존하는 에렉트럼. 2) 輝銀石, 閃亞鉛石, 黃鐵石과 공존하는 에렉트럼 (Fig. 4.C). 3) 조기에 정출한 方鉛石을 교대한 에렉트럼. 4) 조기에 정출한 閃亞鉛石의 간극을 충전한 에렉트럼. 5) 石英내에 단독으로 산출되는 에렉트럼 등이 있다. EPMA에 의한 3개 시료 16개 입자 16점에 대한 정량분석 결과는 Table 2와 같다. 이 도표에서와 같이 本鑛床의 에렉트럼은 3.36~32.9 atomic% Au의 조성을 갖는 것 부터 自然銀까지 정출된다. 輝銀石은 鎳銀鑛物중에 산출량이나 산출빈도가 비교적 높은 鑛物로서 1) 石英내에 단독으로 산출되는 것, 2) 黃鐵石을 충전 또는 교대한 것, 3) 閃亞鉛石, 에렉트럼과 공존하는 것 등이 있다. EPMA에 의한 1개 시료 5개 입자 5점에 대한 정량분석 결과는 Table 3과 같다. 이 도표에서와 같이 輝銀石의 Ag는 Fe에 의해 0.92~1.55 wt.%, Cu는 0.56~4.05 wt.%까지 치환되어 있다. 이와같이 본 광상산 휘은석의 화학조성은 日本의 Akenobe 鑛床의 輝銀石 (Masanori et al. 1992)과 유사한데 두 鑛山產 輝銀石은 모두 Ag는 Cu, Fe, Zn,

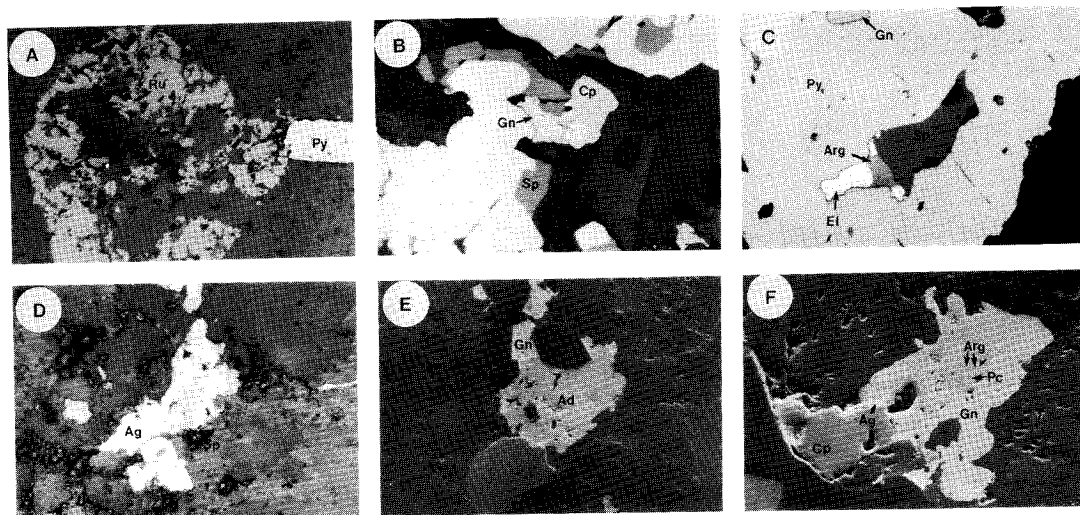


Fig. 4. Photomicrographs of ore minerals from the Weolyu gold-silver deposits. A; Pyrite coexisting with rutile. B; Pyrite, sphalerite, galena and chalcopyrite partly replaced by argentite. C; Electrum, argentite and sphalerite included in pyrite. D; Native silver and argentite coexisting with sphalerite. E; Argyrodite coexisting with galena. F; Galena and chalcopyrite partly replaced by pearceite, native silver and argentite.

As, Sb, Se에 의해 치환되고 있다. 피어사이트-안티모니피어사이트는 自然銀, 輝銀石, 方鉛石, 黃銅石등과 밀접한 관계를 갖고 산출되는 것 (Fig. 4.F)과 石英내에 단독으로 산출되는 것이 있다. EPMA에 의한 6개 16개점에 대한 정량분석 결과는 Table 4와 같다. 이 도표에서와같이 本鑛物은 Ag를 Cu가 11.86 wt.% 까지, Fe는 1.16 wt.% 까지 치환하고 있고, 이 분석값을 Hall (1967)에 의한 분류도표에 도시하면 Fig. 6과 같다. 이 그림으로부터 本鑛山에는 피어사이트, 안티모니피어사이트, 아세닉피어 사이트가 존재함을 알 수 있다.

아지르다이트는 주로 方鉛石, 自然銀, 피어사이트, 안티모니 피어사이트와 밀접한 관계를 갖고 산출된다. EPMA에 의한 분석결과는 Table 5와 같다. 이 鑛物은 Ag를 Cu가 0.96 wt.%까지 치환하고 Ge를 Fe가 1.51 wt.%까지 치환하고 있다. Fig. 7에서와 같이 stoichiometric 아지르다이트와 비교해 보면, 대부분의 아지르다이트가 Ag 함량이 높게 나타나며 Ag와 Cu는 부의 상관관계를 갖는다. 이것은 Ag의 격자내에 Cu가 치환하고 있음을 보여준다. 그리고 Fig. 8과 같이 Ge의 함량은 Fe, As, Sn, Zn, Sb의 함량이 감소함에 따라 증가한다.

제 III 時期; 이 시기는 정동내에 자형의 石英, 黃鐵石 그리고 螢石이 산출된다. 자형 또는 반자형의 黃鐵石은 石英맥의 주변부에 산출되는 것과 정동내에 방해석, 螢石등과 함께 산출되는 것이 있다.

流體包有物의 均一化溫度와 鹽濃度

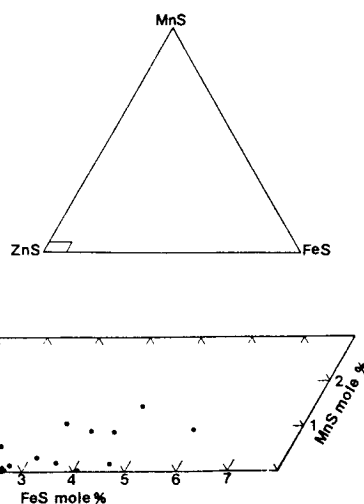


Fig. 5. Enlarged parallelogram in the triangle diagram of the system FeS-MnS-ZnS(ZnS+CuS+CdS) showing chemical composition of sphalerite from the Weolyu gold-silver deposits.

流體包有物의 연구는 광맥을 구성하고 있는 脈石鑛物들 중 鑛石鑛物과 공존하는 鑛化 I, II 그리고 III 時期에 정출된 石英 및 螢石을 대상으로 수행하였다. 本鑛山에서 산출되는 流體包有物의 형태는 oval, round, negative form이 주이고 tabular, irregular의 형태도 존재한다. 그리고 包有物의 크기는 최저 수 μm에서 최고 70 μm정도이고 산출형태는 대부분이 군집형으로

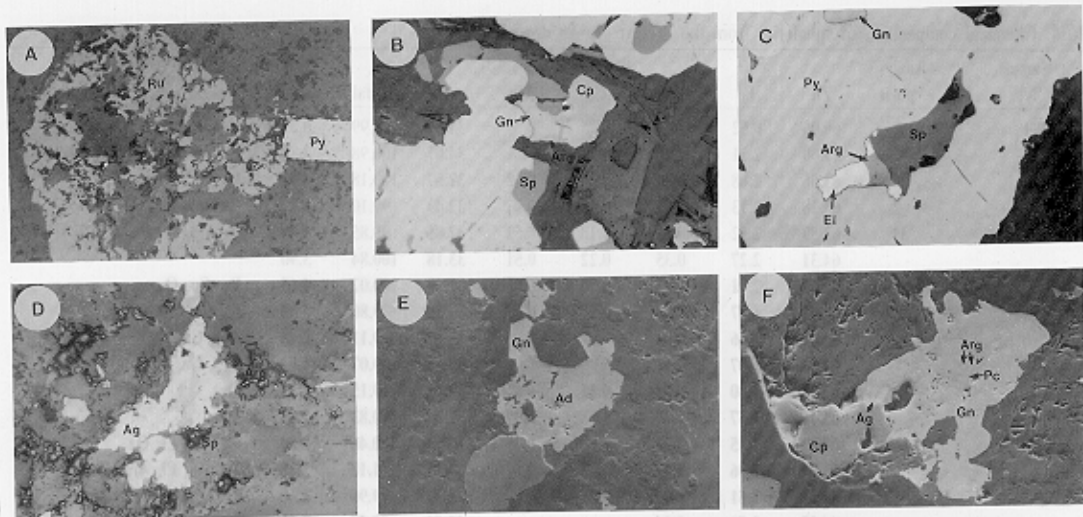


Fig. 4. Photomicrographs of ore minerals from the Weolyu gold-silver deposits. A; Pyrite coexisting with rutile. B; Pyrite, sphaerite, galena and chalcopyrite partly replaced by argentite. C; Electrum, argentite and sphaerite included in pyrite. D; Native silver and argentite coexisting with sphaerite. E; Argyrodite coexisting with galena. F; Galena and chalcopyrite partly replaced by pearceite, native silver and argentite.

Table 1. Chemical composition of sphalerite from the Weolyu Au-Ag deposits.

Sample No.	Analysis point	Weight %							FeS mole%	Associated minerals	
		Zn	Fe	Cu	Cd	Mn	S	Total			
WY19-1		66.05	0.52					34.37	100.99	0.87	
		63.60	2.31	1.26				34.07	100.98	3.89	
WY19-2	6	63.85	2.68	0.89	0.07	0.12		32.57	100.18	4.60	Py, Gn, Qz
	2	63.28	2.13	1.04	0.15	0.07		32.43	99.10	3.72	Gn, Qz
WY19-4	31	63.59	2.52	0.26	0.10	0.52		32.86	99.85	4.49	Py, Gn, Qz
		64.31	2.27	0.35	0.22	0.51		33.18	100.84	3.90	
	14	63.72	2.71	0.51	0.09	0.85		32.68	100.02	4.65	Py, Gn, Qz
	10	62.47	3.37	0.24	0.07	0.55		33.10	99.80	5.86	El, Gn, Cp
		63.80	1.46	0.01				33.82	99.11	2.48	Arg, Gn, Qz
		64.45	1.07					33.50	99.07	1.83	Arg, Gn, Qz
WY4	9	63.28	1.80	0.78	0.11	0.17		33.01	99.15	3.17	Qz
WY11-20	2	65.16	1.57	1.20	-	0.07		32.83	100.83	2.85	
WY88521-2	2	64.13	1.35	2.52	-	0.35		32.11	100.46	2.30	Py, Gn, El, Qz
	2	63.74	1.96	2.63	-	0.62		32.23	101.18	3.30	Py, Gn, El, Arg, Qz
WY40-1		64.85	1.51	0.22				33.31	99.96	2.60	
		64.98	1.51	0.04				33.01	99.55	2.63	
		64.30	1.42	0.02				33.68	99.45	2.42	

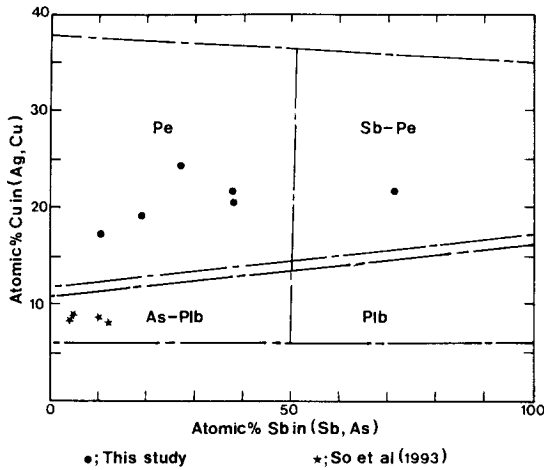


Fig. 6. Relation between Cu/(Ag+Cu) and Sb/(As+Sb) in chemical composition of polybasite-arsenopolybasite and antimonpearceite-pearceite series.

산출되며 때때로 단독으로 산출되는 것도 관찰된다. 石英과 螢石 내에 산출되는 流體包有物에 대해 실온에서 관찰되는 상의 종류, 충전도, 가열시험시 均一化되는 방법에 따라 다음과 같이 분류하였다 (Fig. 9).

A型包有物; 액상과 기상의 2상으로 구성된 流體包有物로서 충전도가 50% 미만인 包有物로서 가열시험시 액상으로 均一化된다. 이 型에 속하는 包有物은 전시기에 걸쳐 산출된다.

B型包有物; 액상과 기상의 2상으로 구성된 流體包有物로서 충전도가 50% 이상이고 가열시험시 기상으로 均一化된다. 이

Table 2. Chemical composition of electrum from the Weolyu Au-Ag deposits.

Sample No.	Weight			Atomic%	
	Au	Ag	Total	Au	Ag
WY88521-2	37.77	62.52	100.29	24.86	75.14
	37.89	61.86	99.75	25.12	74.88
	35.09	65.85	100.94	22.59	77.41
	37.54	61.36	98.90	25.10	74.90
	46.69	52.15	98.84	32.90	67.10
	46.25	52.15	98.40	32.69	67.31
	39.70	58.62	98.32	27.05	72.95
	-	99.90	99.90	-	100.00
	0.08	100.13	100.21	0.04	99.96
	WY19-4 (4)	30.65	69.24	99.89	19.52
	30.92	69.21	100.13	19.66	80.34
	0.20	99.62	99.83	0.11	99.89
	0.01	99.49	99.50	0.01	99.99
	-	99.32	99.32	-	100.00
WY-5	5.94	93.63	99.57	3.36	96.64
	0.01	99.79	99.80	0.01	99.99

型에 속하는 包有物들은 鑛化時期에 정출된 石英에서 관찰된다.

C型包有物; 고상(白雲母), 액상, 기상의 3상으로 구성된 流體包有物로서 충전도가 50% 미만이고 가열시험시 고상은 변화가 없고 액상으로 均一化된다. 이 型에 속하는 包有物은 鑛化 III 時期에 정출된 石英에서 관찰된다.

均一化溫度

가열시험은 I, II, III 시기의 石英과 螢石을 대상으로 하였으며

Table 3. Microprobe analyses of argentite from the Weolyu gold-silver deposits.

Sample no	Ag	Cu	Fe	Zn	As (wt.%)	Sb	Se	S	Total	Structural formulae (Total atoms = 3)
W.Y. 19-4'	89.01	1.12	1.41	-	-	-	-	14.04	100.58	(Ag _{1.05} Cu _{0.04} Fe _{0.06}) _{1.95} Si _{1.04}
W.Y. 19-4'	85.23	0.56	1.55	-	-	-	-	12.13	99.46	(Ag _{1.07} Cu _{0.02} Fe _{0.07}) _{1.95} Si _{0.94}
W.Y. 19-4'	86.62	0.65	1.41	-	-	-	-	9.93	98.34	(Ag _{1.11} Cu _{0.03} Fe _{0.05}) _{2.19} Si _{0.81}
W.Y. 19-4'	87.75	1.71	0.92	-	-	-	-	9.45	99.83	(Ag _{1.12} Cu _{0.07} Fe _{0.04}) _{2.23} Si _{0.77}
W.Y. 19-4'	81.86	4.05	1.43	-	-	-	-	13.23	100.39	(Ag _{1.00} Cu _{0.15} Fe _{0.06}) _{2.16} Si _{0.98}
1 [#]	80.80	1.70	0.30	1.40	-	-	-	13.20	97.40	(Ag _{1.05} Cu _{0.07} Fe _{0.01} Zn _{0.05}) _{1.98} Si _{1.02}
2 [#]	86.10	0.30	0.50	-	-	-	2.70	12.00	101.60	(Ag _{1.96} Cu _{0.01} Fe _{0.03}) _{2.00} (Se _{0.06} S _{0.92}) _{1.00}
3 [#]	86.90	0.20	0.10	0.40	-	-	0.30	13.20	101.10	(Ag _{1.96} Cu _{0.01} Zn _{0.02}) _{1.99} (Se _{0.01} Si _{1.00}) _{1.01}
4 [#]	81.50	0.20	0.50	0.40	-	-	-	13.60	99.80	(Ag _{1.01} Cu _{0.01} Fe _{0.02} Zn _{0.15}) _{1.99} Si _{1.01}
5 [#]	81.20	1.20	0.10	-	-	-	0.60	15.70	98.80	(Ag _{1.78} Cu _{0.05} Fe _{0.01}) _{1.84} (Se _{0.02} Si _{1.14}) _{1.16}
6 [#]	79.00	3.30	-	0.20	1.70	0.90	-	14.70	99.90	(Ag _{1.12} Cu _{0.12} Zn _{0.01} Sb _{0.05} As _{0.02}) _{1.92} Si _{1.08}

* : This study, # : Masanori et al (1992)

Table 4. Microprobe analyses of pearceite-polybasite series minerals from the Weolyu gold-silver deposits.

Sample no	Ag	Cu	Fe	Zn	As (wt.%)	Sb	Se	S	Total	Structural formulae (Total atoms = 3)
W.Y. 19-4 (3) [#]	62.50	0.72	11.86	5.05	0.21	-	3.03	16.53	99.90	(Ag _{12.10} Cu _{1.90}) _{16.0} Fe _{0.27} (As _{1.41} Sn _{0.04} Sb _{0.52}) _{1.97} Si _{10.77}
W.Y. 19-4 (5) [#]	66.67	0.78	10.15	3.81	-	-	3.80	15.32	100.53	(Ag _{13.26} Cu _{3.43}) _{16.69} Fe _{0.30} (As _{1.09} Sb _{0.67}) _{1.76} Si _{10.25}
W.Y. 19-4 (2) [#]	64.68	0.81	10.45	4.21	-	-	4.18	15.95	100.28	(Ag _{12.72} Cu _{3.49}) _{16.21} Fe _{0.31} (As _{1.19} Sb _{0.73}) _{1.92} Si _{10.56}
W.Y. 19-4 (2) [#]	62.63	0.85	10.18	2.21	-	-	8.98	15.95	100.80	(Ag _{12.41} Cu _{3.42}) _{15.83} Fe _{0.33} (As _{0.63} Sb _{1.53}) _{2.21} Si _{10.63}
W.Y. 19-4 (3) [#]	66.48	1.16	8.96	5.46	-	-	2.10	16.05	99.94	(Ag _{13.10} Cu _{2.91}) _{16.01} Fe _{0.44} (As _{1.55} Sb _{0.37}) _{1.92} Si _{10.64}
W.Y. 19-4 (1) [#]	66.20	1.12	8.27	6.49	-	-	1.20	15.62	98.89	(Ag _{13.21} Cu _{2.99}) _{16.01} Fe _{0.43} (As _{1.26} Sb _{0.21}) _{2.07} Si _{10.48}
1 [#]	73.33	-	4.05	6.45	0.67	0.09	0.51	15.45	100.55	(Ag _{14.91} Cu _{1.49}) _{16.40} Fe _{0.17} (As _{1.29} Sn _{0.17} Ge _{0.03} Sb _{0.09}) _{2.13} Si _{10.57}
2 [#]	72.14	-	4.12	6.27	0.70	0.23	0.51	15.56	99.52	(Ag _{14.74} Cu _{1.43}) _{16.17} As _{1.24} Sn _{0.13} Ge _{0.07} Sb _{0.09}) _{2.13} Si _{10.69}
3 [#]	74.36	-	3.90	5.79	0.72	0.11	1.32	14.26	100.44	(Ag _{15.48} Cu _{1.38}) _{16.86} As _{1.74} Sn _{0.16} Ge _{0.03} Sb _{0.24}) _{2.15} Si _{10.99}
4 [#]	71.84	-	4.12	6.91	0.65	0.05	0.57	15.35	99.50	(Ag _{14.71} Cu _{1.43}) _{16.14} As _{2.04} Sn _{0.12} Ge _{0.02} Sb _{0.10}) _{2.28} Si _{10.58}
5 [#]	72.76	-	4.28	6.05	0.72	0.00	1.19	15.11	100.11	(Ag _{14.93} Cu _{1.49}) _{16.42} As _{1.79} Sn _{0.13} Ge _{0.00} Sb _{0.22}) _{2.14} Si _{10.44}

* : This study, # : Masanori et al (1992)

Table 5. Microprobe analyses of argyrodite from the Weolyu gold-silver deposits.

Sample No.	Ag	Fe	Cu	Ge	Sn	Sb	As (wt.%)	Zn	S	Total	Structural formulae (Total atoms = 15)
W.Y. 19-4*	78.83	1.51	0.96	4.02	-	-	-	-	16.17	101.49	(Ag _{8.23} Cu _{0.17}) _{8.40} Fe _{0.30} Ge _{0.62} S _{5.68}
W.Y. 19-4*	77.13	1.10	0.38	3.54	-	-	-	-	16.28	98.42	(Ag _{8.27} Cu _{0.07}) _{8.34} Fe _{0.23} Ge _{0.56} S _{5.87}
W.Y. 19-4*	77.00	1.81	0.71	4.82	-	-	-	-	17.09	100.79	(Ag _{7.96} Cu _{0.12}) _{8.08} Fe _{0.24} Ge _{0.74} S _{5.94}
W.Y. 19-4*	78.03	1.36	0.71	4.12	-	-	-	-	16.03	100.26	(Ag _{8.23} Cu _{0.13}) _{8.38} Fe _{0.28} Ge _{0.65} S _{5.70}
W.Y. 19-4*	76.92	1.19	0.93	3.75	-	-	-	-	16.31	99.10	(Ag _{8.17} Cu _{0.17}) _{8.34} Fe _{0.24} Ge _{0.59} S _{5.83}
W.Y. 19-4*	77.43	1.47	0.41	4.13	-	-	-	-	15.40	99.82	(Ag _{8.36} Cu _{0.09}) _{8.44} Fe _{0.31} Ge _{0.66} S _{5.59}
W.Y. 19-4*	77.67	1.45	0.87	3.57	-	-	-	-	16.50	100.06	(Ag _{8.16} Cu _{0.16}) _{8.32} Fe _{0.25} Ge _{0.54} S _{5.83}
W.Y. 19-4*	76.62	1.26	0.52	4.67	-	-	-	-	16.50	99.55	(Ag _{8.07} Cu _{0.09}) _{8.06} Fe _{0.26} Ge _{0.73} S _{5.85}
W.Y. 19-4*	76.56	1.15	0.79	4.67	-	-	-	-	14.97	98.15	(Ag _{8.36} Cu _{0.15}) _{8.51} Fe _{0.24} Ge _{0.76} S _{5.50}
1 [#]	76.38	0.47	0.29	5.97	0.76	0.07	0.28	0.03	16.65	100.90	(Ag _{7.96} Cu _{0.05}) _{8.01} Fe _{0.09} Ge _{0.97} Sn _{0.07} Sb _{0.01} As _{0.04} Zn _{0.01} S _{5.84}
2 [#]	75.56	0.55	0.25	5.79	0.76	0.11	0.08	0.01	16.89	100.05	(Ag _{7.96} Cu _{0.04}) _{7.94} Fe _{0.11} Ge _{0.96} Sn _{0.07} Sb _{0.01} As _{0.01} Zn _{0.06} S _{5.94}
3 [#]	76.55	0.34	0.25	5.70	0.81	0.03	0.00	0.09	16.34	100.11	(Ag _{8.09} Cu _{0.04}) _{8.13} Fe _{0.07} Ge _{0.89} Sn _{0.06} Sb _{0.00} As _{0.00} Zn _{0.02} S _{5.81}
4 [#]	74.92	0.35	0.21	5.65	0.25	0.25	0.75	0.02	16.97	99.36	(Ag _{7.86} Cu _{0.04}) _{7.90} Fe _{0.07} Ge _{0.88} Sn _{0.02} Sb _{0.02} As _{0.11} Zn _{0.06} S _{5.99}
5 [#]	75.99	0.43	0.94	4.78	0.66	0.14	0.65	0.00	17.05	100.65	(Ag _{7.89} Cu _{0.17}) _{8.06} Fe _{0.09} Ge _{0.74} Sn _{0.06} Sb _{0.01} As _{0.10} Zn _{0.06} S _{5.95}
6 [#]	74.83	0.26	0.24	6.13	0.69	0.21	0.00	0.04	16.53	98.93	(Ag _{7.94} Cu _{0.04}) _{7.98} Fe _{0.05} Ge _{0.97} Sn _{0.07} Sb _{0.02} As _{0.00} Zn _{0.01} S _{5.90}
7 [#]	75.58	0.36	0.36	6.12	0.66	0.16	0.24	0.43	16.13	100.05	(Ag _{7.98} Cu _{0.06}) _{8.04} Fe _{0.07} Ge _{0.94} Sn _{0.06} Sb _{0.01} As _{0.04} Zn _{0.07} S _{5.73}
8 [#]	75.68	0.15	0.17	5.99	0.72	0.14	0.41	0.03	16.56	99.84	(Ag _{7.98} Cu _{0.03}) _{8.01} Fe _{0.03} Ge _{0.94} Sn _{0.07} Sb _{0.01} As _{0.06} Zn _{0.01} S _{5.87}
9 [#]	69.68	0.46	3.89	3.53	0.09	2.04	0.52	0.00	16.67	96.88	(Ag _{7.41} Cu _{0.70}) _{8.11} Fe _{0.09} Ge _{0.56} Sn _{0.01} Sb _{0.19} As _{0.08} Zn _{0.06} S _{5.96}
10 [#]	71.91	0.41	3.90	3.88	0.13	1.93	0.16	0.00	17.98	100.30	(Ag _{7.31} Cu _{0.67}) _{7.98} Fe _{0.08} Ge _{0.55} Sn _{0.01} Sb _{0.17} As _{0.02} Zn _{0.06} S _{6.15}
11 [#]	73.71	0.36	4.12	3.45	0.00	2.04	0.34	0.00	17.19	101.21	(Ag _{7.54} Cu _{0.72}) _{8.26} Fe _{0.07} Ge _{0.52} Sn _{0.06} Sb _{0.18} As _{0.05} Zn _{0.06} S _{5.92}
12 [#]	75.75	0.43	0.87	3.55	0.07	1.15	0.20	0.00	17.44	99.45	(Ag _{7.92} Cu _{0.15}) _{8.07} Fe _{0.09} Ge _{0.55} Sn _{0.01} Sb _{0.11} As _{0.03} Zn _{0.06} S _{6.14}
13 [#]	75.11	0.43	1.58	2.70	0.00	1.58	0.12	0.00	17.00	98.52	(Ag _{7.97} Cu _{0.28}) _{8.25} Fe _{0.09} Ge _{0.41} Sn _{0.06} Sb _{0.15} As _{0.02} Zn _{0.06} S _{6.07}

* : This study, # : Masanori et al (1992)

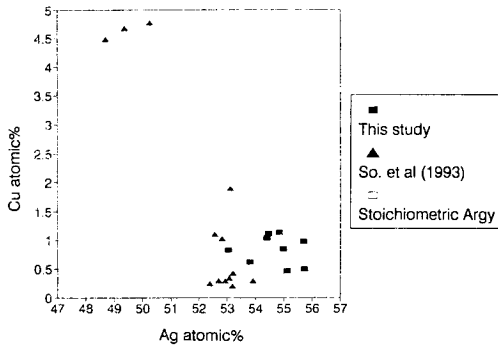


Fig. 7. Diagram showing relation between the concentrations of silver and copper in argyrodite from the Weolyu gold-silver deposits.

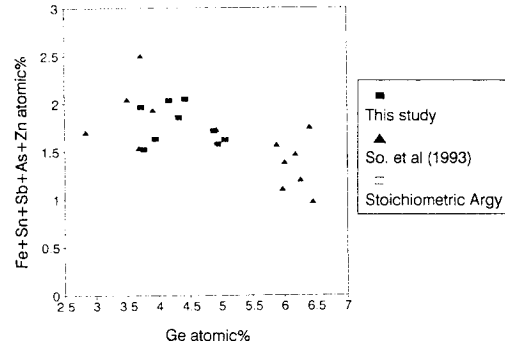


Fig. 8. Diagram showing relation between Ge and (Fe+Sn+Sb+As+Zn) atomic % in argyrodite from the Weolyu gold-silver deposits.

연구대상 鑛物내 流體包有物의 均一化溫度는 Fig. 10과 같다. 鑛化 I 時期에 산출되는 石英내에 산출되는 A型 包有物의 均一化溫度는 278~365°C, 鑛化 II 時期에 산출되는 石英내에 산출되는 A型 包有物은 165~313°C, 鑛化 III 時期에 산출되는 石英내의 A型包有物의 均一化溫度는 169~368°C이고 C型包有物은 186~251°C이다. 그리고 鑛化III時期的 螢石내에 산출되는 A型包有物은 185~213°C이다. 이것은 앞의 鑛石鑛物에서 살펴본 바와 같이, 鑛化 I 時期과 II 時期는 동일기원의 熱水溶液으로부터 기원된 것으로 생각되고 鑛化 III 時期的 流體는 시간적인 차이를 두고 sulfide-poor 熱水溶液의 유입에 의한 鑛物의 沈澱이 있었음을 시사한다. 鑛化 I 時期에는 302°C 근처에서 A型包有物과 B型包有物이 관찰된다. 이것은 H₂O-rich 熱水流體가 부분적으로 沸騰 현상이 있었음을 시사한다.

鹽濃度

冷却실험은 U.S.G.S의 Gas-flow heating & freezing system을 사용하였다. 鑛化時期별 包有物의 NaCl 相當鹽濃度は Fig. 11과 같다. 이 그림에서와 같이 鑛化 I 時期 石英내에 산출되는 A型包有物의 鹽濃度は 0.0~7.0 wt.%, 鑛化 II 時期에 산출되는 石英내에 산출되는 A型包有物은 0.4~2.4 wt.%, 鑛化 III 時期的 산출되는 石英내에 산출되는 A型包有物은 0.2~4.9 wt.%, C型包有物은 0.5~3.7 wt.%, 螢石내에 산출되는 A型包有物은 0.4~2.9 wt.%를 갖는다. 앞에서 설명한 바와 같이 鑛化 I 時期에서 鑛化 II 時期로 감에 따라 鹽濃도가 급격히 감소한다. 그리고 鑛化 III 時期로 감에 따라 다시 鹽濃도가 증가하는 경향을 보이고 있다.

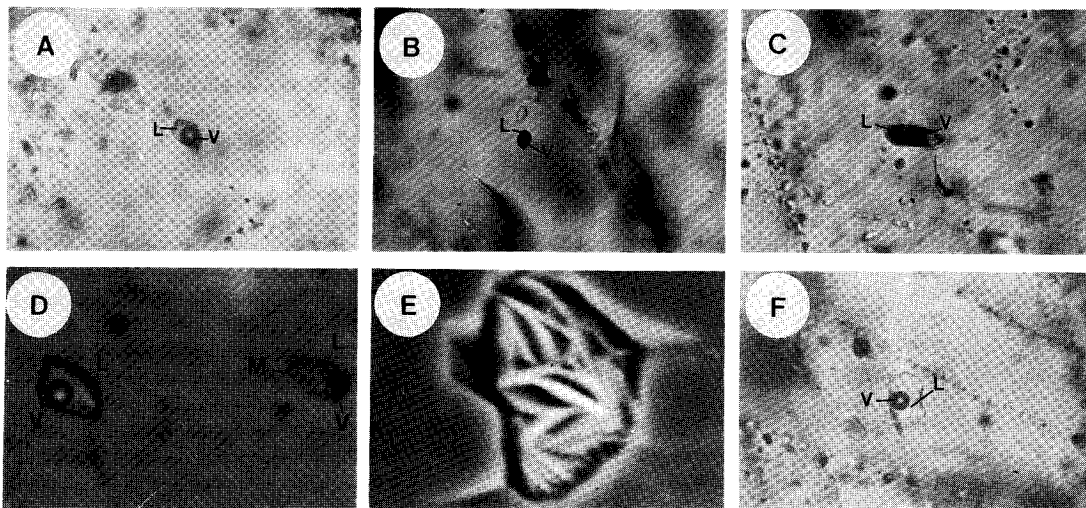


Fig. 9. Microphotographs of fluid inclusions in quartz and fluorite from the Weolyu gold-silver deposits. A; Type A inclusion from stage I B; Type B inclusion from stage I. C; Type A inclusion from stage II. D; Type B inclusion and type C inclusion in quartz from stage III. E; SEM views of opened type C inclusion. F; Type B inclusion in fluorite from stage III.

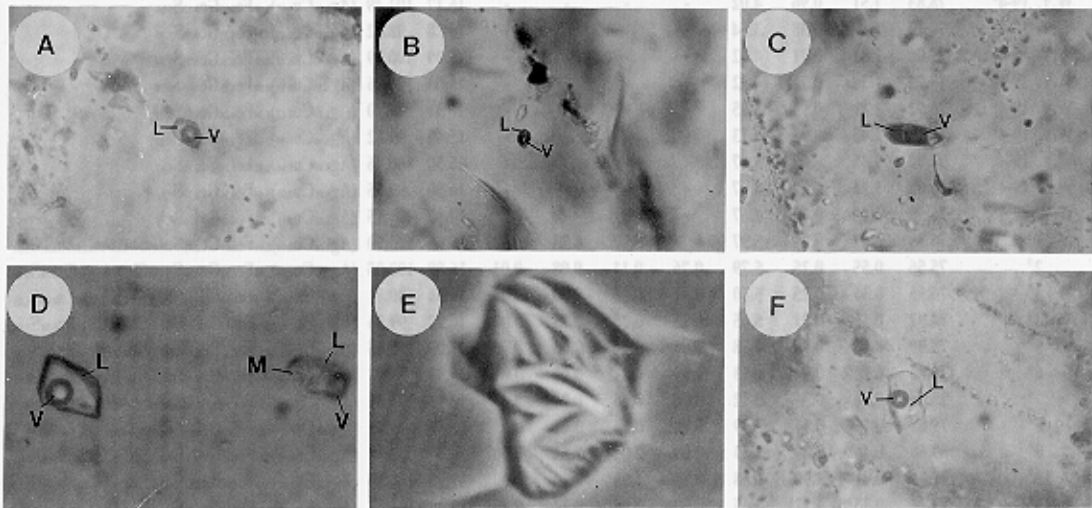


Fig. 9. Microphotographs of fluid inclusions in quartz and fluorite from the Weolyu gold-silver deposits. A; Type A inclusion from stage I B; Type B inclusion from stage I. C; Type A inclusion from stage II. D; Type B inclusion and type C inclusion in quartz from stage III. E; SEM views of opened type C inclusion. F; Type B inclusion in fluorite from stage III.

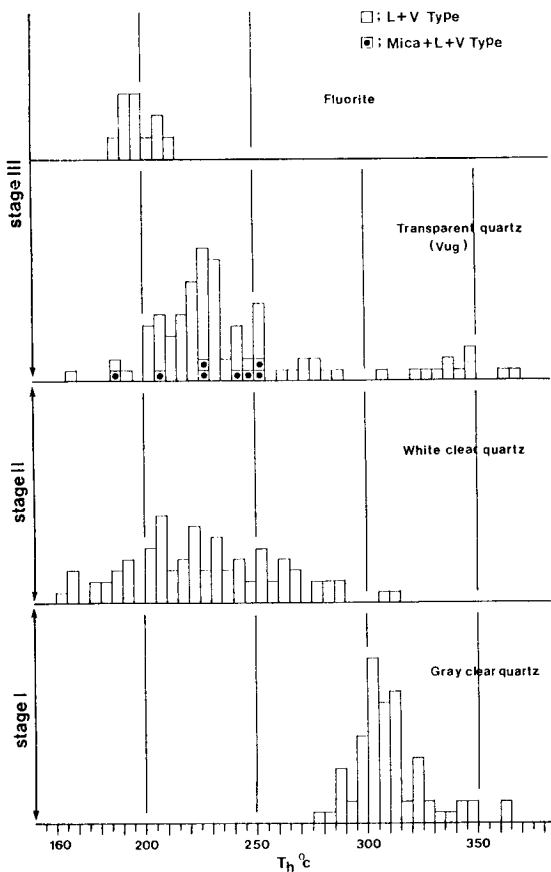


Fig. 10. Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions from the Weolyu gold-silver deposits.

均一化溫度和 鹽濃度의 關係

각 時期별로 산출되는 流體包有物의 鹽濃도와 均一化溫도의 關係를 도시하면 Fig. 12와 같다. 이 그림에서와 같이 鑛化 I 時期에서 鑛化 II 時期로 감에 따라 溫도와 鹽濃도가 급격히 떨어 짐을 알 수 있다. 특히, 270°C에서 鹽濃도값의 감소가 현저한데, 이는 다른 鑛化流體의 유입의 가능성과 천수의 유입에 의한 稀釋作用에 의한 가능성을 지시한다. 그리고 鑛化 III 時期로 감에 따라 鹽濃도와 均一化溫도가 상승하는데, 이것은 熱水流體의 근 원으로부터 재유입이나 鑛化 I, II 時期와는 화학조성이 다른 流體가 유입되지 않았나 생각된다. 鑛化 III 時期의 螢石내에서 산 출되는 流體包有物에서는 비교적 좁은 범위의 鹽濃도와 均一化 溫度값을 갖는점은 이를 뒷받침하고 있다.

考 察

에렉트럼의 沈澱 條件

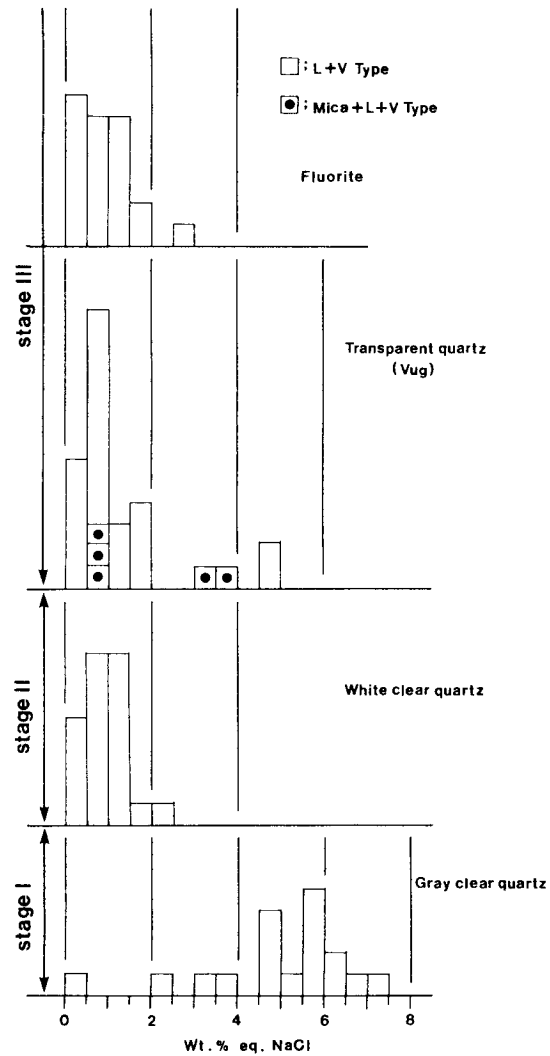
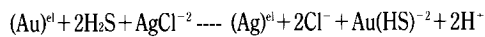


Fig. 11. Histogram of salinities of fluid inclusions from the Weolyu gold-silver deposits.

에렉트럼의 화학조성은 0.0~32.90 Au atomic%의 범위를 갖는다. 이와같이 화학조성의 다양성은 시간에 따른 熱水溶液의 물리-화학적요소가 변함으로서 유발된다. Large et al. (1988)에 의하면 Au가 溫도와 鹽濃도가 높으면 (<300°C, 4.4 wt.%) AuCl⁻²로 안정하고 溫도와 鹽濃도가 >300°C, 4.4 wt.% 이면 Au가 Au (HS)⁻² 상태로 안정하다고 보고하였다. 本鑛床의 鑛化II時期에 산출되는 流體包有物의 均一化溫도와 鹽濃도가 165~313°C, 0.4~2.4 wt.%로서 Au가 Au (HS)⁻² 상태로 존재한다고 생각된다. Shikazono (1981)와 D.M. Shenberger et al. (1989, 1985)에 의한 반응식은 다음과 같다.



月留金-銀 鑛床의 生成環境

에렉트럼과 自然銀의 주 정출시기인 II時期的 生成條件을 알 아보기 위하여 앞에서 수립된 鑛物共生群, 黃鐵石-閃亞鉛石-에 렉트럼-輝銀石과 黃鐵石-閃亞鉛石-自然銀-輝銀石에 대해 溫度와 유향분압을 추정하여 보았다 (Toulmin and Barton, 1964; Scott and Barnes, 1971; Barton and Skinner, 1979; Shikazono, 1985). 이 공생관계중 閃亞鉛石의 FeS mole%는 1.83에서 3.90 mole% 이고 에렉트럼의 은함량 (N_{Ag})은 0.67에서 0.80이다. 이 자료를 Toulmin and Barton (1964)와 Shikazono (1985)가 제시한 상-도표에 도시하여 溫度를 구하면 중기 194~236°C, 말기 156~184°C에 해당하고 유향분압은 중기 $10^{12.8} - 10^{14.6}$, 말기 $10^{-16} - 10^{-17}$ atm에 해당한다 (Fig. 14). 이것은 II 時期에 정출한 流體 包有物의 均一化溫度 (165~313°C)와 비교적 잘 일치한다. 鑛化 I 時期에 형성된 包有物내에 비등현상이 관찰된다. 이 비등현상 (302°C, 5 wt.% eq. NaCl)을 가지고 깊이를 계산하면 970 m이며 이것은 壓力으로 환산하면 220 bar에 해당된다. 따라서 이상의 실험결과를 종합해 보면, 鑛化 I 時期的 生成溫度는 流體包有物의 均一化溫度에서 약 278~365°C, 鹽濃度는 0.0~7.0 wt.%, 生成 壓力은 220 bar이며, 鑛化 II 時期的 生成溫度는 鑛物共生群으로 구한 溫度와 流體包有物의 均一化溫度에서 165~313°C, 鹽濃度 0.4~2.4 wt.%로서 계속적으로 溫度와 鹽濃度가 감소하였음을 알 수 있다. 鑛化 III 時期的 生成溫度는 流體包有物 均一化溫度에서 169~368°C, 鹽濃度 0.2~4.9 wt.%값을 갖는다. 이것은 鑛化 I, II 時期와는 다른 시간적인 gap에 의한 산물이거나 open system에 의한 에너지나 물질의 유입에 의한 熱水溶液으로부터 만들어진 산물이라 생각된다. 石英중 한 시료에서 鑛化 말기로 감에 따라 liquid-rich type 包有物이 가열시 liquid로 均一化되는 것이 다량 관찰된다. 이것은 H₂O-NaCl계의 包有物에서 liquid가 H₂O-rich type으로서 鑛化 作用이 계속되어짐에 따라 염농도가 감소하는것은 H₂O가 부화된 천수의 유입을 시사하는 것이다. 그리고 流體包有物의 均一化溫度와 鹽濃度의 상호관계를 살펴보면 鑛化I時期에서 鑛化 II 時期로 감에 따라 熱水溶液의 溫度와 鹽濃度가 현저히 감소되었음을 알 수 있다. Yun (1992)은 月留鑛床의 생성이 magmatite-series granite melt로부터 계속적인 鑛化作用이 진행됨에 따라 천수의 유입이 있었다고 보고하였다. 이상을 종합하면 백악기말 (74.24 ± 1.64 Ma)의 熱水溶液으로부터 鑛化作用이 진행됨에 따라 鑛化流體의 冷却作用과 천수유입에 의한 稀釋作用이 있었음을 지시해 준다. 鑛石鑛物의 產出狀態, 化學組成 및 物理化學的 條件등을 근거로 하여 볼때, 月留鑛山은 淺熱水鑛床에 해당된다.

謝 辭

本 研究는 戰略鑛物資源研究센터의 研究費 支援과 忠南大學校

學術振興獎學財團의 研究費 지원으로 수행되었으며 이들 기관에 사의를 표한다. 本 研究를 수행하는 동안 모암의 변질물에 대한 X-선 회절분석과 해석에 도움을 준 延世大學校 地質學科 文熙壽 教授님과 現地調査와 EPMA분석을 도와준 忠南大學校 地質學科 金尙中군에게 感謝의 뜻을 표한다.

참고문헌

김규봉, 황재하 (1986) 영동도폭지질보고서. 한국동력자원연구소.
 유재우 (1984) 월유금은광상의 유체포유물 연구. 인하대학교 대학원.
 소칠섭, 윤성택, 지세정, 고용권, 최상훈 (1991) 한반도 무주-영암지역 백악기 천열수 금-은광화 작용 연구(정주 지역 광화대); 지질, 광물학적 및 유체포유물 연구. 지질학회지, 제 27권, p.451-469
 최선규, 지세정, 박성원 (1988) 충청북도 영동지역 금은광상의 금은 광화작용에 관한 연구. 광산지질, 제 21권, p.367-380.
 Barnes, H.L. (1979) Solubilities of ore minerals. In geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd ed., Wiley-Interscience, p. 404-460.
 Barton, P.B., Jr. and Skinner, B.J. (1979) Sulfide mineral stabilities. In Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd ed., Wiley-Interscience, p. 273-403.
 Barton, P.B., Jr. and Toulmin, P. (1964) The electrom tarnish method for the determination of the fugacity of sulfur in laboratory sulfide systems. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 28, p. 619-640.
 Boyle, R.W. (1979) The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Surv. Canada, Bull., v. 280, p. 584.
 Browne, P.R.L. and Ellis, A.J. (1970) The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand; Mineralogy and related geochemistry. Am. Jour. Sci., v. 269, p. 97-131.
 Ewers, G.R. and Keays, R.R. (1977) Volatile and precious metal zoning in the Broadlands geothermal system, New Zealand. Econ. Geol., v. 72, p. 1337-1354.
 Hall, H.T. (1967) The pearceite and polybasite series. Am. Mineral., v. 52, p. 1311-1321.
 Helgeson, H.C. (1969) Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Am. Jour. Sci., v. 267, p. 729-804.
 Henley, R.W. (1973) Solubility of gold in hydrothermal chloride solutions. Chem. Geol., v. 11, p. 73-87.
 Large, R.R., Huston, D.L., McGoldrick, P.J., Ruxton, P.A., and McArthur, G. (1988) Gold distribution and genesis in Australian volcanogenic massive sulfide deposits and their significance for gold transport model. Econ. Geol., Mono., No. 6, p. 520-536.
 Masanori, F., Kazuo, I. and Tadashi, M. (1992) Polymetallic and gold-silver mineralization in and around the Akenobe ore deposits, south west Japan. Mining Geol., v. 42, p. 33-46.
 Scott, S.D. and Barnes, H.L. (1971) Sphalerite geothermometry and geobarometry. Econ. Geol., v. 66, p. 653-669.
 Seward, T.M. (1973) Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 37, p. 379-399.
 Seward, T.M. (1976) The stability of chloride complexes of silver in hydrothermal ore solution up to 350°C. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 40, p. 1329-1341.
 Shenberger, D.M. and Barbes, H.L. (1989) Solubility of gold in aqueous solutions from 150 to 350°C. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 53, p. 269-278.

- Shenberger, D.M. (1985) Gold solubility in aqueous sulfide solutions. Unpubl. M. S. thesis, Pennsylvania state university.
- Shikazono, N. (1981) Chemical composition of electrum from the epithermal Au-Ag vein type and Kuroko type deposits in Japan and its controlling factors. *Mining Geol. Spec. Issue*, p. 259-267. (in Japanese with English abstract).
- Shikazono, N. (1985) A comparison of temperatures estimated from the electrum-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid inclusions from Epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan. *Econ. Geol.*, v. 80, p. 1415-1424.
- So, C.S., Yun, S.T. and Choi, S.G. (1993) Occurrence and geochemistry of argyrodite, a germanium-bearing mineral (Ag_2GeS_4), from the Weolyu Ag-Au hydrothermal vein deposits. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 26, p. 117-127.
- Yun, S.T. (1987) Mineralogical and geochemical studies on the Weolyu hydrothermal silver-gold deposit in Youngdong mining district. Graduate school, The Korea university.
- Yun, S.T. (1990) Gold-silver mineralization in the Mooju-Young mine district, Korea; A comparative geochemical study based on mineralogical, fluid inclusion and stable isotope systematics. Unpub. Ph.D. thesis, The Korea university.
- Yun, S.T., So, C.S., Choi, S.H., Shelton, K.L. and Koo, J.H. (1993) Genetic environment of germanium-bearing gold-silver vein ores from the Wolyu mine, Republic of Korea. *Mineralium deposita*, v. 28.
- Weissberg, B.G. (1969) Gold-silver ore-grade precipitates from New Zealand thermal waters. *Econ. Geol.*, v. 64, p. 95-105.

1994년 11월 28일 원고접수