

忠南 大鳳 金·銀礦床에서 产出되는 鑛石礦物과 矿床의 生成環境

李鉉具* · 庾鳳哲* · 金尚中*

Mineralogy and Ore Geneses of the Daebong Gold-Silver Deposits, Chungnam, Korea

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

ABSTRACT: The Daebong gold-silver deposits is located in 8 km southwest of Cheongyang, Chungcheongnam-Do, Republic of Korea. The gold-silver-bearing hydrothermal quartz veins was formed within the Precambrian metasediments of Gyeonggi massif. Ore minerals occur as mainly of pyrite, sphalerite (0.78~6.19 wt.% Cd), galena, pyrrhotite and minor amounts of chalcopyrite, arsenopyrite, magnetite, ilmenite, chalcocite, electrum (55.00~89.55 wt.% Au) and argentite. The gangue minerals are quartz, calcite, chlorite, K-feldspar, biotite. Wall-rock alterations such as chloritization, silicification, pyritization, carbonatization and sericitization can be observed near the quartz veins. According to the mineral paragenetic sequence based on vein structure and mineral assemblages, three stage mineralizations can be recognized. Fluid inclusion, sulfur isotope and thermodynamic data show that the ore minerals were dominantly deposited at the between 388 and 204°C from fluids with salinities of 8.1~0.3 wt.% equivalent NaCl, and sulfur isotope value 4.84 to 6.40 per mil of sulfides indicates igneous sources of sulfur in the hydrothermal system and fluid inclusion salinity data suggest that thermal fluids may have magmatic origin with some degree mixing of meteoric water.

서 언

大鳳礦山은 過去 韓國 굴지의 金·銀礦床이었던 九鳳礦山 東南方 약 3 km 지점에 위치하는 金·銀礦山으로서, 行政區域上 忠清南道 青陽群 南陽面 大鳳里, 東經 126° 46' 10", 北緯 36° 22' 30" 부근에 해당된다.

本 矿山은 1908년 부락민에 의해 最初로 露頭가 發見된 후, 몇 개의 矿區로 분할되어 수 명의 日人에 의해 이전되어 오다가 1943년 朝鮮礦業振興(株)로 통합 移轉되었다. 그 후 1966년 大明礦業開發(株)로 이전되었고 이를 다시 1988년 永豐礦業(株)에서 本礦山 의 17개 矿區의 矿業權을 인수하여 本礦山을 중심으로 再開發한 이후 1990년 11월 休礦申告를 내기까지 4개 level에서 총 1400여 m가 沿脈掘進되었다.

本 研究地域에 대한 지금까지의 研究報告는, 廣域 地質에 대하여는 青陽圖幅 (朝鮮地質調查所, 1930), 忠南炭田 精密地質調查報告書 (東亞應用地質コンサルタンツ, 1974) 등이

* 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 300-764, Republic of Korea)

있고, 矿山周邊의 地質 및 矿床에 대하여는 전찬규와 오민수 (1970), 試錐調查報告書 (大韓礦業振興公社, 1972, 1973, 1974, 1990), 韓國의 矿床 제 12호 (大韓礦業振興公社, 1990) 등이 報告되어 있으나, 本礦山의 金·銀礦床에 대한 矿物學的 및 矿床學的 자세한 研究는 아직 報告되어 있지 않다.

本 研究에서는 大鳳礦山의 周邊地質 및 矿床을 構成하는 矿石礦物의 共生關係, 化學組成, 流體包有物, 母岩의 變質, 硫黃安定同位元素 등 矿物學的 및 矿床學的의 研究를 수행하므로서 金·銀礦化作用의 生成環境을 고찰함과 동시에 金·銀 矿物인 エレクトリム의 產出狀態, 共生關係 및 化學組成에 역점을 두어 選礦, 製鍊의 基초자료를 제공하고자 하였다.

礦山周邊의 地質概要

大鳳礦山의 周邊地質은 신캠브리아기의 變成堆積岩類가 調查地域에 넓게 分포하고 있으며 이를 트라이아스기 말기-주라기 초의 大同系 堆積岩類가 否整合으로 피복하고

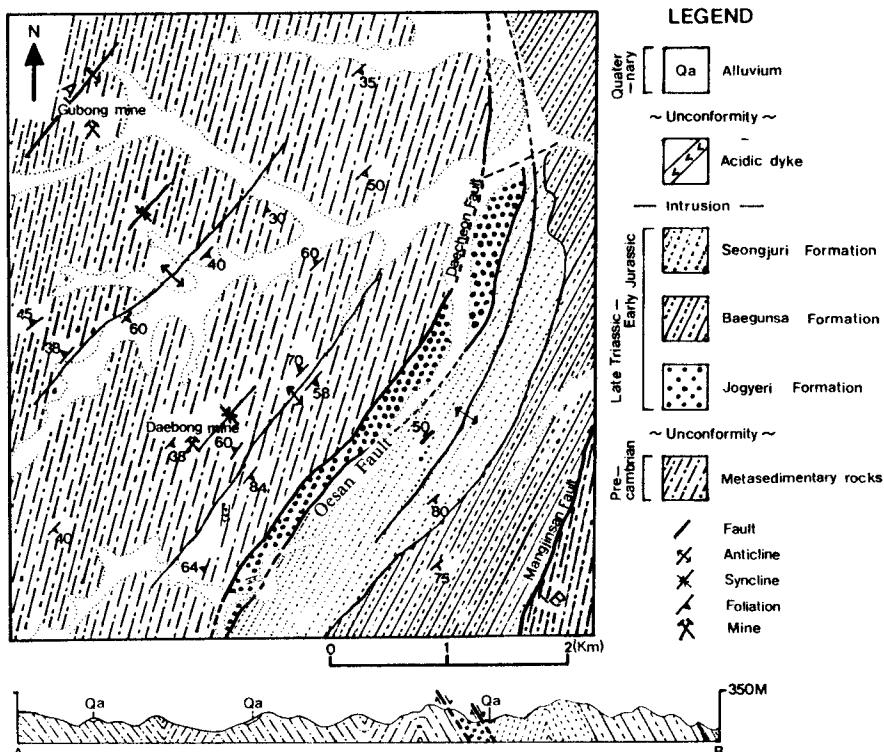


Fig. 1. Geological map of the Daebong gold-silver mine area.

있다. 또한, 상기의 岩類들을 후기에 贯入한 花崗岩 및 酸性岩脈類가 소규모로 분포된다 (Fig. 1).

變成堆積岩類

선캄브리아기의 變成堆積岩類는 本 鎏山 周邊과 동남쪽에 가장 넓은 분포를 보이며 대개 繖狀 片麻岩, 앵피볼라이트 片岩 및 蛇紋岩으로構成되어 있으나 結晶質石灰岩과 石灰硅酸鹽岩이 소규모로 분포한다. 片麻岩은 야외 調査시 局部的으로 雲母類가 부화되어 片理構造를 보이는 繖狀片麻岩과 局部的으로 眼球狀構造를 갖는 眼球狀片麻岩으로 분류되나 상호 침이적인 관계이다. 片麻岩에 發達된 片理의 走向은 N20~50°E, 傾斜가 30~60°SE와 30~70°NW를 보인다. 片麻岩의 構成礦物로는 石英, 黑雲母, 白雲母, 斜長石, 正長石, 微斜長石, 絹雲母, 角閃石, 線簾石 및 不透明礦物 등이다.

앵피볼라이트 片岩은 大鳳鎔山의 남서쪽 약 1km지점에 局部的으로 분포하며 짙은 녹색을 띤다. 片理의 走向과 傾斜는 N48°E, 68°NW를 갖으나 변화가 심한 편이다.

構成礦物로는 대부분이 청색 角閃石과 갈색 角閃石이고 소량으로 石英, 正長石, 斜長石, 絹雲母, 黑雲母, 白雲母 및 不透明礦物 등이다.

蛇紋岩은 繖狀片麻岩내에 N40~60°E의 方向성을 가지고 發達되고 있으며 특히, 大鳳鎔山를 중심으로 한 북동-남서방향의 背斜, 向斜褶曲軸周邊부를 따라 분포된다. 顯微鏡下에서는 蛇紋石, antigorite와 소량의 不透明礦物이 관찰된다.

結晶質石灰岩과 硅酸質石灰岩은 大鳳鎔山 북서쪽 약 300m지점에 100~150m의 폭을 갖고 북동방향으로 대상분포를 보이고 있다.

本 變成堆積岩類는 Fig. 1에서 보는 바와같이 수조의 褶曲構造가 發達되어 있는데, 대체로 N40~50°E의 向斜, 背斜軸을 갖는다.

大同系 堆積岩類

本 地域의 大同系 堆積岩類는 造溪里層, 白雲寺層 및 聖住里層으로 나누어지고, 大鳳鎔山 동측부에 북동-남서

방향으로 분포한다.

大同系 堆積岩類中 最下部層인 造溪里層은 本礦山 동남쪽에서 變成堆積岩類와 大川斷層으로 접하고 있으며, 含長石角礫砂岩帶와 磚岩帶로 분대된다 (서해길 등, 1984; 이돈영 등, 1974).

白雲寺層은 本礦山 동남쪽에서 變成堆積岩層과 斷層으로 접하고 있으며, 砂岩帶와 泥岩 및 세일의 級層帶로 분대된다. 砂岩帶는 調查 地域 남동쪽에 주로 細粒質砂岩으로 構成되어 磚岩과 세일이 狹在된다. 그리고 級層帶는 주로 泥岩 및 세일로 構成되어 간혹 砂岩이 狹在된다.

聖住里層은 크게 下部砂岩帶, 砂岩, 실트스톤 및 세일의 級層帶 및 上부砂岩帶로 분대된다. 下부砂岩帶는 細粒構造를 보여주는 砂岩으로 構成되어 砂岩의 粒子크기는 변화가 다양하다. 級層帶는 주로 細粒質砂岩, 실트스톤, 세일로 構成되어 드물게 炭層을 포함한다. 그리고 上부砂岩帶는 주로 砂岩으로 構成되어 磚岩과 세일이 狹在된다. 本 層의 중심부분에는 N20~40°E 방향의 背斜構造가 發達하고 있다.

花崗岩

花崗岩은 本礦山 동쪽 약 400 m 지점에 장경이 50여 m인 타원상의 貫入岩狀으로 發達하고 有る 뿐이고, 坑內에서 관찰되는 花崗岩은 선캠브리아기의 級狀片麻岩을 貫入하여 폐 큰 규모로 發達하고 있으며 含金·銀石英脈에 의해 裂隙充填되어 있다. 本 花崗岩은 유백색으로 組粒내지 細粒質이며, 石英, 正長石, 斜長石, 微斜長石, 黑雲母, 絹雲母, 方解石, 珪線石 및 不透明礦物 등으로 構成되어 있다.

本 花崗岩의 主成分元素와 微量元素에 대한 化學分析 결과는 Table 1, 2와 같다. 여기서 DB150-17는 花崗岩 貫入岩體의 중심부에서採取한試料이고 DB150-14는 鎌脈에 인접한 곳에서採取한試料이다.

Table 1의 花崗岩分析結果를 노름 Q-Or-Pl 삼각도 (Fig. 2)와 Cox et al. (1979)과 Miyashiro (1978)가 제시한 Na₂O + K₂O의 含量대 SiO₂의 그림 (Fig. 3)에 圖示하면 subalkalic 계열의 花崗岩에 해당된다.

主成分元素를 分析한同一岩石試料에 대하여 微量元素를 分析한 결과는 Table 3과 같다. 이 표에서 보는 바와 같이 鎌脈近處에서採取한試料 (DB154-14)는 鎌脈에서 떨어진 곳에서採取한試料 (DB150-17)에 비해 Pb, Zn, As, Sr, V 등의 含量은 높다. 이러한 사실은 鎌化作用이

Table 1. Chemical analyses and CIPW norms of the granite from the Daebong mine area.

Oxides	1(150-14)	2(150-17)
SiO ₂	73.96	72.63
TiO ₂	0.14	0.14
Al ₂ O ₃	14.61	14.56
Fe ₂ O ₃	1.45	1.85
MnO	0.01	0.03
MgO	0.25	0.37
CaO	0.43	1.25
Na ₂ O	3.20	3.17
K ₂ O	3.20	3.17
P ₂ O ₅	0.22	0.18
LOI	0.90	1.37
Total	100.46	100.79
K ₂ O/CaO	12.33	4.19
q	33.59	30.34
or	31.32	30.96
ab	27.08	26.82
an	0.70	5.02
ap	0.52	0.43
il	0.27	0.27
ac	3.35	1.83
mt	0.25	0.32
hy en	0.62	0.92
fs	1.77	2.36
D.I.	91.98	88.13
salic	92.69	93.14
felsic	6.78	6.13

진행되는 동안 花崗岩내에 Pb, Zn, As 등의 金屬元素가 크게 증가했다는 것을 시사한다. 分析資料는 적지만 花崗岩이 生成되는 과정에서 마그마分化에 따른 微量元素의 거동을 알아보기 위해서 分化指數 (D.I.) 대 微量元素의 관계를 살펴보면, 分化指數가 증가함에 따라 Zr, Ni, Cs, Rb 등의 元素는 減少하는 傾向을 보이는 반면 Sr, Pb, Zn, V, As 등의 元素는 增加하는 傾向을 보인다. 그리고 Ba, Cu, Cr, Th 등을 거의 변화가 보이지 않는다.

이 花崗岩의 稀土類元素 含量에 대해 chondrite normalized된 양을 로그척도로 圖示해 보면 (Fig. 4), Eu에서 negative anomaly와 La에서 Lu로 급한 傾斜를 갖는 것이 특징이다. 稀土類元素의 총합 (Σ REE)을 보면 鎌體周邊에서 Σ REE는 95.91이고, 鎌體에서 떨어진 것은 Σ REE이 87.49를 보인다. 鎌體에서 떨어질수록 즉, 分化가 진행될수록 稀土類元素의 含量이 減少하고 있음을 알 수 있다.

酸性岩脈

Table 2. Trace elements and rare earth elements analyses of the granite from the Daebong mine area.

Element	1(150-14)	2(150-17)
Ba	270	267
Sr	140	82
Zr	74	83
Be	7	4
Cu	10	10
Ni	10	20
Pb	300	—
V	6	—
Zn	220	30
Ag	0.2	0.1
As	15	9
Co	1	2
Cr	9	8
Cs	6.1	8.9
Hf	2.6	2.7
Rb	300	310
Sb	0.5	0.3
Sc	1.9	1.5
Ta	4	3
Th	19	19
U	23	25
La	21.3	24.4
Ce	48	55
Nd	19	24
Sm	4.6	5.1
Eu	0.4	0.3
Tb	0.7	0.7
Yb	1.63	1.71
Lu	0.28	0.28

산성암맥은 石英脈으로서 本研究地域에서 수개조 관찰되고 있으며 坑内에 분포하는 시대미상의 花崗岩을 관입하고 있다. 石英脈은 局部的으로 NW의 방향을 갖는 곳도 있지만 전반적으로 NE의 주향을 갖고 있다.

地質構造

大鳳鑛山을 중심으로한 調查地域에는 斷層, 褶曲 및 切理構造 등이 發達되어 있는데 廣域적인 地質構造를 살펴보면 다음과 같다.

大鳳鑛山周邊에서 관찰되는 斷層構造는 大鳳鑛山 동측부 약 1 km 지점에 變成堆積岩類와 造溪里層의 경계를 이루는 N10~50°E 방향의 大川斷層이 發達하고 있고, 이와 거의 평행하게 聖住里層과 造溪里層의 경계를 이루는 外山斷層과 變成堆積岩類와 白雲寺層의 경계를 이루는 망진산 斷層이 發達하고 있다. 그리고 이들 斷層들에 隨伴된 소규모의 斷層들이 鑛山을 중심으로 다수 관찰되어

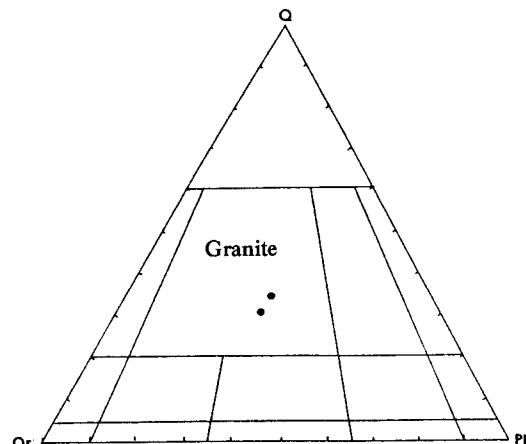


Fig. 2. Triangular diagram of normative Q-Or-Pl for granite based on IUGS classification.

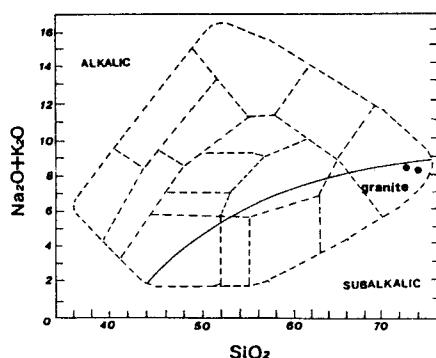


Fig. 3. Plots of normal $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2 in wt.% for granites based on Cox et al (1979) and the dividing line between alkalic and sub-alkalic magma series based on Miyashiro (1978).

있다.

褶曲構造는 大鳳鑛山 북서 약 1 km 지점에 片理의 走向과 傾斜가 N20~50°E, 50~70°NW와 N20~40°E, 35~70°SE를 갖는 N45°E의 배사축이 發達하고 있으며, 鑛山周邊에서는 片理의 走向과 傾斜가 N40~45°E, 30~60°SE와 N30~45°E, 50~70°NW를 갖는 N40°E의 향사축이 發達하고 있다. 또한 鑛山 남동쪽 약 500 m 지점에서는 片理의 走向과 傾斜가 N20~30°E, 30~40°NW와 N20~80°E, 40~60°SE를 갖는 N40°E의 배사축이 發達하고 있다. 大川斷層과 外山斷層으로 접하는 대동계 堆積岩類 내에도 N50°E 방향의 금정리향사와 금정리배사가 發達되어 있다.

切理는 本 鑛山周邊에 發達되어 있는 斷層에 隨伴되어

형성된 것으로 대체적으로 切理의 방향이 NE와 NW로 대별되나 NE방향이 우세하다.

礦床 概要

大鳳 金·銀 矽床은 호상편마암내에 發達하는 N10~20°W, 40~60°SW의 走向과 傾斜를 갖는 热水性 裂隙充填 矽床이다.

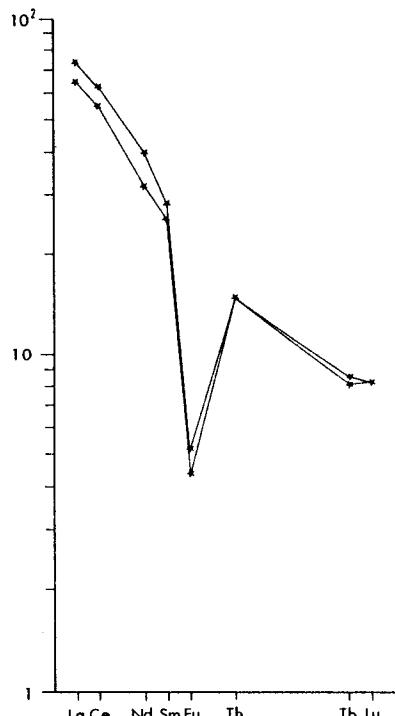


Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of the granite from the Daebong gold-silver deposits.

本 矽山은 N80°W방향으로 本坑을 개설, 약 150 m 크로스 굴진하여 N10~20°W방향의 本脈에 着脈한 후 70 m level (해수면 기준)에서 222 m, 100 m level에서 606 m, 130 m level에서 157 m 그리고 150 m level에서 418 m 연맥굴진 되어 있다 (Fig. 5).

脈幅은 수 cm에서 2 m 이내이고 연장성은 양호하지 않으며, 대체로 렌즈상을 이룬다. 70 m level에서 3개의 렌즈상 矽脈의 含金品位는 각각 5.3, 4.8, 10.0 g/ton Au, 100 m level에서는 8개 렌즈상 矽脈의品位는 각각 63.7, 16.5, 23.5, 19.2, 22.4, 11.4, 65.8, 31.1 g/ton Au, 130 m level에서는 5개의 렌즈상 矽脈의品位는 각각 23.5, 5.3, 5.9, 39.6, 43.2 g/ton Au 및 150 m level에서는 6개의 렌즈상 矽脈의品位는 각각 9.5, 37.6, 102.7, 1.3, 0.4, 4.5 g/ton Au로서 含金品位의 변화가 다양하나 전반적으로 하부로 감에 따라 含金品位가 저하되는 경향이 있다.

母岩의 變質은 뚜렷하지는 않지만, 緑泥石化, 組雲母化, 炭酸鹽化, 硅化, 黃鐵石化作用이 미약하게 인지된다.

鑿石礦物

研究方法

야외에서 採取한 試料에 대한 岩石과 鑿石의 顯微鏡 관찰에는 Leitz사 Orthoplan-Pol 顯微鏡을 사용하였다. 그리고 定性 및 定量分析은 延世大學 地質學科와 日本早稻田 大學 地球科學科에 설치되어 있는 일본전자 제품의

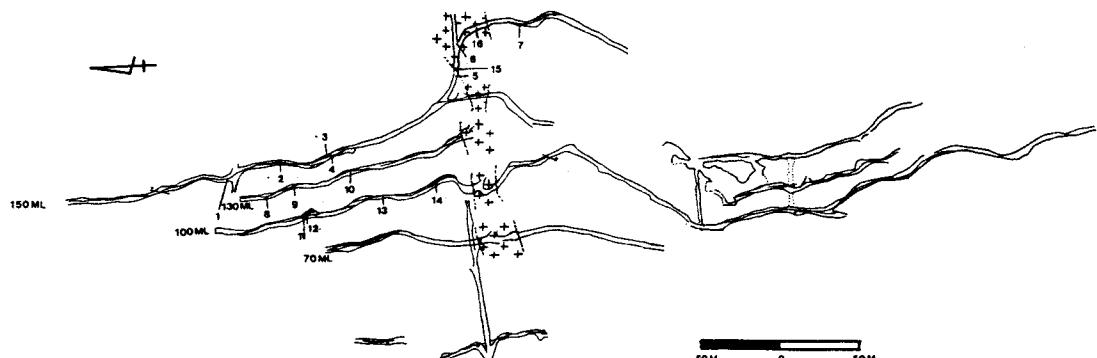


Fig. 5. Undergroud geological map of the Daebong gold-silver deposits. Abbreviation: 1; DB427-1, 2; DB427-3, 3; DB22-16, 4; DB150-3, 5; DB22-10, 6; DB22-8, 7; DB22-6, 8; DB21-2, 9; DB130-4, 10; DB21-9, 11; DB100-2, 12; DB100-3, 13; DB100-9, 14; DB100-12, 15; DB150-4, and 16; DB150-17.

Table 3. Electron microprobe analyses of arsenopyrites from the Daebong gold-silver deposits.

Point	Grain	As	Fe	Co	Ni	S	Total	Fe	As
		(weight %)						(atomic %)	
1	A	46.16	34.02	0.07	0.00	19.98	100.23	32.94	33.69
2	B	45.07	34.17	0.06	0.00	20.44	99.75	33.03	32.49
3	C	45.75	34.51	0.04	0.00	20.66	100.95	32.99	32.62
4	D	44.21	34.32	0.14	0.00	21.68	100.36	32.66	31.33
5	E	42.64	34.52	0.09	0.02	21.11	98.39	33.44	30.79
6	F	42.74	35.08	0.05	0.02	21.87	99.75	33.40	30.32
7	G	42.71	35.03	0.05	0.00	22.09	99.88	33.23	30.20

EPMA (JXA-733 Superprobe)에 의해 수행되었으며 分析 조건은 다음과 같다. 加速電壓 20 kv, 試料電流 10^{-8} A, 전자선의 크기는 약 $1\sim 5 \mu\text{m}$, 標準試料는 Au, Ag, Sn, Mn; 純金屬, Pb; 자연산의 方鉛石, Fe, Cu; 자연산의 黃銅石, Zn, S; 자연산의 閃亞鉛石, As; 자연산의 코발트석, Cd; 합성 CdS를 사용하였다. 特性 X-선과 分光結晶은 PET; AuM α , AgL α , SK α , SnL α , CdL α , LiF; AsK α , FeK α , ZnK α , CuK α , MnK α 를 사용하였다.

不透明礦物

大鳳 金-銀礦床의 불투명礦物은 主成分 鑛物로 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 副成分 鑛物로 黃銅石, 磁硫鐵石, 硫砒鐵石, 微量鑛物로 磁鐵石, 티탄철석, 白鐵石 애렉트럼, 輝銀石, 輝銅石 등으로 構成되어 있다.

硫砒鐵石

硫砒鐵石은 局部的으로 자형 또는 괴상으로 產出되나 대부분 세립질이어서 육안적 식별이 불가능하고 產出頻度와 產出量이 매우 낮는 편이다. 顯微鏡하에서 주요한 產出狀態는 1) 제 I시기에 晶出한 硫砒鐵石이 제 II시기에 晶出한 閃亞鉛石에 의해 포획된 것, 2) 제 I시기에 晶出한 硫砒鐵石의 간극을 따라 제 II시기에 晶出한 閃亞鉛石이 充填한 것, 3) 제 II시기의 黃鐵石, 閃亞鉛石과 共存하는 것 (Fig. 6.C), 4) 제 II시기에 晶出한 硫砒鐵石이 제 I시기에 晶出한 黃鐵石의 간극을 따라 充填한 것, 5) 제 I시기의 黃鐵石과 共存하는 것, 6) 제 III시기에 晶出한 硫砒鐵石이 石英脈내에 黃銅石 및 黃鐵石과 共存하는 것 등이 있다. 제 I시기와 제 II시기에 해당하는 硫砒鐵石 2개 試料 5粒子 7점에 대한 定量分析 결과는 Table 3와 같다. Table 3에서 보는 바와 같이 大鳳礦山의 硫砒鐵石은 stoichiometric

硫砒鐵石보다 As, Fe atomic% 含量은 낮고 S atomic% 含量은 약간 높다.

磁硫鐵石

磁硫鐵石은 石英脈의 周邊부에서 黃鐵石, 閃亞鉛石과 함께 괴상으로 產出되며 그 產出頻度는 낮는 편이나 局部的으로 농집체를 형성하는 곳이 있다. 顯微鏡하에서 產出狀態는 1) 제 I시기에 晶出한 磁硫鐵石이 제 II시기에 晶出한 閃亞鉛石에 의해 포획된 것 (Fig. 6.D), 2) 제 II시기에 晶出한 磁硫鐵石이 제 III시기에 晶出한 黃鐵石에 의해 교대된 것, 3) 제 I시기에 晶出한 磁硫鐵石이 제 III시기에 晶出한 方鉛石에 의해 포획된 것, 4) 제 II시기에 晶出한 磁硫鐵石의 간극을 제 III시기에 晶出한 白鐵石이 교대한 것 등이 있다.

黃鐵石

黃鐵石은 本 鑛床에서 가장 넓게 분포하며 石英중에 자형-반자형 또는 괴상으로 產出되며 대부분의 鑛石鑛物과 共存하고 있다. 顯微鏡하에서의 주요한 產出狀態는 1) 제 I시기에 晶出한 閃亞鉛石의 간극을 充填한 것, 2) 제 II시기에 晶出한 黃鐵石이 제 III시기에 晶出한 方鉛石에 의해 포획된 것 (Fig. 6.A), 3) 제 I시기에 晶出한 黃鐵石이 제 II시기에 晶出한 閃亞鉛石에 의해 포획된 것 (Fig. 6.E), 4) 제 II시기에 晶出한 閃亞鉛石의 간극을 제 III시기에 晶出한 黃鐵石이 充填한 것 등이 있다.

閃亞鉛石

閃亞鉛石은 石英脈의 周邊부와 중앙부에 괴상으로 產出되며 대부분의 鑛石鑛物과 共生, 共存관계에 있다. 顯

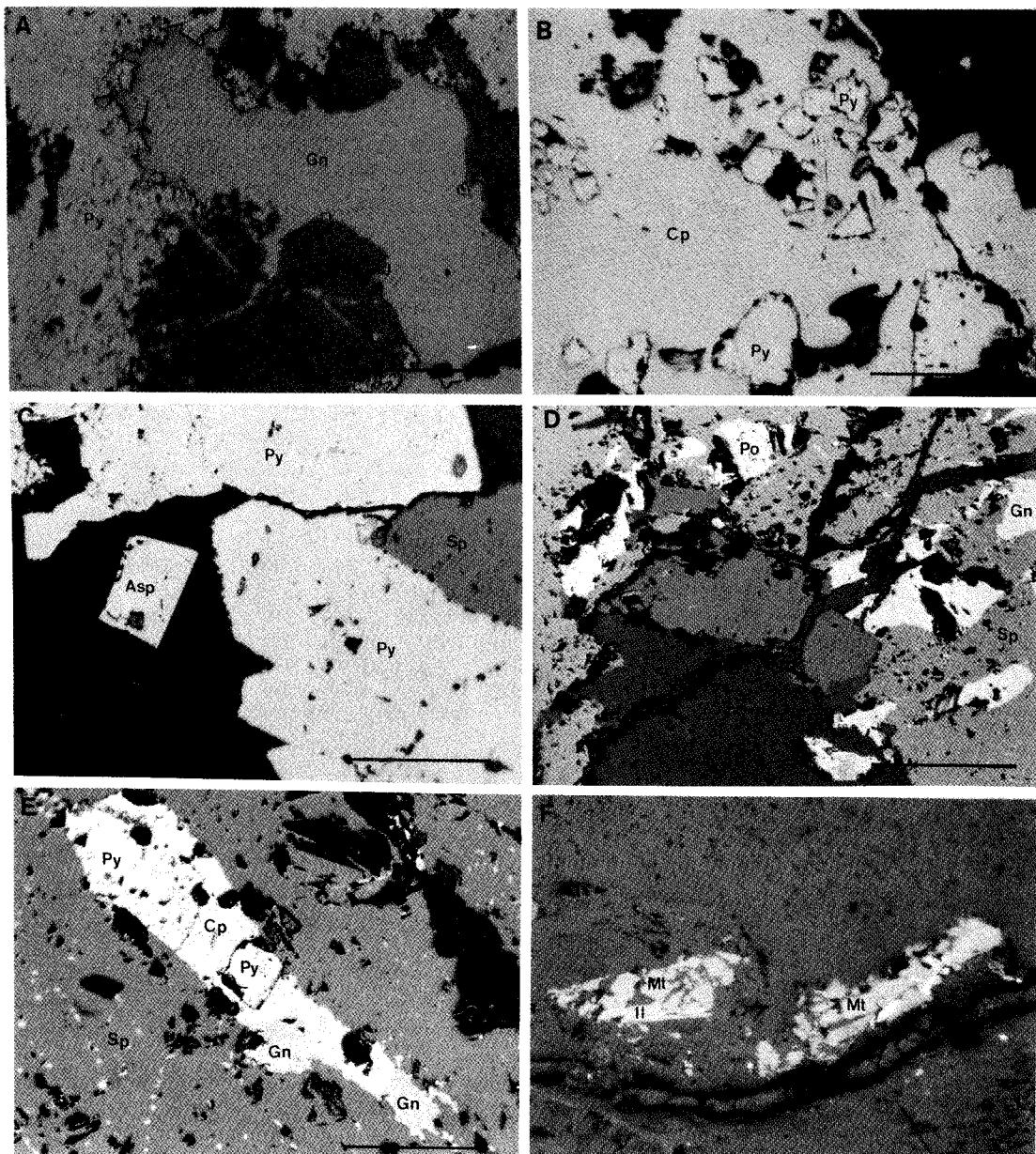


Fig. 6. Photomicrographs of ore minerals from the Daebong gold-silver deposits. Scale bar indicates $100 \mu\text{m}$ in length. A; Pyrite and sphalerite partly replaced by galena, B; Pyrite included in chalcopyrite, C; sphalerite coexisting with pyrite and arsenopyrite, D; Pyrrhotite coexisting with sphalerite and galena, E; Pyrite replaced by sphalerite and chalcopyrite, sphalerite coexisting with chalcopyrite and galena, and F; Magnetite coexisting with ilmenite. Abbreviation: Py; Pyrite, Asp; Arsenopyrite, Sp; Sphalerite, Cp; Chalcopyrite, Po; Pyrrhotite, Gn; Galena, Mt; Magnetite, and Il; Ilmenite.

微鏡下에서 주요한 产出状態는 1) 제 II시기에 晶出한 閃亞鉛石이 제 III시기에 晶出한 輝銅石에 의해 교대된 것, 2) 제 I시기에 晶出한 閃亞鉛石의 간극을 제 III시기에

晶出한 黃鐵石이 充填한 것, 3) 제I-III시기의 閃亞鉛石이 黃銅石과 溶離組織을 갖는 것, 4) 제 I시기에 晶出한 閃亞鉛石이 제 II시기에 晶出한 方鉛石에 의해 교대된 것,

Table 4. Electron microprobe analyses of sphalerites from the Daebong gold-silver deposits.

Sample No.	Zn	Fe	Cu	Cd	Mn	S	Total	FeS	CdS	Associated minerals	Stage
	(weight %)							(mole %)			
100-3(2)	53.76	11.04	0.02	0.78	0.05	34.20	99.85	18.52	0.65	Py	early
427-3-1(5)	56.33	8.12	0.09	2.59	0.02	33.90	101.05	14.11	2.23	Py	
100-2(1)	56.29	6.84	0.02	4.17	0.02	33.58	100.92	11.99	3.63	Py, Py	
100-12(4)	54.15	8.21	0.00	3.73	0.02	33.15	99.26	14.21	3.20	Py, Py, Gn	
22-10(6)	54.65	7.82	0.02	3.61	0.01	33.24	99.35	13.50	3.9	Py, Py	middle
427-3-2B(3)	55.59	7.30	0.00	3.39	0.00	33.06	99.34	12.68	2.93	Py	
427-3-2(2)	55.21	7.95	0.07	3.02	0.02	33.31	99.58	13.70	2.59	Asp, Py, El	
427-3-2A(2)	55.29	7.75	0.00	3.00	0.01	33.35	99.40	13.33	2.56	Asp, Py	
100-9(3)	55.64	4.92	0.58	6.19	0.00	33.17	100.50	8.51	5.32	Py, Cp	
150-3A(3)	55.75	6.10	0.04	3.51	0.01	33.64	99.05	10.42	2.98	Py	
150-3B(4)	54.60	5.71	0.83	4.74	0.01	33.11	99.00	9.90	4.09	Py, Gn	
150-3(3)	58.33	5.28	0.16	4.04	0.00	33.31	101.12	9.23	3.51	Py	
21-2A(3)	58.76	3.68	0.75	3.76	0.00	32.94	99.89	6.42	3.26	Py, Gn	
21-2B(3)	60.01	2.99	0.02	3.96	0.02	32.83	99.83	5.23	3.44	Py, Gn	
21-9B(2)	59.60	3.52	0.00	4.20	0.02	32.47	99.81	6.22	3.69	Py, Gn	
22-6A(1)	59.10	4.65	0.00	4.23	0.00	32.90	100.95	8.12	3.67	PY, Gn	late
22-6B(3)	58.37	3.17	0.80	3.93	0.01	32.76	99.04	5.56	3.42	Py, Gn	
22-8A(2)	55.68	6.47	1.19	3.87	0.04	32.43	99.68	11.45	3.40	Asp, Py, Cp	
22-8B(2)	54.64	6.14	1.74	3.27	0.02	33.32	99.13	10.57	2.80	Py, Cp	
22-16A(2)	56.90	4.65	2.00	3.86	0.02	31.93	99.36	8.35	3.45	Py, Cp, Gn	
22-16B(3)	57.93	5.21	0.63	3.54	0.03	31.79	99.13	9.41	3.18	Py, Gn	
427-1(5)	56.28	5.71	0.18	3.39	0.01	32.85	98.42	9.97	2.94	Py, Gn	

5) 제 II시기에��出한 閃亞鉛石의 간극을 제 III시기에晶出한 方鉛石이充填한 것등이 있다. EPMA에 의한 14개試料 25개 粒子 66점에 대한 定量分析 결과는 Table 4와 같다. 이것을 ZnS-FeS-CdS계 삼각도에 圖示하면 Fig. 8과 같다. 여기서 괄목할만한 사실은 국내외 어느礦床보다도化學組成의 변화가 다양하고, 특히 높은 Cd含量을 갖고있다는 점이다.

方鉛石

方鉛石은 本 矿床의 主構成礦物인 黃鐵石, 閃亞鉛石과 밀접한 관계를 가지고 괴상으로 產出되는 것과 세립질粒子로 產出되는 것이 있다. 顯微鏡하에서의 주요한 產出狀態는 1) 제 II시기에晶出한 方鉛石을 제 III시기에晶出한 閃亞鉛石이 교대 또는 포획한 것, 2) 제 II시기에晶出한 方鉛石의 간극을 제 III시기에晶出한 黃鐵石이充填한 것, 3) 제 III시기에에 헤렉트럼과 거의 동시에晶出한 것 (Fig. 7.C), 4) 제 III시기에 輝銀石과 거의 동시에晶出한 것 (Fig. 7.D), 5) 제 II시기에晶出한 黃銅石을 제 III시기에晶出한 方鉛石이 교대한 것등이 있다.

黃銅石

本 鐵山에서의 黃銅石은 육안적 식별이 어렵고 產出量과 產出頻度가 낮다. 주로 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石 등과 밀접한 관계를 갖고 產出된다. 顯微鏡하에서의 주요한 產出狀態는 1) 閃亞鉛石과 溶離組織으로 產出되는 것, 2) 제 II시기에晶出한 黃鐵石의 간극을 따라充填한 것, 3) 제 II시기에晶出한 黃銅石을 제 III시기에晶出한 方鉛石이 교대한 것, 4) 제 II시기에晶出한 黃銅石을 제 III시기에晶出한 閃亞鉛石이 포획한 것, 5) 제 III시기의 黃鐵石과共存하는 것등이 있다.

그 외에 소량으로 산출되는 불투명 광물들의 산출상태와 공생관계는 다음과 같다.

磁鐵石은 제 I시기에 產出되는 鐵石礦物로서 石英脈내에서 티탄철석과 함께 엽편상으로 產出되거나 黃鐵石에 의해 포획되어 產出된다 (Fig. 6.F).

티탄철석은 磁鐵石과共存하면서 (Fig. 6.F) 제 I시기에 產出된 鐵石礦物로서 매우 희귀하게 관찰된다.

白鐵石은 產出量과 產出頻度가 매우 낮다. 顯微鏡하에서의 주요한 產出狀態는 1) 제 II시기에晶出한 黃鐵石을

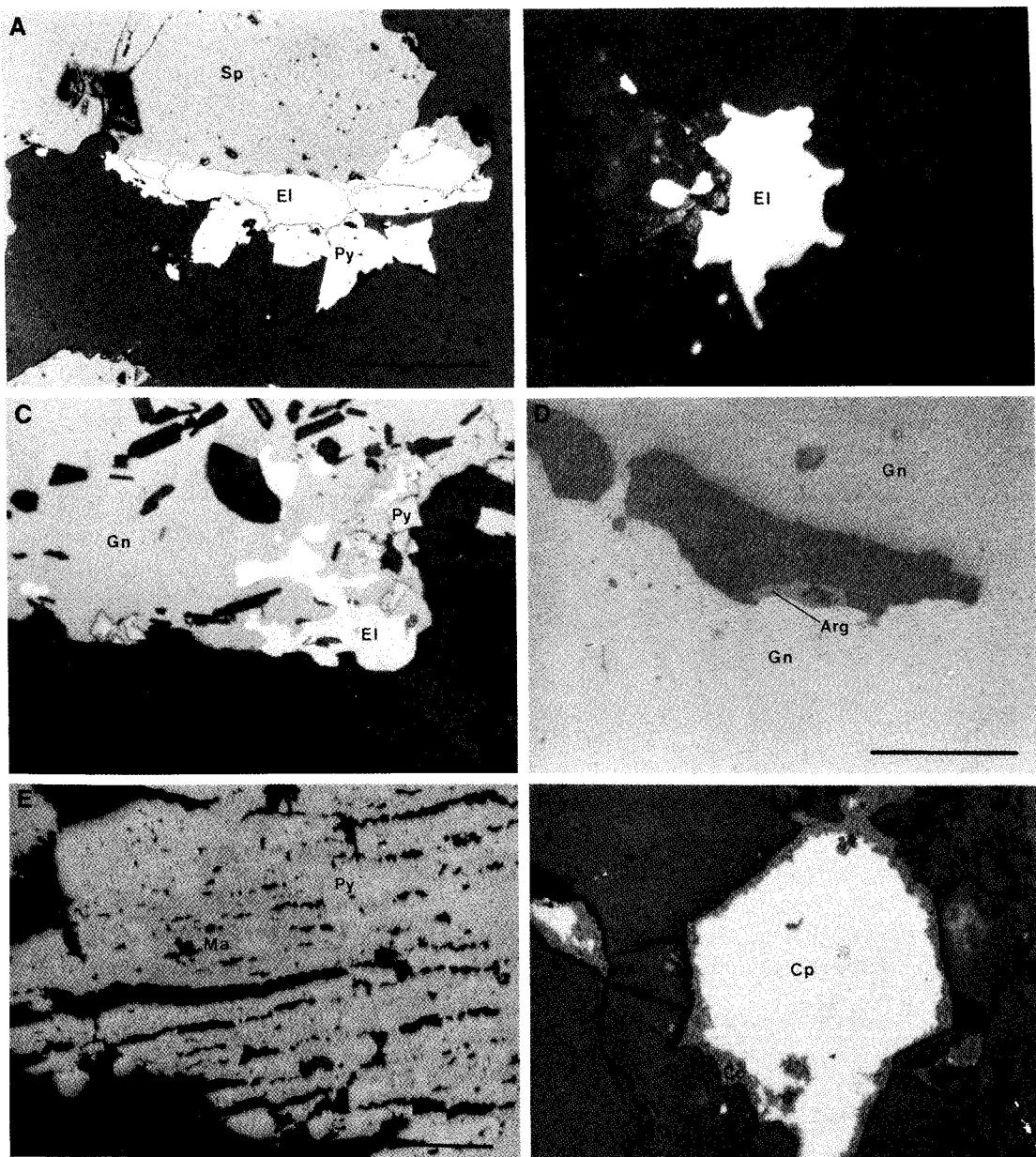


Fig. 7. Photomicrographs of ore minerals from the Daebong gold and silver deposits. Scale bar indicates $100 \mu\text{m}$ in length. A; Pyrite replaced by elecrum, B; Isolated elecrum grain in quartz, C; Electrum coexisting with galena, D; Argentite coexisting with galena, E; Marcasite coexisting with pyrite, and F; Chalcopyrite replaced by chalcocite. Abbreviation: Py; Pyrite, Sp; Sphalerite, Cp; Chalcopyrite, Gn; Galena, El; Electrum, Arg; Argentite, Ma; Marcasite, and Cc; Chalcocite.

교대한 것 (Fig. 7.E), 2) 제 I시기에 晶出한 磁硫鐵石의
간극을 따라 充填 교대한 것등이 있다.

輝銅石은 일반적으로 銀礦床의 2차 부화대에 产出되는
것으로 알려져 있으나 本 鎌山에서는 局部的으로 黃銅石과

閃亞鉛石의 경계부분이나 간극을 따라 产出된다 (Fig. 7.F).

輝銀石은 产出量과 产出頻度가 매우 낮으며 주로 方鉛
石과 共生關係를 갖고 产出된다 (Fig. 6.D).

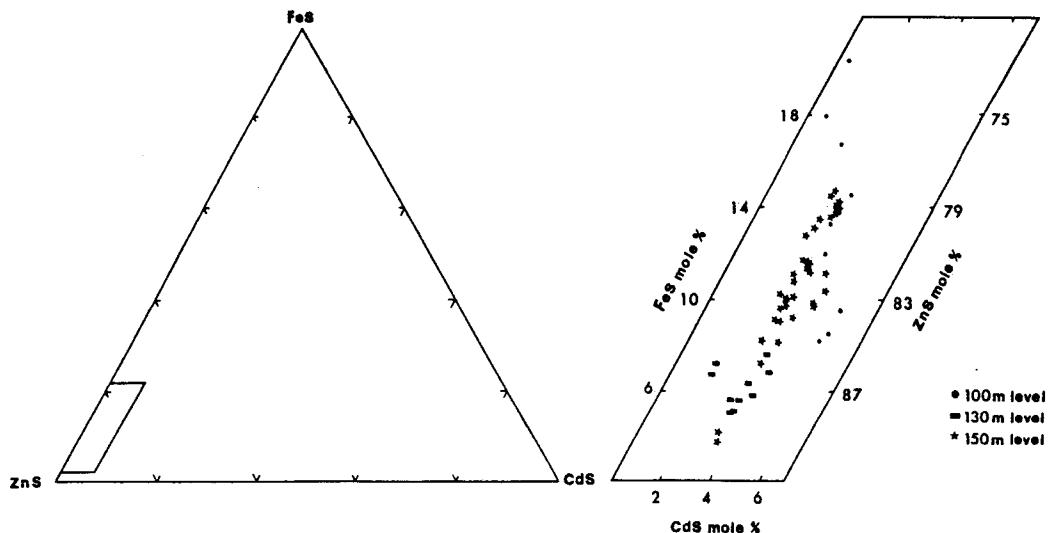


Fig. 8. Enlarged parallelogram in the triangle diagram of the system ZnS-FeS-CdS showing the chemical composition of sphalerites from the Daebong gold-silver deposits.

에렉트럼

에렉트럼은 경제적으로 매우 중요하기 때문에, 이에 대한 鎌物共生關係, 產出狀態, 粒子의 크기, 化學組成 및 微硬度 등에 대해 자세히 기술하고자 한다.

共生關係

試料採取 위치가 다른 15개의 연마편을 무작위로 선정하여 527粒子의 에렉트럼을 분류 기술하였다. 여기서共生關係는 鎌物學的平衡狀態에서 성장한 것 (Fig. 7.C)과 단지 에렉트럼과 경계를 이루는 것 또는 에렉트럼에 의해 공간充填된 것 (Fig. 7.A) 등 포괄적인 의미를 갖는다. 鎌物共生關係별 에렉트럼 粒子의 크기에 대한 產出頻度와 產出量은 Table 5, 6과 같다. 이것들을 도식화 한 것이 Fig. 9이다. 여기서 특기할 사항은 本鎌山산 에렉트럼은 產出頻度에서나 產出量에 있어서 石英내에 單獨으로 產出하는 에렉트럼이 60% 이상을 차지하고 있어 選鎌과정에서 주의를 요하는 부분이다.

產出形態

에렉트럼의 產出形態를 granular, irregular, subround, elongate형으로 분류하면 Fig. 10과 같다. 이 그림에서 보는

바와 같이 南星鎌山, 三光鎌山, 清州鎌山에서는 주로 irregular형의 粒子로 產出되지만 大鳳鎌山의 에렉트럼은 sub-round형 또는 elongate형으로 產出된다.

입자의 크기

에렉트럼 粒子의 크기는 長徑 (a)과 短徑 (b)의 평균입경 ($d = \sqrt{a \times b}$)을 나타낸 것이며 체적 $V = \{\sqrt{a \times b}\}^3$ 으로 환산하여 각 粒子크기가 갖는 產出量을 나타낸 것이다. Table 5, 6에서 알 수 있듯이 에렉트럼 입도의 產出頻度는 약 10%가 100 μm (약 150 mesh) 產出되나 產出量에 있어서는 100 μm 이상인 것이 94%를 차지한다. 이와같은 에렉트럼의 產出頻度와 產出量에서 볼 때 本鎌山產의 것이國內 다른 鎌山의 것보다 약간 조립질로 產出됨을 시사하고 있다.

化學組成

8개 試料 49粒子 70점에 대한 化學分析結果는 Table 7과 같다. Fig. 11는 鎌物共生별 에렉트럼의 Au atomic%와 產出頻度를 나타낸 것이다. 이 도표에서 보는 바와 같이 에렉트럼의 金含量은 36.60~81.41 Au atomic%이나 대부분의 에렉트럼은 60~80 atomic%로서 비교적 높은 함금량을 보이고 있다. 鎌物共生別 에렉트럼의 化學組成을

Table 5. Frequency of mineral association and grain size of electrum from the Daebong gold-silver deposits.

Size. min. assoc.	0-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-200	-300	>300	Total	Total(%)
Py(Qtz)	7	8	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	20	3.80
Sp(Py)	13	12	4	3	2	3	3	0	1	0	0	1	0	42	7.97
Qtz(Py, Gn)	66	75	55	26	26	20	16	19	4	6	26	5	2	346	65.65
Gn	54	21	15	6	4	2	2	1	2	3	6	1	2	119	22.58
Total	140	116	77	35	33	25	21	20	9	9	32	6	4	527	100.00
Total (%)	26.57	22.01	14.61	6.64	6.26	4.74	3.98	3.80	1.52	1.71	6.07	1.33	0.76	100.00	

Abbreviation: Py; Pyrite, Sp; Sphalerite, Qtz; Quartz, and Gn; Galena.

Table 6. Volume percent of mineral association and grain size of electrums from the Daebong gold-silver deposits.

Size. min. assoc.	0-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-200	-300	>300	Total	Total(%)
Py(Qtz)	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
Sp(Py)	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.07	0.16	0.00	0.12	0.00	0.00	3.06	0.00	3.50	
Qtz(Py, Gn)	0.00	0.05	0.17	0.22	0.46	0.65	0.86	1.57	0.48	1.01	17.20	15.31	25.09	63.07	
Gn	0.00	0.01	0.05	0.05	0.07	0.05	0.11	0.08	0.24	0.50	3.97	3.06	25.09	33.28	
Total (%)	0.00	0.08	0.24	0.30	0.59	0.77	1.13	1.64	0.96	1.51	21.17	21.43	50.18	100.00	

Abbreviation: Py; Pyrite, Sp; Sphalerite, Qtz; Quartz, and Gn; Galena.

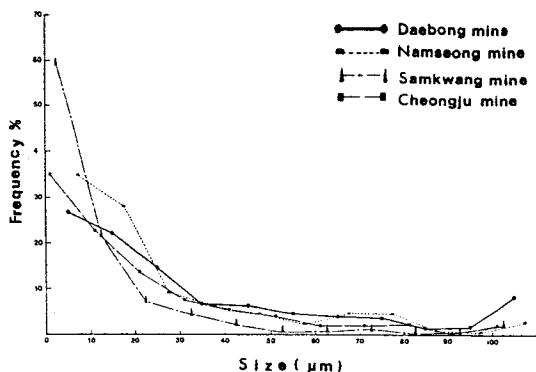


Fig. 9. Diagram showing the grain size of electrum from the Daebong and some gold-silver deposits, in Korea.

살펴보면 1) 閃亞鉛石 및 黃鐵石과 共存하는 에렉트럼은 76.52~81.41 Au atomic%, 2) 石英內에 單獨으로 또는 石英內에 黃鐵石과 共生關係를 갖고 产出되는 것은 60.74~77.91 Au atomic%, 3) 方鉛石과 共存하는 것은 36.60~62.39 Au atomic%로서 後期晶出 鑛物과 共生關係를 갖는 것일수록 金含量이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

微硬度

Fig. 12는 에렉트럼의 化學組成과 微硬度에 대한 상관관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이 에렉트럼은

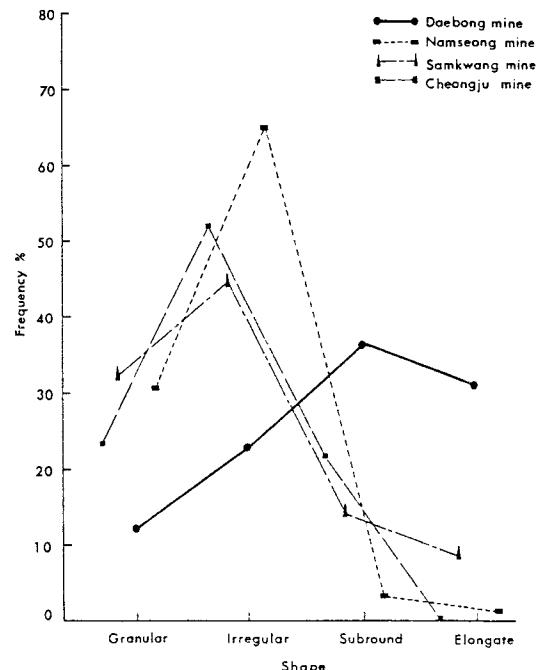


Fig. 10. Diagram showing the shape of electrums from the Daebong and some gold-silver deposits, in Korea.

금의 함량이 감소함에 따라 微硬度 값도 감소하고 있다.

Table 7. Electron-microprobe analyses of electrum from Daebong gold-silver deposits.

Sample No.	Mineral association	Weight percent			Atomic percent		Ag/Au
		Au	Ag	Total	Au	Ag	
89427-3-2B(3)	Sp+Py	88.65	11.10	99.75	81.41	18.59	0.23
89427-3-2D(1)	Py	89.55	11.22	100.78	81.38	18.62	0.23
89427-3-2(3)	Sp	86.80	13.28	100.08	78.16	21.84	0.28
89427-3-2(3)	Sp+Py	86.00	14.45	100.45	76.52	23.48	0.31
89427-3-2(1)	Py	86.42	13.42	99.84	77.91	22.09	0.28
90709-2A(3)	Py	82.03	18.02	100.05	71.37	28.63	0.40
90709-2A(4)	Qz+Py	82.31	18.36	100.67	71.06	28.94	0.41
90709-2A(8)	Qz	81.87	18.66	100.53	70.61	29.39	0.42
907010-2(1)	Py+Gn	74.76	24.68	99.45	62.39	37.61	0.60
910122-8(1)	Qz	73.92	26.17	100.57	60.74	39.26	0.65
910122-16(1)	Py+Gn	73.63	25.67	99.30	61.10	38.90	0.64
89427-1(3)	Gn	64.21	35.69	99.90	49.63	50.37	1.01
910122-6(3)	Gn	61.15	38.54	99.69	46.49	53.51	1.15
910122-8(1)	Gn	55.30	43.43	98.73	41.08	58.92	1.43
910121-2(1)	Gn	55.00	47.91	102.91	36.60	61.40	1.68

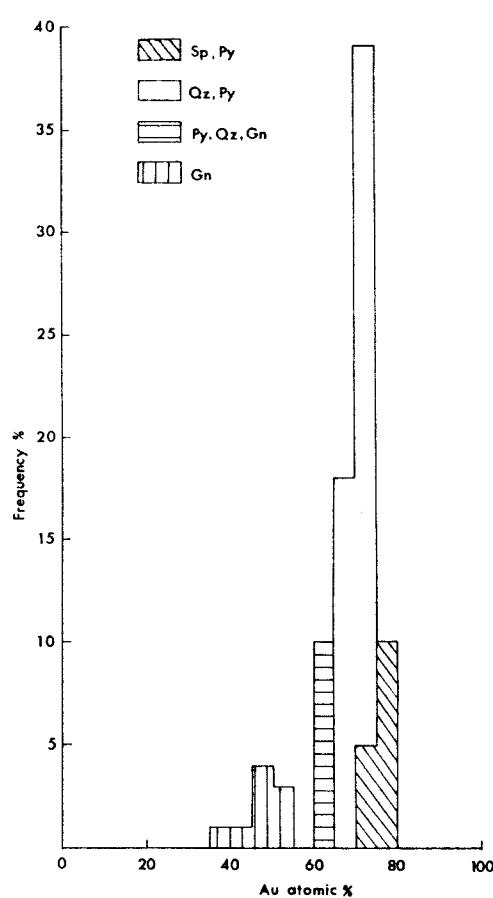


Fig. 11. Frequency histogram for Au atomic % of electrum from the Daebong gold-silver deposits.

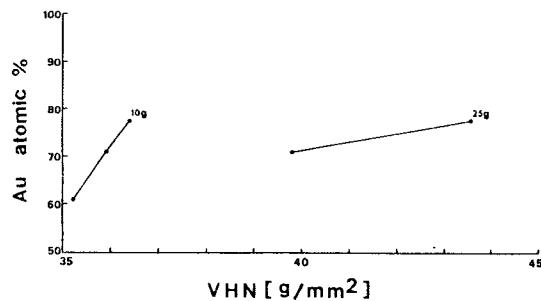


Fig. 12. The variation of vickers microhardness with Au content in the electrum from the Daebong gold-silver deposits.

初生 緑泥石의 生成溫度

鑄化 III기에는 石英脈내에 初生으로 보이는 緑泥石이 관찰된다.

이와같은 緑泥石을 선택하여 EPMA에 의해 分析한 化學組成은 Table 8과 같다. 이 分析 결과를 Hey (1954)가 제시한 다이어그램에 圖示하면 本 鑄床의 緑泥石은 brunsvigite로 분류된다 (Fig. 13). 初生 緑泥石은 Cavaretta et al. (1982), Cathelineau and Nieva (1985) 등에 의해 地質溫度計로 이용가능성이 제시되어 왔다. 따라서 本 鑄床의 緑泥石 分析值를 Cathelineau and Nieva (1985)가 계산한 관계식 $X(\text{Al}^{IV}) = 4.71 \times 10^{-3}T - 8.26 \times 10^{-2}$ 에서 구한 溫度를 圖示하면 Fig. 14와 같다. 이 그림에서 밑의 선은 위에 함께 圖示하면 알아 보기 어려워 기준선을 아래로

Table 8. Electron microprobe analyses of chlorites from Daebong gold-silver deposits.

	27-1.1	27-1.2	27-1.3	27-1.4	27-1.5	27-1.6	27-1.7	27-1.8
SiO ₂	26.27	25.61	26.32	26.05	26.44	25.19	25.90	25.60
TiO ₂	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	16.48	17.59	16.59	16.49	16.79	18.09	17.25	16.91
FeO	33.17	34.22	32.86	32.88	33.23	34.67	33.53	33.38
MnO	0.18	0.15	0.17	0.08	0.14	0.12	0.17	0.14
MgO	8.53	8.01	9.23	9.34	9.24	7.46	7.95	7.80
CaO	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.08
Na ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.07	0.01	0.08
K ₂ O	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00	0.01	0.02
Total	84.72	85.66	85.29	84.93	85.95	85.61	84.85	84.00
Si	6.005	5.821	5.968	5.939	5.952	5.751	5.927	5.926
Al	1.995	2.179	2.032	2.061	2.048	2.249	2.073	2.074
	2.457	2.549	2.410	2.373	2.416	2.610	2.575	2.544
Ti	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001
Fe	6.349	6.505	6.227	6.268	6.263	6.629	6.422	6.468
Mn	0.034	0.029	0.033	0.015	0.027	0.023	0.033	0.028
Mg	2.913	2.719	3.120	3.175	3.098	2.539	2.709	2.699
Ca	0.005	0.002	0.002	0.000	0.002	0.002	0.005	0.010
Na	0.009	0.009	0.009	0.013	0.013	0.030	0.004	0.036
K	0.003	0.005	0.009	0.009	0.009	0.000	0.003	0.006
Total.oct.	11.772	11.819	11.812	11.855	11.830	11.833	11.751	11.792
*Number of cations on the basis of O ₂₀ (OH) ₁₆								
$X = 4.71 \times 10^{-3}T - 8.26 \times 10^{-2}$								
T/°C	229	248.9	233.2	236.3	234.9	256.3	237.6	237.7

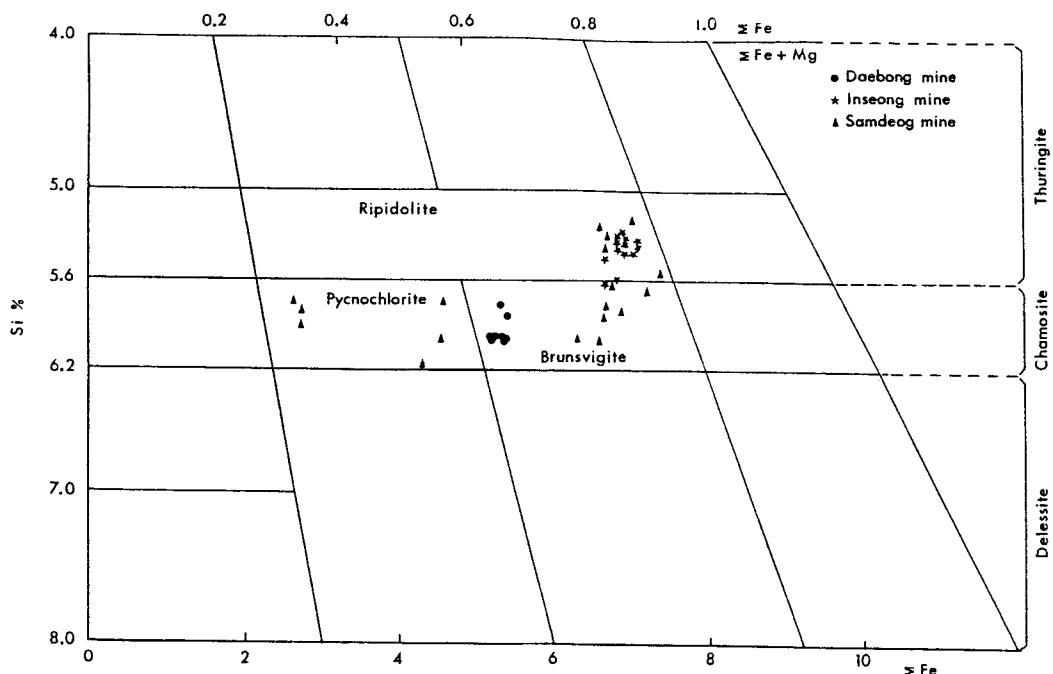


Fig. 13. Nomenclature of chlorites (after Hey, 1954).

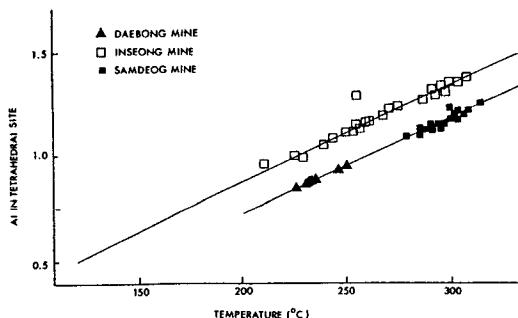


Fig. 14. Plot of Al in tetrahedral position vs. temperature after Cathellneau and Nieva (1985).

평행이동 시킨 후에 図示한 결과 256~229°C의 범주에서生成되었음이 확인되었다. 이 温度는 仁成礦山이나 三德礦山의 緑泥石 (李鉉具, 文熙壽, 1989)에 비해 매우 낮은 温度에서 晶出되었음을 알 수 있다.

流體包有物의 均一化溫度와 鹽濃度

流體包有物의 研究는 鎌脈을 構成하고 있는 脈石礦物들 중 鎌石礦物과 共存하는 鎌化 초기 및 후기에 晶出된 자형의 石英을 대상으로 수행하였다. 本 鎌床에서 產生되는 流體包有物의 形態는 oval, round, tabular, irregular, longish가 주이고, 가끔 negative crystal의 形態가 존재한다. 그리고 包有物의 크기는 최저 수 μm 에서 최고 66 μm 정도이고 產生形態는 대부분이 群集形으로 產生되며 때로는 單獨으로 產生되는 것도 관찰된다.

石英에서 產生되는 流體包有物은 實온에서 관찰되는 相의 종류, 充填度, 가열 시험시 均一化되는 方法에 따라 다음과 같이 分류하였다.

I형 包有物: 액상 혹은 기상의 1상으로構成된 流體包有物로서, 鎌化 초기에 형성된 磁硫鐵石, 閃亞鉛石 등과 함께 產生되는 石英과 비교적 후기에 晶出한 자형의 黃鐵石, 方鉛石, 輝銅石과 함께 產生되는 石英에서 관찰된다.

II형 包有物: 액상과 기상의 2상으로構成된 流體包有物로서 充填度가 50% 이상이고 가열시험시 액상으로 均一化된다. 이 형에 속하는 包有物들은 초기에서 후기까지 비교적 고르게 분포하고 있다.

III형 包有物: 액상과 기상으로構成된 2상의 包有物로서充填度가 50% 미만인 包有物이다. III형 包有物은 드물게 관찰되며, 비교적 초기에 晶出된 石英에서 많이 관찰된다.

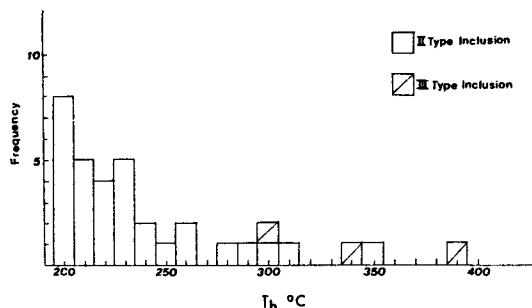


Fig. 15. Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions from the Daebong gold-silver deposits.

均一化溫度

鎌化初期에 나타나는 石英의 流體包有物은 대개가 III형 包有物로서 均一化溫度는 300~388°C, 鎌化中期의 包有物은 대개가 II형 包有物로 均一化溫度는 280~310°C, 鎌化後期의 流體包有物은 I, II형이고 均一化溫度는 204~260°C이다. 均一化溫度는 鎌化初期에서 後期로 갈수록 温度가 낮아지는 傾向이 뚜렷하다. 温度의 低下는 각 시기의 鎌物沈澱에 중요한 작용을 했음을 시사한다.

鎌物初期와 後期에는 沸騰의 現狀이 관찰되지 않으나 鎌化中期의 包有物에서는 액상으로 均一化되는 包有物과 기상으로 均一化되는 包有物이 共存하고 있으며 均一化溫度가 비슷하다. 이는 鎌化中期에 沸騰이 存在했던 것으로 생각한다. 沸騰證據가 관찰되지 않는 鎌化初期 및 鎌化後期의 包有物에 대해서는 壓力補正이 필요하다.

鹽濃度

II, III형 包有物의 鹽濃度를 測定을 위한 冷却實驗을 액체질소를 사용하는 U.S.G.S의 Gas-flow heating & freezing system과 프랑스 Chaixmeca를 사용하였다. 温度와 鹽濃度關係를 圖示한 것은 Fig. 16과 같다. 鎌化初期의 鹽濃度는 7.2~8.1 wt.%, 鎌化中期의 鹽濃度는 2.8~7.2 wt.%이고 鎌化後期의 鹽濃度는 0.1~1.0 wt.%의 값을 갖는다. 鹽濃度는 대체적으로 濃度가 低下됨에 따라 鹽濃度도 현저히 減少하고 있음을 알 수 있다. 특히, 250°C에서 鹽濃度 값의 減少가 현저한데 이는 다른 鎌化流體의流入의 가능성과 지하수의 流入에 의한 稀釋作用에 의한 가능성을 제시한다.

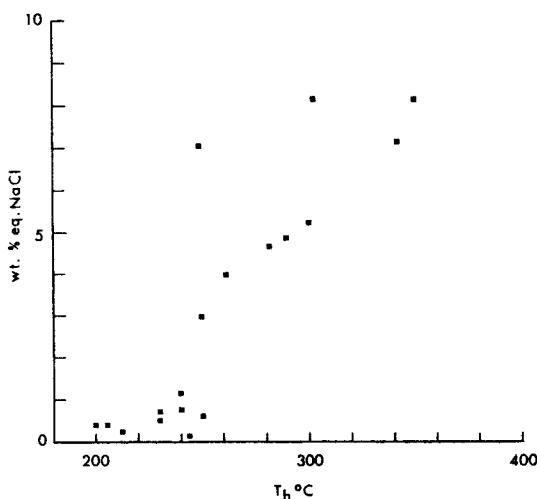


Fig. 16. Homogenizing temperature vs. salinity for fluid inclusions from the Daebong gold-silver deposits.

Table 9. Sulfur isotopic compositions of sulfide minerals from the Daebong mine.

Sample No.	Level(해수면기준)	Mineral	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
100-2	100 m	galena	5.27
100-12	100 m	sphalerite	6.35
0121-6	130 m	galena	4.99
		sphalerite	6.10
427-4	150 m	galena	5.07
		pyrite	5.85
0122-6	150 m	galena	5.15
		sphalerite	6.40

Minerals	Stage		
	I	II	III
Magnetite	-		
Ilmenite	-		
Arsenopyrite	-	-	-
Pyrrhotite	-	-	-
Pyrite	-	-	-
Sphalerite	-	-	-
Chalcopyrite	-	-	-
Electrum	-	-	-
Galena	-	-	-
Marcasite	-	-	-
Argentite	-	-	-
Chalcocite	-	-	-
Chlorite	-	-	-
Quartz	-	-	-
Calcite	-	-	-

Fig. 17. Paragenetic sequence of ore minerals from the Daebong gold-silver deposits.

考察 및 結論

大鳳 金·銀礦床產 鐵石礦物의 晶出順序

大鳳 金·銀礦床을 構成하는 鐵石礦物로는 黃鐵石, 硫砒鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石 및 磁硫鐵石 등이 주성분 鐵石物로 產出되며, 소량으로 磁鐵石, 일메나이트, 輝銀石, 載銅石, エクトル, 白鐵石 등이 產出된다. 脈石礦物로는 石英, 方解石, 緑泥石, 칼리-長石, 黑雲母 등이 관찰된다. 母岩의 變質은 緑泥石化作用, 炭酸鹽化作用, 網雲母化作用, 硅化作用, 黃鐵石化作用 등이 관찰된다. 이와 같은 鐵石礦物과 脈石礦物에 대하여 야외調査와 실내에서 다수의 연마편, 연마박편에 대한 육안 및 顯微鏡관찰에 의하여 鐵石組織 및 鐵石礦物의 共生關係를 기초로하여 生成순서를 결정한 결과 다음과 같이 3시기로 구분되었다 (Fig. 17).

제 I시기: 이 시기는 주로 酸化礦物과 base metal 黃化礦物의 鐵化시기로 주로 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 閃亞鉛石, 黃鐵石, 磁鐵石, 티탄철석으로 構成된다. 이 시기에 晶出되는 硫砒鐵石은 黃鐵石과 함께 產出되거나 제 II시기의

硫黃安定同位元素

硫黃安定同位元素의 分析은 坑內에서 採取한 黃鐵石-方鉛石雙, 閃亞鉛石-方鉛石雙을 심도나 脈의 연장을 고려하여 分析한 결과는 Table 9와 같다. 이러한 결과는 Shima-zaki et al. (1985)에 의해 발표된 九鳳礦山의 硫黃安定同位元素 값과 거의 일치한다. 本 大鳳礦山에서는 黃鐵石과 磁硫鐵石이 產出되고 變質礦物로는 白雲母, 石英, K-長石이 產出된다. 이것은 流體內 硫黃이 주로 H_2S 狀態로 존재하는 것을 의미한다. 黃化礦物의 形成溫度를 300°C 로 가정하여 각 黃化礦物과 平衡狀態에 있는 H_2S 의 값을 계산 (Ohmoto and Rye, 1979)하면 黃鐵石: 4.64‰, 方鉛石: 6.76~7.19‰, 閃亞鉛石: 5.63~6.06‰이다. 이는 大鳳金·銀礦床 硫黃의 起源이 화성기원이라 할 수 있다.

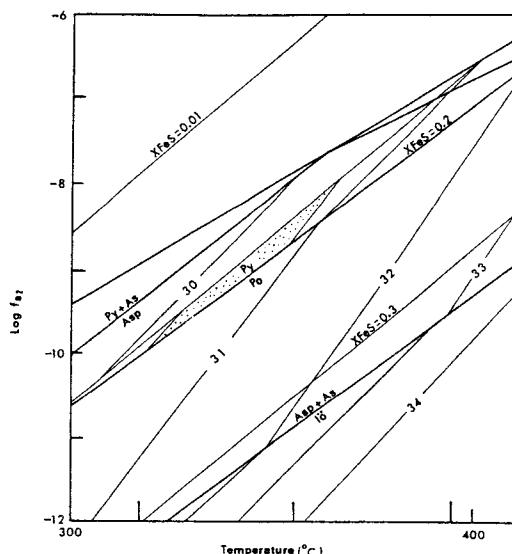


Fig. 18. Fugacity of fs_2 -temperature projection of the stability field of arsenopyrite contoured in atomic percent arsenic and sphalerite isopleths in mole proportion on the basic of 1 sulfur.

閃亞鉛石에 의해 포획된다. 黃鐵石은 주로 石英脈의 周邊部에서 產生된다. 閃亞鉛石은 제 II시기 또는 제 III시기의 黃鐵石에 의해 포획되어 產生된다.

제 II시기 : 이 시기는 주된 金·銀礦化시기로 閃亞鉛石, 黃鐵石, 方鉛石, 에렉트럼과 소량의 硫砒鐵石, 磁硫鐵石 등이 產生된다. 黃鐵石은 閃亞鉛石과 함께 石英脈의 周邊部와 中心부에서 타형·반자형으로 產生되고 顯微鏡하에서 方鉛石, 閃亞鉛石 및 黃銅石에 의해 교대 또는 充填된다. 閃亞鉛石은 黃鐵石과 더불어 產生頻度나 產生量이 높으며 輝銅石, 方鉛石 및 黃鐵石에 의해 閃亞鉛石 간극이 充填되어 있다. 硫砒鐵石은 閃亞鉛石, 黃鐵石 등과 함께 產生되며 세립의 자형으로 產生된다. 에렉트럼은 黃鐵石, 閃亞鉛石 그리고 石英의 세액내에 產生되며 대체로 產生頻度나 產生量이 높다.

제 III시기 : 이 시기에는 자형내지 반자형의 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 에렉트럼, 輝銅石, 載銀石, 白鐵石 등이 產生되며 石英의 간극을 따라 성장한 初生 緑泥石, 方解石, 石英, 칼리-長石 및 黑雲母 등의 脈石礦物이 관찰된다. 黃鐵石은 石英脈의 中心부의 정동에 方鉛石과 함께 產生되거나 單獨으로 產生된다. 그리고 方鉛石은 제 I시기와 제 II시기에 晶出한 黃化礦物의 간극을 따라 充填하며 에렉트럼과 밀접한 관계를 갖고 產生된다. 黃銅石周邊에는 최말기에 2차적으로 富化한 것으로 보이는 載銅石이 가끔

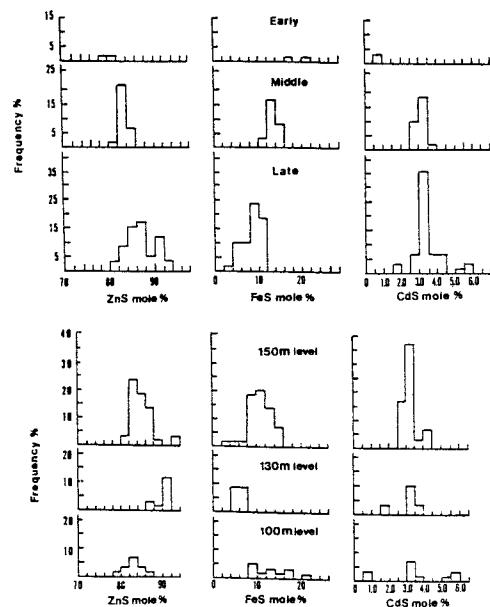


Fig. 19. Distribution of ZnS, FeS and CdS contents of sphalerites relating to mineralization stage and depth from the Daebong gold-silver deposits.

관찰된다.

閃亞鉛石중의 카드뮴 함유량의 변화요인에 대하여

카드뮴은 金屬재료로서도 중요하지만 공해병(풍토병)을 일으키는 해독원소로서도 잘 알려져 있는 원소이다. 따라서 카드뮴含量이 높은 원인이 어디에 있는가를 밝히는 것은 자원의 확보라는 문제와 더불어 공해를 예방하는 차원에서도 중대한 문제이다. 그 성인 문제에 대하여는 별도의 논문을 준비중에 있으므로 여기서는 간단히 그 요점만을 요약하고자 한다.

本 鎌山에서 產生되는 閃亞鉛石은 化學組成의 变화폭이 매우 크고, 특히 카드뮴含量이 최고 6.33 wt.%에 이르고 있어 국내의 어느 金屬礦床의 그것보다 높은含量을 갖고 있음이 주목된다. 즉, 早期(I) 晶出의 黃鐵石과共生關係를 갖는 閃亞鉛石은 18.52~14.11 FeS mole%, 2.23~0.65 CdS mole%, 중기(II) 晶出의 磁硫鐵石, 磁砒鐵石, 黃鐵石 및 에렉트럼 등과共生關係를 갖는 것은 14.21~11.99 FeS mole%, 3.63~2.56 CdS mole%, 말기(III) 晶出의 黃鐵石, 黃銅石, 方鉛石 등과共生關係를 갖는 것은 11.45~5.23 FeS mole%, 5.32~2.94 CdS mole%의 값을 갖는다 (Table 4). 즉, FeS mole%는 早期晶出礦物에서 말기晶出礦物과의共生關係 순으로 감소하고, CdS mole%와

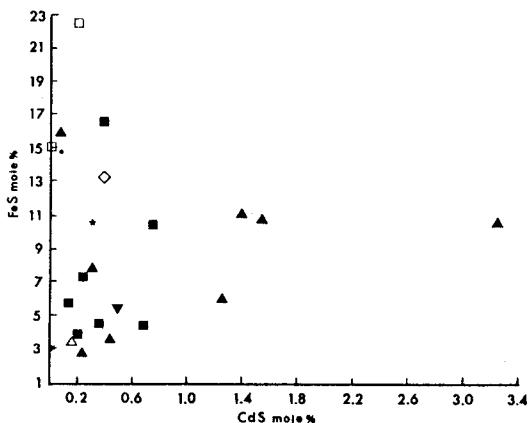


Fig. 20. The relation between mean FeS and CdS mole% in sphalerites from some Korean gold-silver deposits.
 ▲; Cheonan area, ■; Seolcheon area, □; Jeongseon area,
 ★; Suncheon area, ▼; Bonghwa area, ◇; Pocheon area,
 △; Haman-Gunbuk area, and ●; Hapcheon area.

ZnS mole%는 반대로 증가하는 경향을 보이고 있다 (Fig. 19). 최근, Kubo et al. (1991)은 閃亞鉛石과 鹽化物 水溶液間의 亞鉛, 鐵, 망간 및 카드뮴의 분배에 관한 실험을 1 kbar, 400 및 600°C의 조건하에서 수행하여, 閃亞鉛石 중의 FeS, MnS 및 CdS 성분의 最大固液量은 400°C에서는 각각 49, 19, 24 mole%이고, 600°C에서는 52, 10, 15 mole%로서, 저온에서 정출한 섬아연석일수록 카드뮴과 망간의 함량이 높은 값을 갖고 있다. 이와 같은 실험 결과는, 大鳳礦山產 閃亞鉛石의 化學組成이 초기정출의 고온성 광물과 공생관계를 갖는 閃亞鉛石 중의 카드뮴의 함량은 낮고, 후기정출의 저온성 광물과 공생관계를 갖는 閃亞鉛石은 카드뮴의 함량이 높은 결과와 잘 일치하고 있다.

Chon et al. (1981)은 國內 金屬礦山產 閃亞鉛石의 組成變化를 产出狀態 및 地質環境에 따라 廣域的으로 비교 종합한 결과, 텅스텐矽床의 閃亞鉛石은 모두 높은 Cd 함량을 보이고, 鉛-亞鉛矽床이나 銅, 鐵, 銀矽床產 閃亞鉛石의 카드뮴 함량이 낮은 경향을 보인다고 報告하고 있다. 그러나, 금·은 광상산 섬아연석의 화학조성에 대한 종합 검토는 이루어져 있지 않아, 필자 등은 본 연구 결과와 國내의 金·銀礦山產 閃亞鉛石에 대한 研究 결과 (Mizuta et al., 1982; 全孝澤 등, 1982; 尹錫台, 1991; 金문榮, 申虹子, 1989; 朴喜寅 등, 1987; 李鉉具 등, 1987; 李鉉具, 崔鎮宇, 1988; 李鉉具, 文熙壽, 1989; 李鉉具 등, 1991a, 1991b; 李昌伸, 1989 등)를 기초로 하여 矽化帶別, 母岩別 金·銀矽山產 閃亞鉛石의 FeS와 CdS mole%를 비교하여 보

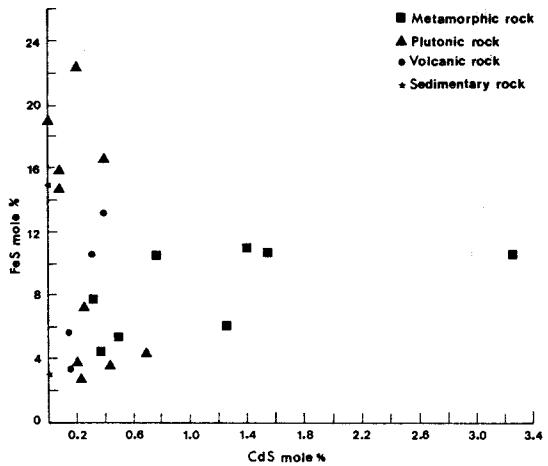


Fig. 21. The relation diagram of FeS and CdS mole% according to wall rock.

았다. 그 결과, 矽化帶別로 보면 天安廣化帶는 다른 矽山區에 비해 비교적 높은 함량을 보이고 있고, 그 중에서도 大鳳矽山은 國내 金屬矽山 중 가장 높은 값을 가지고 있음이 확인되었다 (Fig. 20). 또, 母岩의 종류별로 분류해 보면 變成岩이 母岩인 경우가 가장 높은 함량을 보이는 반면, 堆積岩이 母岩인 경우는 매우 낮은 함량을 보이고 있음이 확인되었다 (Fig. 21).

이상의 결과에서 섬아연석 중의 카드뮴 함량은 온도와 모암의 종류에 의존하는 것으로 보이며 이에 대한 더욱 자세한 연구가 요청된다.

에렉트럼의 化學組成

本 矽山產 에렉트럼은 그 化學組成의 变화폭이 36.6~81.4 atomic %로 대단히 넓은 범위를 나타내고 있다. 이와 같은 化學組成의 다양성은 앞에서 언급한 바와 같이 矽物의 共生關係와 밀접한 관계를 가지고 있는데, 早期晶出矽物과 共生關係를 갖는 것 (76.5~81.4 atom.% Au)이 후기晶出矽物과 共生關係를 갖는 것 (36.6~62.39 atom.% Au)보다 높은 금 함량을 갖고 있다. 지금까지 金·銀의 溶解度나 存在狀態에 대한 많은 研究 결과 (Helgeson, 1969; Seward, 1973, 1976; Barnes, 1978; 一國雅巳, 1977, 1978; Shikazono, 1981)들은 에렉트럼의 化學組成의 지배 요인의 溫度, Cl濃度, mH₂S, pH, mAU (HS)₂- / mAgCl₂- (또는 ΣAg/ΣAu) 등으로서, 특히 溫度와 pH의 의존 가능성이 높을 것으로 유추하고 있다 (Shikazono, 1981). 즉 산성

조건하에서生成된 에렉트럼은 Au含有量이 높을 것이 예상되며, 鎌床중에 含有된 化學種의 농도와 pH가 크게 변하지 않는 한, 에렉트럼의 Au含有量은 温度에 크게 의존한다는 것이다. 이와같은 研究 결과를 토대로 하여 本鎌山產 에렉트럼의 化學組成의 다양성은 다음과 같이 생각할 수 있다.

즉, 本鎌山產 에렉트럼은 산성조건하에서生成된 에렉트럼으로서 Au含有量이 높을 것이 예상되며, 同一鎌山의 비교적 가까운 위치에서 產生되는 에렉트럼이므로 鎌床中の 化學種의 濃度와 pH가 크게 변하지 않을 것으로 생각된다. 따라서, 本鎌山產 에렉트럼의 Au含有量은 温度에 의존하여 早期에 晶出하는 고온성鎌物과 共生關係를 갖는 에렉트럼은 높은 Au含有量을 갖고, 반대로 후기에 晶出하는 저온성鎌物과 共生關係를 갖는 것일수록 낮은 Au含有量을 갖는 것으로 해석 된다.

大鳳 金·銀鎌床의 生成環境

大鳳 金·銀鎌床의 生成時期는 坑內에 發達하는 花崗岩을 含金·銀 石英脈이 買入하고 있는 점으로 미루어 볼때 이 花崗岩은 本鎌床의 生成에 관여한 流体의 근원 암과는 관계가 없고, 그 후의 잠두화성암에 기인된 것으로 생각된다.

에렉트럼의 主晶出期인 II, III시기의 生成조건을 알아보기 위하여 앞에서 수립된 鎌物共生關係를 바탕으로 하여 温度와 硫黃분압 (f_{S_2})를 추정하여 보았다 (Barton and Toulmin, 1966; Scott and Barnes, 1971; Kretschmar and Scott, 1976). 제 II시기에 동시晶出한 硫砒鐵石-閃亞鉛石-黃鐵石의共生鎌物群이 顯微鏡下에서 관찰된다. 이共生鎌物群 중 硫砒鐵石의 As atomic%는 30.20~30.79이고 閃亞鉛石의 FeS mole%는 12.74~14.72이다. 이 자료를 Kretschmar and Scott (1976)가 제시한 상-도표에 圖示하여 温度를 구하면 311~364°C에 해당하고 硫黃分壓은 $10^{-8} \sim 10^{-9.8}$ atm에 해당한다 (Fig. 18). 따라서, 이것이 제 II기의 生成조건을 암시하는 것으로 생각된다. 제 III시기에晶出한 에렉트럼은 石英脈내에 初生綠泥石과 함께 產生되므로 이 綠泥石의 生成溫度인 229~256°C가 제 III시기의 生成溫度에 유사한 값일 것이다. 그리고 전시기에 걸친 流體包有物의 均一化溫度와 鹽濃度는 204~388°C, 0.4~8.1 wt.%이다. 鎌化 초기에 형성된 III형 包有物의 均一化溫度가 300~388°C로서 沸騰現狀은 보이지 않는다. 여기에서 최고 温度 (388°C)와 鹽濃度 (8.1 wt.%)를 기준

으로 하여 최소 壓力을 계산하면 530 bar이상이 될 것으로 추정된다.

따라서, 이상의 실험결과를 종합해 보면, 本鎌床의 鎌化초기 (제 I기)의 生成溫度는 流體包有物의 均一化溫度에서 약 330~388°C, 生成壓力은 530 bar, 鎌化중기 (제 II기)의 生成溫度는 硫砒鐵石地質溫度計와 流體包有物의 均一化溫度에서 약 260~364°C, 鹽濃度는 약 5~8.1 wt.% NaCl, 生成pressure은 530 bar 및 鎌化말기 (제 III기)의 生成溫度는 綠泥石地質溫度계와 流體包有物의 均一化溫度에서 200~260°C, 鹽濃度는 1 wt.% NaCl 이하였을 것으로 판단된다. 硫黃安定同位元素組成은 黃鐵石: 5.85%, 閃亞鉛石: 5.97~6.40%, 方鉛石: 4.84~5.27%로서 鎌脈의 수직, 수평면상에 관계없이 좁은 범위의 값을 가지고 있어 黃의 기원이 화성기원임을 시사하고 있다. 그리고, 流體包有物의 均一화 온도와 鹽濃度의 상호관계를 보면 鎌化作用이 진행되는 동안에 热水溶液의 温度와 鹽濃度가 현저히 감소되었음을 알 수 있다. 이것은 鎌化作用이 진행됨에 따라 鎌化流體의 冷却作用과 淡水流입에 의한 稀釋作用이 있었음을 지시해준다. 鎌石鎌物의 產生狀態, 化學組成 및 物理化學的 조건 등을 근거로 하여 볼 때, 本鎌床은 中熱水 내지 深熱水鎌床에 속할 것으로 판단된다.

選鎌品位 向上을 위한 提言

原鎌品位와 精鎌品位가 높다 하더라도 有用鎌物의回收率이 낮다면 鎌山開發에 성공할 수 없다. 따라서 有用鎌物을 효과적으로 團體 分離 시키기 위해서는 原鎌中에 有用鎌物이 어떤 鎌物中에 어떤 크기로 분포되어 있는가를 알아야 할 것이다. 이와 같은 배경에서 에렉트럼에 대한 鎌物의共生關係, 產生形態, 粒度分布와 이에 따른 產生頻度 및 產生量을 계산했다. 먼저, 本鎌山產 에렉트럼은 Table 5, 6에서 보는 바와 같이 石英(黃鐵石土)과共生關係를 갖는 에렉트럼이 產生頻度나 產生量 모두 63% 이상을 차지하고 있어 浮選選鎌에서 상당량이回收 불가능할 것으로 예측된다. 따라서, 이와같은 손실을 줄이기 위하여 에렉트럼의 입도분포를 측정, 계산한 결과 평균粒子크기가 $100\mu\text{m}$ (약 150 mesh) 이상이 94%를 차지하고 있고, 6%의 $100\mu\text{m}$ 보다 세립질인 것중에서 3.4%가 石英(黃鐵石土)과共生關係를 갖는 에렉트럼에 기인되었다. 그러나 여기서 계산한 에렉트럼의 粒子크기 (d)는 장경과 단경의 단순한 평균입경이므로 그 形態에 의한 分류를 시도한 결과 세맥상을 이루고 있는 elongate형을 갖는

것이 31%를 차지하고 있어 그중 상당부분이回收 불가능한 粒子로 분류될 것이다. 따라서, 이와같은 자료가選礦과정에 반영된다면 有用礦物의回收率 向上에 다소나마貢獻되리라 생각한다.

謝 辭

本研究를 수행하는 동안 現地調査에 적극적으로 협조하여 준 永豐礦業 大鳳礦山職員 여러분께 감사를 드린다. 本論文을 작성함에 있어서 많은 助言과 忠告를 아끼지 않으신 延世大學校 地質學科 文熙壽教授, 韓國資源研究所의 김문영박사와 지세정박사께 심심한 사의를 표하는 바이다. EPMA 分析에는 延世大學校 이과대학의 이영석씨, 와세다대학의 内田 悅 교수, 그리고 木の内 嗣郎씨에게 감사를 드린다.

本研究는 韓國科學財團과 戰略礦物資源研究센터로부터의 研究費支援에 의하여 수행되었다. 이 지면을 통하여當財團에 감사를 드린다.

참고문헌

- 金炫榮, 申虹子 (1989) 統營礦山產 閃亞鉛石의 化學組成. 鎌山地質, 22권, p. 103-115.
 大韓礦業振興公社 (1971) 鎌床試錐調查報告. 제1호.
 大韓礦業振興公社 (1972) 鎌床試錐調查報告. 제2호.
 大韓礦業振興公社 (1973) 鎌床試錐調查報告. 제3호.
 大韓礦業振興公社 (1974) 鎌床試錐調查報告. 제4호.
 大韓礦業振興公社 (1990) 韓國의 鎌床. 제12호.
 朴喜寅, 廉榮均, 李讚熙 (1987) 屯田金礦山 南鎌床의 鎌石과 流體包有物. 鎌山地質, 20권, p. 107-118.
 朴喜寅, 李讚熙 (1990) 屯田鎌山 北鎌床의 金·銀 鎌化作用. 地質學會誌, 26권, p. 358-370.
 徐海吉, 金東淑, 裴斗鐘, 李永華 (1984) 忠南炭田; 外山, 斜陽地域의 地質. 韓國動力資源研究所, 炭田地質調查報告書, 제6호, p. 1-31.
 尹錫台 (1991) 龍化·雪川地域의 金·銀鎌化作用. 서울大學校 大學院 理學博士學位論文.
 李敦永, 劉亮秀, 姜基宇, 芮鐘根, 柳炳和 (1974) 忠南炭田 精密地質調查報告書, 商工部 東亞應用地質 콘설팅트, p. 1-50.
 李昌伸 (1989) 鎌安·長水 地域에 분포한 岩巖類에 대한 암석지구화학과 金銀鎌床의 성인에 관한 研究. 全南大學校 大學院 工學博士學位論文.
 李鉉具, 金尚中, 崔善奎 (1987) 南星 金礦山產 에렉트럼의 產狀. 鎌山地質, 20권, p. 223-234.
 李鉉具, 文熙壽 (1989) 仁成 金·銀鎌床에서 產生되는 鎌石礦物과 物理化學的 生成環境. 鎌山地質, 22권, p. 237-252.
 李鉉具, 庾鳳哲, 文熙壽 (1991) 大鳳礦山產 에렉트럼의 鎌物共生과 化學組成. 大韓礦山地質學會 제24차 定期總會 및 學術發表會 講演 要約集, 8p.
 李鉉具, 庾鳳哲, 文熙壽 (1991) 忠南 青陽 大鳳礦山產 閃亞鉛石의 產出狀態와 化學組成. 韓國資源工學會 1991년도 秋季總會, 特別 심포지움 및 제57회 學術發表會, p. 122-132.
 李鉉具, 崔鎮宇 (1988) 韓國 一部 金·銀 鎌床에서 產生되는 金·銀礦物과 矽床의 生成 條件(I); 清州 金·銀鎌山. 鎌山地質, 21권, p. 287-307.
 張台永, 池楨蔓 (1989) 請日 金鎌山의 流體包有物研究. 鎌山地質, 22권, p. 193-205.
 全燦奎, 吳敏洙 (1970) 九鳳鎌山의 地質과 鎌床, 鎌山地質, 3권, p. 169-174.
 崔現日 (1987) 忠南炭田 東部地域 大同地層의 堆積環境 및 地盤發達 研究報告書 “石炭資源研究”, 韓國動力資源研究所.
 Barnes, H.L. (1978) Solubilities of ore minerals. In Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 2nd ed., p. 404-460. Wiley-Interscience.
 Barton, P.B. Jr. and Toulmin, P., III (1966) Phase relation involving sphalerite in the Fe-Zn-S system. Econ. Geol., v. 61, p. 815-849.
 Boorman, R.S. (1967) Subsolidus studies in the ZnS-FeS-FeS₂ system. Econ. Geol., v. 62, p. 614-631.
 Cathelineau, M. and Nieva, D. (1985) A chlorite solid solution geothermometer; The Los Azufres (Mexico) geothermal system. Contrib. Min. Petrol., v. 91, p. 235-244.
 Cavarretta, G., Gianelli, G. and Puxeddu, M. (1982) Formation of authigenic minerals and their use as indicators of the physicochemical parameters of the fluid in the Larderello-Travale geothermal field. Econ. Geol., v. 77, p. 1071-1084.
 Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. Pacific Geol., v. 8, p. 173-175.
 Choi, S.G., Chi, S.J., Yun, S.T., Koh, Y.K. and Yu, J.S. (1989) Gold-Silver mineralization of the Geojae area. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 22, p. 303-314.
 Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J. (1979) The interpretation of igneous rocks. London: Allen and Unwin.
 Eiji Nakayama (1986) Chemical composition of sphalerite from the Nebazawa gold-silver mine, Gunma Prefecture and its bearind on the evolution of ore fluid. Mining Geology, v. 36, p. 523-533.
 Haskin, L.A., Haskin, M.A., Frey, F.A. and Wildenau, T.R. (1968) Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: L.H. Ahrens(Editor), Origin and distribution of the elements, 1. Pergamon, Oxford, p. 889-911.
 Helgeson, H.C. (1969) Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Am. Jour. Sci., v. 267, p. 729-804.
 Hey, M.H. (1954) A new review of the chlorites. Min. Mag., v. 30, p. 277.
 Hutchinson, M.N. and Scott, S.D. (1981) Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S system. Econ. Geol., v. 76, p. 143-153.
 Hyo Taek Chon, Hidehiko Shimazaki and Kohei Sato (1981) Compositional variation of sphalerites from some hydrothermal metallic ore deposits in the Republic of Korea. Mining Geol., v. 31, p. 337-343.
 Irvine, T.N. and Barager, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. Jour. Earth Sci., v. 8, p. 523-548.
 Jeong Su Youn, Kyeong Yong Lee, Chil Sup So, Yong Kwon Koh (1988) The Jinsan gold mine; A mineralogical and

- geochemical study. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 21, p. 17-27.
- Kim, O.J. (1986) Metallogeny on gold-silver in South Korea. *J. Kor. Inst. Mining Geol.*, v. 19, p. 243-264.
- Kretschmar, U. and Scott, S.D. (1976) Phase relation involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canadian Mineralogist.*, v. 14, p. 364-386.
- Kubo, T., Nakato, T. and Uchi a E. (1992) Partitioning of Zn, Fe, Mn, and Cd. between sphalerite and aqueous chloride solution (in press).
- Kulerud, G. (1953) The FeS-ZnS system. A geological thermometer, *Norsk. Geol. Tid.*, v. 32, p. 67-147.
- Lusk, J. and Ford, C.E. (1978) Experimental extension of the sphalerite geobarometer to 10 kb. *Am. Miner.*, v. 63, p. 516-519.
- Miyashiro, A. (1978) Nature of alkali volcanic rock series. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 66, p. 91-104.
- Ohmoto, H. and Rye, R.O. (1979) Isotopes of sulfur and carbon. In *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (Barnes, H.L., ed), New York: Wiley and Sons, 798, p. 509-567.
- Roedder, E. (1984) Fluid inclusion. *Reviews in mineralogy*. v. 12, Mineral. Soc. America.
- Sachihiro Taguchi and Fumitoshi Hirowatari (1981) Chemical composition of sphalerite associated with gold mineralization at the Fuke mine, Kagoshima Prefecture. *Mining Geology Special Issue No. 10*.
- Scott, S.D. (1973) Experimental calibration of the sphalerite geobarometer. *Econ. Geol.*, v. 68, p. 466-474.
- Scott, S.D. (1976) Application of the sphalerite geobarometer to regionally metamorphosed terrains. *Am. Miner.* v. 61, p. 661-670.
- 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 solutions up to 350°C. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 40, p. 1329-1341.
- 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).
- Shimamura, (1931) Cheongyang, Daecheon, Buyeo & Nampo Sheets (1/50,000) & the Explanatory Text of Geology: Geological Atlas of Chosen.
- Shimazaki, H., Sato, H., Kaneda, H. and Lee, M.S. (1985) Sulfur isotopic ratios of ore deposits associated with mesozoic felsic magmatism in South Korea, with special reference to gold-silver deposits. *Geochemical Jour.*, v. 19, p. 163-169.
- So, C.S., Chi, S.J., Yoo, J.S. and Shelton, K.L. (1987) The jeoneui gold-silver mine, Republic of Korea: A geochemical study. *Mining Geol.*, v. 37, p. 313-322.
- So, C.S., Choi, S.H., Chi, S.J., Choi, S.G. and Shelton, K.L. (1989) Geochemical studies on Au-Ag hydrothermal vein deposits, Republic of Korea: Goryeong-Waegwan mineralized area. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 22, p. 221-235.
- Takahashi, M., Aramaki, S. and Ishihara, S. (1980) Magnetite-series/Illmenite-series vs. I-type/S-type granitoids. *Mining Geol.*, special Issue, no. 8, p.13-28.
- Tsusue, A. Mizuta, T. Shimazaki, H. Kaneda, H. Kim, S.W. and Lee, M.S. (1984) Granite provinces and associated ore deposits in South Korea; A comparison of granite and metallogenic provinces in South Korea and those in Southwest Japan.
- White, A.J.R. and Chappell, B.W. (1977) Ultrametamorphism and granitoid. *Tectonophy.*, v. 43, p. 7-22.
- Yasuhiro Shibue (1988) High cadmium contents of sphalerites from major tungsten deposits in Japan. *Mineralogical Journal.*, v. 14, p. 115-123.
- Youn, J.S., Lee, K.Y., So, C.S. and Koh, Y.K. (1988) The jinsan gold mine, Korea: A mineralogical and geochemical study. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 21, p. 17-27.

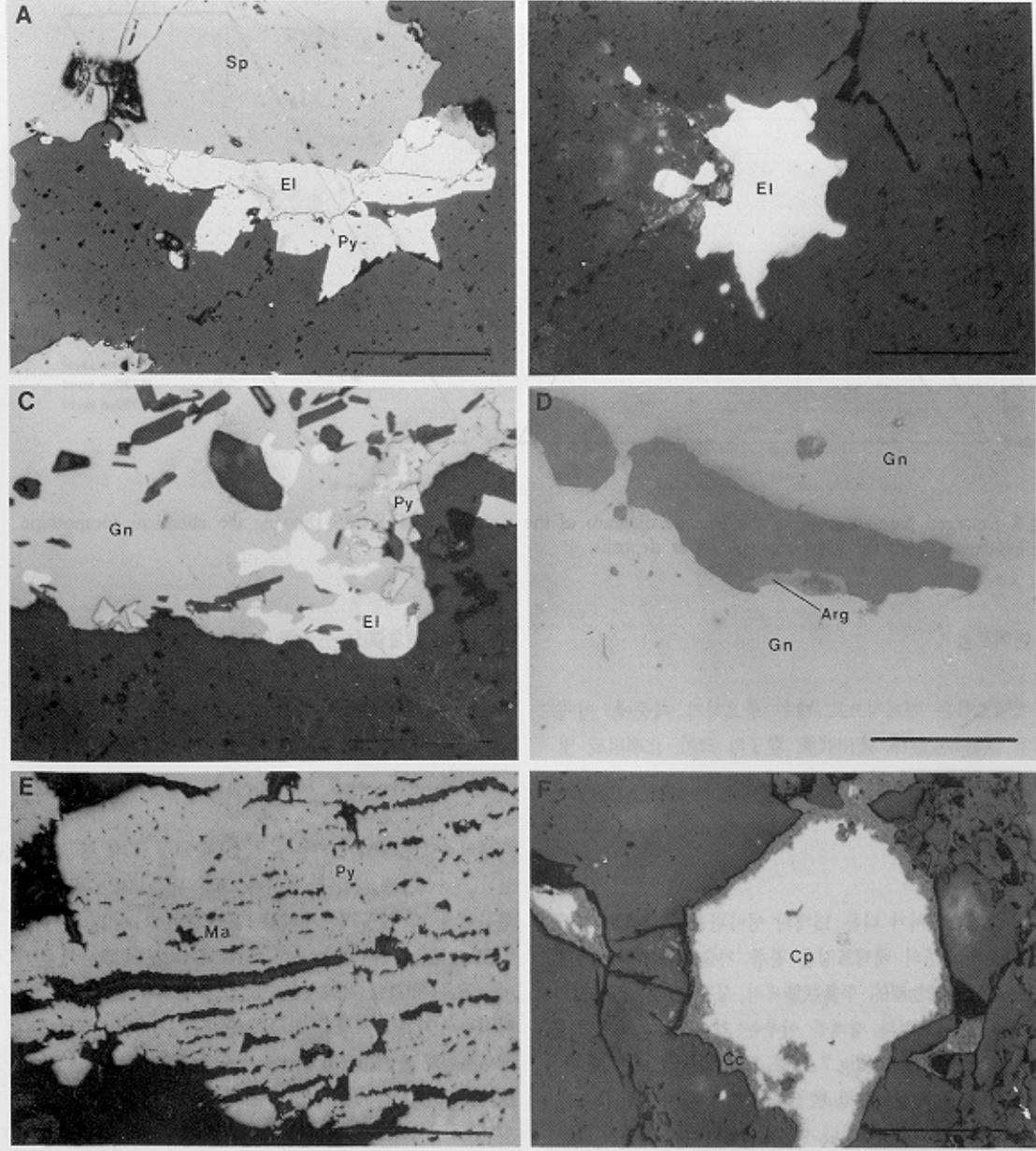


Fig. 7. Photomicrographs of ore minerals from the Daebong gold and silver deposits. Scale bar indicates 100 μm in length. A: Pyrite replaced by electrum. B: Isolated electrum grain in quartz. C: Electrum coexisting with galena. D: Electrum coexisting with galena. E: Pyrite replaced by electrum. F: Chalcopyrite replacing pyrite.

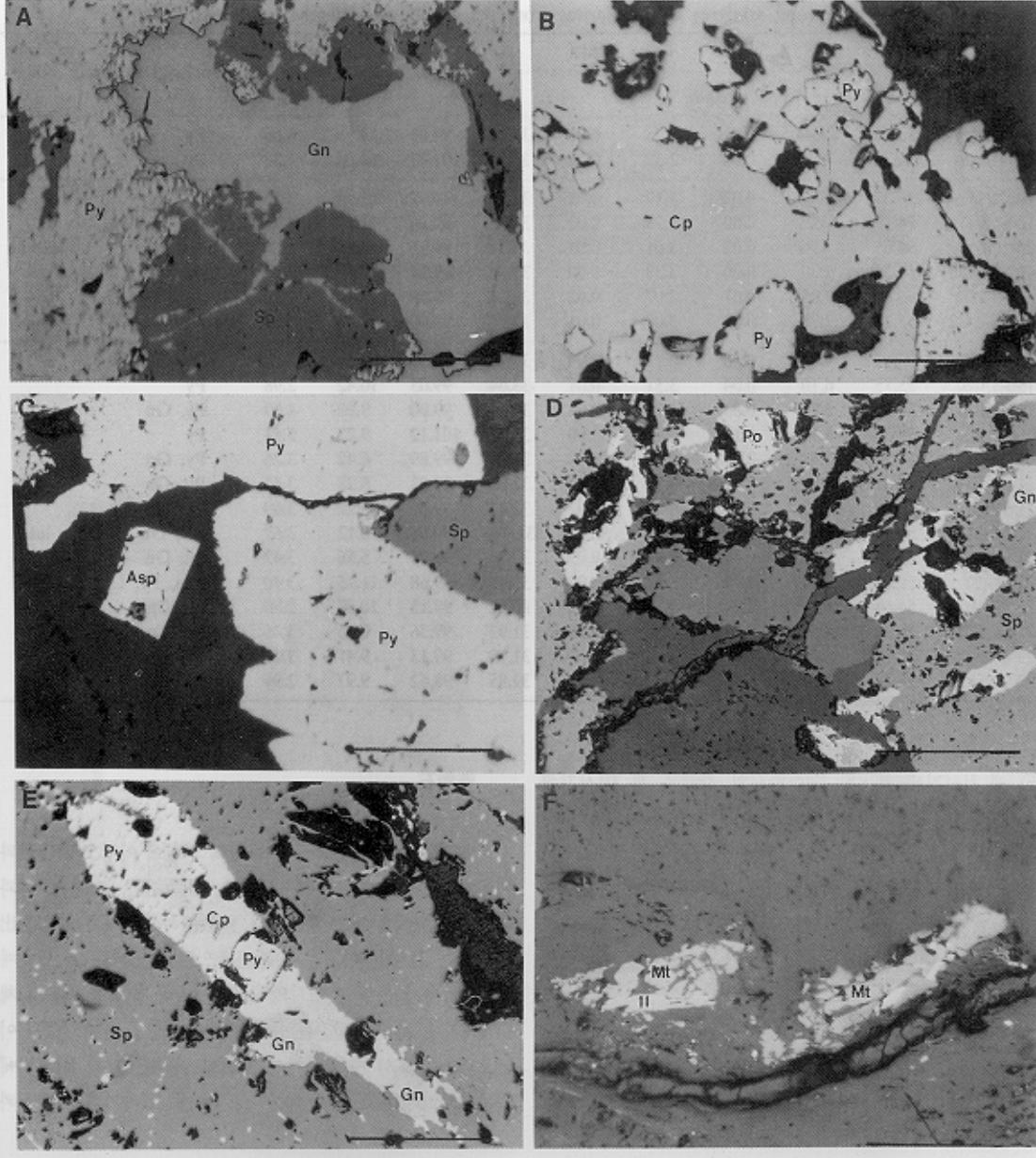


Fig. 6. Photomicrographs of ore minerals from the Daebong gold-silver deposits. Scale bar indicates 100 μm in length. A: Pyrite and sphalerite partly replaced by galena. B: Pyrite included in chalcopyrite. C: sphalerite coexisting with galena. D: Sphalerite replacing pyrite. E: Pyrite and sphalerite partly replaced by galena. F: Magnetite replacing pyrite.