

## 南星 金鑛山産 에렉트럼의 産狀

李 鉉 具\* · 金 尙 中\* · 崔 善 奎\*\*

### Occurrence of Electrum from the Namseong Gold Mine

Hyun Koo Lee, Sang Jung Kim and Seon Gyu Choi

**Abstract:** This paper describes the mode of occurrence and mineralogical properties of electrum from the Namseong Gold-Silver deposits, for the purpose of obtaining data on the characteristics of the ore deposits and the behavior of gold and silver during the mineralization. The gangue minerals are quartz, calcite, fluorite. Ore minerals are mainly composed of pyrite, sphalerite, chalcopyrite and galena with minor amount of argentite, electrum, pyrrargyrite, native silver and unidentified mineral(Cu-Fe-Ag-S series). Three stage of mineralization recognized are, from early to later, (I) pyrite-electrum stage (II) sphalerite-chalcopyrite-galena-argentite-electrum stage (III) sulfosalts stage. The filling temperature of fluid inclusions in quartz ranges from 225° to 355°C. The value of sulfur fugacity estimated by means of electrum-tarnish method ranges from  $10^{-11.5}$  to  $10^{-14}$  atm. The compositional heterogeneity within a single grain with respect to gold concentration is common in the Namseong electrums Chemical composition of electrum ranges generally between 25~45 atom% Au. Its gold content decreases in late stages of mineralization.

### 서 언

충북 옥천군 청성면 궁촌리, 북위 36° 18', 동경 127° 45' 40'' 부근에 위치하는 남성광산은(Fig. 1) 1920년 광업권이 설정된 이후 간헐적으로 개발되어 오다가 현재는 년 200t의 조광을 생산하고 있으며 그 품위는 Au 120-180g/t, Ag 약 400g/t이다.

광산의 주변은 옥천계의 변성암류를 관입한 청산화강암이 널리 분포하고 있다. 남성광산은 이 청산화강암에 발달한 NW방향의 열극을 충진한 석영맥 광산으로서, 여기에 대한 연구는 지금까지 옥천도폭(김동학 외 3인, 1978), 영동도폭(김기봉 외 1인, 1986)에 의한 광역지질조사와 박노영 외 2인(1986)에 의해 일부광석광물의 화학조성에 관한 연구, 광업진흥공사(1973, 1983)에 의한 광상시추조사보고가 있으나 광산의 성인에 대한 자세한 연구는 실시된 바 없다.

필자들은 한국일부 금은광산의 성인연구의 일환으로 본 광산의 주변지질, 광산의 개요, 광석광물 및 유체포유물에 의한 금·은 광화작용의 특징을 연구하고자 하며 특히 에렉트럼의 산상 및 공생관계, 화학조성에

중점을 두고자 한다.

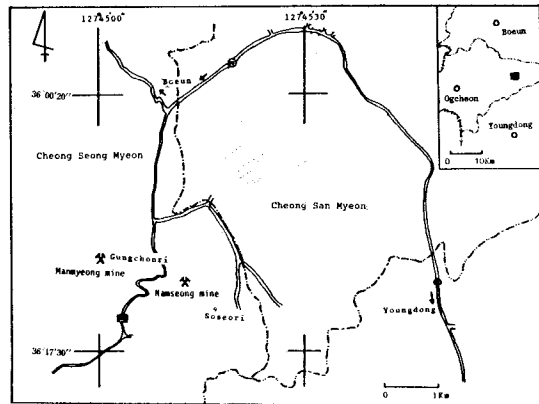


Fig. 1 Location map of the Namseong gold mine.

### 주변지질

#### 지질개요

남성광산이 위치하는 지역은 옥천계에 속하는 변성암류(철매암 및 점판암, 규암)와 슈라기의 심성암류(오랜 암석순으로 반상화강암, 반려암 및 화강섬록암, 복운모화강암, 우백질화강암) 그리고 백악기의 맥암류

\* 충남대학교 지질학과

\*\* 한국고원대학교 지구과학과

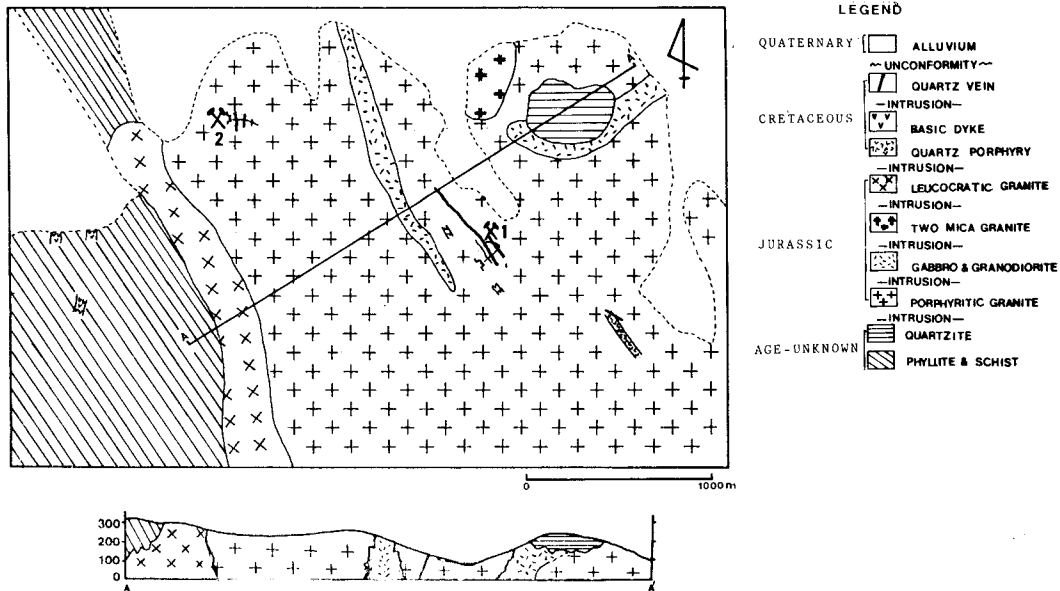


Fig. 2 Geologic map and cross section of the Namseong gold mine area.

1 : Namseong mine 2 : Manmyeong mine

(석영반암, 염기성암맥, 석영맥)로 구성된다(Fig. 2).

**암석각론**

**육천계의 변성암류**

천매암 및 점판암 : 두 암석은 조사지역의 서부에 넓게 분포하고 있으며 점판암과 천매암은 점이적인 변성양상을 보인다. 일부지역에서는 편암내지 편마암화 된 부분도 있다. 암상은 흑색, 녹회색, 암회색을 띠고 있으며 엽리의 방향은 대체로 N20°~45°W, 30°~60°SW와 N30°W, 60°SW이다. 구성광물은 주로 석영, 장석류, 흑운모, 녹니석 등이다.

규암 : 규암은 남성광산의 북동부에서 소규모로 루우프렌드트양상으로 분포하며 반상화강암에 의해 관입당하였다. 대부분 우백색을 띠며 입자가 상당히 치밀하다. 규암내의 일부지역에서는 암회색의 탄질 shale이 협재하고 있다. 구성광물은 석영과 소량의 장석류, 흑운모가 관찰된다.

**쥬라기의 심성암류**

심성암류는 조사지역의 2/3를 차지하며 남성광산을 중심으로 광범위하게 분포하고 있다. 심성암류는 오랜 순으로 보면 반상화강암, 반려암 및 화강섬록암, 복운모화강암, 우백질화강암 등으로 구성되어 있다.

반상화강암 : 본암은 육천계의 변성암류를 관입하고 있으며 본광산 주변에 가장 넓게 분포하고 있다. 반상화강암은 장석의 크기가 보통 4cm×2cm이나 부분적으로 15cm×5cm에 이르는 큰 장석의 반정을 갖는 것이

특징이며 흑운모와 석영이 aggregate되어 방향성있게 배열된다. 반정들은 염기성맥, 반려암, 화강섬록암등에 의해 관입당한 부근에서는 백색에서 홍색으로 변하는 경향이 있다. 현미경하에서 관찰되는 주성분광물은 석영, 정장석, 사장석, 미사장석, 흑운모이고 부성분광물로는 녹니석, 견운모, 방해석, 전기석, 인회석 및 자철석등으로 구성된다. 본암에 함유된 흑운모에 대한 K-Ar년대는 164Ma.(이대성, 1971)으로서 쥬라기 초기에 활동한 대보화강암에 대비된다.

반려암 및 화강섬록암 : 반려암과 화강섬록암은 남성광산 동북부에 폭 30~50m로 북동동방향으로 관입하는 것과 남성광산 서쪽근접지역에서 부터 북북서 방향으로 폭 10~30m, 연장 1.6km를 보이는 맥상으로 분포하는 것이 있다. 후자의 반려암과 화강섬록암은 점이적인 변화를 보인다. 즉, 북북서쪽에서 본 광산쪽으로 올수록 반려암은 세립질에서 조립질로 점이적으로 변하며 광산부근에서는 화강섬록암으로 산출된다. 반려암의 주 구성광물은 사장석, 각섬석, 흑운모등이며 부성분광물로는 석영과 황철석, 유비철석이 미량으로 광염되어 있다.

화강섬록암의 주 구성광물은 사장석, 각섬석, 흑운모, 석영, 정장석 등이다. 석영과 장석에 의한 문상석리가 관찰되는 곳도 있다.

복운모화강암 : 남성광산의 북쪽에 소규모로 복운모화강암이 분포하고 있으며 반상화강암을 관입하고 있

다. 본암은 우백색을 띠고 세립질 내지 중립질이며 구성광물은 석영, 정장석, 흑운모, 백운모, 사장석이고 부성분광물로는 불투명 광물이 관찰된다.

우백질화강암 : 우백질화강암은 조사지역의 서부에서 반상화강암과 옥천계의 변성암류사이를 NNW-SSE 방향으로 관입하고 있다. 본 암석의 폭은 약 200~450m 정도이고 SSE방향으로 약 5km 연장 발달한다.

본 암석을 옥천도폭(김 동학외 3인, 1978)에서는 변성사질암층으로 분류하고 있으나 우백질화강암으로 분류함이 타당할 것으로 생각된다. 왜냐하면 현미경하에서 석영-장석류의 연정에 의한 문상석리와 사장석의 누대석리가 관찰되는 것으로 보아 이는 변성퇴적암이 아니고 화강암이다. 구성광물은 석영, 사장석, 각섬석, 흑운모, 녹니석등이 관찰되며 조직으로는 문상조직이 관찰된다.

**백악기의 맥암류**

석영반암 : 석영반암은 주로 반상화강암과 복운모화강암내에서 N20°~30°W의 주향과 수직경사를 가지며 석영맥에 의해 관입당하고 있다. 우백색내지 담홍색을 띠며 석영 반정과 소량의 장석반정을 가진 치밀한 암상이다. 구성광물은 주로 석영과 장석류이고 부성분으로 흑운모가 관찰된다.

염기성 암맥 : 염기성암맥은 반상화강암과 옥천계의 변성암류를 관입하고 있다. 남성광산 부근에서 N30°~40°W, 85°SW 그리고 옥천계 변성암류내에서는 NS와 N20°~30°E, 85°SE의 방향성을 보이고 있다. 색깔은 흑색내지 암흑색이며 반정으로 장석이 관찰된다.

석영맥 : 석영맥은 심성암류내에서 수조 관찰된다. 일부지역에서는 석영반암을 관입하고 있으며 남성광산의 본향에서는 염기성암맥을 관입하고 있다. 맥의 방향성은 N20°~40°W이다. 이로보아 본 지역에서 가장 후기의 암맥으로 간주된다.

**광 상**

**광상개요**

남성광산은 유라기의 반상화강암내에 발달한 열극을 충진한 합금석영맥 광상이다. 갱내굴진은 지금까지 총 2000m정도가 되어있다. 본갱맥은 반상화강암과 후기에 관입한 N30°W, 70°~90°SW의 주향과 경사를 갖는 염기성암맥과의 접촉부에 생긴 shear zone을 충진한다. 남성 1, 2호 석영맥은 이와 평행하게 반상화강암내에 발달한 열극을 충진하고 있다. 본 광산의 석영맥폭은 대체로 수cm에서 30cm내로 연장은 본갱맥의 경우 N30°W방향으로 약 700m, 남성 1, 2의 경우 약 200m에 달한다. 남성 1, 2의 석영맥에서 금·은이 비교적 풍부

하게 산출되고 상·하부의 연장성이 양호하다.

모암의 변질로는 견운모화작용이 현저하고 녹니석화작용, 탄산염화작용이 인지된다. 특히 견운모화작용이 잘 발달하는 곳에서는 유화광물이 많지 않지만 금의 고품위를 형성한다.

산출되는 주성분광물로는 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 부성분광물로는 에렉트럼, 농홍은석, 자연은, 휘은석, 미확인은광물(Cu-Fe-Ag-S), 침철석등이 산출된다. 맥석광물은 석영, 방해석, 형석등이 있다.

**광석광물각론**

황철석 : 본 광산에서의 황철석은 광화작용의 I기의 II기말에 정출된 광석을 구성하는 주요한 광물로서 광체전체에 널리 분포하고 있고 양적으로도 가장 다량으로 산출되고 있다.

광화 I기에 정출한 황철석은 반자형-타형으로 산출되며 에렉트럼이 용리현상으로 함유되기도 한다. 또 황철석의 공극에 후기에 정출한 섬아연석, 방연석, 황동석, 에렉트럼, 침철석등에 의해 충진되거나 교대되어 있다(Fig. 3. A.C). 한편 광화 II기에 정출한 황철석은 섬아연석, 황동석, 방연석, 휘은석 및 에렉트럼과 동시정출조직을 보인다.

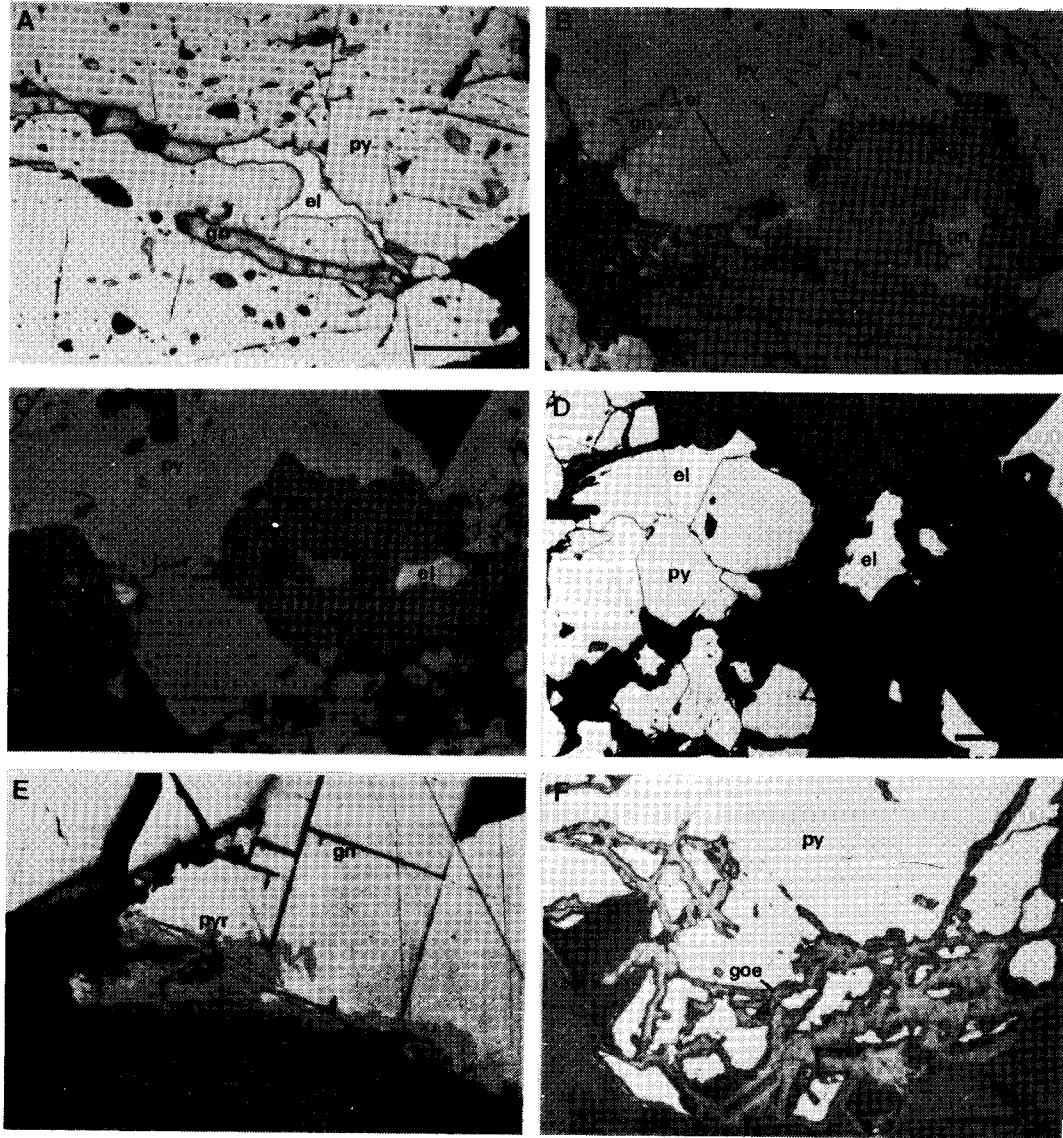
그 주요한 광물조합으로는 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 황철석의 crack을 충진한 방연석-에렉트럼(Fig. 3. A), 황동석-섬아연석, 방연석-섬아연석-에렉트럼등
- (2) 황철석을 교대하는 섬아연석-에렉트럼(Fig. 3. C), 섬아연석-방연석-에렉트럼, 침철석 등
- (3) 섬아연석내에 포획된 반자형의 황철석
- (4) 광화 II기의 황철석과 거의 동시정출조직을 보이는 에렉트럼, 방연석, 섬아연석 및
- (5) 광화 II기의 초에 정출한 섬아연석과 에렉트럼을 교대하는 후기의 황철석등이 있다.

섬아연석 : 섬아연석은 방연석, 황동석과 더불어 광화 II기에 정출한 광물로서 에렉트럼의 산출과 밀접하게 관계하고 있다. 대부분의 섬아연석중에는 황동석이 용리조직으로 함유되어 있다. 섬아연석에는 때때로 에렉트럼이 함유되고 있는데 이들의 입경은 수 μm에서 50μm까지 다양하다.

EPMA에 의한 정성화학분석에서 검출된 원소는 Zn, Fe, Cu, Mn, Cd 및 S로서 그 이외의 원소는 검출한계 이하이고, 정량분석조건은 가속전압 20kv, 시료전류는 2.0×10<sup>-8</sup> A(MgO상에서), 시료상에서 전자 beam경은 1μm, 표준시료는 합성유화물인 ZnS와 CuFeS<sub>2</sub> 및 순금속의 Mn, Cd이었다.

휘은석, 에렉트럼과 공생하는 섬아연석 2개 6점에 대한 화학분석치는 Table I과 같다. 분석치로부터 FeS



**Fig. 3** Photomicrographs showing the occurrence of argentite, pyrargyrite, goethite and electrum in the Namseong gold-silver ores.

- A. Irregular grains filling intergranular cavities of pyrite
- B. Electrum associated with pyrite and galena
- C. Argentite and electrum associated with sphalerite
- D. Electrum and pyrite among quartz
- E. Unidentified mineral (Cu-Fe-Ag-S) associated with galena and pyrargyrite
- F. Goethite replaced pyrite

<Abbreviation for minerals in the photographs>

py : pyrite, el : electrum, gn : galena, pyr : pyrargyrite, goe : goethite, sp : sphalerite

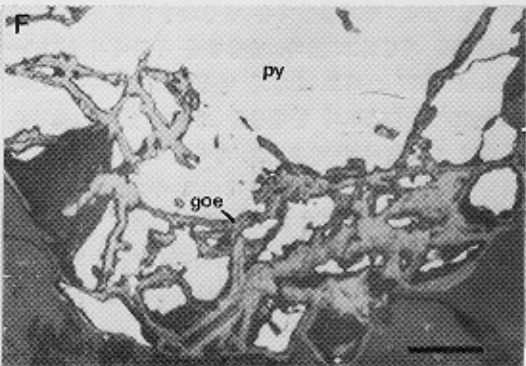
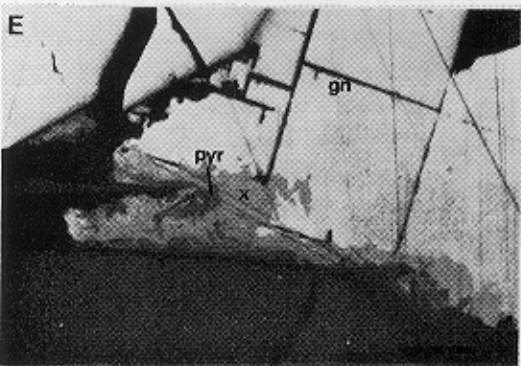
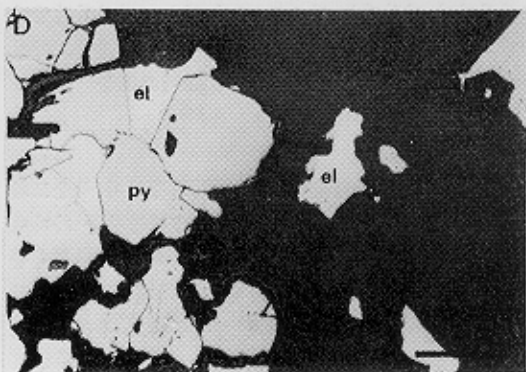
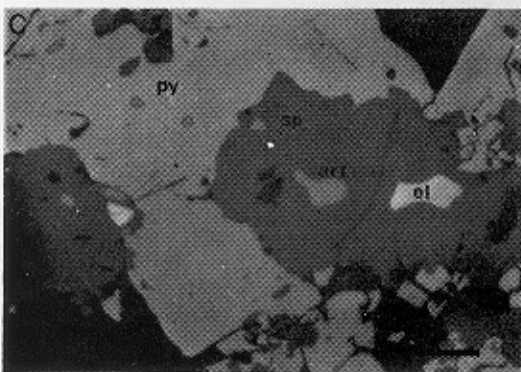
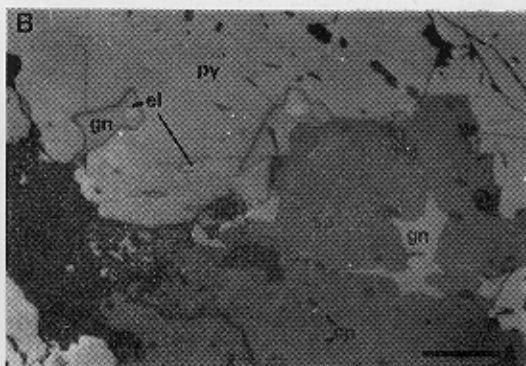
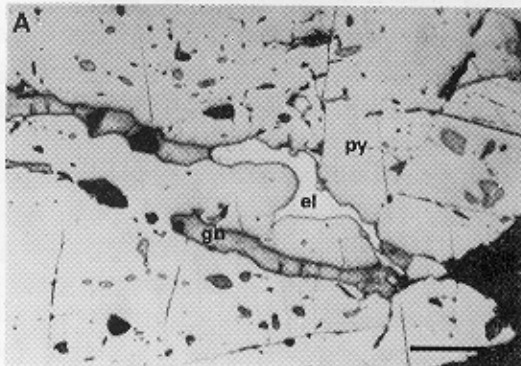


Table 1 Chemical composition of sphalerite from the Namseong mine.

Specimen No.	Weight %							Chemical formula S=1		Mole%
	Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	S	Total	Zn	Fe	FeS
N5-1	62.34	2.31	0.07	—	0.27	34.59	99.58	0.884	0.038	3.98
	61.81	2.94	0.12	0.05	0.26	34.32	99.50	0.883	0.049	5.08
	64.65	1.20	0.48	0.01	0.25	35.08	101.67	0.904	0.020	2.04
	63.76	1.02	0.46	—	0.29	34.43	99.96	0.908	0.017	1.76
	63.32	1.62	0.17	—	0.25	33.73	99.09	0.921	0.029	2.84
N-1-1	62.69	3.44	0.04	—	—	34.17	100.34	0.900	0.058	6.05

1.76~6.05mol.%가 얻어졌다. Vickers경도는 50g의 하중에서 172.9kg/mm<sup>2</sup> (166~180kg/mm<sup>2</sup>)이며 100g의 하중에서 171.0kg/mm<sup>2</sup> (165~176kg/mm<sup>2</sup>)이다.

방연석 : 방연석은 광화작용의 II, III기에 정출한 광물로서 광화 II기에 정출한 방연석은 섬아연석, 황동석, 휘은석, 에렉트럼등과 밀접하게 공존하며 광화 I기에 정출한 황철석의 crack이나 공극을 충전하거나 황철석을 교대하고 있다. 방연석내에 정출한 에렉트럼은 불규칙~subround한 형태를 취하며 비교적 작은 결정(50μm이하)을 이루고 있다. Vickers경도는 50g의 하중에서 57.2~60kg/mm<sup>2</sup>이며 100g의 하중에서 52.1~54.9kg/mm<sup>2</sup>이다.

황동석 : 황동석은 광화작용의 II기에 정출한 광물로서 형상이나 입경이 다양하고 황철석의 crack에 충전하거나 섬아연석내에 용리조직으로 산출되고 있으며, 석영내에서는 다른광물과 관계없이 독립적으로 산출되고 있다. 간혹 황동석내에 에렉트럼을 함유하고 있는데 그 입경은 50μm이하이다. Vickers경도는 50g의 하중에서 184~209kg/mm<sup>2</sup>이고 200g의 하중에서 180~192kg/mm<sup>2</sup>이다.

휘은석 : 휘은석은 본 금·은광상에서 산출되는 주요한 은광물이며 광화작용의 II기와 III기초에 정출한다. 입경은 다양하고 방연석, 농홍은석과 밀접하게 산출되고 황동석, 섬아연석내에 산출되기도 한다(Fig. 3. C). 또한 섬아연석, 에렉트럼과 밀접하게 공생하고 있고 휘은석내에 에렉트럼(입경 40μm)이 함유되기도 한다. Vickers경도는 25g의 하중에서 50.5~53.1kg/mm<sup>2</sup>이고 50g의 하중에서 25.0~26.0kg/mm<sup>2</sup>이다.

농홍은석 : 농홍은석은 휘은석과 더불어 본 광상에서 주로 산출되는 은광물이며 광화작용 III기초에 에렉트럼, 휘은석, 방연석과 밀접하게 공생하며 산출되고 있다. 이 광물은 황철석의 crack에 충전되면서 휘은석과 공생하거나 방연석, 휘은석과 공생하며 산출되고 있다(Fig. 3. E).

미확인 은광물(Cu-Fe-Ag-S계 광물) : 미확인 광물은

은 광화 III기의 초에 휘은석, 방연석, 농홍은석과 공생하며 나타나고 있고(Fig. 3. E) 경하에서 회색을 띤다. 반사다색성, 이방성이 약하게 나타나며 내부반사는 나타나지 않는다. EPMA에 의한 정성분석에서 Cu, Fe, Ag, S가 검출되었다.

에렉트럼(AuAg) : 에렉트럼은 본 광상에서 산출되는 경제적으로 중요한 광물이다. 본 광물은 광화 I기에 정출한 황철석내에 용리조직으로 산출되는 것, 광화 II기에 정출한 방연석, 섬아연석, 휘은석, 황동석과 밀접하게 공생하며 광화 I기의 황철석의 crack에 충전하는 것, 광화 III기에 정출한 광물과 공생하며 내부에 함유되는 것 등이 있다. 경하에서 deep yellow에서 whitish yellow까지 다양한 색을 띠고 있으며 반사도가 다른 유화광물에 비해 높기 때문에 쉽게 식별된다. 황철석의 crack에 충전한 에렉트럼의 경우 Vickers경도는 25g의 하중에서 44.3~45.8kg/mm<sup>2</sup>이며 50g의 하중에서 50.1~52.4kg/mm<sup>2</sup>이다.

침철석 : 침철석은 본 광상에서 산출되는 산화광물로서는 주로 황철석의 crack이나 입자 주변부에 발달한다(Fig. 3. F). 경하에서 blueish gray를 띠며 반사다색성, 이방성이 약하게 나타나고 내부반사는 reddish이다. Vickers경도는 100g의 하중에서 380~429kg/mm<sup>2</sup>이다.

광석광물의 조직

용리조직 : 고온에서 한개의 상으로 존재했던 것이 온도의 저하와 더불어 어느성분에 대하여 과포화가 되어 다른 광물이 석출하는 것을 나타내는 조직으로 그 냉각과정을 반영하는 것이다.

남성광상에서 관찰되는 용리조직을 보면 다음과 같다.

- (1) 황철석내에 섬아연석, 방연석, 에렉트럼(Fig. 3. A.B.C).
- (2) 섬아연석내에 황동석, 방연석, 휘은석, 에렉트럼(Fig. 3. B).
- (3) 황동석내에 섬아연석, 에렉트럼.
- (4) 휘은석내에 에렉트럼.

(5) 방연석내에 에렉트립 등이 관찰된다.

포유조직 : 초기에 정출했던 광물이 후기에 정출한 광물에 의해 포유된 조직으로서 다음과 같은 것이 지된다.

(1) 광화 I기에 정출한 황철석이 광화 II기에 정출한 섬아연석, 방연석, 황동석 등에 의해 포유된 것.

(2) 광화 I, II기에 정출한 황철석, 섬아연석이 광화 III기에 정출한 에렉트립에 포유된 것 등.

교대조직 : 초기에 정출했던 광물의 연변부에 따라 후기의 광물이 교대하여 생성된 "reaction rim" 또는 그들 가운데 전자의 불규칙한 형태를 나타내는 "remnent"에 의해 나타나는 조직으로 대표적인 것으로 다음과 같은 것이 있다.

(1) 광화 I기에 정출했던 황철석이 광화 II기에 정출한 섬아연석, 방연석, 황동석 등에 의해 교대된 것 (Fig. 3. B.C).

(2) 광화 I, II기에 정출한 황철석이 III기의 말에 침철석에 의해 교대된 것 (Fig. 3. F).

(3) 광화 II기의 방연석을 광화 III기의 휘은석, 농홍은석 등이 교대한 것 (Fig. 3. E).

(4) 광화 II기 초의 섬아연석을 후기의 황철석이 교대한 것

공간충진조직 : 초기에 정출했던 광물의 입자 사이나 열극, 공극(깨집면), 공동 등에 후기에 정출했던 광물이 충전하여 형성된 조직으로서 대표적인 것으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 초기에 정출한 황철석의 깨집면에 후기에 정출한 섬아연석, 방연석, 황동석, 휘은석, 에렉트립 등에 의해 충전된 것 (Fig. 3. A).

(2) 광화 II기에 정출한 섬아연석이 이보다 늦게 정출한 방연석에 의해 충전 것 등이 있다.

결정학적 연정조직 : 광물들이 동시에 정출하면서 성장하여 나타내어지는 조직으로 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 섬아연석과 방연석 (Fig. 3. B)

(2) 방연석과 황동석 또는 에렉트립

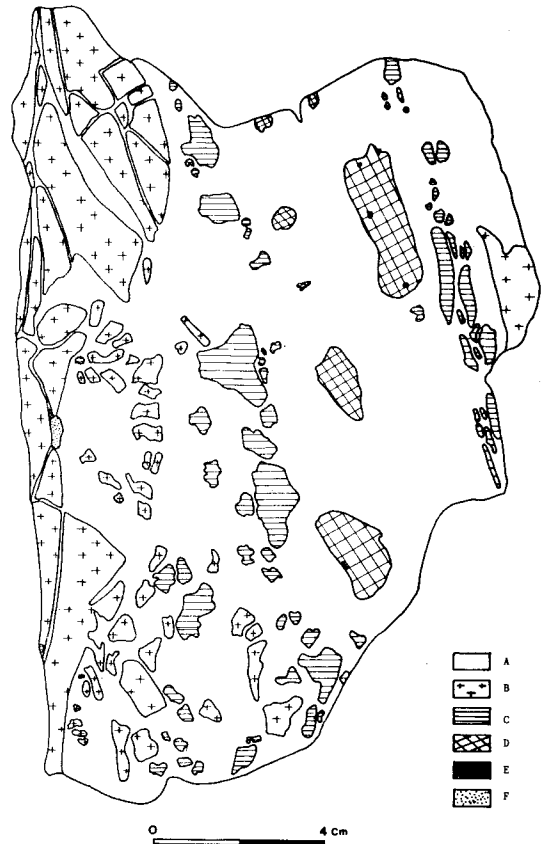
(3) 휘은석과 방연석 또는 에렉트립과

(4) 황동석, 방연석, 휘은석, 농홍은석 등이 서로 결정학적으로 연정으로 나타난다.

대상구조 : 대상구조는 열수용액이 열극내에 침전하는 과정에서 모암부에 황철석대를 형성하고 석영맥의 중앙부에 섬아연석, 방연석, 황동석대를 형성하면서 누대구조를 이루고 있다 (Fig. 4).

**에렉트립**

본 광산에서 가행대상이 되는 합금광물로 유일하게



**Fig. 4** sketch of a high grade ore from the Namseong No. 1 vein  
 A: Quartz, B: Porphyritic granite,  
 C: Pyrite, D: Sphalerite,  
 E: Chalcopyrite, F: Calcite.

에렉트립이 산출되는바 이에 대한 제 광물학적인 산출 상태를 알아보고자 한다.

**공생광물**

에렉트립은 본 광산에서 산출되는 대부분의 광석광물과 공생관계를 가지고 있어 그 정출순서와 수반광물에 따라 다음 다섯형태로 구분하였다.

A type : 주로 광화 I기에 황철석내 (Fig. 3. A)에 또는 황철석과 석영사이에 나타나는 에렉트립.

B type : 광화 II기 초반의 섬아연석, 황동석에 수반되거나 이들광물과 석영과의 경계부분에 나타나는 것.

C type : 광화 II기 후반의 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 휘은석내에 정출하는 것, 둘이상이 조합을 이루는 광물군의 경계에 또는 이들과 석영과의 경계부분에 산출되는 것. 먼저 정출한 황철석과 석영내에 발달한 crack이나 입자경계부를 충전하여 나타나는

경우도 있다(Fig. 3. B.C.D).

D type : 광화Ⅲ기에 정출하는 방연석, 휘은석, 농홍은석내에, 또는 이들 상호접촉부분 및 석영과의 경계부에 나타나는 것(Fig. 3.E).

E type : 석영내에 단독으로 산출되는 것(Fig. 3.D). 공생하는 광석광물이 나타나지 않아 정출시기결정이 난해 하지만 방해석이나 형석이 공생하지 않으므로 광화Ⅰ기나 광화Ⅱ기로 추정된다.

Fig. 5는 에렉트럼의 상기의 5가지 type과 산출빈도 및 산출량과의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 주목되는 것은 산출빈도에 있어서는 A type이 46.5%로 매우 높고 B>E>C>D type의 순서이며, 산출량은 E type이 압도적으로 많고 C>A>D>B type의 순서이다. 이와같은 양상은 A, B, D type에서의 에렉트럼은 비교적 세립질로서 산출되고 C나 E type, 특히 E type의 석영내에서는 조립질로서 산출됨을 의미한다. 이는 입자의 크기에서 언급할 석영내의 에렉트럼의 평균입경이 131 $\mu$ m인데 반해 황철석내의 평균입경이 31 $\mu$ m에서 도 엇볼 수 있다.

에렉트럼의 산출량과 광물공생관계를 살펴보면 1종의 광물과 접하는 것은 약 62%, 2종의 광물과 접하는 것은 약 37%, 3종의 광물과 접하는 입자는 1%에 지

나지 않는다. 여기서 1종의 광물과 접하는 입자가 많은데, 그중에는 석영과 접하는 것이 51%, 황철석과 8%, 침아연석과 1.3% 방연석, 황동석은 1% 미만이고, 2종의 광물과 접하는 것 중에는 황철석-침아연석; 19.2%, 황철석-석영; 8.1%, 황철석-유염광물; 4.1%, 황철석-방연석; 3.3%로서 대부분이 황철석을 수반하는 공생관계임을 알 수 있다. 이는 본 광산에서 산출되는 유화물중 85% 이상이 황철석으로 구성되어 있다는데 그 원인을 찾을 수 있다.

입자의 크기

Fig. 5는 에렉트럼입자의 크기별 산출빈도와 입자 크기별 체적비를 나타낸 것이다. 입경은 연마편상에서 에렉트럼 입자의 장경(a)과 단경(b)의 평균입경( $D = \sqrt{a*b}$ )를 나타낸 것이다. (1)은 산출빈도를 나타내고 (2)는 체적( $\sqrt{a*b}$ )<sup>3</sup>으로 환산하여 각 입자크기가 갖는 체적비를 나타낸 것이다.

이 그림에서 100 $\mu$ m이상 입자의 산출빈도는 2.2%에 불과하나 체적비는 73%에 달한다. 즉 -150mesh로 완전단계 분리되는 정도는 약 73%라는 의미로 해석할 수 있다.

한편 에렉트럼의 평균입도( $D_v = \sqrt[3]{\frac{\sum D^3}{\text{입자수}}}$ )는 공생광물에 따라 Table 2와 같다.

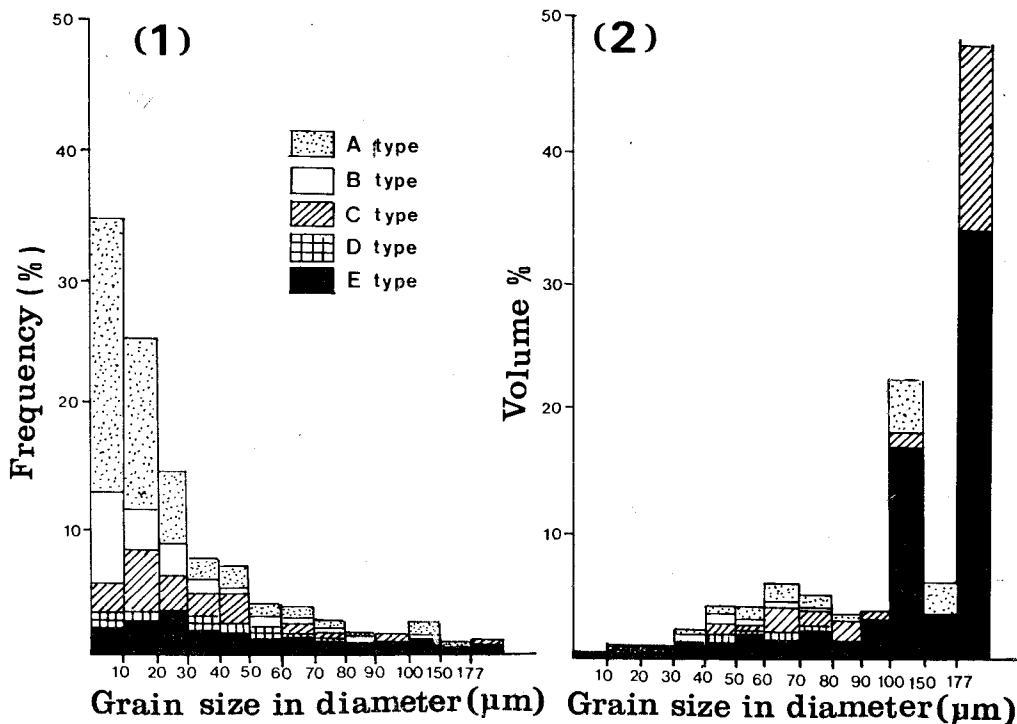


Fig. 5. Histograms of associated mineral types and grain size of electrum.

No. of electrum grains: 860.



**Table 2** Relationship between average grain size of electrum and associated minerals with electrum from the Namseong mine.

공생 광물	Qz	Py-Qz	Py-Sp	Py-Art	Py-Gn	Gn	Cp	Py	Sp
평균 입도	131	78	74	52	52	52	37	31	26

Qz: 석영, Py: 황철석, Sp: 섬아연석, Art: 휘은석, Gn: 방연석, Cp: 황동석

여기서 보던 석영내에 함유되는 에렉트럼의 입도( $D_v$ ) 에렉트럼의 화학조성  
 가 대형으로 산출됨을 알 수 있고, 단독 유화물내의 에렉트럼의 화학분석은 EPMA에 의해 실시하였다.  
 에렉트럼은 비교적 소형으로서 나타나고 있음을 알 수 사용한 EPMA는 일본전자의 JEOL Superprobe 733  
 있다. (take-off angle 40°)을 이용, 가속전압 20kv 시료전류

**Table 3** Chemical data of electrum from the Namseong ore deposits.

Specimen No.	Grain size ( $\mu\text{m}$ )	Number of analyzed points	Mineral Assemblage	Au atomic %		Ag atomic %	
				Range	Au Average	Range	Average
N-8-2	178	3	Sp-Qz	17.97~34.24	27.51	65.76~82.03	73.49
N4-B	170	4	Py-Sp	18.32~33.76	28.34	66.24~81.68	71.66
N-6-1	110	3	Py-Qz	25.83~33.15	30.48	67.53~74.17	69.52
	110	3	Qz	30.52~32.27	31.37	67.73~69.48	68.63
N-4-1	300	5	Py-Gn	20.04~33.87	30.55	66.13~73.96	69.45
	80	3	Py	29.47~32.36	69.13	67.64~70.53	69.13
N5-K1	60	2	Py-Sp	28.88~31.46	30.17	68.54~71.12	69.83
	80	3	Py-Gn	30.90~31.95	31.36	68.05~69.10	68.64
N-4-2	678	9	Py-Qz	32.83~35.08	33.77	64.92~67.17	66.23
S17	100	2	Qz	43.81~45.63	44.72	54.37~56.19	55.28

**Table 4** Chemical composition of electrum from the Namseong ore deposits.

Speciman No.	Weight %			Atomic %		Mineral Assemblage
	Au	Ag	Sum	Au	Ag	
N-45-2C	0.01	99.58	99.69	0.0	100.0	Gn-Art
	4.96	95.54	100.50	2.8	97.2	Gn-Art
	8.50	91.58	100.58	4.8	95.2	Gn-Art
	17.89	81.91	99.80	10.7	89.3	Gn-Art
N-8-2	29.03	72.55	101.58	18.0	82.0	Py-Sp-Qz
	46.80	53.83	100.63	32.3	67.7	Qz
N-4-1	35.01	65.20	100.21	22.7	77.3	Py
	39.76	61.19	100.95	26.3	73.7	Py-Qz
	44.67	55.02	99.67	30.8	69.2	Py
N-6-1	39.36	61.89	101.25	25.8	74.2	Py-Qz
N5-K1	43.41	57.47	100.88	29.3	70.7	Py-Sp-Qz
	46.40	54.13	100.53	32.0	68.0	Py-Gn
N-4-2	49.50	51.84	101.34	34.3	65.7	Qz
N-4-3	79.08	20.00	99.08	68.4	31.6	Qz
	84.11	17.97	100.08	71.9	28.1	Qz
	93.83	7.04	101.57	86.9	13.1	Qz

Abbreviations are same as Fig. 3. Art: Argentite, Qz: Quartz

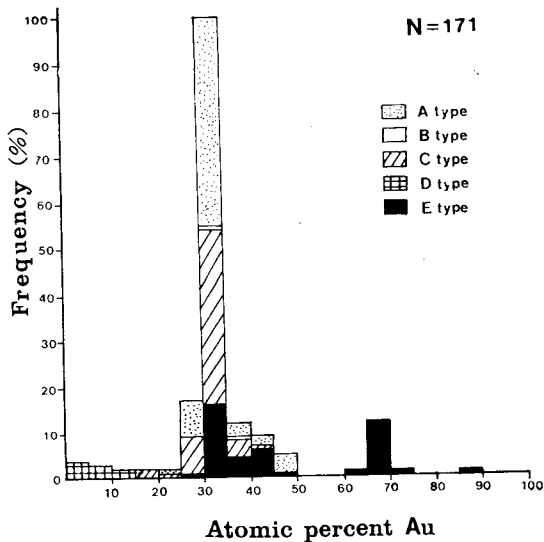
**Table 5** Grade variation and associated mineral types of electrum from the Namseong mine.

Associated mineral type	Au atom.% range	Number of analytical point	Average
A type	20~55%	60	37.4%
B type	20~65%	6	36.7%
C type	15~45%	56	31.6%
D type	0~15%	9	6.8%
E type	25~87%	42	48.3%

$2 \times 10^{-8}A$ 의 조건에서 실시하였다.

일부시료는 펜실바니아 주립대학 Applied Research Labs의 AMX microprobe를 사용하였다. 정량분석시의 표준시료는 순금속의 Au, Ag를 사용하였으며, 특성 X 선은 Au  $M_{\alpha}$ , Ag  $L_{\alpha}$ 선에 대하여 PET결정을 사용하였다. 계수치에 대하여 background를 보정한 후, 일본전자의 M-ZAF 보정을 실시하였으나 만족할 만한 값을 얻을수 없어 廣渡文利外 1人(1978)가 제시한 보정계수 ( $\alpha$ -factor)를 이용해 보정했다.

정성 및 정량분석에서 각 에렉트럼 입자내에서의 균질성을 알아본 결과 대부분의 에렉트럼은 0.수 atom%에서 16atom.%까지 다양한 조성의 변화를 가지고 있음을 알 수 있었다(Table 3.). Table 4는 대표적인 8개 시료중 17점에 대한 분석결과이다. Fig. 6는 171개 분석치에 대한 Au atom.%를 나타낸 것이다. 본광산의 에렉트럼은 0~87 atom.% Au까지 광범위한 조성의 입자들로 구성되어 있고 25~40 atom.% Au 사이의 에

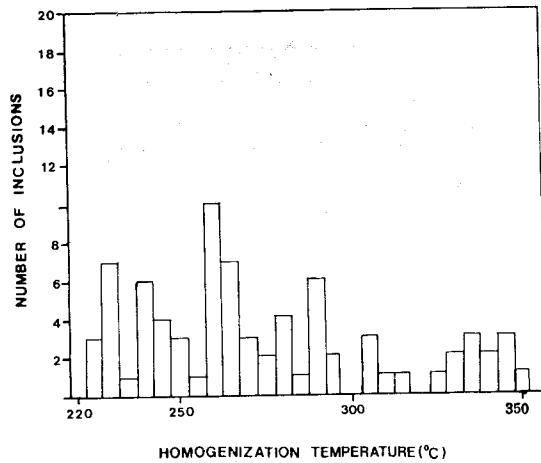


**Fig. 6** Histogram of Au content in electrum from the Namseong mine.

렉트럼이 많음을 알 수 있다. Table 5에서 보는 바와 같이 각 광물공생형별(정출순서별) 에렉트럼의 Au 함량은 E type에서 가장 높고 A→B→C→D type으로 감에 따라 낮아짐을 알 수 있다.

**유체포유물의 균일화 온도**

유체포유물의 균일화 온도 측정에 사용한 시료는 광화시기의 석영맥, 즉 광화 I기 후반에서 광화 III기말에 해당되는 석영맥에서 자형의 석영결정을 채취해 측정에 사용하였다. 측정은 서울대학교 지질학과 광상학 실험실에 설치되어 있는 Leitz사의 Model SM-Lux가 열현미경이었다. 측정결과 225~355°C까지 넓은 온도영역을 나타내고 있는데 (Fig. 7), 광화 I기의 석영결정에서의 균일화 온도는 280~355°C, 광화 II기의 석영결정에서는 255~295°C, 광화 III기의 석영결정에서는 225~275°C의 분포를 나타내고 있다.



**Fig. 7** Histogram of homogenization temperatures for fluid inclusion from the Namseong gold mine.

**토 론**

**금은 광화작용, 특히 광물 정출순서**

Fig. 8은 광상의 갱내조사와 현미경하에서 광물의 공생관계, 조직에 의한 광물의 정출순서를 나타낸 것이다. 갱내조사에서 석영맥은 광화작용을 수반한 것보다 먼저 관입 정출한 석영맥이 존재한다. 조기의 석영맥에는 광화작용의 흔적이 관찰되지 않는다. 그러나 그보다 후기, 즉 광화 I기 후반에 관입정출한 석영맥 내에는 유화광물을 수반함과 동시에 열수변질작용의 산물인 견운모가 상당량 관찰된다. 유화광물중에는 황철석과 에렉트럼의 산출빈도가 높고, 에렉트럼은 비교적 높은 함량의 Ag atom.%를 나타낸다. 광화 II기

Minerals	Stage		
	I	II	III
Pyrite	—	—	—
Sphalerite	—	—	—
Chalcopyrite	—	—	—
Galena	—	—	—
Electrum	—	—	—
Argentite	—	—	—
Pyrrargyrite	—	—	—
Native Ag	—	—	—
Cu-Fe-Ag-S mineral	—	—	—
Quartz	—	—	—
Calcite	—	—	—
Fluorite	—	—	—
Goethite	—	—	—

Fig. 8 Paragenetic sequence of ore minerals from the Namseong mine

초반에는 섬아연석, 황동석과 석영이 정출하는 시기로서 에렉트럼이 소량 정출한다. 이 시기의 광물들은 광화Ⅱ기 후반에 정출한 광물조합에 의해 포획되거나 교대를 받고 있다. 황철석, 방연석은 정출을 보이지 않는다. 광화Ⅱ기 후반은 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 휘은석이 정출하는 시기로서 주 광화시기라고 볼 수 있다. 에렉트럼의 산출빈도에 비해 그 입경이 조립질로서 산출되고 에렉트럼 중의 Au함량은 전체 평균값에 가까운 25~40atom.%에 집중되고 있다. 이 시기의 광물공생관계는 섬아연석-방연석-(휘은석)-에렉트럼, 황철석-섬아연석-방연석-에렉트럼이 일반적이고, 이 시기에 정출한 하나 또는 둘 이상이 조합을 이루는 광석광물내에 에렉트럼이 정출되고 있다. 광화Ⅲ기 초반에는 방연석, 휘은석, 농홍은석, 자연은, 미확인 은광물(Cu-Fe-Ag-S)이 정출하며 방연석-휘은석-에렉트럼, 방연석-자연은 등의 광물조합이 관찰되고 특히 방연석, 휘은석과 공생하는 에렉트럼은 2.8~10.7 atom.% Au까지 비교적 Au함량이 적은 에렉트럼이 산출된다. 또 방연석-휘은석과 공생하는 자연은이 관

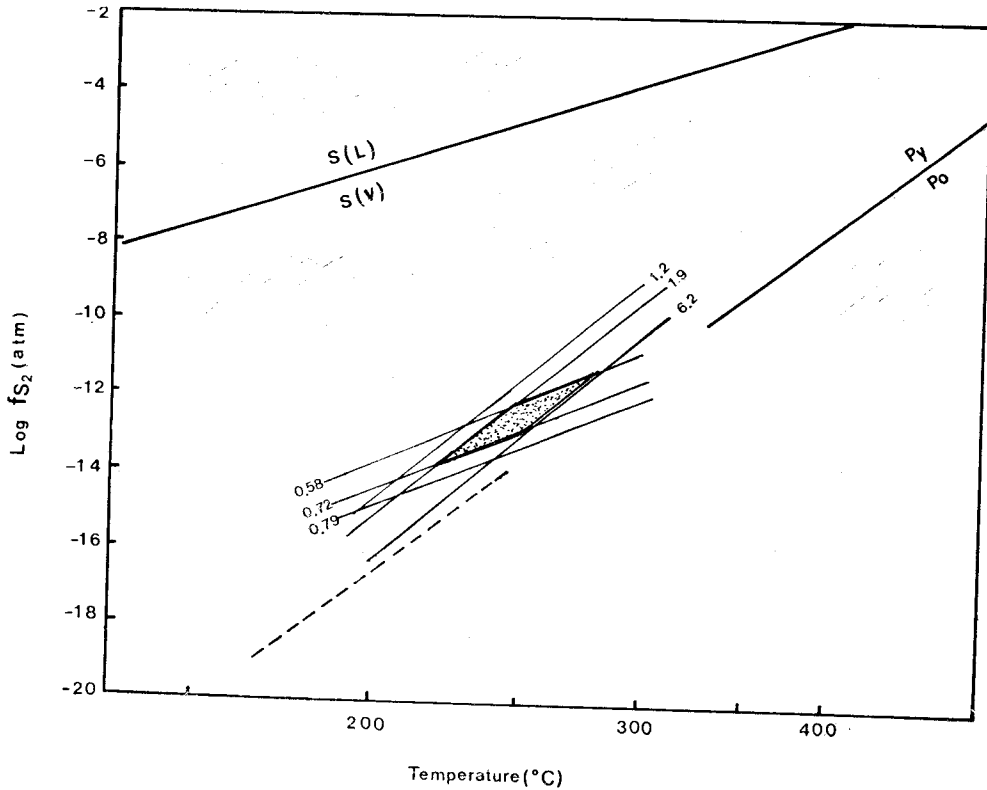


Fig. 9 Temperature-fugacity  $S_2$  diagram for the electrum-argentite-sphalerite paragenesis in the Namseong mine  
 $N_{Ag}$  in electrum: 0.55~0.73      FeS mol% in sphalerite: 1.76~6.05

찰된다. 광화Ⅲ기후반에는 방해석, 형석이 침전되고 최 후기에는 이차적으로 침철석이 황철석 결정주변과 crack을 치환 발달하고 있음이 특징적이다. 석영은 상기의 유체포유물 균일화온도가 암시하는 바와 같이 광화초기에서부터 말기까지 정출된다.

**광상생성시기와 생성조건**

본 광상의 생성시기는 석영맥내에 열수변질물로서의 견운모가 다량으로 산출되고 있으나 아직 그 연대측정을 실시하지 못해 알 수 없다. 그러나 지표노두에서 석영맥이 석영반암을 관입하고 있고, 갱내 조사에서 확인된 백악기의 증성암맥과 석영반암중에 발달한 열극을 충전하여 합금석영맥이 발달함을 볼 수 있다. 따라서 광상생성시기는 적어도 백악기이후의 열수광화작용의 산물임을 알 수 있다.

에렉트럼-휘은석-섬아연석이 공생하는 경우에는 에렉트럼과 섬아연석의 조성에서 Electrum-tarnish method(Barton and Toulmin, 1964; 1966; Scott and Barnes, 1971)에 의해 그들의 평형공존광석의 생성온도와 유황의 fugacity가 구해진다. 에렉트럼과 공존하는 섬아연석중의 FeS 양(Table 1)은 1.8~6.1mol.%와 에렉트럼의 분석치로부터 얻어진  $N_{Ag}$  0.55~0.73을 Fig. 9에 plot하면 각각 225~285°C,  $10^{-11.5}$ ~ $10^{-14.0}$ atm.을 얻을 수 있다. 이 온도는 유체포유물의 균일화온도 측정에서 얻어진 광화Ⅱ기의 생성온도 235~295°C와 잘 일치함을 알 수 있다. Helgeson (1969)과 Seward(1973, 1976)의 열역학 data를 이용하여 에렉트럼의 조성과 온도의존성을 검토한 N. Skikazono (1981)에 의하면 여러가지 화학종의 농도와 pH가 크게 변하지 않는한 에렉트럼의 Au함유량은 온도가 내려감에 따라 낮아진다는 사실을 지적하고 있다. 본 광상의 에렉트럼은 Table 4, 5에서 보는 바와 같이 광화초기에서 후기로 감에 따라 Au의 함량이 현저하게 낮아지고 있다.

이와같은 사실은 유체포유물의 균일화온도가 광화초기에서 후기로 감에 따라 저하되는 현상과 잘 조화되고 있다.

**결 론**

- 1) 남성금·은광상은 중생대 청산화강암내에 발달한 N30°W, 70°SW 방향의 열극을 충전한 열수성 백상광상이다.
- 2) 모암의 변질로는 견운화작용이 현저하고 녹니석화, 탄산염화작용이 있다.
- 3) 광상의 생성시기는 합금석영맥이 본 지역에 분포하는 모든 맥암류를 관입하고 있어 백악기이후에 생성

되었을 것이다.

4) 광화기는 정출되는 특징적인 광물에 근거하여 크게 3기로 나눌 수 있다. 즉 I기는 황철석과 에렉트럼, 석영, Ⅱ기는 섬아연석, 황동석, 방언석, 휘은석, 에렉트럼, 황철석, 석영, Ⅲ기는 방언석, 에렉트럼, 휘은석, 농홍은석, 자연은, 미확인광물(Cu-Fe-Ag-S계광물)과 방해석, 형석, 침철석 및 석영이 정출되는 시기이다.

5) 유체포유물의 균일화온도는 I기는 355~280°C, Ⅱ기는 295~235°C 그리고 Ⅲ기는 275~225°C로 나타난다.

6) 섬아연석-휘은석-에렉트럼 공생관계에 있는 섬아연석과 에렉트럼의 화학조성으로부터 추정된 광화Ⅱ기의 유황의 fugacity는  $\log f_{S_2} = -11.5 \sim -14.0$ atm.이다. 생성온도는 225~285°C로서 광화Ⅱ기의 유체포유물의 균일화온도 영역과 거의 일치한다.

7) 에렉트럼을 광물공생관계에 따라 5type으로 나누었다.

A type은 광화 I기후반에 정출한 황철석, 석영과 공생관계를 갖는 것으로서 에렉트럼의 산출빈도는 46.3%로 가장 높으나 평균입자크기가 작은 관계로 산출량은 11.9%로 많지않다. 여기서 나타나는 에렉트럼의 화학조성은 평균 37.4atom% Au이다.

B type은 광화Ⅱ기초반에 정출한 섬아연석, 황동석, 석영과 공생관계를 갖는 것으로서, 에렉트럼의 산출빈도는 15.8%, 체적비는 1.6%, 평균화학조성은 36.7atom% Au이다.

C type은 광화Ⅱ기후반에 정출한 광물들과 공생관계를 갖는다. 에렉트럼의 산출빈도는 18.7% 체적비는 24.4%, 평균화학조성은 31.6atom% Au이다.

D type은 광화Ⅲ기에 정출한 광물들과 공생관계를 갖는다. 에렉트럼의 산출빈도는 3.3%, 체적비는 1.3%, 평균화학조성은 6.8atom% Au이다.

E type은 석영내에 단독으로 정출한다. 산출빈도는 15.5%, 체적비는 59.1%로서 평균입자 크기가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 평균화학조성도 48.3atom% Au로 어느 type보다 높은 금함량을 갖는다.

8) 초기에서 말기로 감에 따라 에렉트럼의 산출 빈도의 감소, 에렉트럼의 Au함량의 감소 및 온도의 저하가 뚜렷하다.

9) 에렉트럼의 평균입도( $D_0$ )는  $>177\mu m$  (+80mesh); 45.8%,  $177\sim 150\mu m$  (약 +100mesh); 5.3%,  $150\sim 100\mu m$  (약 +150mesh); 21.8%,  $100\sim 70\mu m$  (약 +200mesh); 11.8%,  $70\sim 60\mu m$  (약 +250mesh); 5.7%,  $60\mu m$  (-250mesh)  $>$ ; 9.2%를 나타낸다. 한편 에렉트

럼의 평균입도( $D_v$ )는 수반되는 광물에 따라 달라진다. 즉  $Qz \gg Py-Qz \gg Py-Sp \gg Py-Gn \gg Gn \gg Py-sulf \gg Py \gg Sp$ 의 순이다.

### 사 사

본 연구를 수행함에 있어 현지조사를 협조해주신 남성광산 현장수사장, 기기 사용 편의와 많은 참고자료를 제공해 주신 Penn. State. Univ.의 H.L. Barnes 교수, EPMA 분석을 도와준 연세대학교 조동룡석사, 가열현미경 사용을 허락해주신 서울대학교의 박희인교수, 본원고를 교람하시고 충고와 조언을 아끼지 않으신 고려대학의 소철섭교수께 진심으로 감사사를 드린다. 또 분석자료정리와 도면작성을 도와준 충남대 대학원생 최진우군에게도 감사드린다. 본연구의 일부는 이현구의 1986~87년도 한국과학재단의 박사학위 소지자 해외연수과정에서 수행한 한국 일부금은광상의 성인의 일환으로 수행되었음을 밝히며 과학재단에 감사한다.

### 參 考 文 獻

- Barton, P.B. and Toulmin, P. (1964) The electrometallurgical method for the determination of the fugacity of sulfur in laboratory sulfide systems. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 28, p. 619-640.
- Barton, P.B. and Toulmin, P. (1966) Phase relations involving sphalerite in the Fe-Zn-S system. *Econ. Geol.*, v. 61, p. 815-849.
- 대한광업진흥공사(1973) 한국의 광상. 제 6호, p. 116.
- 대한광업진흥공사(1983) 광상시추조사보고서. 제 6호. p. 62-63.
- Helgeson, H.C. (1986) Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. *Am. Jour. Sci.*, v. 267, p. 729-804.
- 廣渡文利, 田口幸洋(1978) EPMAによる自然金の定量分析, 日本金の銀鑛石第2集, p. 101-115.
- 김기봉 · 황재하(1986) 1/50000 영동지질도폭. 한국지질도. 자원개발연구소.
- 김동학 · 장태우 · 김원영 · 황재하(1978) 1/50000 옥천지질도폭, 한국지질도, 자원개발연구소.
- Lee, D.S. (1971) Study on the igneous activity in the Middle Ogcheon Geosynclinal Zone, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 7, No. 3, p. 153-216.
- 박노영 · 최진규 · 박성원(1986) 충청도 일원의 금은광상대함성인연구, 한국동력자원연구소연구보고 p. 387-435.
- Scott, S.D. and Barnes, H.L. (1971) Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Econ. Geo.*, v. 66, p. 653-669.
- Seward, T.M. (1973) The 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 solutions up to 350°C. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 40, p. 1329-1342.
- Shikazono, N. (1981) Chemical composition of electrum from the epithermal Au-Ag vein type and kuroko deposits in Japan and its controlling factors. *Mining Geol. Spec. Iss.*, v. 10, p. 259-267.
- Shikazono, N. (1986) A composition of temperatures estimated from electrum-sphalerite-pyrite-argentite-assemblage and filling temperatures of fluid inclusions from epithermal Au-Ag vein deposits in Japan. *Econ. Geol.*, v. 80, p. 1415-1424.