

忠淸北道 永同地域 金銀礦床의 金銀礦化作用에 관한 研究

崔善奎* · 池世定** · 朴性元**

Gold-Silver Mineralization of the Au-Ag Deposits at Yeongdong District, Chungcheongbuk-Do

Seon Gyu Choi, Se Jung Chi, Sung Won Park

Abstract : Most of the gold(-silver) vein deposits at Yeongdong District are mainly distributed in the precambrian metamorphic rocks. Based on the Ag/Au total production and ore grade ratios, the chemical composition of electrum and the associated sulfides, the gold(-silver) deposits at Yeongdong District may be classified into 4 classes : pyrrhotite-type gold deposits (I), pyrite-type gold deposits (II A; massive vein), pyrite-type gold deposits (II B; nonmassive vein) and argentite-type gold-silver deposits (III).

The chemical study on electrum(including native gold) revealed that Au content (2.8 to 92.4 atomic%) of electrums varies very widely for different classes of deposits. The Au content of electrum associated with pyrrhotite (Class I), ranging from 47.1 to 92.4 atomic% Au, is clearly higher than that associated with pyrite (Classes II A, II B and III). In contrast, classes I, II, and III deposits do not show clear differences in Au content of electrum. In general, pyrrhotite-type gold deposits (I) are characterized by features such as simply massive vein morphology, low values in the Ag/Au total production and ore grade ratios, the absence or rarity of silver-bearing minerals except electrum, and distinctively simple mineralogy. Although the geological and mineralogical features and vein morphology of pyrite-type gold deposits (II A) are very similar to those of pyrrhotite-type gold deposits (I), Class II A deposits reveal significant differences in the associated iron sulfide (i.e. pyrite) with electrum and Au content of electrum. The Ag/Au total production and ore grade ratios from Class II A deposits are relatively slightly higher than those from Class I deposits. Pyrite-type gold deposits (II B) and argentite-type gold-silver deposits (III) have many common features ; complex vein morphology, medium to high values in the Ag/Au total production and ore grade ratios and the associated iron sulfide (i.e. pyrite). In contrast to Class II B deposits, Class III deposits have significantly high Ag/Au total production and ore grade ratios. It indicates distinct difference in the abundance of silver minerals (i.e. native silver and argentite). The fluid inclusion analyses and mineralogical data of electrum tarnish method indicate that the gold mineralization of Classes I and II A deposits was deposited at temperatures between 230° and 370°C, whereas the gold(-silver) mineralization of Classes II B and III formed from the temperature range of 150°-290°C. Therefore, Classes I and II A deposits have been formed at higher temperature condition and/or deeper positions than Classes II B and III.

*韓國教員大學校 地球科學教育科(Dept. of Earth Sci. Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea)

**韓國動力資源研究所(Korea Institute of Energy and Resources, Garibong-Dong, Kuro-Gu Seoul, 152-600, Korea)

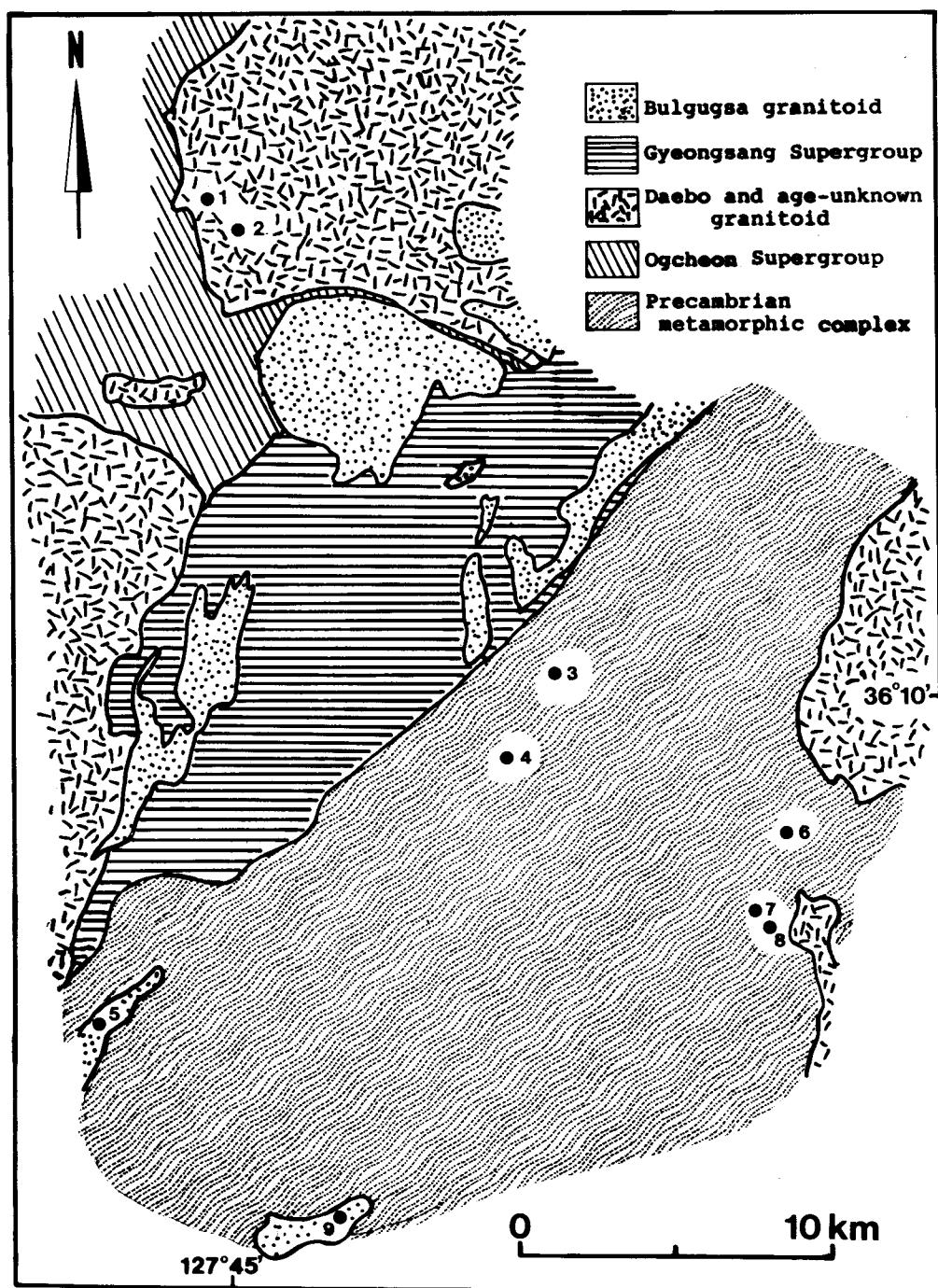


Fig. 1. Location map of the studied gold (-silver) deposits in the Yeongdong District.
Names of deposits (1–9) are given in Table 1.

서언

충청북도 영동지역은 금은광상이 밀집 분포되어 있는 지역으로 김영인 등(1982)에 의하면 약 30여개의 금은광상이 가행되었던 것으로 보고되고 있으며, 서무라 심베이(1927)는 청산·영동도록에서 약 100여개에 달하는 석영맥을 기재하고 있다. 김옥준(1970)은 북으로는 경북 상주군에서 충북 영동군을 거쳐 전북의 무주군, 진안군, 김제군에 이르는 지역을 설천광상구로 명명하고, 광상구의 분포 방향이 전체적으로 지나 방향을 보여주는 것으로 제시한 바 있다. 또한 이 광상구에 위치한 금은광상은 대보화성활동과 관련된 것으로 보고된 바 있으며(김옥준, 1971; 이민성, 1981), 최근 So et al. (1989)의 K-Ar 연대측정 결과에 의하면 대일광산과 영보가리광산의 광화시기가 145Ma와 132Ma로 대보화성활동에 의한 광상으로 확인되었다.

영동지역에 위치한 대부분의 금은광상은 1940년대 이전에 주로 개발되었으며, 최근에는 월유, 대일, 삼황학-M(본향), 삼황학-D(대일광산의 광구), 금포, 남성, 용화광산등에서 단속적인 가행 또는 탐광만을 수행하고 있다. 조사지역내에서 중요 생산실적이 보고된 광산으로는 삼황학-M(본향), 월유, 학산, 남성광산등이 있다.

영동지역의 지질에 대해서는 청산·영동도록(1927), 설천도록(1968), 무주도록(1980), 영동도록 지질보고서(1986)등이 발간되어 있다. 금은광상에 관해서는 Gallagher(1963), 김성수등(1973), 정영부와 문영환(1984), 박노영등(1986), 권병수등(1987)에 의하여 개략적으로 보고되어 있으며, 각 광산별로는 남성광산에 대한 광물학적 연구(이현구등, 1987)와 대일 및 영보가리 광산에 관한 성인연구(So et al., 1989)등이 있다.

이 연구에서는 영동지역에 분포하는 9개 금은광상을 대상으로 하여 광산부근의 지질, 광상의 산출상태, 광석광물의 공생관계, 유체포유물 등을 검토하여 각 광산의 금은광화작용에 대한 생성환경을 밝히고, 특히 애렉트럼의 산상 및 공생관계, 화학조성에 중점을 두어 금은광상들에 대한 상호특징을 규명하는데 그 목적이 있다.

지질광상 개요

설천광상구의 중앙부에 위치한 영동지역의 금은광상은 영동도록(1986)의 북동부에서 설천도록(1968)의 중

앙부와 무주도록(1980)의 남동부에 이르는 지역에 밀집 분포되고 있다. 특히, 대다수의 금은광산은 주로 소백산 변성암 복합체의 변성암내에 분포하는 특징을 보여주며, 극히 일부광산만이 화성암내에 배태되는 경향을 보인다. 영동지역의 지질은 소백산변성암 복합체에 속하는 선캠브리아기의 흑운모편마암, 화강편마암, 호상편마암, 편암등이 북동에서 남서 방향으로 기반암을 형성하며 넓게 분포하며, 백악기의 퇴적암인 영동층군이 중앙부에 위치하고 있다. 또한, 반상화강암, 북운모화강암 및 화강섬록암에 해당하는 대보 또는 시대미상의 화강암류와 백악기의 석영반암과 침괴암이 북서부에 넓게 분포하고 있으며, 부분적으로 옥천누층군의 변성암류 또는 평안누층군의 퇴적암을 관입하고 있다. Fig. 1은 이 연구에서 조사된 9개 금은광산의 위치를 표시한 것으로 변성암 복합체에 배태된 삼황학-M, 삼황학-D, 대일, 금포, 영보가리 광산과 화강암류내에 분포한 만명, 남성, 용화 광산과 석영반암 또는 침괴암에 배태된 학산 광산이 있다.

Table 1은 연구대상 광산에 대한 개요를 기재한 표로서 가행대상의 주성분 금속, 지시 금속(index metal), 주성분 Fe-S계 광물, 맥의 산상, 주변모암 등에 대한 내용이다. 연구대상 광산 중에서 7개 광산은 금광단일형 광상이며, 2개 광산(남성광산과 용화광산)만이 금은 혼합형 광상이다. 따라서, 영동지역에 위치한 대부분의 광상은 금을 위주로한 금광단일형 광상에 속하며, 특히 선캠브리아기의 변성암류를 모암으로 하여 배태되는 특징을 보여주고 있다.

함금은석영맥은 맥의 산상에 따라 massive vein과 nonmassive vein의 두가지 유형으로 구분된다. Massive vein은 주로 유백색 내지 회색을 띠는 치밀한 석영으로 구성되어 있고 간혹 리본구조를 보여주는 경우도 있으며, 주변모암은 비교적 미약한 견운모화 작용과 녹니석화 작용을 받고 있다. 그리고, 이러한 산출상태를 보여주는 광산으로 삼황학-M, 삼황학-D, 대일, 금포, 영보가리 광산이 있으며 공통적으로 선캠브리아기의 변성암을 모암으로 배태된다. Nonmassive vein은 일반적으로 호상구조, 빗살구조(comb structure), 각력상구조 및 정동 석영이 비교적 잘 발달되어 있고(Fig. 2), 변질 작용은 모암의 종류에 따라 다양한 변화를 보여주며 비교적 광범위한 범위에 걸쳐 영향을 주고 있다. 만명, 남성, 용화, 학산광산의 광맥이 이에 해당되며, 특히 학산광산에서 가행대상인 함금석영맥 주변부에 2-3mm정도의 세맥이 모암내에 무수히 발달되어 있다.

Table 1. Summary of gold-silver deposits in Yeongdong area

| No. | Name of mine | Major metals | Index metals | Main Fe-S mineral | Vein occurrence | Host rocks |
|-----|----------------|--------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Manmyeong | Au | Ag | PY | nonmassive | granite |
| 2 | Namseong | Au, Ag | | PY | nonmassive | granite |
| 3 | Yeongbogari | Au | Ag, Sb | PY | massive | gneiss, schist |
| 4 | Geumpo | Au | Ag | PO | massive | gneiss, schist |
| 5 | Hwagsan | Au | Ag | PY | nonmassive | quartz porphyry |
| 6 | Daeil | Au | Bi, Ag | PO | massive | gneiss, schist |
| 7 | Samhwanghwag-D | Au | Ag | PO | massive | gneiss, schist |
| 8 | Samhwanghwag-M | Au | Ag, Bi, Te | PO | massive | gneiss, schist |
| 9 | Yonghwa | Au, Ag | | PY | nonmassive | granite |

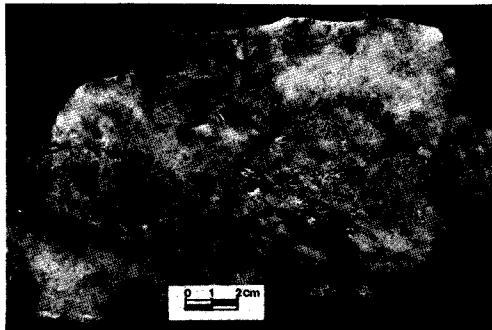


Fig. 2. Photograph showing the mode of occurrence of nonmassive vein. Pyrite-bearing quartz veins from Namseong mine are mainly characterized by brecciation, drusy cavities, crustification and comb structure.

광석의 금은비와 광석광물의 특징

영동지역의 금은광상에 대해서는 남성, 만명, 용화, 삼황학-D(대일광산의 광구), 대일, 확산광산의 항내채취 시료와 각 광산의 선광장, 폐석장의 시료를 대상으로 검토하였고, 항내조사가 불가능한 삼황학-M(본항), 영보가리 광산은 주로 폐석장의 시료를 대상으로 하였다. 영동지역의 금은광상에서는 공통적으로 에렉트럼이 산출되고 있지만 일부광산에서는 다량의 함은광물이 수반되고 있기 때문에 금은광화작용의 특성을 규명하기 위해서는 광산의 생산실적에 대한 금은비 또는 광석에 대한 금은비를 정량적으로 검토할 필요가 있다. 한국의 광상(1973)에 보고된 남성광산, 삼황학광산, 학산광산의 생산실적에 대한 금은비를 비교하여 보면(단,

여기서는 금과 은에 대한 생산실적이 모두 보고된 해 당년도 자료만 채택하였음), 에렉트럼을 제외한 함은광물이 육안으로 확인되지 않은 삼황학광산과 학산광산에 대한 Ag/Au 비는 0.26과 0.38로 낮은 수치를 보여주지만, 남성광산의 Ag/Au 비는 7.66으로 아주 높은 수치를 나타내고 있다. 또한 현재까지 보고된 광상시추 조사보고(1983, 1986, 1987)를 근거로 하여 각 광산에 대한 Ag/Au 비의 평균치를 검토한 결과 만명광산 광석의 Ag/Au 비는 0.87로써 비교적 낮은 수치를 보여주고 있지만, 남성광산과 용화광산은 각각 33.6과 50.2로 상당히 높은 수치를 나타내고 있다. 이러한 결과를 통하여 함은광물이 수반되는 광상에서 광석의 Ag/Au 비는 주로 함은광물의 종류 및 에렉트럼과의 상대적인 함량비에 좌우되지만, 함은광물이 거의 수반되지 않는 광상의 Ag/Au 비는 주로 에렉트럼의 화학조성에 따라 변화된다고 할 수 있다. 즉, 남성광산과 용화광산과 같이 에렉트럼 이외에도 다량의 휘은석, 자연운이 산출되는 광산에서는 광석의 Ag/Au 비가 현저하게 높은 수치를 보여주며, 그 변화 범위도 상당히 큰 폭으로 나타나고 있다. 따라서, 영동지역의 금은광상은 광석 또는 생산 실적에 대한 Ag/Au 비를 근거로 하여 금 위주의 금광 단일형 광상(삼황학-M, 삼황학-D, 영보가리, 학산, 만명광산)과 금과 은이 다량수반되는 금은혼합형 광상(용화, 남성광산)으로 구분될 수 있다.

영동지역의 금은광상은 공통적으로 아주 단순한 광물 조합군으로 주로 basemetal의 유화광물과 석영으로 구성되며, 일부 광산에서는 맥석광물로 소량의 형석, 방해석, 녹니석, 점토광물등이 산출되기도 한다. 금은 광산에서 산출되는 광석광물의 종류와 상대적인 양비를 보식적으로 도시하여 보면 Table 2와 같다. 이 논문에

Table 2. Ore minerals observed from Au-Ag deposits in the Yeongdong area

| Name of mines | po | py | mc | gl | cp | sp | ap | mt | bi | ar | ag | el | pg | jo | gr | Class |
|----------------|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-------|
| Samhwanghwag-M | *** | * | ** | * | * | * | | - | | - | - | - | - | - | I | |
| Samhwanghwag-D | *** | * | ** | * | * | * | | - | | - | - | - | - | - | I | |
| Daeil | *** | * | ** | * | * | *** | | - | - | - | - | - | - | - | I | |
| Geumpo | *** | * | ** | * | * | * | | - | | - | - | - | - | - | I | |
| Yeongbogari | * | *** | - | * * | - | ** | *** | - | - | - | - | - | - | - | IIA | |
| Hwagsan | *** | - | * | * | | * | | | | | | | | | IIB | |
| Manmyeong | - | *** | * | * | - | * | * | | | | | | | | IIB | |
| Namseong | - | *** | - | * | - | * | * | | | * | - | - | - | - | III | |
| Yonghwa | *** | | * | * | * | | | | | * | - | - | - | - | III | |

Abbreviations : *** = abundant, ** = moderate, * = little, - = rare.

ag = native silver, ap = arsenopyrite, ar = argentite, bi = native bismuth,
 cp = chalcopyrite, el = electrum or native gold, gl = galena, gr = graphite,
 jo = joseite, mc = marcasite, mt = magnetite, pg = pyrargyrite, po = pyrrhotite
 py = pyrite, sp = sphalerite.

서는 Au-Ag계 합금광물 중에서 EPMA 분석시 금의 함유량이 검출한계 이하로 나타나는 자연은을 제외하고는 에렉트럼으로 통칭하기로 한다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 이 지역의 금은광상에서 공통적으로 수반되는 주요 광석광물은 황철석, 섬아연석, 방연석, 황동석이며, 삼황학-M, 삼황학-D, 대일, 금포 광산의 함금석영맥에서는 황철석보다 자류철석이 특히 우세하게 산출된다. 자류철석이 우세하게 산출되는 삼황학-M, 삼황학-D, 대일, 금포, 영보가리 광산의 광맥은 호상편마암, 화강편마암, 편암등의 변성암을 모암으로 하여 배태하고 있으며, 특히 이들 광산의 광맥에서는 주로 모암과의 접촉부를 따라 유화광물과 함께 공통적으로 흑연이 수반되는 것을 흔히 볼 수 있다. 이러한 흑연이 산소분압을 낮추어 줌으로써 자류철석의 정출과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 또한 영보가리 광산의 광맥에서는 상술한 base metal의 유화광물 이외에도 다량의 유비철석이 수반되는 특징을 보여주고 있다.

삼황학-M, 삼황학-D, 금포, 대일광산산 광석은 공통적으로 다량의 자류철석을 수반하는데, 이들 광산의 에렉트럼은 주로 자류철석-백철석-섬아연석-방연석의 광물조합에서 특히 우세하게 산출되며(Fig. 3. A) joseite와 같은 Bi-Te-S계 광물과 수반되는 경우도 있다(Fig. 3. B). 또한 일부 에렉트럼은 유화광물과 공존하지 않고 석영입자의 접촉부를 따라 단독으로 산출되지만, 에렉트럼을 제외한 온광물의 존재는 확인되지 않는다. 즉, 이들 광상의 에렉트럼은 주로 자류철석

또는 자류철석에서 변질된 백철석과 함께 밀접한 공생관계를 보일뿐이며, 황철석과는 거의 공생하고 있지 않다.

용화, 학산, 남성, 만명, 영보가리 광산의 에렉트럼은 황철석-섬아연석-방연석의 광물조합이 공통적인 특징이지만, 상기 유화광물을 제외하고 각광산별로 에렉트럼과 공존하는 광물에서 약간의 차이를 보여주고 있다.

영보가리광산과 만명광산의 에렉트럼은 주로 유비철석, 황철석, 섬아연석의 경계부 또는 균열부를 따라 방연석과 함께 충진하며(Fig. 3. C), 간혹 섬아연석 내에 blebs상으로 존재하는 경우도 있다. 학산광산의 에렉트럼은 황동석-황철석-방연석의 광물조합군에서 특히 우세하게 산출되며(Fig. 3. D), 은광물의 존재는 확인되지 않는다. 그러나 다량의 함은 광물을 수반하고 있는 용화광산과 남성광산은 에렉트럼은 주로 황철석-섬아연석-휘은석-방연석의 광물공생관계에서 우세하게 산출되며(Fig. 3. E.), 간혹 에렉트럼 단독으로 정동석영의 빈 공간을 충진하는 경우도 있다. 이들 광산의 자연은은 주로 정동 또는 미세한 균열부를 따라 코일상, 필립상으로 산출되는데, 주로 휘은석-황철석-방연석의 광물조합을 보여주지만(Fig. 3. F), 에렉트럼과는 공존하지 않는다.

에렉트럼의 화학조성

영동지역의 금은광산에서 산출된 에렉트럼은 각 광산

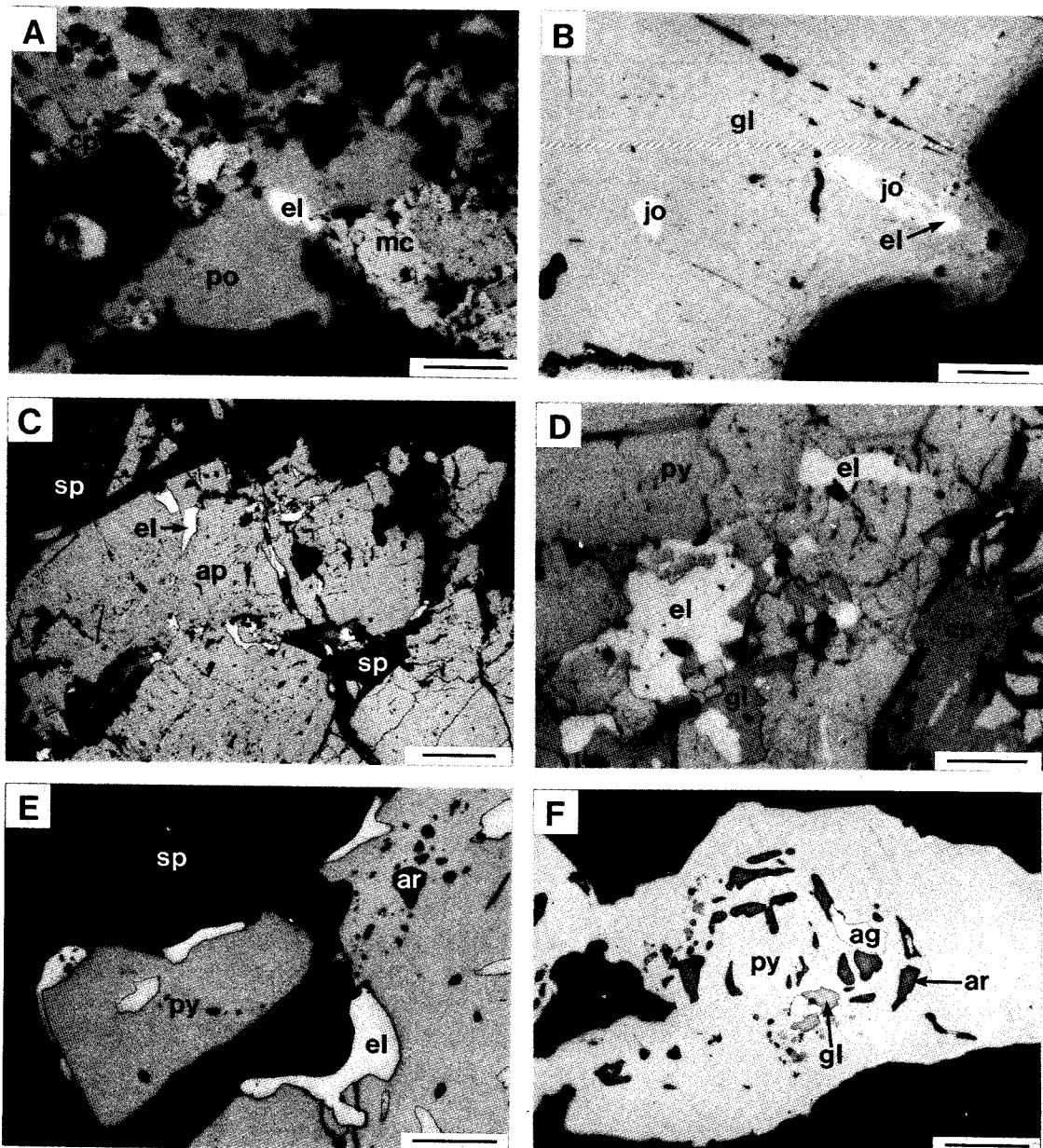


Fig. 3. Photomicrographs of polished sections showing the mode of occurrence of electrum and native silver in reflected light. A : Electrum closely associated with pyrrhotite, marcasite and chalcopyrite, Geumpo mine. B : Small electrum particle within jositite associated with galena, Samwanghwang-M mine. C : Electrum associated with galena and pyrite, generally along arsenopyrite and sphalerite grain boundaries, Yeongbogari mine. D : Electrum with galena governed by microfractures of pyrite and chalcopyrite crystal, Hwagsan mine. E : Electrum closely associated with argentite generally along pyrite and sphalerite grain boundaries. F : Coarse-grained pyrite with minute inclusions of native silver, argentite and galena, Yonghwa mine. Bar scale indicates $100\text{ }\mu\text{m}$ in length. See Table 2 for mineral abbreviations.

별로 또는 동일광산내에서도 공생광물과의 관계와 정출시기의 차이에 따라 황백색에서 백색까지의 색조의 변화와 반사도의 차이를 보여주고 있다. 이는 주로 에렉트럼의 금은에 대한 함량비율의 차이에 기인된 것으로 보고되고 있는데(Eales, 1967), 에렉트럼의 조성에 따른 분포 특징을 파악하기 위하여 각 광산별로 공생광물과 정출시기와 연관시켜 정량분석을 실시하였다. 에렉트럼의 화학분석은 연세 대학교 지질학과의 EPMA(Jeol Superprobe 733)에 의해서 수행되었고, 정성 및 정량분석은 가속전압 20kv 시료전류 PCD하에서 2×10Å조건으로 실시하였다. 정량분석은 정성분석시에 확인된 금은에 대해 분광결정 PET를 이용 AuM_a, AgI α 선으로 실시되었고, 특성 X-선의 정량성을 높이기 위하여 과고분석기의 differential mode 하에서 수행되었다. 그리고, 정량분석기 표준시료는 순금속의 Au, Ag를 사용하였다. 표준시료와 분석시료는 10초간 5회의 측정치를 평균하였고, 계수판의 불감시간에 대한 보정과 background보정을 한 후 일본전자의 M-GAF보정을 실시하였으나 만족할만한 값을 얻을 수 없어 Taguchi and Hirowatari(1976)에 의한 α -factor를 이용하여 보정하였다. 영동지역의 금은광상중 함금광물은 전부 Au-Ag계의 합금상태(electrum)로 산출되며, Cu·

Hg·Sb·Bi·Te·Pt등의 원소는 EPMA의 검출한계 이하이다.

영동지역의 9개의 금은광산에서 산출된 약250개의 에렉트럼에 대한 299점의 분석결과에 의하면 에렉트럼의 화학조성은 광산에 따라 다양한 조성 변화를 보여주고 있으며(Fig. 4), 이들 광산들에서 확인된 에렉트럼의 조성범위는 2.8-92.4 atomic% Au이며, 특히 10-80 atomic% Au 사이의 조성을 갖는 에렉트럼이 대다수를 차지하고 있다. 에렉트럼의 Au 함량은 삼황학-M, 삼황학-D, 대일, 금포, 학산광산산 에렉트럼이 전반적으로 높은 경향을 보여주고 있는데, 상기 광산중에서 학산광산을 제외하고는 에렉트럼과 자류철석이 밀접한 공생 관계를 갖고 있다. 이들 자류철석과 공존하는 에렉트럼의 조성범위는 47.1-92.4 atomic % Au로 비교적 적은 변화를 보이고 있으며, 이 중에서도 유화광물의 공존없이 석영중에 단독으로 산출되는 에렉트럼이 비교적 높은 금함량을 갖고 있다. Fig. 5는 자류철석과 밀접한 공생관계를 갖는 광산에 대한 에렉트럼의 금함량(atOMIC% Au)과 빈도수의 관계를 도시한 것으로 이들 광산중에서도 특히 삼황학-M 광산산 에렉트럼이 타 광산에 비하여 비교적 높은 금함량의 분포 양상을 보여주고 있다.

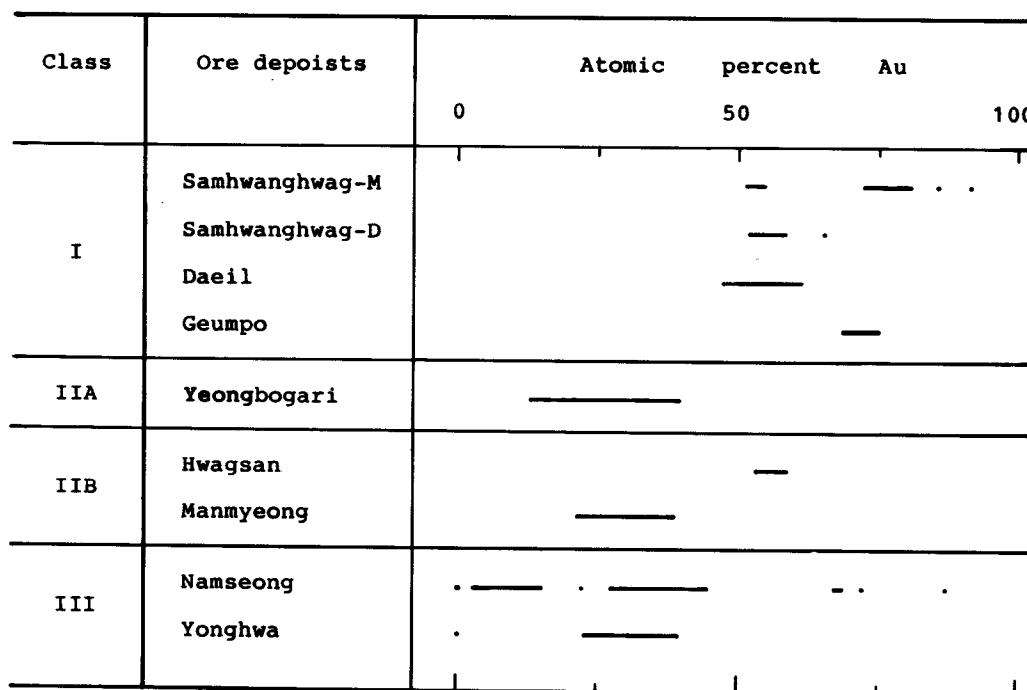


Fig. 4. Au content (atomic %) of electrum from the studied gold (- silver) deposits in the Yeongdong District.

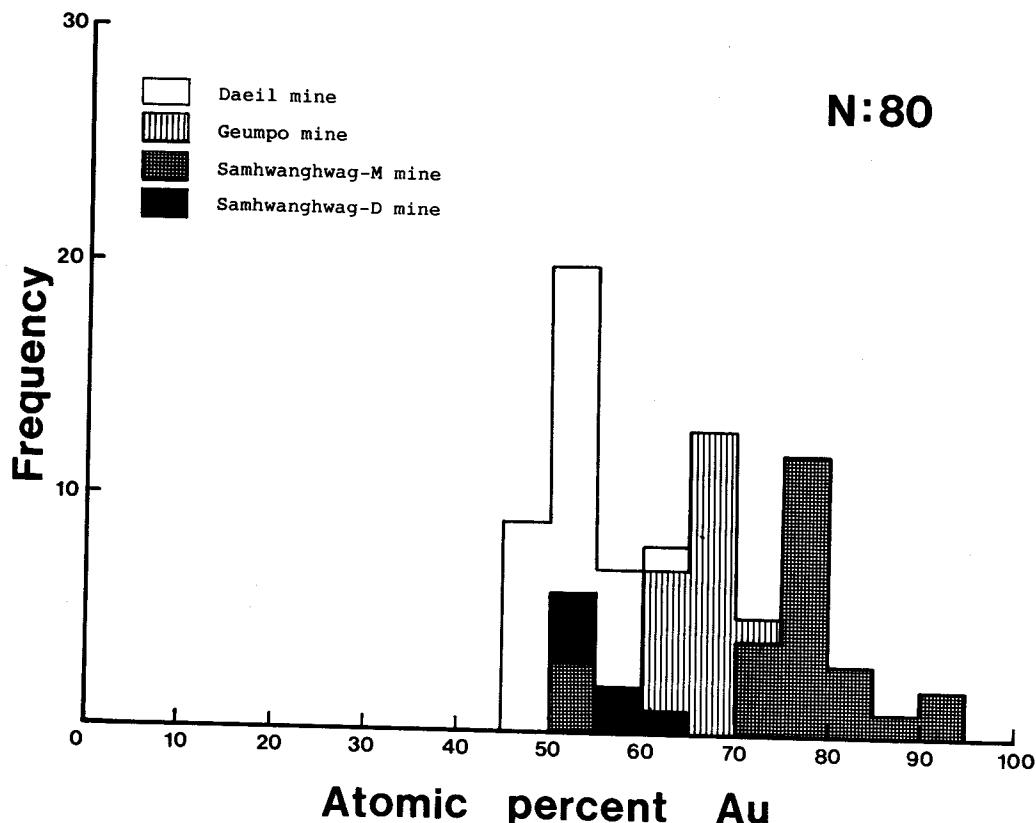


Fig. 5. Frequency histogram (numbers of analyses) for Au content (atomic%) of electrum from Daeil, Geumpo, Samhwanghwag-M and Samhwanghwag-D mines closely associated with pyrrhotite.

영보가리, 학산, 만명 광산과 같은 금광단일형과 용화, 남성 광산과 같은 금은혼합형 광산의 에렉트럼은 공통적으로 황철석과 밀접한 공생관계를 보여주고 있으며, 이들 유형간에 에렉트럼은 각 광산별로 약간의 차이는 있지만 전반적으로 유사한 금함량 분포를 보여주고 있다(Fig. 4). 이들 유형의 조성범위는 2.8–86.9 atomic % Au로 자류철석과 공존하는 에렉트럼에 비하여 현저한 조성 변화를 나타내고 있다. Fig. 6은 황철석과 에렉트럼이 공존하는 광산에 대하여 에렉트럼의 금함량(atOMIC% Au)과 빈도수의 관계를 각 광산별로 비교한 것이다. 이들 광산 중에서도 영보가리와 용화광산의 에렉트럼은 타광산에 비하여 비교적 낮은 금함량의 분포양상을 보여주고 있다. 일반적으로 동일광산의 에렉트럼은 약 20–30 atomic % Au 정도의 조성 차이를 보여주고 있지만, 입자내의 조성은 거의 균질한 상태이므로 각 광산에서 에렉트럼의 조성변화는 주로 입자간의 성분차이에 의한 것이다.

남성광산은 에렉트럼의 금함량은 2.8–86.9 atomic % Au로 다른 광산에 비하여 예외적으로 심한 조성변화를 보여주고 있는데, 이러한 에렉트럼의 금함량의 변화는 주로 공존 광물의 유형에 따라 좌우되는 경향을 나타내고 있다. 즉, 유화광물의 수반됨이 없이 석영내에 단독으로 존재하는 에렉트럼(Type A)은 금의 주광화기의 속하는 황철석과 공존하는 에렉트럼(Type B)에 비하여 높은 금함량을 보여주고 있으며 (Fig. 6), 이들 에렉트럼은 후기 은광화작용시 은함유량이 높은 에렉트럼(Type C)으로 교대 되어 있다. 이러한 사실은 반사현미경의 관찰 또는 EPMA의 면분석과 선분석을 통하여 쉽게 인지된다. Fig. 7은 현저한 조성차이를 갖는 에렉트럼에 대한 EPMA의 면분석과 선분석 결과로 주 금광화기에 정출된 에렉트럼(Type B)이 입자 사이의 경계부를 따라 은함량이 높은 에렉트럼(Type C)으로 교대된 양상을 보여주고 있다. 따라서 남성광산 에렉트럼의 금함량은 주로 정출시기의 차이로 인하여 조성변화

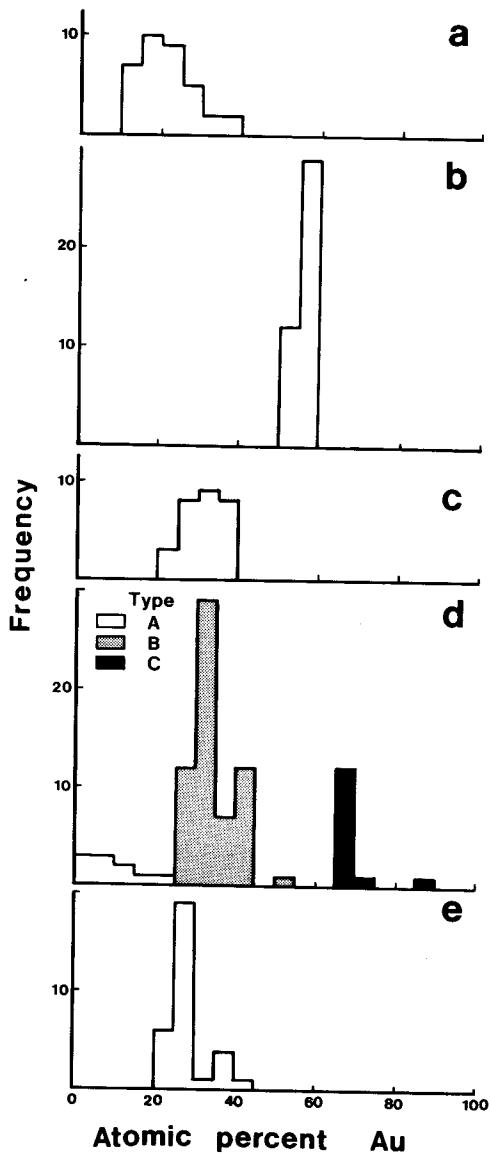


Fig. 6. Frequency histograms(numbers of analyses) for Au content(atomic %) of electrum from Yeongbogari (a), Hwagsan (b), Manmyeong (C), Namseong (d) and Yonghwa (e) mines closely associated with pyrite.

가 야기된 것을 알 수 있다.

광상의 분류

영동지역의 9개 금은광상에 대하여 금은 생산량 또는 광석품위에 대한 Ag/Au 비, 맥의 산상, 에렉트럼과 밀접한 공생관계를 갖는 Fe-S계 광물, 함은광물의 종류를 근거로 하여 종합적으로 비교검토하여 보면, 이들 금은광상은 다음과 같은 4유형으로 분류요약된다.

- 자류철석형 금광상(I):** 광맥은 괴상 석영으로 되어 있고, 광석광물은 주로 자류철석, 섬아연석, 방연석, 백철석등으로 비교적 단순한 유화광물로 구성된다. 에렉트럼을 제외한 함은광물은 전혀 관찰되지 않기 때문에 광석의 Ag/Au 비는 에렉트럼 중의 금·은 함량에 따라 좌우되며, 전체적으로 일정하게 낮은 수치를 나타낸다.
- 황철석형 금광상(IIA):** 광맥은 괴상 석영으로 되어 있고, 광석광물은 주로 황철석, 섬아연석, 방연석, 유비철석 등의 비교적 단순한 유화광물로 구성되는데 에렉트럼 이외에도 소량의 함은광물을 포함하는 경우도 있다. 광석의 Ag/Au 비는 주로 에렉트럼 중의 금·은 함량에 따라 좌우된다. 즉 II A형 광석의 Ag/Au 비는 II A형 에렉트럼이 I형 에렉트럼에 비하여 금 함량이 낮기 때문에 I형 광석의 Ag/Au 비에 비하여 약간 높은 경향을 보여준다.
- 황철석형 금광상(erb):** 광맥은 전반적으로 정동석영, 호상구조, 빗살구조, 각력상구조 등이 비교적 잘 발달되어 있고, 광석광물은 주로 황철석, 섬아연석, 방연석, 황동석 등으로 구성된다. 광석의 Ag/Au 비는 주로 에렉트럼 중의 금·은 함량에 의해서 좌우되는데, II A형 광석의 Ag/Au 비와 유사한 수치를 보여준다.
- 휘은석형 금은광상(III):** 광맥은 전반적으로 정동석영, 호상구조, 빗살구조, 각력상구조 등이 현저하게 잘 발달되어 있고, 광석광물은 주로 황철석, 섬아연석, 방연석 등으로 구성되어 에렉트럼 이외에도 다량의 휘은석, 자연은을 수반하고 있다. 함은광물과 에렉트럼의 함량비에 따라 광석의 Ag/Au 비가 좌우되기 때문에, III형 광석의 Ag/Au 비는 I, II A, II B형의 광석의 Ag/Au 비에 비하여 상당히 높은 수치를 나타내며, 그 변화도 심한 편이다.

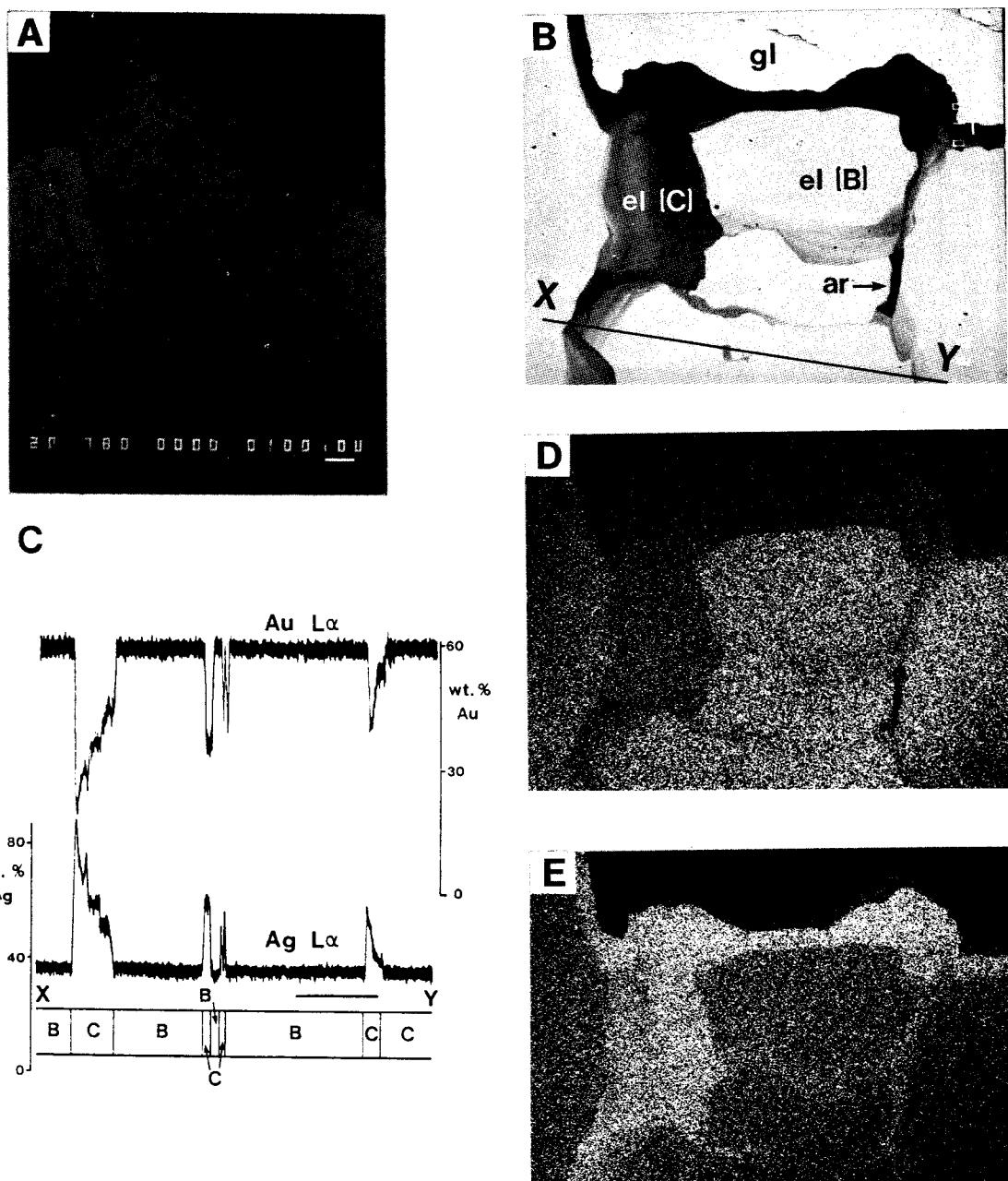


Fig. 7. Back-scattered electron images, linear scanning profile and corresponding X-ray images showing the textural features of electrum(type B) of main gold-silver mineralization replaced by Ag-rich electrum(type C) during late silver mineralization. A : Back scattered electron image for electrum (type C) occurring as partial replacement bodies along the grain boundaries of electrum (type C). B : Back-scattered electron image of the area of rectangle marked in A. White bar scale indicates 100 μm in length. See Table 3 for mineral abbreviations. C : The linear scanning profiles from characteristic X-rays along the line X-Y marked in B. Heterogeneous electrums(type C) show a wide range in compositional variation. D : Au L_α X-ray emission image. E : Ag M_α X-ray emission image.

금은광상의 생성환경

영동지역의 금은광상에 대한 생성환경의 규명은 광물의 광물공생군에 의한 상평형 관계 및 유체포유물의 연구를 통하여 금은광화작용시의 생성온도와 유황분압을 추정할 수 있다.

영동지역의 금은광상중에서 용화광산과 남성광산 광석에서는 황철석-휘은석-섬아연석-에렉트럼의 광물공생관계를 자주 보여주고 있는데, 이는 Barton and Toulmin (1964), Scott and Barnes(1971), Barton and Skinner(1979)등이 제시한 결과에 상기 공생관계를 적용함으로써 금은광화작용시의 생성환경을 규명할 수 있다. 따라서 이를 광산의 섬아연석과 에렉트럼에 대하여 EPMA 분석을 실시 각각의 화학조성을 구하였다. 용화광산 산 섬아연석의 FeS 함량은 0.1~6.8 mole%이고, 에렉트럼의 은함량(NAg)은 0.6~0.77이다. 남성광산 산 섬아연석의 FeS 함량은 0.9~7.1 mole%이고, 에렉트럼의 은함량(NAg)은 0.55~0.72이다. 이를 Shikazono(1985)가 제시한 식에 대입하면, 용화광산의 금은광화기에 대한 생성온도와 유황분압은 140°~274°C, 10⁻¹¹~10⁻¹⁴atm이며, 남성광산에서는 167°~295°C 10⁻¹¹~10⁻¹⁴atm이다. 또한 이를 광상의 후기 은광화기는 자연은-휘은석-황철석의 광물공생관계를 보여주고 있으므로 이를 광물조합군에 대한 생성온도와 유황분압은 150°~190°C와 10⁻¹⁶~10⁻¹⁹atm으로 추정될 수 있다.

유체포유물의 연구는 각 유형별로 삼황학-M, 금포, 만명, 용화, 남성광산에 대하여 석영을 대상으로 균질화온도를 검토하였고 초생포유물로 보이는 것만을 대상으로 하였다. 이 연구에서는 한정된 시료에서만 수행되었기 때문에 정출시기에 따른 온도 변화는 고려하지 않고 있다. 5개 광산의 유체포유물은 상온에서 관찰된 상의 종류와 충진도에 따라, I, II, III형 포유물로 분류되는데, I형 포유물은 액상포유물, II형 포유물은 기상포유물, III형 포유물형은 고상을 함유한 액상 포유물이다. 용화광산과 만명광산 산 석영은 I형 포유물만이 산출되며, 금포광산과 남성광산에서는 다량의 I형의 포유물과 함께 극소량의 II형 포유물이 산출된다. 삼황학광산에서는 다량의 I형 포유물과 소량의 III형 포유물만이 산출된다. 이 연구에서 측정된 유체포유물의 균질화온도와 So et al. (1989)에 의해서 보고된 대일광산과 영보가리 광산에 대한 유체포유물의 균질화온도는 Table 3과 같다.

용화광산의 유체포유물에 대한 균질화온도는 210°~298°C이며, 남성광산에서는 195°~279°C이다. 이 온도는 남성광산에 대해서 이현구등(1987)이 제시한 석영의 균질화온도와도 잘 일치하고 있다. 따라서, 이러한 종합적인 검토결과를 통하여 금은광상인 용화광산과 남성광산이 금은광화기에서 말기 은광화기로 변화됨에 따라 온도와 유황분압이 점차 낮아졌음을 알 수 있다.

금광단일형에 속하는 삼황학-M, 대일, 금포, 영보가리 광산에 대한 유체포유물의 균질화온도는 대체로 230°~370°C로 금은혼합형인 용화, 남성에 비하여 60°~70°C정도 높은 경향을 보여주고 있다. (So et al, 1989) 또한 남성광산과 인접한 만명광산은 남성광산과 비교하여 볼 때 광물공생관계에서 약간의 차이를 나타

Table 3. Data on fluid inclusion of Au-Ag deposits in the Yeongdong area

| Name of mines | Stage* | Host min. | Inclusion type** | Th(°C) range | peak | NaCl equiv. wt% | Reference |
|------------------|------------|-----------|------------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|
| Samhwanghwag - M | | Q | I>>>III | 230~350 | 295 | | |
| Daeil | | Q | I>>>II | 246~375 | 355 | 3.1~9.1 | So et al.(1989) |
| Geumpo | | Q | I>>>II | 211~349 | 280 | | |
| Yeongbogari | I | Q | I>>>II | 246~372 | 320 | 2.6~7.4 | So et al.(1989) |
| | II | C | I | 240~329 | 265 | 4.0~7.4 | So et al.(1989) |
| Manmyeong | | Q | I | 206~285 | 240 | | |
| Namseong | | Q | I>>>II | 195~279 | 235 | | |
| | I, II, III | Q | | 225~355 | 255 | | Lee et al. (1987) |
| Yonghwa | | Q | I | 210~298 | 245 | | |

* Stage I=early stage ; Stage II=late stage.

** Type I=liquid-rich inclusion ; Type II=gas-rich inclusion ; Type III=polyphase inclusion

Abbreviations : C=calcite ; Q=quartz.

내지만, 맥의 산상이 동일하고 유체포유물의 균질화 온도가 일치하고 있다. 따라서 만명, 남성광산의 맥의 산상과 유체포유물의 균질화 온도등을 근거로 하면, 이들 광산은 동일한 광화작용의 대상 분포에 기인된 것으로 만명광산은 남성광산에서처럼 후기의 은광화작용이 계속되지 않은 것으로 사료된다.

영동지역 금은광상의 상기 생성환경은 각 유형별로 박노영 등(1986), So et al. (1987a), So et al. (1987b), So and Shelton(1987), 최선규 등(1988)에 의해서 보고된 충주지구, 음성지구, 천안지구, 금산지구의 금은광상에 대한 생성 환경과도 유사한 특징을 보여주고 있다. 즉, 영동지역의 자류철석형 금광상(I)은 충주지구의 태창 및 보련 광산과, 황철석형 금광상(II A)은 천안지구의 일보 및 대홍 광산과, 황철석형 금광상(II B)은 전의 및 주우진산 광산과, 희은석형 금은광상(III)은 청주광산과 비교적 잘 일치되고 있다.

결언

충청북도 영동지역에 분포하고 있는 9개 금은광상을 중심으로 하여, 광맥의 산상, 광석광물의 공생관계, 에렉트럼의 산출상태 및 화학조성, 유체포유물 등을 실험 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 영동지역의 금은광산은 주로 소백산 변성암 복합체에 속하는 선캠브리아기의 변성암류 등을 모암으로 하여 배태되는 특징을 보이며, 금은 생산량 또는 광석 품위에 대한 Ag/Au 비를 기준으로 비교하여 보면 Ag/Au비가 낮은 금광단일형 광상과 Ag/Au 비가 비교적 높은 금은혼합형 광상으로 양분된다. 영동 지역에서는 대다수의 광상이 금광단일형 광상으로 삼황학, 대일, 금포, 영보가리, 학산, 만명광산이 이 유형에 속하며, 금은혼합형 광상으로는 남성, 용화광산이 있다. 그리고, 금은혼합형 광상은 대상광산 전부가 선캠브리아기의 변성암 이외의 암석을 모암으로 하여 배태되는 경향을 보여주고 있다.
2. 금은광상의 광석광물은 주로 base metal의 유화광물(자류철석 또는 황철석-섬아연석-방연석-황동석-에렉트럼)로 비교적 단순한 공생관계를 보여주며, 유화광물의 양도 비교적 적은 편이다. 금광단일형 광상에서 에렉트럼과 공존하는 Fe-S계 광물은 광산에 따라 자류철석 또는 황철석이지만, 특히 금은혼합형 광상에서 에렉트럼과 공존하는 Fe-S계 광물은 단지 황철석 뿐이다. 그리고, 이 지역의 금은혼합형 광상에서 산출되는 함은광물

은 주로 자연은, 희은석으로 구성된다.

3. 에렉트럼의 금함유량은 광산별로 심한 조성차이를 보여주고 있는데, 자류철석과 공존하는 에렉트럼의 금함량은 47.1~92.4(평균치: 64.97) atomic%로 황철석과 공존하는 에렉트럼(2.8~86.9(평균치: 36.52) atomic%Au)에 비하여 비교적 높은 경향을 나타내며 그 변화폭도 비교적 적은 편이다.
4. 9개 금은광산들은 광맥의 산상, 광석의 Ag/Au 비, 광물공생관계, 에렉트럼의 산출상태 및 화학조성 등을 근거로 하여 I형 광상(자류철석형 금광상; 삼황학, 대일, 금포광산), II A형 광상(황철석형 금광상(massive vein); 영보가리 광산), II B형 광상(황철석형 금광상(nonmassive vein); 학산, 만명광산), III형 광상(희은석형 금광상; 용화, 남성광산)의 4유형으로 세분된다. 즉, I, II A, II B형 광상은 금광단일형 광상에 해당되며, III형 광상은 금은혼합형 광상에 속한다.
5. 광석광물의 공생관계 및 유체포유물의 연구를 통하여 금은광상에 대한 생성온도를 검토한 결과, I형 광상인 삼황학, 대일, 금포 광산과 II A형 광상인 영보가리광산의 유체포유물의 균질화온도는 230°~370°C로 대체로 유사한 온도범위를 나타내며, 이들 광산은 중열수 내지 심열수 광상에 해당된다. 또한, II B형 광상인 만명광산과 III형 광상인 용화, 남성 광산의 유체포유물의 균질화 온도 및 황철석-희은석-섬아연석-에렉트럼 또는 황철석-희은석-자연은의 광물공생관계에서 구한 생성온도는 150°~290°C로 이들 광상은 대체로 천열수 내지 중열수 광상에 속한다.

사사

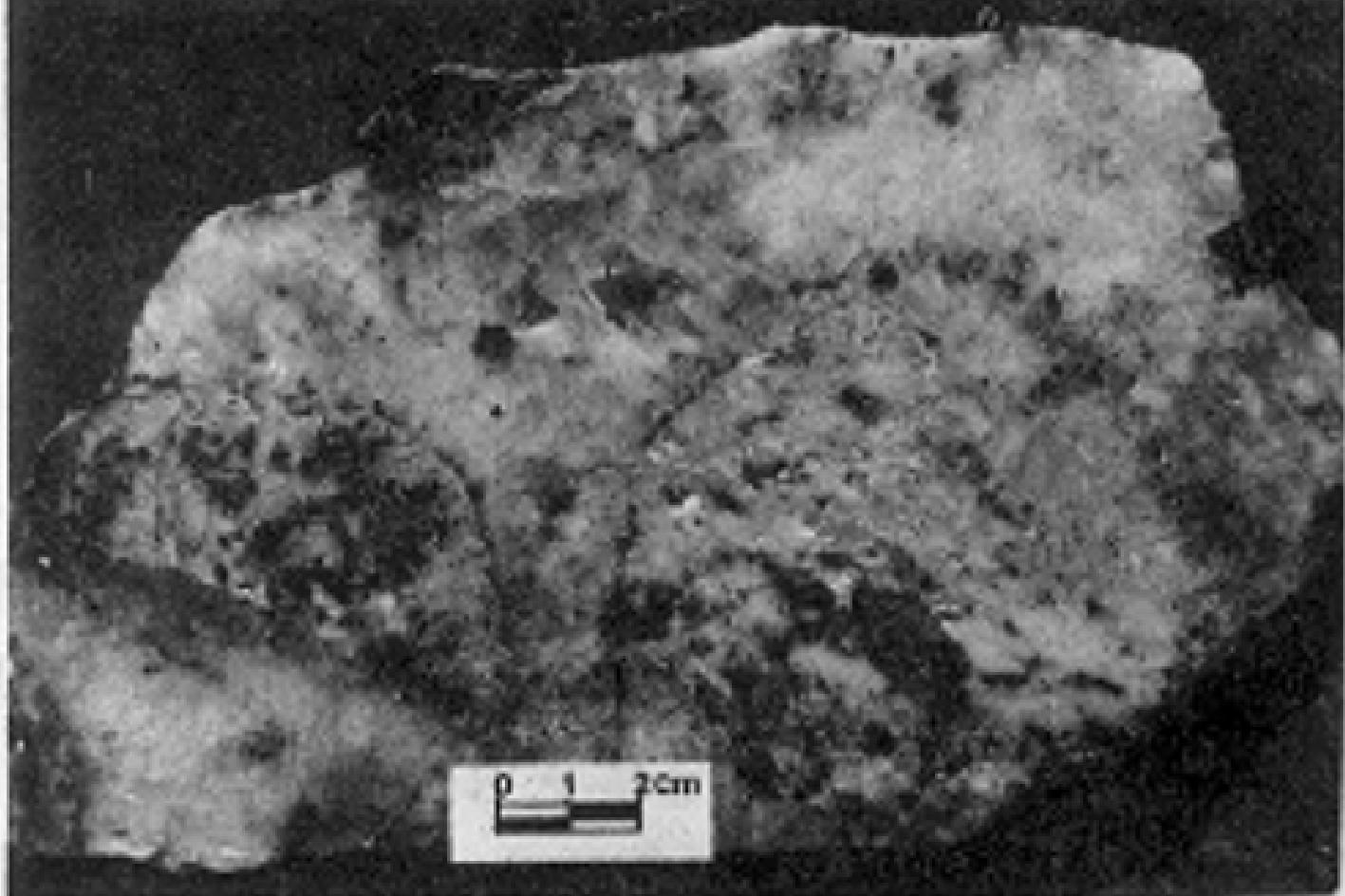
이 연구를 수행하는데 도움을 주신 남성, 만명, 대일, 영보가리, 용화 광산의 관계자 여러분과 가열현미경 사용에 도움을 주신 고려대학교의 소칠섭 교수와 EPMA 분석을 도와준 와세다대학교의 Mr. S. Kinouchi 와 연세대학교의 홍세선, 조동룡 석사에게 감사를 드린다.

이 연구는 한국과학재단의 1986~1988년도 신진연구비에 의해서 수행된 연구의 일부이며, 연구비를 지원해 준 당재단에 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- Barton, P. B., Jr. and Skinner, B. J. (1979) Sulfide mineral stabilities. In *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (H. L. Barnes, ed.), Wiley-Interscience, New York, p. 278-403.
- Barton, P. B., Jr. and Toulmin, P., III. (1964) The electrum-tarnish method for the determination of the fugacity of sulfur in laboratory sulfide systems. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 28, p. 619-640.
- 최선규·박노영·박성원(1986) 충청도 동북부 대창 보령 금왕광산의 금은광화작용. *광산지질*, 제 19 권, 특별호, p. 193-206
- 최선규·박노영·홍세선(1988) 충청도 일원의 금은 광상에 대한 광물학적 연구. *광산지질*, 제21권, 제 3호
- 손세조·이원태·김관수(1987) *광산시추조사보고*. 대한광업진흥공사, 제10호, 716p.
- 정경식·왕규택·김기동·황해결·손정우·최동호 (1983) *광산시추조사보고*. 대한광업진흥공사, 제 6호, 536p.
- Eales, H. V. (1967) Reflectivity of gold and gold-silver alloys. *Econ. Geol.*, v. 62, p. 412-420.
- Gallagher, D. (1963) Mineral resources of Korea. Issued by Mining Branch, Industry and Mining Div. USOM/Korea. In cooperation with Geol. Surv. Republic of Korea. v. 3, p. 7-19.
- 홍승호·이병주·김원영(1980) 무주 지질도록 설명서. 한국동력자원연구소
- 권병수·왕규택·박명호·황해결·김준호·정영부·정동화·문영환·강홍석·강백규·김성석(1987) 한국의 광상. 대한광업진흥공사, 제11호, 1012p.
- 김기동·손세조(1986) *광산시추조사보고*, 대한광업 진흥공사, 제9호, 679p.
- 김동학·이병주(1986) 청산도록 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- 김규봉·황재하(1986) 영동도록 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- 김옥준(1970) 남한의 금은광상구. *광산지질*, 제3권, 제3호, p. 163-167.
- 김옥준(1971) 남한의 신기화강암류의 관입시기와 지각변동. *광산지질*, 제4권, 제1호, p. 1-9.
- 김성수·진정주(1973) 한국의 광상. 대한광업진흥공사. 제5호, 376p.
- 김영인·이경한·김동문·최결·김정완·조용성 (1982) 경비 금광산요람, 한국동력 자원연구소, 606p.
- 이현구·김상중·최선규(1987) 남성 금광산산 예택 트럼의 산상. *광산지질*, 제20권, p. 223-234.
- Lee, M. S. (1981) Geology and metallic mineralization associated with Mesozoic granitic magmatism in south Korea. *Mining Geol.*, v. 31, p. 235-244.
- 박노영·최선규·박성원(1986) 충청도 일원의 금은 광상에 대한 성인연구. *금속광상조사연구*, 86-10, 한국동력자원연구소, p. 387-435.
- Scott, S. D. and Barnes, H. L. (1971) Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Econ. Geol.*, v. 66, p. 653-669.
- Shikazono, N. (1986) A comparison 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.
- 시무라 심베이(1972) 청산·영동도록. 조선총독부 지질조사소.
- So, C. S., Chi, S. J. and Shelton, K. L. (1987a) Stable isotope and fluid inclusion studies of gold-silver-bearing vein deposits, Cheonan-Cheongyang-Nonsan mining district, Republic of Korea. Nonsan area. *Neues Jb. Min. Abh.*, v. 158, p. 47-65.
- So, C. S., Chi, S. J. and shelton, K. L. (1987b) The Jeoneui gold-silver mine, Republic of Korea: A geochemical study. *Mining Geol.*, v. 37, p. 313-322.
- So, C. S., Yun, S. T., Choi, S. H., and Shelton, K. L. (1989) Geochemical studies of hydrothermal gold-silver deposits, Republic of Korea: Youngdong mining district. *Mining Geol.*, v. 39 (in press).
- So, C. S., and Shetton, K. L. (1987) Stable isotope and fluid inclusion studies of gold-silver bearing hydrothermal vein deposits, Cheonan-Cheongyang-Nonsan mining district, Republic of Korea: Cheonan area. *Econ. Geol.*, v. 82, p. 987-1000.
- Taguchi, S. and Hirowatari, F. (1976) Quantita-

tive electron microanalysis of electrum by Bence
and Albee method. J. Min. Soc. Japan, v.12,
Special Issue, p. 82-85.



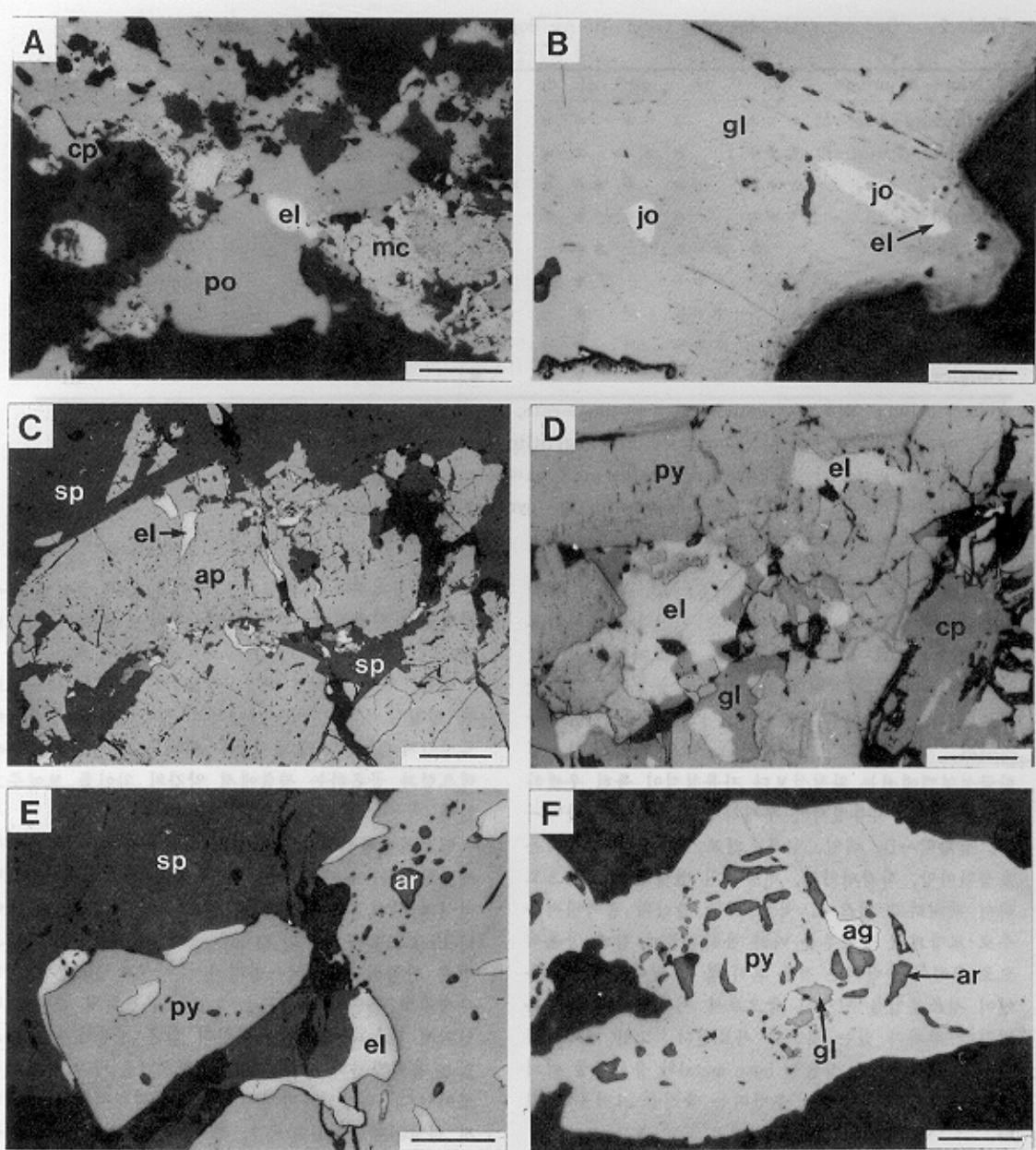


Fig. 3. Photomicrographs of polished sections showing the mode of occurrence of the main minerals.

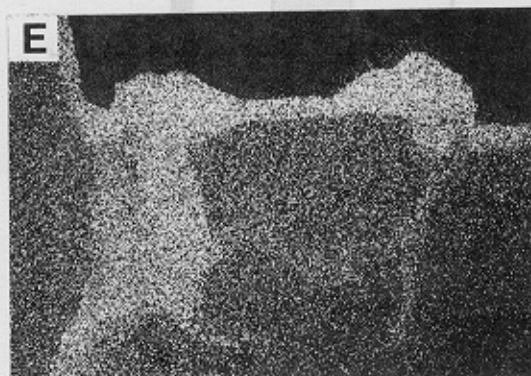
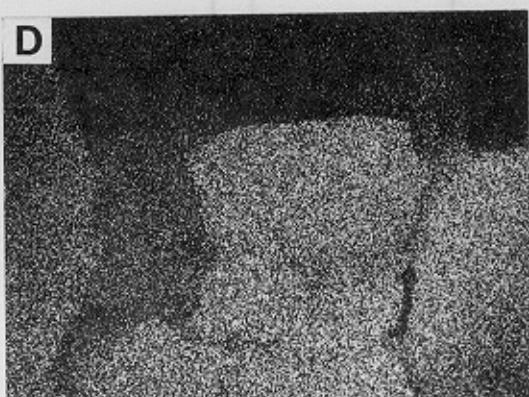
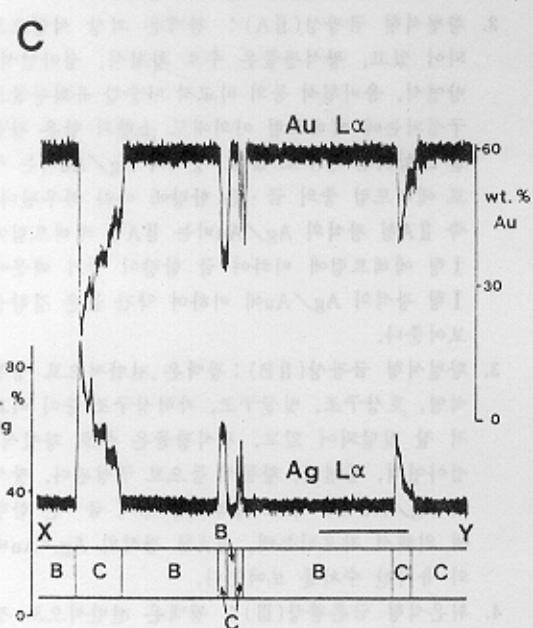
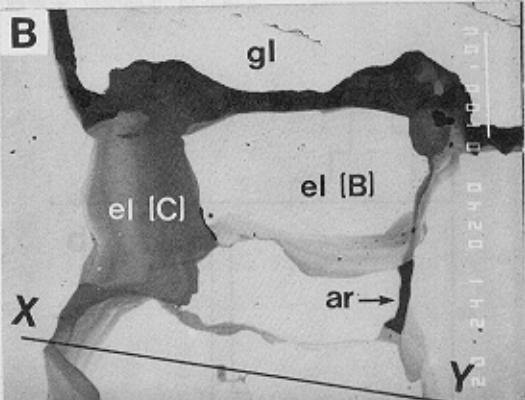
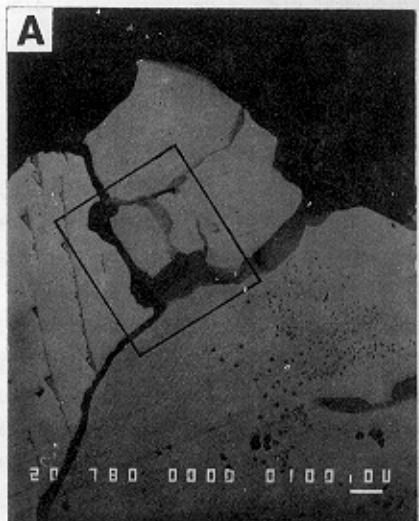


Fig. 3. Results of the electron probe microanalysis (EPM) of the cross-sections (gl) and corresponding X-ray images showing