

金嶺 및 基邱礦床의 銅礦化作用

朴喜寅* · 薛龍九*

The Copper Mineralization of the Keumryeong and Kigu Ore Deposits

Hee-In Park* and Yongkoo Seol*

ABSTRACT: The Keumryeong deposits is a low grade copper deposits in which copper minerals form disseminated grains and thin veinlets in felsic volcanics seem to be dacite. Alteration of the volcanics consists mainly pervasive propylitization and silicification. Potassic alteration characterized by biotite developed locally adjacent to southwestern contact of granodiorite body.

Principal sulfide minerals in altered zone are mainly pyrite and lesser chalcopyrite. Chalcopyrite content in potassic zone is relatively higher than that of surrounding propylitized zone. Pyrite and chalcopyrite accompanies magnetite, molybdenite, sphalerite, pyrrhotite, arsenopyrite, pentlandite, marcasite, hematite, ilmenite, rutile, bismuthinite and native Bi as disseminations, veinlets and knots. Granodiorite body is propylitized and contains veinlets of pyrite, chalcopyrite and molybdenite.

Fluid inclusions in sulfide-bearing quartz veinlets and quartz grains of felsic volcanics and granodiorite in altered zone consist of liquid-rich, vapor-rich, CO₂-bearing and halite-bearing inclusions. These four types of inclusion intimately associated on a microscopic scale and indicate condensing or boiling of ore fluid during mineralization. Homogenization temperature of coexisting fluid inclusions are mostly in the range of 350 to 450°C. High salinity fluid contains 28.6 to 48.4 weight percent NaCl equivalent and moderate salinity fluid contains 0.5 to 12.5 weight percent NaCl equivalent. Pressure estimated from CO₂ mole fraction of CO₂-bearing inclusion range 160 to 375 bars.

The Kigu copper deposits is a fissure filling copper vein developed 500 m south from the Keumryeong deposits. Mineralogy and fluid inclusion data of the Kigu deposits are similar to that of the Keumryeong deposits. Homogenization temperature of fluid inclusions from the Kigu deposits are reasonable agreement with temperature estimated from sulfidation curve of cubanite-chalcopyrite-pyrite-pyrrhotite and pyrite-pyrrhotite mineral assemblages.

Not only mineral occurrence and wall rock alteration in the Keumryeong deposits but also fluid inclusion data such as temperature, salinity, pressure and boiling evidences are similar to those of porphyry copper deposits.

서 언

금령동광상 (金嶺銅礦床)과 기구동광상 (基邱銅礦床)은 경주에서 동남쪽으로 약 50 km 떨어진 慶州郡 陽南面 基邱里에 위치한다. 이 두 광산의 위치좌표는 금령광산이 북위 35°42'04", 동경 129°25'44" 이고, 기구광산은 북위 35°41'50", 동경 129°25'40"이다.

금령동광산은 1969년에 금, 은, 동, 연 광상으로 광업권이 등록된 후 대한광업진흥공사에서 1975년에서 1978년까지 사이에 주로 銅을 대상으로 29개 공에 총 3,675

m의 시추를 실시하였고 (대한광업진흥공사, 1977, 1982), 1984년에는 한국동력자원연구소에서 1개 공 (400 m)을 시추하여 총 4,075 m 의 시추조사가 실시되었을 뿐 생산 실적이 없는 미개발 광산이다.

금령동광상은 백악기의 규장질화산암류내에 주로 황철석과 황동석이 산점상 또는 세액상으로 배태한 저品位의 동광상으로 모암은 광범하게 프로필라이트화되어 있다. 따라서 이 광상은 반암동광상의 유형에 속하는것으로 여러사람들 (김형식 등, 1980; Sillitoe, 1980; 김문수 등 1984; 황덕환 등, 1986)에 의하여 보고되어 왔다.

한편, 기구광상은 금령광상의 남쪽 약 500 m에 위치하고 있으며, 경상누층군 (慶尚累層群)에 속하는 흑색세일내에

* 서울대학교 지질과학과 (Department of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

발달한 열극을 충진한 백상광상이다. 이 광상에는 4개의 수평갱도와 1개의 수갱이 개설되어 한때 개발되었으나 현재 휴광중이고 모든 개도는 입항이 불가능하다. 이 광상에 대하여는 1975년 2개 공(총 250 m)의 시추조사가 실시된 바 있다.

Sillitoe (1980)의 보고에 의하면 금령광상에는 독립된 반암의 암주가 없을 뿐 아니라 동심원상의 변질대가 발달하지 않는다. 그러나 일부 사람들은 이 광상에는 동심원상의 모암변질대가 발달하고 부광부는 phyllitic 변질대 내에 형성되어 있어 전형적인 반암동광상의 특징이 있는 것으로 보고하였다. 반암동광상에는 광상의 산출상태와 모암변질에 특징이 있을 뿐만 아니라 유체포유물에도 온도와 염농도가 높고 비등증거가 현저한 공통적인 특징이 알려져 있으나 금령광상의 유체포유물에 대한 연구는 아직 이루어진 바 없다.

이 연구는 금령광상의 산출상태와 광석의 광물조성, 모암변질, 특히 유체포유물 연구를 통한 광화유체의 성질과 광화작용의 온도, 압력조건 등을 검토하여 전형적인 반암동 광화작용의 여러 특징과 비교하고, 이를 산출상태가 상이한 기구광상의 생성환경과 비교하여 이 지역의 동광화작용의 특성을 고찰하는데 목적이 있다.

이 지역의 지질에 대하여는 1/50,000 지질도 조양(朝陽)도폭(立岩, 1942)이 발간되어 있고 조사지역 북쪽의 어일(魚日) 부근의 지질에 대하여는 1/25,000 축적의 어일지지도폭(최위찬 등, 1988)이 발간되어 있다. 이 밖에도 어일분지의 제3기층의 층서에 대한 윤선(1983)의 연구가 있다.

이 연구는 1989년도 문교부 학술연구조성비와 전략광물자원 연구센터의 지원에 의하여 이루어 진것이다. 이에 깊은 사의를 표한다.

지 질

지질개요

연구지역은 제3기의 어일분지(魚日盆地) 남단에 해당되는 곳으로 지질은 백악기의 경상누층군에 속하는 흑색세일과 이를 후기에 관입한 규장질화산암류, 화강암류, 제3기의 유문암질암류, 안산암질암류와 현무암류, 그리고 역암으로 구성되어 있다(Fig. 1). 연구지역의 지질계통을 모식적으로 표시하면 Table 1과 같다.

흑색세일층은 경상누층군중의 하양층군(河陽層群)의

비교적 상위층준에 대비될것이라 한다(최위찬 등, 1988). 흑색세일은 화강암류와의 경계 가까이에서 광범하게 호온펠스화 되어 있다.

제3기의 화산암류와 퇴적암의 층서에 대하여는 立岩(1942), 윤선(1982), 최위찬 등(1988)의 연구결과가 서로 일치하지 않을 뿐만 아니라, 소규모로 산재하는 제3기의 화산암류를 위의 연구자들이 제시한 층서에 대비하기란 어려운 일이었다. 따라서 여기서는 기본적으로 立岩(1942)의 조양도폭에 표시된 층서를 따르기로 하였다.

연구지역내 화강암류의 절대연령측정 자료는 없으나 이 지역 남쪽에 분포하는 흑운모 아다메라이트의 K-Ar 연령은 74 Ma (Lee et al., 1988)로 보고되어 있다. 이 암석의 정확한 분포위치는 미상이나 이는 연구지역내 서쪽에 광범하게 분포하는 화강섬록암체의 남쪽 연장부에 해당되는 것일 가능성이 많다. 광상의 모암인 규장질화산암류의 절대연령은 알수 없으며 중립질화강섬록암과의 선후관계도 명확치 않다. 양자의 접촉부에서 보아도 뚜렷한 증거를 찾기 어렵고 암석은 대부분이 변질되어 있어 절대연령측정을 하기에 적당한 시료를 찾기 어렵다. 따라서 김형식 등(1980)과 황덕환 등(1986)의 연구결과를 따르기로 한다. 조사지역 북쪽의 석읍리에 분포하는 효동리 윤문암질암류의 K-Ar 연령은 21.16 ± 1.27 Ma (진명식 등, 1988), 어일 현무암의 K-Ar 연령은 18~19 Ma (윤선, 1980)이라 한다.

연구지역내의 흑색세일의 층리는 일반적으로 N10~50°E에 10~20°NW이다. 단층으로는 금령광산의 남쪽에 주향이 N60°W에 50~70°NE로 경사하는 단층이 발달한다. 기구광상이 배태한 열극도 위의 단층과 같은 주향과 경사를 갖는다. 이 밖에도 연구지역내에는 주향이 N30°E에 75°NW로 경사하는 소규모의 단층이 여러곳에 발달하고 이 중에는 휘수연석을 갖는 석영맥이 충진한 것도 있다.

화성암류

연구지역에는 백악기와 제3기의 여러종류의 관입암과 화산암류가 분포한다. 이들 화성암류의 산출상태와 암질에 대하여 기재하면 아래와 같다.

규장질화산암류 : 규장질화산암류는 이 지역의 중앙부와 중앙 남부에 분포하고 있다. 연구지역 중앙부에 분포하는 이 암체는 금령광상의 모암을 이루고 있다. 이 암체는 조사자에 따라 석영반암(김형식 등 1980), 유문암질암(황덕환 등, 1986), 규장질화산암류(Sillitoe, 1980) 등으로

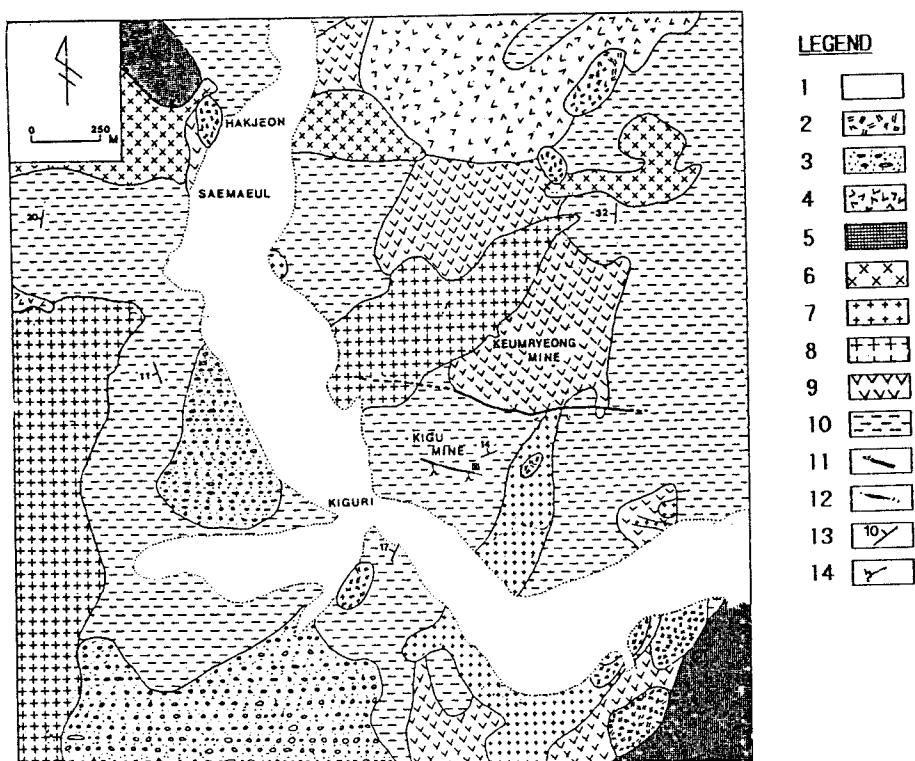


Fig. 1. Geologic map of the Keumryeong and Kigu mine area. 1; Alluvium, 2; Eoil basalt, 3; Cheonbuk conglomerate, 4; Hyodongri rhyolitic rocks, 5; Haseori andesitic rocks, 6; Porphyritic granite, 7; Fine grained granodiorite, 8; Medium grained granodiorite, 9; Felsic volcanics, 10; Black shale, 11; fault, 12; ore veins, 13; bedding, and 14; adit.

보고되어 있다. 이 암석의 시추코아에 대한 김형식 등 (1980)의 분석치를 보면, 전체 31개 시료중 SiO_2 가 70% 이상인 것은 7개 시료일 뿐 21개 시료는 62~69%이고 62%이하의 것이 3개 시료 뿐이다. 31개 시료 전체의 SiO_2 함량의 평균치는 67%이다. 따라서 이 암체를 구성하는 암석은 화학조성으로 보아 대부분이 석영안산암임을 알 수 있다.

이 규장질화산암류는 응회암, 석영반암, 그리고 화산력 응회암으로 구성되어 있다. 이 암체를 구성하는 암석들은 암체 서남단에 350 m × 500 m 넓이로 분포하는 응회암을 중심으로하여 밖으로 석영반암, 화산력응회암의 순으로 동심원상의 분포를 한다. 이는 암체가 한번 이상의 관입 또는 분출작용으로 인해 생성되었을 가능성을 시사하는 것으로 보이나, 관입이나 분출 순서는 밝혀지지 않았다.

응회암의 색은 신선한 부위는 회색에서 암회색이나 풍화표면은 백색이며 많은 구멍을 갖는다. 이 구멍은 황철석이 산화되어 빠져나간 자리이다. 석영반암은 신선한 부위에서는 회색 내지 연회색을 가지나 규화되거나 풍화된

부분은 백색이다. 반정은 석영을 주로하나 소량의 사장석과 K-장석의 반정을 갖기도 한다. 사장석반정은 부분적으로 녹염석화, 녹리석화되어 있다. 화산력응회암은 대체로 1~5 cm 크기의 동질(同質)의 화산암편을 갖으며 일부 화산회응회암이 개재한다.

화강암류 : 연구지역에 분포하는 화강암류는 중립질화강섬록암, 세립질화강섬록암 및 반상화강암으로 구성된다.

중립질화강섬록암은 연구지역 중앙부와 서부에 분포한다. 반자형의 입상조직을 가지며 구성광물은 석영과 사장석, K-장석을 주로하고 소량의 각섬석, 흑운모, 녹리석, 녹염석, 백운모와 불투명광물을 수반한다. 이중 녹염석과 녹리석은 후술하는 바와같이 광화작용에 수반된 변질작용의 산물이다. 석영과 장석입자의 크기는 0.5~6 mm이고 사장석은 누대구조를 갖는다. 이 암석의 모오드조성 분석 결과를 Streckeisen (1967)의 QAP 삼각도에 표시하여 보면 토날라이트와 화강섬록암의 경계 가까이의 조성을 갖는 암석임을 알수 있다.

세립질화강섬록암은 과거에 화강반암으로 보고된 암석

Table 1. Geologic sequence around the Keumryeong and the Kigu mine area.

Quaternary	Alluvium ~Unconformity~ Eoil Basalt – Intrusion – Cheonbuk Conglomerate ~Unconformity~ Hyodongri Rhyolitic rocks Haseori Andesitic rocks – Intrusion or Extrusion – Porphyritic Granite – Intrusion – Fine grained Granodiorite Medium grained Granodiorite – Intrusion – Felsic Volcanics – Intrusion or Extrusion – Black Shale
Tertiary	
Cretaceous	

으로 하서천 남측에서는 부분적으로 탈색되어 있다. 주요 구성광물은 사장석, 석영, 정장석, 각섬석 및 흑운모와 소량의 녹리석과 녹염석 등이다. 자형 내지 반자형의 입상조직을 보이며 입자의 크기는 0.5~1.5 mm로서 비교적 작은편이다. 모오드 조성분석 결과는 Streckeisen (1967)의 QAP 삼각도에서 화강섬록암의 영역에 도시된다.

반상화강암은 연구지역 북서부, 학전일대에 분포하고 주요 구성광물은 석영, 장석, 흑운모 및 백운모이다. 암석은 우백질이며 전형적인 반상조직을 보이고 반정의 함량은 14~25%이다. 반정은 주로 2~7 mm의 석영과 사장석으로 구성되며 corroded texture 를 잘 보여준다. 석기는 석영과 정장석이 문상조직을 보여주는 것이 특징이다. 모오드 조성분석 결과는 Streckeisen (1967)의 QAP 삼각도에서 석영몬조나이트 경계 가까이의 화강암영역에 도시된다.

제 3 기 화산암류 : 연구지역에 분포하는 제 3 기의 화산암류에 하서리 안산암질암, 효동리 유문암질암류 및 어일현무암이 있다. 하서리 안산암질암류는 안산암과 안산암질옹회암류로 되어있고 연구지역의 남동부 하서리 부근에 분포한다. 암색은 암회색 내지 회녹색이고 간혹 장석의 반정을 갖기도 한다.

효동리 유문암질암류는 유문암과 유문암질옹회암류로 되어있고 연구지역의 북쪽에 분포한다. 유문암은 유상구조가 현저하다. 옹회암류는 동질의 화산력을 갖는 화산력옹회암과 옹회각력암으로 되어 있다.

어일 현무암은 연구지역의 여러곳에 상술한 모든 암석을 소규모로 관입하고 있다.

광상

개요

금령광상은 주로 연구지역 중앙부의 규장질화산암류의 암체내와 주변의 화강섬록암체내에 황동석과 황철석 등의 유화광물이 산점상 또는 망상세맥상으로 배태된 동광상이다. 광상은 규장질화산암류의 암체 중앙부에 NE-SW 방향으로 길쭉한 화강섬록암체의 양쪽 경계부 가까이에 배태되어 있다.

기구광상은 금령광상 남쪽의 흑색세일내에 발달한 열곡을 충진한 맥상동광상이다. 광맥의 주향과 경사는 N65°W에 70~85°SW 이고 연장은 약 200 m이다.

이 두 광상에 대하여는 전술한 바와같이 대한광업진흥공사와 한국동력자원연구소에서 총 30개 광에 4075 m를 시추 조사한 결과, 금령광상은 여러개의 “disc” 모양의 광체로 구성되어 있고 (Sillitoe, 1980; 김문수 등, 1984), Cu 의 품위는 빈광부에서 0.3% 이하이고 부광부에서는 1% 이상임이 밝혀졌다. 광화대의 범위는 화강섬록암체 북서쪽의 규장질화산암체에서는 1100 m×250 m이고, 남동쪽의 규장질화산 암체에서는 800 m×450 m이다. 부광부는 주로 화강섬록암체의 동남쪽의 규장질화산암류중의 옹회암과 석영반암내에 발달한다. 광화대내의 규장질화산암류는 국부적인 카리변질과 광범한 규화 및 푸로필라이트화 되어있다.

광석

금령광상의 광석 : 금령광상의 광석은 규장질화산암류와 중립질화강섬록암내에 유화광물이 산점하거나 유화광물을 갖는 석영세맥이 많이 발달한 부분이다. 석영세맥의 폭은 1 mm 미만에서 5 mm 정도인것이 대부분이다. 석영세맥내에는 육안으로 보아 녹염석을 수반하는 것이 있고 석영세맥이 녹염석맥으로 변하거나, 또는 이와 반대로 녹염석세맥이 석영세맥으로 변하기도 한다. 석영세맥은 황동석, 황철석을 수반하나 일부 황동석이나 황철석 이외에 휘수연석을 수반하는것이 있다. 휘수연석을 포함하는 석영세맥은 규장질화산암류에서보다 화강섬록암내에 더 많이 발달한다. 황동석-황철석 석영세맥은 규장질화산암류에서 더 흔히 산출하며 이 석영세맥이 밀집한 부분이 고품위 대를 형성한다.

모암내에 유화광물이 산점상으로 발달하는 광석은 황

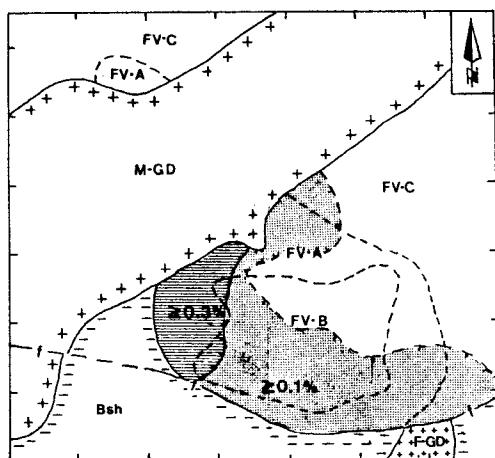


Fig. 2. Map showing geology and Cu ore grade for mineralized area of the Keumryeong mine. Grid interval is 100 m. FV-A; quartz porphyry, FV-B; felsic ash tuff, and FV-C; felsic lapilli tuff.

동석이나 황철석의 patch나 다른 유화광물의 집합체로 된 patch가 산점하는 것으로, 구성광물은 석영세맥의 경우와 유사하나, 광석광물의 함량이 많은 편이다. 금령광상의 시추자료중 표토를 제외한 지표에서 3m 깊이까지의 Cu 평균품위를 규장질화산암체를 구성하는 암석의 분포경계를 표시한 그림위에 나타내 보면 (Fig. 2) 0.3% Cu 이상의 품위대는 석영반암과 응회암에 주로 분포한다. 1.0% Cu 이상인 고품위대의 광석에는 황동석이 녹리석과 소량의 녹염석에 의해 둘러싸인 0.5~1.5 cm 크기의 황동석 patch (Fig. 3-A)와 펜트란다이트를 포함하는 자류철석의 patch가 발달한다.

금령광상에서 산출하는 광석은 자철석과 일메나이트와 같은 산화광물과 황동석, 황철석, 자류철석 및 휘수연석 등의 유화광물과 석영과 녹리석, 녹염석 등으로 되어 있다.

황철석은 자철석과 황동석 등의 광물립을 포함하기도 하고 (Fig. 3-B) 모암의 변질산물인 녹리석이나 녹염석과 밀접히 공존하기도 한다. 황동석은 섬아연석의 “star”를 포함하기도 하며 조기의 황철석과 자철석, 적철석 그리고 말기의 비스무스나이트나 자연비스무스와 밀접히 공존한다 (Fig. 3-C, D). 자류철석은 광화대 중심부에 소량 산출 하나 황철석과 백철석으로 변질되기도 하고 결정입자의 가장자리에 불꽃모양의 펜트란다이트 bleb을 갖기도 한다. 황동석과 공존하는 에레트럼이 산출되는것으로 보고된 바 있으나 이번 연구에서는 확인하지 못하였다.

기구광상의 광석 : 기구광상에서 산출되는 광석은 금장개, 대곡개, 본갱에서 산출되는것 사이에 약간씩 차이를 보여준다. 금장 및 대곡개의 광석광물은 금령광상과 매우 유사하나, 큐바나이트와 보나이트가 산출된다. 금장갱의 광석에서는 광화말기의 것으로 생각되는 방해석이 산출된다. 본갱에서는 유비철석이 다양 산출하며 유비철석이 파쇄된 틈을 활동석, 황철석, 비스무스나이트, 자류철석 등이 채우고 있다 (Fig. 3-E).

기구광상에서 산출하는 금속광물은 자철석, 일메나이트, 황철석, 자류철석, 활동석, 유비철석, 비스무스나이트, 자연비스무스, 큐바나이트, 보나이트이고, 맥석광물은 석영과 방해석, 녹리석 및 녹염석 등이다. 활동석은 자철석과 함께 큐바나이트의 lath를 포함하여 Bi-유염광물이 비스무스나이트와 함께 intergrowth하고 있다. 방연석이 산출되는 것으로 보고된 바 있으나 이번 연구에서는 확인하지 못하였다.

광물공생관계

금령광상에는 유화광물을 갖는 석영세맥들이 발달하고 있어 반암형광상에서 일반적으로 보여지는것과 같이 광화기간 중에 파쇄작용과 광물침전이 반복되었을 가능성이 많다. 그러나 소위 고품위대에서도 석영세맥은 서로 끊고 끊기는 관계를 관찰할수 있을 만큼 밀집하고 있지 않다. 따라서 석영세맥내의 유화광물과 patch를 이루고 산점하는 유화광물의 조직을 분석하여 광물공생관계를 수립하여 본것이 Fig. 4-A이다. 광석광물은 비교적 조기에 휘수연석과 산화철 광물의 침전에 이어 황동석, 자류철석 등이 정출하고 말기에 비스무스광물이 정출한것으로 보인다.

기구광상에서는 광석에서 보여지는 파쇄와 충진, 또는 교대의 증거 등으로 광화작용은 4기에 걸쳐 이루어졌음을 알수 있다 (Fig. 4-B). 1기에서는 일메나이트, 황철석, 유비철석 등이 석영 등과 함께 정출하였고, 2기는 기구광상의 주요 광물정출기로서 자철석, 황철석, 황동석과 소량의 자류철석, 섬아연석, 보나이트, 큐바나이트, Bi-계 광물들이 녹리석, 녹염석 등과 함께 정출하였다. 3기는 초기에 정출하였던 자류철석이 황철석과 백철석으로 변질되는 시기이다. 4기는 소량의 황철석이 방해석, 녹리석과 함께 최후기로 정출하였다.

모암변질

금령광상의 광화대내의 암석 중 응회암은 신선한 부위

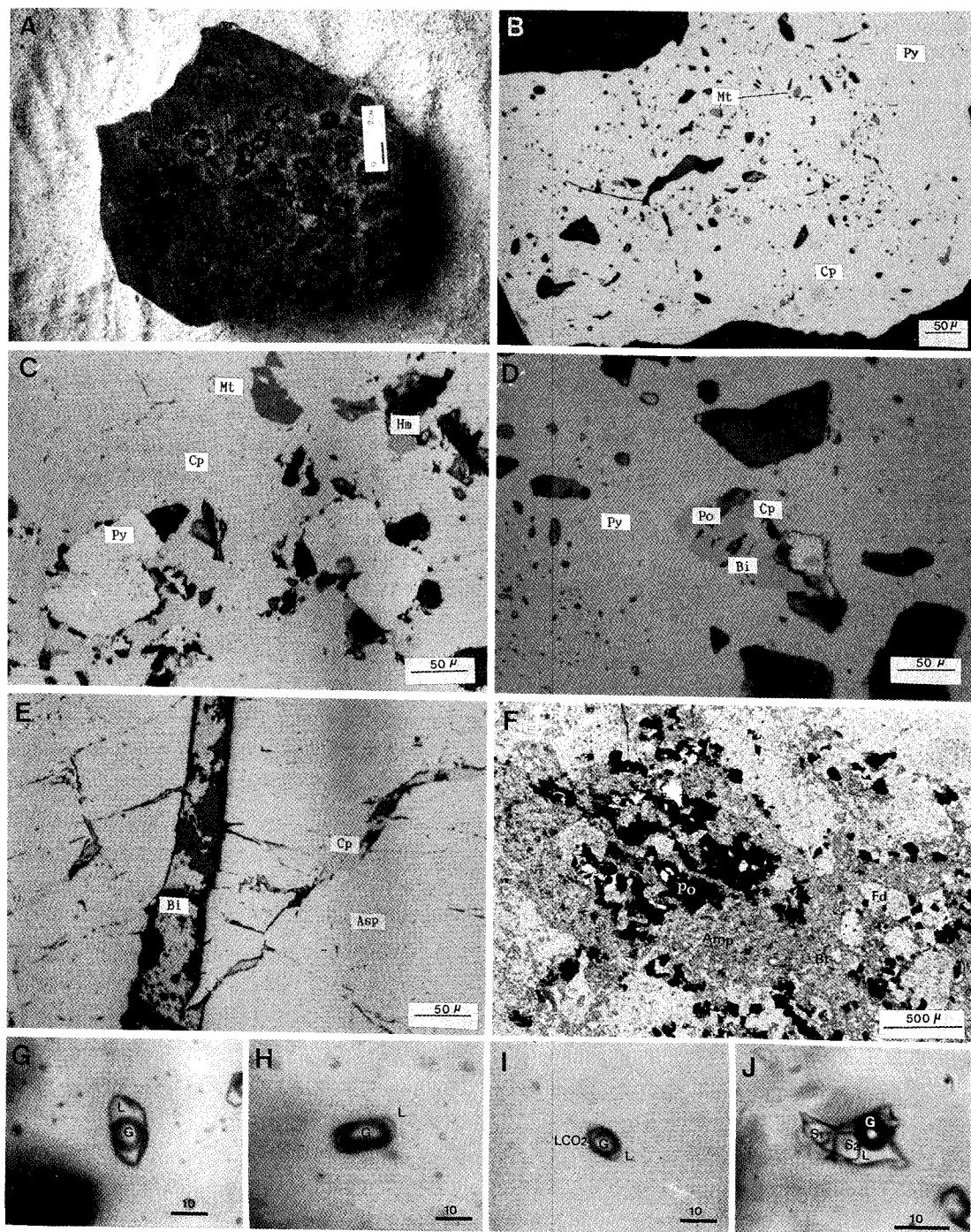


Fig. 3. A; Chalcopyrite knots bearing high grade copper ore developed adjoining the granodiorite contact, Keumryeong mine, B; Minute magnetite and chalcopyrite grains are included in pyrite, Keumryeong mine, C; Chalcopyrite contains magnetite, hematite and pyrite grains, Keumryeong mine, D; Chalcopyrite, pyrrhotite and bismuthinite assemblage is included in pyrite, Keumryeong mine, E; Arsenopyrite is veined by chalcopyrite and bismuthinite, Kigu mine, F; Pyrrhotite, hornblende and biotite aggregation forms knots in K-silicate zone, Keumryeong mine, G; Liquid rich inclusion, H; Gas rich inclusion, I; Liquid CO₂-bearing inclusion, and J; Solid phase-bearing inclusion.

에서 회록색을 띠우나 풍화표면은 백색으로 변하고 있어 점토광물화된 것 같이 보인다. 김문수 등 (1984)과 황덕환 등 (1986)은 금령광상에는 phyllitic 대, 점토광물대, 푸로필라이트대등의 변질대가 대상분포하고 주로 phyllitic 대내에 다양한 유화광물이 부존하여 부광부를 이루고 있다고 하였다. 한편 Sillitoe (1980)는 광화대내의 암석이 녹염석과 녹리석을 수반하고 광역적으로 규화작용을 받고 있으나 화강섬록암과의 경계 가까이의 유문암질암에는 국부적으로 카리변질대가 발달하고 고품위대를 이루고 있다고 하였다.

이번 연구에서는 규장질화산암류내에 소규모의 카리변질대와 광범한 푸로필라이트대의 발달만 확인하였을뿐 phyllitic 대 및 점토광물대는 확인하지 못하였다. 풍화표면의 백색을 띠는 시료에 대한 X-선 회절분석을 하여 보아도 견운모나 기타 점토광물의 존재를 확인할 수 없었다.

모암의 변질중 가장 현저한 것은 광범한 프로필라이트화로써 조사지역의 전역에 걸쳐 이루어져 있다. 세맥들에 연한 변질은 규장질화산암류나 화강섬록암에서 모두 볼 수 없다.

카리 변질작용 : 카리변질대의 암석에는 각섬석, 흑운모와 불투명광물의 집합체로된 타원형의 knot가 형성되어 있고 그 둘레를 미립의 석영과 장석립이 둘러싸고 있다 (Fig. 4-F). 흑운모, 각섬석과共生하는 불투명 광물들은 자류철석, 자철석, 일메나이트, 금홍석, 황동석, 황철석 등이다. 카리변질대내에 K-장석의 생성은 확인하지 못하였다.

프로필라이트화 작용 : 프로필라이트화는 금령광상과 그 주변의 규장질화산암류, 화강섬록암 및 호온펠스내에서 광범하게 보여진다. 프로필라이트화는 특히 카리변질대 주변에서 더욱 현저하여진다. 이 변질대내의 암석에서는 녹염석과 녹리석이 patch나 stringer를 이루고 있으며 녹리석, 녹염석은 황동석, 황동석을 포위하고 발달하는 경우도 많다.

유체포유물

유체포유물 연구의 대상시료는 규장질화산암류내의 석영반정과 석영세맥, 중립질화강섬록암중의 석영립과 석영세맥, 반상화강암과 세립질화강섬록암내의 석영립, 그리고 기구광산의 광석에서 산출되는 방해석과 석영을 대상으로 하였다.

Mineral	Paragenetic Sequence			
	I	II	III	IV
Molybdenite				
Ilmenite				
Magnetite				
Hematite				
Rutile				
Pyrite				
Pyrhotite				
Pentlandite				
Chalcopyrite				
Arsenopyrite				
Sphalerite				
Bismuthinite				
Native Bi				
Marcasite				
Quartz				
Biotite				
Chlorite				
Epidote				

Mineral	Stage			
	I	II	III	IV
Ilmenite				
Magnetite				
Pyrite				
Pyrhotite				
Chalcopyrite				
Bornite				
Cubanite				
Arsenopyrite				
Sphalerite				
Bismuthinite				
Native Bi				
Bi-sulphosalt				
Marcasite				
Quartz				
Calcite				
Epidote				
Chlorite				

Fig. 4. Paragenetic sequence of mineral depositions from the Keumryeong (A) and Kigu (B) copper ore deposits.

유체포유물의 종류

각 시료에서 관찰되는 유체포유물은 실온에서 관찰되는 상의 종류와 층진도 및 가열과 냉각실험을 통한 포유물의 거동에 따라 I형, II형, III형, 그리고 IV형 포유물로 구분하였다.

I형 포유물: 석영세맥과 화성암류중의 석영립 또는 석영반정에서 가장 보편적으로 볼 수 있는 포유물로서 액상과 기상의 2상으로 되어있고 가열실험시 액상으로 균일화된다. 충진도는 60~95%로 다양하며 냉각실험중에 액체 CO_2 (이하 LCO_2 로 표기함)와 CO_2 수화물의 생성을 볼 수 없는 것들이다.

II형 포유물: 액상과 기상의 2상 포유물이나 액상의 충진도가 20~40%인 기상포유물로서 가열실험중 기상으로 균일화된다. II형 포유물은 구성하는 상비(相比)로 보아 수증기가 포유된 것으로 보인다. I형 포유물과 같이 실온에서나 냉각실험중 LCO_2 나 CO_2 수화물의 생성을 볼 수 없다. 모든 석영세맥 및 석영립에 존재하며 그 수는 I형 포유물보다 적다.

III형 포유물: 상온에서 LCO_2 상을 갖거나 냉각실험시 CO_2 수화물이 생성되는 포유물로서 상온에서 LCO_2 상을 보이는 III형 포유물은 충진도가 20~30%로서 낮고 대부분이 가열 실험중에 기상으로 균일화된다. LCO_2 상을 갖는 포유물은 그 상비로 보아 발포하는 열수계에서 증기로 포유된 것으로 생각된다. 그러나 상온에서 LCO_2 를 보이지 않으면서 냉각실험에서 CO_2 수화물이 생성되는 III형 포유물의 충진도는 대부분이 70~85%이나, 간혹 20~40%인 것도 있어 각각은 액상 또는 기상으로 균일화된다. 이 포유물은 광화대내의 석영반정이나 석영세맥중에 특징적으로 포함되어 있다.

IV형 포유물: 액상, 기상 및 고상으로 되어 있는 다상 포유물이다. 포유물내의 고상은 대부분이 암염이고 광학적으로 이방성인 광물도 있다. 암염의 용해온도는 200~450°C로 넓게 나타나며, 기상이 소실된 후 고상이 용해되면서 균일화되기도 하고 또는 고상이 먼저 용해되는 경우도 있다. 광학적으로 이방성인 고상은 투명하고 구형, 막대상(棒狀), 침상 또는 불규칙한 모양을 한 것 등 다양하며 600°C 이상 가열하여도 용해되지 않는다. 이 형의 포유물은 석영세맥과 화성암중의 석영립내에 포함되어 있다.

유체포유물의 분포상의 특징

I형, II형, III형 또는 IV형 포유물은 초생포유물이나 의 2차 포유물(擬 2次 包有物) 뿐만 아니라 2차 포유물로서 포함되어 있다. 2차 포유물에는 포유물을 포함하는 host mineral의 생성 후에 생긴 2차 포유물과 포유물이 생성된 이후에 내용물의 누출이나 침가 또는 necking down 등

Table 2. Relative abundance of various type of fluid inclusion hosted in vein quartz and quartz grain of igneous rocks from the Keumryeong and Kigu ore deposits.

Material	Host	Rocks	Inclusion Type			
			Type I	Type II	Type III	Type IV
Quartz Vein	FV	FV-A	****	***	**	*
		FV-B	****	***	*	**
		FV-C	**	*	*	*
Quartz Vein	M-CD	M-CD	**	**	*	**
		F-GD	****	*		*
		BS	**	**	*	*
Quartz of Ig.Rocks	I*	FV	I*	**	*	****
		II*	***	***		
		M-GD	****	****	*	**
Quartz of Ig.Rocks	II*	I*	*	*		*
		PG	I*	***	**	*
		II*	**	*		*

Bsh; Black shale, FV-A; Quartz porphyry, FV-B; Felsic Ash tuff, FV-C; Felssic Lapilli tuff, M-GD; Medium grained granodiorite, F-GD; Fine grained granodiorite, PG; Porphyritic granite, I*; Specimens within mineralized zone, and II*; Specimens seperated from the mineralized zone at a distance.

으로 변화된 2차 포유물 등 2종류의 것이 있다. 전자에는 광화기간 중에 생긴것과 광화 후에 생긴것이 있다. 이中最 중요한 것은 광화기간 중에 생긴것으로서 이는 광화대내의 화성암중의 석영반정이나 석영립중에 포함된것으로 유체포유물의 종류나 염농도, 균일화온도 등이 광석광물을 수반하는 석영세맥중의 유체포유물과 같다. 따라서 이 연구에서는 전자에 속하는 2차 포유물만을 연구대상으로 하였으나 후자에 속하는 것과 구별하기 어려운것들도 있었다. I, II, III 및 IV형 포유물은 광화대내의 화성암중의 석영립이나 석영반정과 황동석, 황철석 등을 갖는 석영세맥중에 공통적으로 포함되나 광화대에서 멀리 떨어진 곳의 화성암중의 석영에는 III형 포유물은 볼 수 없고 IV형 포유물은 드물게 포함될 뿐이다 (Table 2). 따라서 III, IV형 포유물은 광화작용과 밀접한 관계를 갖는 포유물일 것으로 생각된다. 또 IV형 포유물이 많이 포함된 경우에는 II형 포유물도 비교적 많이 포함되는 경향을 갖는다. 광화대내의 화성암중이나 석영백중에 I, II, III 및 IV형 포유물이 공존할 경우 이들 간의 생성 선후관계를 구별하기란 어

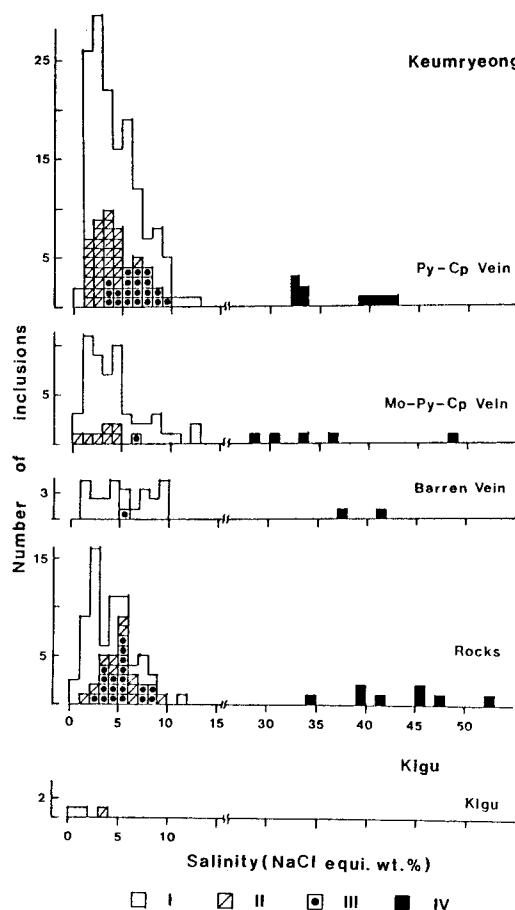


Fig. 5. Histogram showing salinity of fluid inclusions from the Keumryeong and Kigu ore deosists.

렵다. 각형의 포유물이 혼재하는 것은 가열실험에서 언급되는 바와 같이 충진온도가 서로 같은 것으로 보아 광화유체의 비등이나 발포(發泡)가 있었던 증거가 되는 것으로 생각된다.

기구 광산의 광석중의 석영에는 I, II 및 IV형 포유물이 포함되어 있고 방해석 중에는 I, II 및 III형 포유물이 포함되어 있다.

염농도

염농도는 I형과 II형의 경우에 빙점강하를 이용하여 구하고 III형은 Collins (1979)가 제시한 방법으로 구하였고 IV형은 Sourirajan and Kennedy (1971)가 제시한 용해도곡선을 이용하여 계산하였다.

각 석영세맥과 석영립에 포함된 유체포유물의 유형별

NaCl 상당 염농도는 Table 3 및 Fig. 5 와 같다.

석영세맥에 포함된 유체포유물은 유화광물을 수반하는 것과 수반하지 않는 것과의 사이에 유체포유물의 종류나 염농도의 차이는 별로 없고 수반하는 유화광물의 종류에 따른 염농도의 차이도 없다. 한편, 광화대내의 모암중에 포함된 석영반정이나 석영립중의 유체포유물도 석영세맥 중의 것과 염농도에 차이가 별로 없다.

석영세맥과 화성암중의 석영에 포함된 포유물의 NaCl 상당 염농도는 I형 포유물; 0.7~12.5 wt.%, 평균 3.8 wt.%, II형; 0.4~6.3 wt.%, 평균 2.9 wt.%, III형; 3.2~9.7 wt.%, 평균 6.1 wt.%, IV형; 28.6~48.4 wt.%, 평균 36.5 wt.%이다.

광화대에서 떨어진 곳의 화성암이 석영중에 포함된 I, II형 포유물의 염농도는 광화대내의 것과 차이가 없다.

한편, 기구광산 광석중의 석영에 포함된 II형 포유물의 NaCl 상당 염농도는 3.2 wt.%이고 방해석내의 것은 0.4~1.1 wt.%로서 석영중의 것보다 낮다.

균일화온도

석영세맥과 화성암의 석영립내에 포함된 유체포유물의 유형별 균일화온도는 Table 3 및 Fig. 6과 같다.

Table 3에서 나타나는 바와 같이 황동석, 황철석을 수반하는 석영세맥과 휘수연석, 황동석, 황철석을 수반하는 석영세맥에 포함된 각 형의 유체포유물의 균일화 온도는 대체로 같은 온도를 갖는다. 이들의 균일화온도의 범위와 평균치는 I형; 280~432°C (평균 345°C, 409 개), II형; 304~417°C (평균 378°C, 61개), III형; 254~390°C (평균 346°C, 12개), IV형; 259~427°C (평균 338°C, 13개)이다.

유화광물을 수반하지 않는 석영세맥중의 유체포유물 균일화온도는 유화광물을 수반하는 석영세맥중의 것과 같은 온도 범위를 갖는다. 광화대내의 규장질화산암류와 중립질화강섬록암에 있는 석영반정이나 석영립에 있는 유체포유물의 균일화 온도는 암석의 종류에 관계없이 같고 상술한 각종 석영세맥중의 유체포유물의 값과 같다.

기구광산 광석중의 석영에 포함된 II형 포유물의 균일화온도는 382°C로서 금령광산의 석영세맥이나 석영반정 중의 것의 온도범위내에 든다. 그러나 방해석에 포함된 포유물의 균일화 온도는 152~168°C로서 석영중의 것보다 현저하게 낮다. 방해석은 광물공생관계도 (Fig. 4-B)에 표시된 바와 같이 광화작용의 최말기 생성물로서 이는 최말기의 광화유체의 온도를 나타내는 것으로 보인다.

이상으로 석영세맥에 포함된 유체포유물은 유화광물을

Table 3. Salinity and Homogenization temperature of fluid inclusions hosted in various quartz vein and quartz of igneous rocks from the Keumryeong and Kigu ore deposit.

Qtz. vein/Qtz. in igneous rocks	Type of inclusion	Salinity (wt.%)			Homogenization Temp.(°C)		
		Range	Number	Mean	Range	Number	Mean
Cp-Py Qtz.vein	I	1.1~11.2	129	3.5	306~432	186	349
	II	1.2~ 6.3	29	3.0	334~417	41	383
	III	3.2~ 9.7	20	6.1	254~389	10	343
	IV	32.0~42.8	9	36.4	214~377	9	310
Mo-Cp-Py Qtz.vein	I	0.7~12.5	45	4.3	301~393	59	347
	II	0.4~ 4.5	7	2.7	340~388	16	369
	III	6.1	1	6.1	332	1	332
	IV	28.6~48.4	5	35.4	186~427	15	295
Barren Qtz.vein	I	1.4~10.0	21	4.9	280~376	164	340
	II	—	—	—	304~364	4	331
	III	5.8	1	5.8	390	1	390
	IV	37.2~41.3	2	39.3	298~351	2	324
Qtz. in igneous rocks (inside of mineralized zone)	I	0.5~11.1	36	3.5	301~410	71	349
	II	1.9~ 9.2	8	4.8	290~411	15	375
	III	3.0~ 7.5	21	5.3	247~368	15	329
	IV	34.9~53.1	7	42.8	324~471	7	371
Qtz in igneous rocks (outside of mineralized zone)	I	2.1~ 2.7	4	2.3	323~410	7	371
	II	6.4	1	6.4	398	1	398
	IV	47.0	1	47.0	413	1	413

수반하는 것과 수반하지 않는 것 사이에 유체포유물의 종류, 염농도, 균일화온도가 같고 수반하는 유화광물의 종류에 따른 유체포유물의 종류, 염농도 및 균일화온도에 차이가 없다. 이는 모든 석영세맥이 같은 시기에 같은 성질을 갖는 광화유체에 의한 광화작용의 산물임을 뜻한다.

더욱이 광화대내의 각종 화성암 중의 석영반정이나 석영립 중의 포유물이 화성암류의 종류와 관계없이 포유물의 종류, 염농도, 균일화온도가 같고 또 석영세맥중의 것과도 같다는 것은 화성암중의 유체포유물이 석영세맥 생성기에 생긴 2차 포유물들임을 알 수 있다.

CO₂의 농도와 압력

III형 포유물내의 CO₂의 농도는 Parry (1986)가 제시한 방법을 이용하여 산출하였다. 이 방법에서 기본가정인 순수한 CO₂를 확인하기 위하여 고상 CO₂의 녹는점을 측정한 결과 -58.0~ -56.6°C의 범위였으므로 비교적 순수한 CO₂로 가정하였다. 실험의 결과는 Table 4 와 같다.

이 실험에서는 모든 III형의 포유물을 대상으로 하지 않고 포유물내의 각상의 체적을 구하는데 있어서 오차를

최대한 줄이기 위해 포유물의 모양이 타원에 가깝고 폭과 깊이가 동일할 것으로 추정되는 포유물만을 대상으로 하였다. 상온에서 LCO₂ 상이 보이지 않는 III형 포유물의 경우, LCO₂ 상과 기상의 균일화온도를 측정하지 못하므로 CO₂ 수화물의 녹는점을 이온도로 간주하여 CO₂ 상의 농도를 계산함으로서 예상할 수 있는 최저치를 구하였다.

실험결과 상온에서 LCO₂ 상이 보이는 III형 포유물의 CO₂ mole fraction은 석영세맥중의 포유물이 1.43~2.44, 석영반정내의 것이 5.12이다. 한편, 석영세맥과 석영반정에서 LCO₂ 상을 갖지 않는 III형 포유물이 CO₂ mole fraction 은 0.75~3.53이다.

이 자료로서 압력을 추정하면 LCO₂ 상을 갖는 III형 포유물에서 160~375 bar (평균 250 bar)이고 LCO₂ 상을 갖지 않는 III형 포유물에서는 200~310 bar (평균 250 bar)이다. 이 압력을 암암 ($d=2.8 \text{ g/cm}^3$)으로 간주하면 심도는 LCO₂ 상을 갖는 III형 포유물에서 583~1367 (평균 911 m)이고, LCO₂ 상을 갖지 않는 III형 포유물에서 729~1130 m (평균 911 m)이다. 또한 위에서 구한 압력을 정수압으로 가정하여 심도를 산출하면 LCO₂ 상을 갖는 포유물에서 1519~3255 m (평균 2263 m)이고 LCO₂ 상이 보이지 않는 포유물에서는 1753~2243 m (평균 2010 m)로서 평균 20

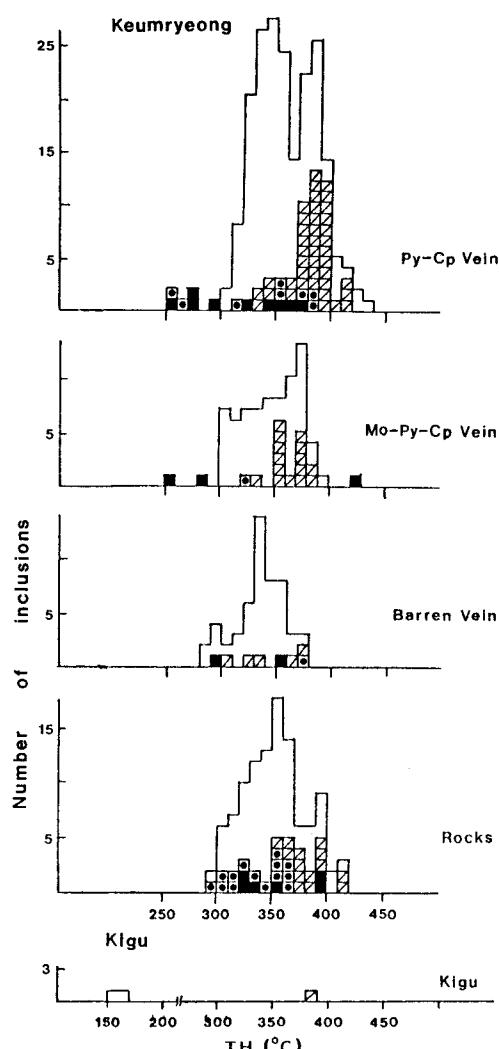


Fig. 6. Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions from the Keumryeong and Kigu ore deposits.

00~2300 m가 된다.

그러나 이 광상의 산출상태에서 언급한 바와 같이 광화대내에 많은 석영세액이 발달하는 것으로 보아 광화작용은 미세한 fracture가 많이 발달하며 투수율이 높은 부위에 집중적으로 있었던 것을 알수있다. 그러므로 압력을 암암만으로 간주하는 것이나, 밀도가 같은 수주가 지표까지 계속된 조건을 가정한 정수압으로 간주하는것 모두가 현실적인 것이 못된다. 실제 심도는 900~2300 m 범위내에 어느 심도가 될 것으로 추정된다.

고찰

반암동광상의 유체포유물에는 1) 온도가 매우 높고 ($400\sim800^{\circ}\text{C}$), 2) 염농도가 매우 높으며 ($40\rightarrow60 \text{ wt.\% NaCl}$), 3) 광화유체의 비등이나 불흔화분리(不混和分離)가 현저한 세 가지의 공통적 특징이 있다 (Roedder, 1984). 이 온도와 염농도는 Cu나 Mo 광물침전 기간중의 광화유체의 최고치를 나타낸 것으로 반암형 광상의 탐사도구로서 유용하게 활용되고 있다고 한다. Nash (1976)도 북미대륙의 37개 반암형광상의 유체포유물 연구자료를 종합 검토하여 반암형광상은 염농도가 높고 비등하는 열수계에서 생성된 특징이 있으므로 반암형광상을 찾기 위하여 암염을 갖는 다상포유물과 기상포유물이 혼재하는 곳을 찾는것이 긴요함을 강조한 바 있다.

금령동광상은 규장질 화산암류내에 황동석과 소량의 회수연석이 산점상이나 망상세액상으로 배태되어 있어 여러 사람들 (김형식 등, 1980; Sillitoe, 1980; 김문수 등, 1984; 황덕환 등, 1986)에 의하여 반암동광상으로 보고되어 왔다. 이 연구로 금령광상의 유체포유물에는 액체(I형) 포유물, 기체(II형) 포유물, 함 LCO_2 (III형) 포유물과 함암염(IV형) 포유물이 있고 비등과 발포(發泡) 증거가 현저하다는 것이 밝혀졌다. 이를 포유물의 균일화온도는 $254\sim487^{\circ}\text{C}$ 로서 대부분이 $360\sim430^{\circ}\text{C}$ 범위에 든다. 염농도는 I, II, III형 포유물이 $0.4\sim12.5 \text{ wt.\% NaCl}$ 이고, IV형 포유물이 $28.6\sim48.4 \text{ wt.\% NaCl}$ 이다. 유체포유물의 자료로서 구한 금령광상의 생성압력 조건은 $160\sim375 \text{ bar}$ 이다. 금령광상의 유체포유물 자료는 대부분이 반암동광상이 $400\pm100^{\circ}\text{C}$ 의 온도와 500 bar 미만의 압력조건에서 생성되었다는 Nash (1976)의 보고자료와 일치한다. 이상의 유체포유물 연구자료로 보아 금령광상의 광화유체의 성질, 온도, 압력조건 등은 반암동광상에서 보여지는 일반적인 특성과 같음을 알수있다.

반암동광상에는 넓은 범위에 걸쳐 모암변질대가 발달한다. 모암변질대는 일반적인 광화작용의 중심부에서 연변부를 가면서 K-변질대(또는 K-규산염대), phyllitic대, 푸로필라이트대의 순으로 동심원상의 대상분포하는 특성이 있다 (Lowell and Gilbert, 1970). 광화대 상부에는 점토광물대가 phyllitic대와 푸로필라이트대 사이에 걸쳐 발달하기도 한다. 한편, Cu 광물로서 황동석은 K-변질대와 phyllitic대 경계부에 놓집하여 고품위대(ore shell)을 형성하고, phyllitic대에는 황철석의 놓집대가, 푸로필라이트

Table 4. Pressure, depth and fluid composition of type III inclusion.

Sample No.	Host mineral (Q _v /Q _{ph})	Salinity (wt.%)	Th (°C)	XCO ₂	d _i	d _{CO₂}	Press. (bar)	Depth (m)	
								min.	max.
(LCO₂ bearing inclusion)									
303	Q _v	3.2	254	2.4428	0.9186	0.3625	215	784	2015
235	Q _v	3.4	270	1.4341	0.9302	0.2776	160	583	1519
77	Q _{ph}	7.0	327	5.1204	0.8507	0.3572	375	1367	3255
Average		4.5		2.9991	0.8998	0.3324	250	911	2263
(LCO₂ free inclusion)									
414	Q _v	8.9	371	0.7655	0.9158	0.1149	240	875	2243
237	Q _v	6.1	332	0.9835	0.8449	0.1214	240	875	2069
146	Q _v	5.1	351	3.5389	0.6419	0.1239	310	1130	2030
22	Q _{ph}	8.3	363	2.2242	0.7381	0.1164	260	948	1958
69	Q _{ph}	4.3	368	1.1004	0.8592	0.1255	200	729	1753
Average		6.5		1.7225	0.8000	0.1204	250	911	2010

Q_v; vein quartz, Q_{ph}; quartz phenocryst, Th; homogenization temperature, XCO₂; mole fraction of CO₂, d_i; density of inclusion, and d_{CO₂}; density of CO₂.

대와 그 외대 (外帶)에는 Au-Ag, Cu-Pb-Zn의 광맥광상이 배태하는 특징을 갖는다.

금령광상에는 고품위대에 소규모의 K-변질대가 발달하고 광화대내와 그 주변에는 광범하게 푸로필라이트대가 발달할 뿐 phyllitic대와 점토광물대는 발달하지 않는다. 금령광상에 K-변질대와 푸로필라이트대만이 발달하는 원인에 대하여는 다음의 세 가지 경우를 생각할 수 있다. 1) 섬록암 모델에 속하는 광상이다. 2) 광상생성 시기에는 phyllitic대와 점토광물대가 상당규모로 발달하였으나 그 후의 침식으로 제거되었다. 3) 처음부터 phyllitic대 만이 국부적으로 발달하였다.

1) 섬록암 모델의 광상이란 광범하게 변질된 섬록암-몬조나이트-섬장암 등으로 구성된 암체내에 황동석이 산점상, 망상세맥상으로 배태한 동광상으로 모암변질은 중심부의 K-변질대와 주위에 푸로필라이트대가 발달하는 것이 일반적이다 (Hollister, 1978). 그러나 금령광상은 모암 뿐만 아니라 주위에 분포하는 백악기 화성암류가 석영섬록암-화강섬록암-석영몬조나이트 suite의 암석으로 소위 석영몬조나이트 모델 (Hollister, 1978)에 속하는 반암동광상을 수반하는 화성암류들이다. 섬록암 모델의 광상은 휘수연석이 거의 없고 Au 함량이 높은 특징이 있으나 금령광상에서는 휘수연석이 신출되고 특히 Au 함량이 높지 않다. 따라서 섬록암 모델에 속하는 것으로는 생각되지 않는다.

2) 석영몬조나이트 모델의 반암동광상에는 일반적으로 Lowell and Gilbert 모델의 대상분포하는 변질대가 발달

하나, 광상의 하위부에는 phyllitic대와 점토대가 없이 K-대와 푸로필라이트대만이 발달한다 (Lowell and Gilbert, 1970; Sillitoe, 1973; Drummond et al., 1976). 금령광상의 지표에서 보여지는 변질대가 석영몬조나이트 모델에 속하는 반암동광상의 하위부에 해당하는 것이라면 금령광상은 상위부에 발달한 phyllitic대와 점토대는 광상생성 후에 침식, 제거되어 광상의 바닥에 가까운 부분이 노출되어 있는것이 된다.

반암동광상의 유체포유물과 안정동위원소 연구결과에 의하면 K-변질대는 주로 고온의 염농도가 높은 마그마기원의 물에 의한 변질작용의 산물이고 푸로필라이트대는 천수기원의 염농도가 낮은 물에 의한 변질산물이다. Phyllitic대는 마그마기원의 물과 천수기원의 물의 혼합대에서 생성되고, 점토대는 말기에 보다 낮은 온도에서 천수기원의 염농도가 낮은 물에 의하여 생성되는 것으로 알려져 있다.

3) 반암동광상의 생성모델에는 초기의 주로 마그마기원의 물에 의하여 생성된 정마그마형 단성분모델 (orthomagmatic end member model)과 천수기원의 물이 주도적 역할을 한 대류형 단성분 모델 (convective end member model)이 있고 실제로 이 모델에 속하는 광상이 몇 곳에 알려져 있다 (McMillan et al., 1984). 그러나 반암동광화작용은 초기에 정마그마형 모델의 변질작용/광화작용으로 시작하여 점차 대류형 모델의 변질작용/광화작용으로 단계적으로 변하는 과정을 거쳐 이루어 졌다는 단계형 모델 (staged porphyry copper model)이 보다 현실적이고 적

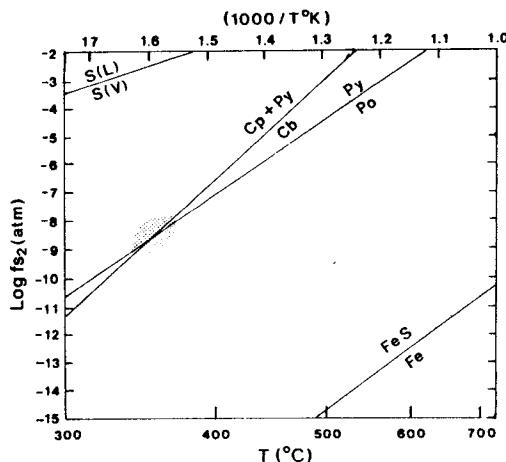


Fig. 7. Sulfur fugacity and temperature diagram showing the possible range suggested by mineral assemblages from the Kigu ore deposit (modified from Barton et al., 1967).

용성이 높은것으로 인식되고 있다. Gustafson and Hunt (1975)는 El Salvador 광상을 연구하여 이 광상이 4단계를 거쳐 생성하였음을 밝히고 있다. 따라서 반암동광상에서 몇 종류의 변질대가 발달하느냐의 문제는 그 광상이 몇 단계를 거쳐 생성되었느냐에 관계되는 것이고 각 단계에서의 변질작용/광화작용의 intensity에 따라 변질대의 발달 규모도 다르게 될 것이다. 이와같은 단계형 모델에 입각 하여 금령광상의 생성모델을 볼 때 광화작용 기간중 Gustafson and Hunt (1975)가 제시한 2기의 조기열수단계 (early hydrothermal stage)에서 광화작용이 끝나면 K-변 질대와 푸로필라이트대사이에 국부적으로 phyllitic대가 생성될 뿐 점토광물대는 생성되지 않게 된다. 소규모로 발달한 phyllitic대가 침식제거되면 K-변질대와 푸로필라이트대만이 보이게 된다.

이상으로 금령광상에서 모암변질대로 K-변질대와 푸로필라이트대 만이 발달하는 까닭이 이 광상이 섬록암 모델에 속하기 때문이 아닌것은 확실해 보이나 나머지 2)와 3) 중 어느것에 속하는지는 단정할 수 없다. 그러나 2), 3) 중 어느 경우건 간에 광상은 많은 부분이 침식되어 현재는 그 하위부가 노출되어 있을 가능성이 크다. 이 문제를 밝히기 위하여는 안정동위원소 연구를 포함한 다각적인 검토가 더 필요할 것으로 생각된다.

기구광상에서 산출된 광석중의 유체포유물은 그 조성 형이 금령광상의 것과 유사하나 온도와 염농도가 측정된 것은 2~3개에 불과하다. 여기서 기구광상의 광석중에는 큐바나이트-황동석-황철석 광물군과 황철석-자류철석 광

물군이 공생한다. 이 광물군에 대한 Barton et al. (1967)의 sulfidation 곡선을 이용하여 온도와 fs_2 를 구하여 보면, $T=350\sim370^\circ\text{C}$, $fs_2=-8.5 \text{ atm}$ (Fig. 7) 임을 알 수 있다. 이 온도는 석영중의 유체포유물의 균일화온도 자료와 대체로 같다.

금령광상은 규장질 화산암류에 배태된 산점상과 망상 세맥상의 동광상인데 대하여 기구광상은 흑색세일중의 열극을 충진한 맥상광상이다. 두 광상은 모암의 종류와 산출상태에 차이가 있으나, 광석의 광물조성이 같고 모암도 녹령석화되어 있다. 광석중의 유체포유물의 조성형이 유사하고 광화유체의 비등이 현저하였던 점등으로 보아 광화유체의 성질과 광상의 생성온도 등이 같다. 따라서 이 두 광상은 동일시기에 같은 성질을 갖는 광화유체에 의한 광화작용의 산물인 것으로 사료된다.

결 언

1. 금령동광상은 주로 상부 백악기의 화강섬록암에 의하여 관입된 규장질화산암류에 산점상과 망상세맥상으로 배태된 광상이고 기구광상은 경상누층군에 속하는 흑색 세일중에 발달한 N60°W 계의 열극을 충진한 맥상동광상이다.

2. 두 광상에서는 황동석, 황철석, 자철석, 자류철석, 유비철석, 섬아연석, 백철석, 일메나이트, 비스무스나이트, 자연비스무스, 석영, 녹령석, 녹리석 등이 공통적으로 산출된다. 금령광상에서는 이 밖에 휘수연석, 적철석, 금홍석, 펜트란다이트가 산출되고 기구광상에서는 큐바나이트, 반동석, Bi-유염광물 등이 산출된다.

3. 금령광상의 모암변질은 소규모의 K-변질대 주위에 광범하게 푸로필라이트대가 발달한다. 동의 품위는 K-변질대에서 가장 높아 부광부를 형성하고 있다.

4. 금령광상 광석중의 유체포유물은 액상포유물, 기상포유물, 함 LCO_2 포유물, 함암염포유물 등이 혼재하고 광화유체의 비등이나 발포가 번번하였음을 나타낸다. 유체포유물의 균일화온도는 $250\sim480^\circ\text{C}$ 이고 염농도는 0.4~48.4 wt.% NaCl 이다. CO_2 를 포함하는 유체포유물의 CO_2 mole fraction 등의 자료를 가지고 추정한 압력조건은 160~375 bar이다.

5. 금령광상은 광상의 산출상태, 광석광물, 모암변질, 광화유체의 성질, 온도, 압력조건 등과 함께 광화기간중 광화유체의 비등이 활발하였다는 점등이 모두 반암동광상의 특징을 갖는다.

6. 기구광상은 모암, 광상의 형태와 산출상태는 다르나 광석의 광물조성 유체포유물 연구를 통하여 본 광화유체의 성질, 광상의 생성온도 등은 금령광상과 같다. 기구광상의 광석광물군의 자료로 추정된 동광물 침전기간 중의 온도와 fs_2 는 350~370°C 와 -8.5 atm이다.

참고문헌

- 윤선 (1990) 양남 및 포항분지의 제3기. 대한지질학회 1990년도 학술답사 안내서, 대한지질학회.
- 김문수, 황덕환, 김선억 (1984) 감포지역 광역광화대에 대한 조사연구. 금속광상조사연구, 한국동력자원연구소, p. 265-364.
- 김형식, 김병각 (1980) 한국 동남부 월성지역의 함동반암에 관한 연구. 지질학회지, 16권, p. 46-60.
- 立岩巖 (1942) 조양지질도록 및 설명서. 조선총독부 지질조사소.
- 진명식, 김성재, 신성천, 이주연 (1988) K-Ar 및 헬리트트랙법에 의한 한국동남부지역 화강암 및 화산암의 암석, 광물연령 측정연구. KIER 연구보고, KR 88-60, p. 55-84.
- 황덕환, 김문수, 김선억 (1986) 金嶺 斑岩銅礦床에 대한 지질 및 광상학적 연구. 금속광상조사연구, 한국동력자원연구소, p. 7-65.
- Collins, P.L.F. (1979) Gas hydrates in CO_2 -bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. Econ. Geol., v. 74, p. 1435-1444.
- Drummond, H.D. and Godwin, C.I. (1976) Hypogene mineralization-An empirical evaluation of alteration zoning. in Ney, C. S., ed., Porphyry deposits of the Canadian cordillera. CIMM. spec. v. 15.
- Gustafson, L.B. and Hunt, J.P. (1975) The Porphyry Copper deposits at El salvador, Chile. Econ. Geol., v. 70, p. 857-912.
- Hollister, V.F. (1978) Geology of the porphyry copper deposits of the Western Hemisphere. New York, Soc. Mining Engineers AIME, 2198.
- Lee, D.S. ed. (1988) Geology of Korea. Geol. Soc. of Korea.
- Lowell, J.D. and Guilbert, J.M. (1970) Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. Econ. Geol. v. 65, p. 373-408.
- McMillan, W.J. and Pantelyev, A. (1984) Porphyry copper deposits, in Robert, R.G. and Sheahan, P.A., ed. Ore deposits models Geoscience Canada. Reprint ser. 3.
- Nash, J.T. (1976) Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper and application to exploration. U.S. Geol. Survey, Prof. Paper, 907-D, 16p.
- Parry, W.T. (1986) Estimation of XCO_2 , D, and fluid inclusion volume from fluid inclusion temperature measurements in the system $\text{NaCl}-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$. Econ. Geol., v. 81, p. 1009-1013.
- Roedder, E. (1984) Fluid inclusions. Reviews in mineralogy v. 12. Mineralogical Soc. of Am.
- Sillitoe, R.H. (1978) Exploration for porphyry copper and molybdenum deposits in Southern Korea.
- (1980) Evidence for porphyry-type mineralization in south Korea. Mining Geol. Spec. issue, No. 8, p. 205-214.
- Sourirajan, S. and Kennedy, G.C. (1962) The system $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ at elevated temperatures and pressures. Am. Jour. Sci., v. 260, p. 115-141.
- Streckeisen, A.L. (1967) Classification and nomenclature of igneous rocks in Barkar's, Igneous rocks. Prentice Hall Inc.
- Yoon, S. (1982) Tertiary stratigraphy of the Eoil Basin. Korea. Jour. Geol. Soc. of Korea, v. 18, p. 173-181.

1992년 6월 18일 원고접수

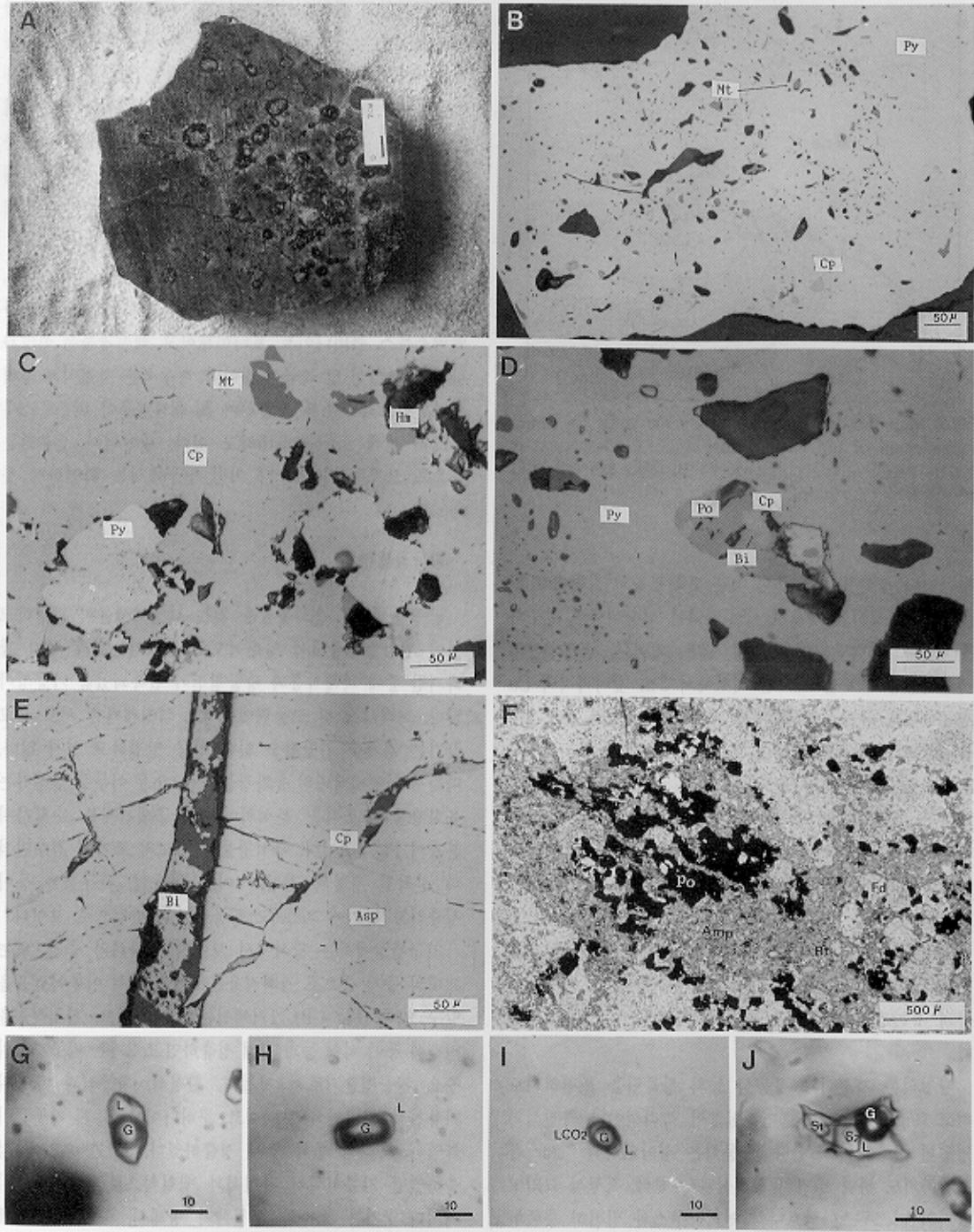


Fig. 3. A: Chalcopyrite knots bearing high grade copper ore developed adjoining the granodiorite contact. Kaumiseong