

봉상 금-은광상에서 산출되는 광석광물과 유체포유물 연구

유봉철¹⁾ · 이종길^{2)*} · 이현구³⁾

1. 서론

최근, 국내 산업계는 경제규모가 팽창되어 감과 동시에 날로 급증하고 있는 원료자원의 수요를 대부분 해외로부터의 수입에 의존하고 있다. 그러나 자원산업의 글로벌화가 가속화되고 광산물의 수입 확대 등에 따른 시장잠식으로 국내 광업이 위축되고 광업의 경쟁력이 상실되어 가는 상황에서 적극적이고 실질적인 탐사지원 필요성이 절실하게 요구되고 있다.

세계 동-금광상의 탐사 및 개발방향은 Copper-gold porphyry deposits, Epithermal gold deposits와 Iron oxide copper-gold deposits 등의 부존 및 성인 모델이 주를 이루고 있으나, 최근들어 일부학자들은 아다카이트 및 이와 관련된 지체구조적 사건과 관련해서 해석하고 있다. 현재까지 국내 동-금광상에 대한 연구논문이 많이 보고되어 있으며 이런 특징의 동-금광상들은 대부분 백악기 경상분지 내에 국한되어 산출되는 것이 특징이다. 선진국가들은 이런 유형 및 특징을 갖는 광상들에 대해 경제적 및 학술적인 측면에서 많은 노력과 투자를 행하고 있다.

봉상광상은 백악기 안산암질 래필리응회암 내에 발달된 열극을 증진한 열수성맥상광상으로 이 광상에 대한 지금까지의 연구보고는 KMPC(1975; 1977; 1987)등이 있으며 이 보고서에서는 광상에 대한 개략적인 지질 및 광상에 대해서만 보고하고 있다.

따라서 이 연구에서는 고성-통영지역일대의 백악기 화산암류내에 발달하는 광상의 주변지질, 광상의 광물에 대한 공생관계, 화학조성 및 유체포유물 등을 규명하여 광상의 생성환경을 고찰하고자 한다.

2. 주변지질 및 광상개요

봉상광상 일대의 주변지질은 백악기의 안산암질 래필리응회암, 안산암류 및 후기에 이들을 관입한 화강섬록암류 및 암맥류로 구성된다.

안산암질 래필리 응회암은 광상 일대에 넓게 분포하며 이 지역 화산암류들 중 최초로 분출물된 암석으로, 안산암류와 화강섬록암류에 의해 관입 당하고 있다. 이 암석은 암회색 내지 녹회색을 띠며 기질에 반상 안산암, 비현정질 안산암, 응회암 등의 래필리들이 다량 함유되어 있다. 특징적으로 사장석 등의 광물편들이 나타난다(Jwa, 1998). 안산암류는 광상의 남측일대에서 소규모 맥상으로 관입 분포한다. 화강섬록암류는 이 광상의 남측 일대에 분포하며 세립 내지 중립질의 화강섬록암 또는 섬록암의 다양한 암상을 갖는다. 이 암류의 화강섬록암질 암상은 담회색 내지 회백색을 띠며 섬록암질 암상은 대부분 세립질로서 암회색 내지 암녹색을 띤다. 암맥류는 중성 또는 산성암맥류로 구성되며 광상일대의 여러지역에서 산출된다.

봉상광상은 일제시대에 개발되었으나 1944년 산금령 실시로 휴광되었다. 그 후 회성산업(주)에 의해 인수되어 소규모 개발하였으나 현재는 휴광중에 있는 광상이다. 이 광상은 4개조의 평행한 석영맥 및 방해석맥으로 구성되어 있으며 각각 본맥, 2호맥, 3호맥 및 4호맥으로

주요어 : 봉상광상, 아다카이트, 석영맥, 광석광물, 화학조성, 유체포유물

1) 충남대학교 지질환경과학과(chbong@cnu.ac.kr)

2) 충남대학교 지질환경과학과(leejongkil@nate.com)

3) 충남대학교 지질환경과학과(phklee@cnu.ac.kr)

명명하였다.

본맥은 4개조의 맥 중 가장 탐광이 많이 된 맥으로 석영맥과 방해석맥으로 구성된다. 이맥의 주향과 경사는 N54~85W-N84E, 70~80SW/SE~vertical 이며 맥폭은 0.1~0.5 m 정도이나 팽축이 심한 편이다. 이 맥의 연장성은 약 100 m 정도이다. 방해석맥은 본갱입구에서 약 20 m 지점과 약 60 m 지점에서 N54~80W-N84E의 방향으로 산출되며 맥폭은 0.2 m 정도이며 자형의 황철석만 관찰된다. 이 맥은 본갱을 개설, N10~15E 방향으로 약 24 m 크로 스굴진하여 N80W의 석영맥을 착맥한 후 좌측은 수갱을 개설하여 채굴하였으며 동측은 수평 갱 및 사갱 등을 개설하여 약 150 m 연맥 또는 크로스굴진 하였다. 본갱의 주 채굴적은 24 m, 40 m, 48 m, 64 m, 76 m 및 84 m 지점으로 하향 또는 상향 채굴하였다. 본맥의 품위는 2.8~4.6 g/t Au, 45~95 g/t Ag 이다.

2호맥은 N78W/80SW의 주향과 경사를 갖으며 맥폭은 0.1~0.6 m 정도이다. 이 맥의 연장성은 최소 25 m 정도이다. 서갱과 동갱이 개설되었으나 동갱은 붕락되어 입향이 불가능하고 서갱만 입향이 가능하다. 서갱은 입구로부터 10 m 지점에 수갱을 개설하여 채굴하였으며 25 m 지점에서 갱구가 붕괴되었다. 이 맥의 품위는 5.5 g/t Au, 7.5 g/t Ag 이다.

3호맥은 N85W/80SW의 주향과 경사를 갖으며 맥폭은 0.3 m 정도이며 서측으로 26 m 탐 광굴진되었다. 이 맥의 품위는 0.0~6.2 g/t Au, 75~105 g/t Ag 이다.

4호맥은 과거 수갱으로 개발하였으며 현재는 붕락되어 입향이 불가능하다.

3. 광석 및 광석광물

이 광상의 야외조사와 광석의 산출상태, 광물의 공생관계 및 조직을 기초로 한 광물의 정출 순서는 석영+방해석맥과 방해석맥으로 구성된다. 석영+방해석맥은 자형의 석영과 방해석이 관찰되며 방해석맥은 거정질의 방해석만 관찰된다. 석영맥은 정동구조, 대상구조 및 각력상구조 등이 관찰된다. 모암변질로는 황철석화, 규화, 견운모화 및 점토화작용 등이 관찰된다. 석영맥의 풍화에 의하여 대부분의 석영맥에서 이차 산화물이 주로 관찰되나 일부 맥에선 괴상 또는 자형의 황철석, 방연석 및 섬아연석을 관찰 할 수 있다. 산출되는 광물은 석영, 방해석, 황철석 및 방연석이 주로 산출되고 소량 섬아연석, 황동석, 함은사면동석, 휘안동은석 및 자연은 등이다.

황철석은 소량 산출되며 석영 내에 단독 또는 방연석, 섬아연석 및 황동석과 함께 산출된다. 섬아연석은 방연석, 황동석 및 자연은과 함께 산출되며 EPMA에 의한 1개 시료 10개 입자에 대한 정량분석 결과 0.07~4.28 mole % FeS와 0.39~1.12 mole % CdS 함량을 갖는다. 방연석은 산출빈도와 산출량이 많으며 산출광물들과 함께 산출된다. 황동석은 방연석과 섬아연석 내에 소량 산출된다. 함은사면동석은 함은광물들 중에 산출빈도와 산출량이 가장 많으며 대부분 방연석과 황동석 등과 밀접한 공생관계를 갖고 산출된다. EPMA 분석에 의한 정량분석 결과는 total metal-(Sb+As)-S계 삼각도에 도시하여 보면 stoichiometric 사면동석과 거의 유사하다. Ag 함량은 구리를 치환하여 2.58~14.43 wt.%까지 함유됨을 알 수 있다. 또한 Cd 함량은 아연을 치환하여 0.97~9.43 wt.%까지 함유되어 있는 것이 특징이다. 이 함은사면동석의 구조식은 $(Cu_{7.58} \sim 9.72 Ag_{0.40} \sim 2.47)_{9.94} \sim 10.77 (Zn_{0.06} \sim 1.75 Cd_{0.15} \sim 1.55)_{1.59} \sim 1.92 Sb_{3.80} \sim 4.08 S_{13}$ 이다. 휘안동은석은 방연석과 함께 산출되며 EPMA 분석에 의한 정량분석 결과 구조식은 $(Ag_{14.22} \sim 14.79 Cu_{1.64} \sim 1.70)_{15.92} \sim 16.43 Sb_{1.83} \sim 2.07 S_{11}$ 이다. 자연은은 방연석 및 섬아연석과 함께 산출된다.

4. 유체포유물

유체포유물 연구는 봉상광상의 석영맥에서 산출되는 백색석영 및 자형의 투명석영을 대상으

로 연마박편을 제작하여 실험하였다. 유체포유물의 산출상태, 가열 및 냉각실험은 Nikon 현미경에 부착된 Linkam THMSG 600을 이용하여 측정하였다. 유체포유물 측정 이전에, Linkam THMSG 600은 USGS에서 제작된 표준시료(H₂O, H₂O+ CO₂)를 이용하여 보정을 실시하였다. 측정오차는 냉각실험시 ± 0.2°C, 가열실험시 ± 0.5°C이다.

실온(25°C)에서 관찰되는 상의 종류, 성분 및 가열실험시 균일화되는 상의 변화에 의거하여 이 광상에서 산출되는 유체포유물은 aqueous 포유물로 산출된다. 이 포유물의 형태는 negative form, 인장형, 판상 및 불규칙형으로 산출되며 크기는 70 μm 이내이다. 이 포유물은 기상과 액상의 2상으로 충전도가 50% 미만이며 가열시 액상으로 균일화된다.

이 광상에서 산출되는 백색석영 및 투명석영내의 유체포유물의 냉각/가열 실험 결과, 이형 포유물의 실온에서 V_{H2O}의 몰체적은 <0.3로서 모두 액상 포유물이다. V_{H2O}의 몰체적은 Bodnar(1983)가 제시한 방법에 의해 계산하였으며 오차범위는 ± 5%이다. 이 포유물은 냉각시 V_{H2O}의 응축온도는 -40.5 ~ -31.4°C이며 최초응축온도(T_{i(ice)})는 -25.2 ~ -22.7°C이다. 이것은 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl 및 KCl로 존재함을 의미한다. 이 포유물의 T_{m(ice)}는 -7.1 ~ -0.1°C로서 Bodnar and Vityk(1994)가 제시한 방정식을 이용하여 염농도로 환산하면 0.2 ~ 10.6 wt.%이다. 이 포유물은 가열시 모두 액상으로 균일화되며 균일화온도는 137 ~ 336°C이다.

5. 토론

봉상광상에서 산출되는 광물의 공생관계 및 조성을 이용하여 생성온도와 황분압을 추정하여 보았다. 자연은은 섬아연석 및 방연석과 함께 공생광물군으로 산출되는데 이 공생광물들의 열역학적 자료와 섬아연석의 2.26 ~ 4.28 mole % FeS 값을 이용하여 구한 생성온도와 황분압 (f_{s2})은 각각 188 ~ 210°C, 10^{-15.4} ~ 10^{-16.2} atm 범위를 보인다. 또한 광상의 유체포유물에서 측정된 균일화온도는 137 ~ 336°C이며 염농도는 0.2 ~ 10.6 wt.%이다. 균일화온도와 염농도의 관계를 도시하여 보면, 균일화온도가 낮아짐에 따라 염농도 값도 감소되어 진다. 이는 열수용액이 단층대를 따라 상승함에 따라 천수의 혼합과 모암과의 반응에 의해 냉각과 회석작용이 있었음을 지시한다. 따라서 봉상광상은 초기 열수용액(>336°C, 10.6 wt.%)으로 부터 냉각과 회석작용에 의해 초기 황화광물들이 침전되었으며 말기의 함 은광물들은 지속적인 온도의 감소와 황화광물의 침전으로 인한 황분압의 감소에 의하여 침전되었다고 생각된다. 유체포유물의 자료(336.1°C, 8.7 wt.%, 0.75 g/cm³)로 부터 구한 생성온도를 이용하여 구한 압력은 약 131 bar이며 심도는 1,700 m 정도이다.

6. 참고문헌

- Bodnar, R.J. (1983) A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluids. *Economic Geology*, v. 78, p. 535-542.
- Bodnar, R.J. and Vityk, M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusion: in De Vivo, B. and Frezzotti, M.L. eds., *Fluid inclusions in minerals: Method and applications: Short Course International Mineralogical Assoc.*, p. 117-130.
- Jwa, Y.J. (1998) Petrology of the igneous rocks in the Goseong area, Gyeongsang basin II. Trace element geochemistry and Rb-Sr radiometric age. *Economic and Environmental Geology*, v. 31, p. 473-483.

Korea Mining Promotion Corporation (1975) Survey report of Bongsang mine.

Korea Mining Promotion Corporation (1977) Drilling survey report of Ore Deposits. p.
738-739.

Korea Mining Promotion Corporation (1987) Drilling survey report of Ore Deposits. p.
930-931.