

만명 금-은광상에서 산출되는 광석광물과 유체포유물 연구

유봉철¹⁾ · 수흐톨가^{2)*} · 이현구³⁾

1. 서론

만명광상은 쥐라기 반상화강암과 백악기의 석영반암내에 발달된 NE 방향의 단층대를 따라 충진한 열수성맥상석영맥광상으로 충청북도 옥천군 청성면 만명리 일대에 위치한다.

최근들어, 국제사회의 불안정한 요소에 의하여 금 시세가 고공행진을 하고 있고, 국내 산업의 경제규모가 팽창되어 감에 따라 원료자원의 수요가 급증하고 있으나 대부분을 해외로부터의 수입에 의존하고 있다. 그러나 주요자원의 수출국들은 자원을 자국화하고 일부 원료자원은 자원산업의 글로벌화가 가속화되어 광산물의 수입 확대 등에 따른 시장잠식이 커지고 있다.

과거 국내의 광업과 관련된 학계나 국가출현 관계기간에서는 과거의 수동적인 탐사활동이나 연구를 수행하는데 그쳤었다. 게다가 최근 들어 국내 대부분의 금속광업계는 개발도상국가와의 경제력 상실로 인하여 광상개발이나 탐사활동이 거의 중단상태에 이르게 되어 보다 능동적인 탐사활동과 적극적인 지원체계 확립이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이 광상에 대한 지금까지의 연구보고는 KMPC(1987), Lee et al.,(1987)등이 있으며 여기에서는 광상에 대한 개략적인 지질 및 광상에 대해서만 보고하고 있다.

따라서 이 연구에서는 광상의 주변지질, 광상의 광석광물에 대한 공생관계, 화학조성 및 유체포유물 등을 규명하여 광상의 생성환경을 고찰하고자 한다.

2. 주변지질

이 광상의 지질은 옥천누층군의 변성퇴적암류를 기저로 이를 관입한 쥐라기의 반상화강암, 화강섬록암, 복운모화강암 및 우백질화강암과 이들을 관입한 백악기의 석영반암, 염기성암맥 및 석영맥으로 구성된다.

옥천누층군의 변성퇴적암류는 천매암, 점판암 및 규암으로 구성되며 이 광상의 서측과 동측에 NNW방향 및 루우프 펜턴트로 분포한다. 천매암과 점판암의 엽리의 방향은 대체로 N20~45W, 30~60SW이며 석영, 장석류, 흑운모 및 녹니석 등으로 구성된다. 규암은 우백색을 띠며 입자가 상당히 치밀하다. 구성광물로는 석영과 소량의 장석류 및 흑운모가 관찰된다.

쥐라기의 반상화강암은 이 광상일대에 넓게 분포하며 큰 장석의 반정을 갖는 것이 특징이다. 구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 미사장석, 흑운모, 녹니석, 견운모, 방해석, 전기석, 인회석 및 자철석 등이며 K-Ar 년대 측정 결과는 164 Ma로 쥐라기 초기에 해당된다(Lee, 1971). 화강섬록암은 광상의 동측에 맥상으로 분포하며 폭은 10~50 m 정도이다. 구성광물은 사장석, 각섬석, 흑운모, 석영 및 정장석 등이다. 복운모화강암은 광상의 동측에 소규모 분포하며 반상화강암을 관입하고 있다. 이 암석은 우백색을 띠고 세립질 내지 중립질이다. 구성광물은 석영, 정장석, 흑운모, 백운모, 사장석 및 불투명광물 등이다. 우백질화강암은 광상의 서측에 옥천누층군의 변성퇴적암류와 반상화강암사이에 NNW방향으로 관입하고 있다. 이 암석의 폭은 200~450 m 정도이고 연장성은 5 km 정도이다. 구성광물은 석영, 사장석, 각섬석,

주요어 : 만명 금-은광상, 석영맥, 광석광물, 산출상태, 화학조성, 유체포유물

1) 충남대학교 지질환경과학과(chbong@cnu.ac.kr)

2) 충남대학교 지질환경과학과(jegr66@yahoo.com)

3) 충남대학교 지질환경과학과(phklee@cnu.ac.kr)

흑운모 및 녹니석등이다.

석영반암은 광상의 남동측에 소량 분포하며 우백색내지 담홍색을 띠며 석영과 소량의 장석을 반정으로 갖는다. 구성광물로는 석영, 장석류 및 흑운모이다. 염기성 암맥은 광상일대에 소규모로 산재하며 흑색 내지 암흑색을 띤다. 석영맥은 이 광상일대에 수조 심성암류 및 반심성암류를 관입하여 산출된다.

3. 광상 및 광석광물

만명광상은 반상화강암과 석영반암 내에 발달된 N10~15E 방향의 단층대를 따라 충진한 함 금-은 석영맥 맥상 광상이다. 이 광상은 4~5개조의 평행한 석영맥으로 맥폭은 0.01~0.2 m 정도로 팽축이 심한 편이다. 이 광상은 과거 본갱, 개발갱 및 은골갱을 개설하여 채굴하였다.

본갱 및 개발갱에서는 3개조의 석영맥이 관찰되며 이들을 각각 1호맥, 2호맥 및 3호맥으로 명명하였다. 이들 갱에서 발견되는 석영맥의 품위는 ND~269 g/t Au, Tr~714 g/t Ag이다. 1호맥은 N10~15E, 75SE 방향의 주향과 경사를 갖으며 맥폭은 0.1 m 정도이다. 이 맥은 남측으로 150 m, 북측으로 50 m정도 연맥 굴진되었다. 이 맥은 다른 맥에 비해 황화광물이 많으며 그 중에서도 남측의 막장 부근에서 황화광물이 다량 산출된다. 이 맥에서 관찰되는 광물은 황철석, 유비철석, 섬아연석, 황동석 및 방연석 등이다. 2호맥은 1호맥의 동측 약 50 m 지점에 1호맥과 평행하게 발달한다. 이 맥에서는 자형의 황철석만 관찰될 뿐 다른 황화광물의 관찰은 드물다. 3호맥은 2호맥의 동측 약 120 m 지점에 1호맥 및 2호맥에 평행하게 발달한다. 이 맥은 일부 부광대를 제외하곤 자형의 황철석만 관찰된다. 부광대에서 관찰되는 황화광물은 황철석, 섬아연석, 황동석 및 방연석이 산출된다.

은골갱은 본갱의 동측 약 400 m 지점에서 발달하는 N5~10E, 75~80SE의 주향과 경사를 갖는 석영맥을 대상으로 약 10 m 크로스 굴진하여 착맥 후 약 25 m 연맥 굴진되었다. 맥폭은 0.05~0.2 m 정도이며 북측 막장부근에서 N45W 방향의 단층에 의해 단절되었다. 이 맥의 품위는 ND~0.9 g/t Au, Tr~2 g/t Ag이다.

석영맥은 빗살구조, 대상구조, 각력상구조 및 정동구조가 관찰된다. 석영맥 및 광석의 산출상태, 광물의 공생관계 및 조적을 기초로 한 이 광상의 광물 정출순서는 석영+방해석맥의 단일시기로 구성된다. 모암변질은 건운모화, 규화 및 황철석화작용이 관찰되나 건운모화작용이 우세하다. 산출되는 광물은 석영, 방해석, 황철석, 유비철석, 섬아연석, 황동석 및 방연석이 주로 산출되고 소량 자류철석, 침철석 및 에렉트럼 등이다. 황철석은 산출빈도와 산출량이 가장 많으며 모든 광물과 함께 산출된다. 유비철석은 황철석, 섬아연석 및 자류철석 등과 함께 산출된다. 유비철석은 EPMA에 의한 3개 시료 9개 입자에 대한 정량분석 결과 28.3~31.7 atomic % As 함량을 갖는다. 섬아연석은 황철석 다음으로 산출빈도와 산출량이 많으며 주로 황철석, 유비철석, 자류철석, 황동석 및 방연석 등과 함께 산출된다. 섬아연석은 EPMA에 의한 4개 시료 12개 입자에 대한 정량분석 결과 10.0~19.4 mole % FeS 함량을 갖는다. 방연석은 황철석 다음으로 산출빈도와 산출량이 많으며 주로 황철석, 유비철석, 섬아연석 및 황동석 등과 함께 산출된다. 에렉트럼은 주로 황철석, 섬아연석 및 방연석과 함께 산출되며 EPMA에 의한 2개 시료 6개 입자에 대한 정량분석 결과 22.8~33.4 atomic % Au 함량을 갖는다..

4. 유체포유물

유체포유물 연구는 만명광상의 석영맥에서 산출되는 백색석영 및 자형의 투명석영을 대상으로 연막박편을 제작하여 실험하였다. 유체포유물의 산출상태, 가열 및 냉각실험은 Nikon 현미경에 부착된 Linkam THMSG 600을 이용하여 측정하였다. 유체포유물 측정 이전에, Linkam

THMSG 600은 USGS에서 제작된 표준시료(H_2O , $H_2O + CO_2$)를 이용하여 보정을 실시하였다. 측정오차는 냉각실험시 $\pm 0.2^\circ C$, 가열실험시 $\pm 0.5^\circ C$ 이다.

실온($25^\circ C$)에서 관찰되는 상의 종류, 성분 및 가열실험시 균일화되는 상의 변화에 의거하여 이 광상에서 산출되는 유체포유물은 aqueous 포유물로 산출된다. 이 포유물의 형태는 negative form, 판상 및 불규칙형으로 산출되며 크기는 $50 \mu m$ 이내이다. 이 포유물은 기상과 액상의 2상으로 충전도가 50% 미만과 이상으로 구별되나 대부분이 50% 미만이다. 이 50% 미만인 포유물은 가열시 액상으로 균일화(액상 포유물)되고 50% 이상인 포유물은 기상으로 균일화(기상 포유물)된다.

이 광상에서 산출되는 백색석영 및 투명석영 내의 유체포유물의 냉각/가열 실험 결과, 이형 포유물의 실온에서 V_{H_2O} 의 몰체적은 <0.3 및 $0.6 \sim 0.75$ 이나 대부분이 액상 포유물이다. V_{H_2O} 의 몰체적은 Bodnar(1983)가 제시한 방법에 의해 계산하였으며 오차범위는 $\pm 5\%$ 이다. 이 포유물은 냉각시 V_{H_2O} 의 응축온도는 $-32.1 \sim -31.0^\circ C$ 이며 최초응용온도($T_{i(ice)}$)는 $-24.7 \sim -23.2^\circ C$ 이다. 이것은 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl 및 KCl로 존재함을 의미한다. 이 포유물의 $T_{m(ice)}$ 는 $-2.1 \sim -0.1^\circ C$ 로서 Bodnar and Vityk(1994)가 제시한 방정식을 이용하여 염농도로 환산하면 $0.2 \sim 3.6 \text{ wt.}\%$ 이다. 이 포유물은 가열시 대부분 액상으로 일부 기상으로 균일화되는 것도 관찰되며 균일화온도는 $206 \sim 383^\circ C$ (액상)과 $288 \sim 294^\circ C$ (기상)이다.

5. 토론

만명광상에서 산출되는 광물의 공생관계 및 조성을 이용하여 생성온도와 황분압을 추정하여 보았다. 유비철석, 황철석, 섬아연석 에렉트럼의 공생광물군은 함께 산출된다. 이 공생광물들의 유비철석의 As atomic %는 $30.12 \sim 30.62$, 섬아연석의 FeS mole %는 $12.01 \sim 18.05$ 및 에렉트럼의 Ag atomic %는 $75.63 \sim 77.18$ 값을 이용하여 구한 생성온도와 황분압(f_{s_2})은 각각 $265 \sim 340^\circ C$, $10^{-8.8} \sim 10^{-12.9} \text{ atm}$ 범위를 보인다.

이 광상의 유체포유물에서 측정한 균일화온도는 $206 \sim 383^\circ C$ 이며 염농도는 $0.2 \sim 3.6 \text{ wt.}\%$ 이다. 균일화온도와 염농도의 관계를 도시하여 보면, 균일화온도가 낮아짐에 따라 염농도 값도 감소되어 진다. 이 광상을 형성한 열수용액은 단층대를 따라 상승함에 따라 천수의 혼합과 모암과의 반응에 의해 냉각과 회석작용이 있었음을 지시한다. 따라서 만명광상의 황화광물 및 금-은광물들은 냉각 및 회석작용에 의한 온도와 황분압의 감소에 의하여 침전되었다고 생각된다. 또한 기상포유물에 대한 자료($294^\circ C$, $0.2 \text{ wt.}\%$, 0.71 g/cm^3)를 이용하여 구한 압력은 약 80 bar이며 심도는 990 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 H_2O -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.
- Korea Mining Promotion Corporation (1987) *Ore Deposits of Korea. Gold and silver.* p. 339-340.
- Lee, H.K. Kim, S.J. and Choi, S.G. (1987) Occurrence of electrum from the Namseong gold mine. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 20, p. 223-234.