

# 태백지역 신예미 서부광체 하부의 스카른화작용 및 몰리브덴 광화작용

서지은<sup>1)\*</sup> · 최선규<sup>1)</sup> · 김창성<sup>1)</sup> · 박정우<sup>1)</sup> · 김남혁<sup>2)</sup> · 유인걸<sup>2)</sup> · 김태형<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

태백산 광화대는 다양한 금속 종이 산출되고 있으며, 기존에 개발되었던 일부 스카른형 광상에서 Mo, Au 등과 같은 고가 금속에 대한 부존 가능성이 언급되었다. 최근 신예미광상의 하부 철 광체에서 몰리브덴 광화작용이 시추탐사에서 확인되어 몰리브덴 광체의 부존 가능성이 재검토되고 있다(최선규 외, 2006). 신예미광상은 기존 생산실적 자료에 의하면 동부광체는 주로 아연-연-동이 산출되는 반면, 서부광체 상부는 아연-몰리브덴 그리고, 서부광체 하부는 철을 대상으로 개발하였다. 최근 신예미 광상의 향내 및 시추 결과에 의하면 철 광체의 하부에서 몰리브덴 광화작용이 후기에 중첩된 양상을 보이고 있다. 본 연구는 신예미 서부광체 하부 철 스카른대에서 산출되는 몰리브덴 광화작용 및 이와 관련된 스카른화작용에 대한 광물학적 연구를 수행하였다.

## 2. 지질 및 광상 개요

신예미광상 일대의 지질은 전반적으로 조선누층군의 탄산염암을 후기 백악기 화강암, 반화강암, 석영반암이 관입하고 있으며, 광범위하게 분포하는 NNE방향의 구조선을 따라 후기에 관입한 화강암류가 막골층을 절단하며 암맥상 또는 원추형 암체로 산출되고 있다. 막골층을 관입하는 신예미화강암체의 생성연대는 60.0, 74.7, 77.7 Ma로 보고된바 있다(Kim and Kim, 1978; Yang, 1991). 신예미광산은 백운암-석회암과 석영반암(또는 반화강암)과의 접촉부를 따라 발달하는 접촉교대(스카른)형~열수교대형 광상으로 변화양상을 보이며, 국부적으로 압쇄대 및 단층열극대를 따라 열극충진형 광상이 중첩되어 있다.

신예미광상은 70년대 상부광체에서 황화광물을 대상으로 아연, 동, 몰리브덴, 납이 생산되었으며, 82년부터 현재까지 서부광체의 자철석을 대상으로 철(2,775,740 t; 50% Fe)이 생산되었다(최선규 외, 2006). 신예미 광상 서부광체에서 스카른화작용은 탄산염암의 화학조성에 따라 백운암을 교대한 Mg계열 스카른과 석회암을 교대한 Ca계열 스카른으로 구분된다(Yang, 1991). 신예미 서부광체 스카른광상에서 산출하는 금운모의 K-Ar 연대는 76.7 Ma로 후기 백악기의 광화시기로 보고되었으며, 서부광체에서 산출되는 반암의 K-장석에 대한 K-Ar 연대(77.2 Ma)와 서로 일치하고 있다(Yang, 1991). 최근 서부광체 하부(-230 ~ -350 m)에서 반화강암에 배태된 함회수연석 망상 세맥의 몰리브덴 광화작용과 스카른화작용이 확인되었다(Fig. 1).

## 3. 스카른광물의 광물화학

신예미 서부광체 하부에서 확인된 스카른은 반복 유입된 광화유체에 의하여 형성된 특징을 보이며, 스카른대의 산상에 의한 선후관계 및 잔존된 모암조직을 근거로 검토한 결과 상대적 시간차를 보이는 전기 스카른(stage I) 단계와 후기 스카른(stage II) 단계로 구분된다. 이러한 전기 및 후기 스카른 유형은 정출환경에 따라 전진(prograde)과 후퇴(retrograde) 스카른으로

---

주요어 : Mg계열 스카른, Ca계열 스카른, 신예미, 철 광화작용, 몰리브덴 광화작용

1) 고려대학교 지구환경과학과 (still4@korea.ac.kr)

2) 대한광업진흥공사

세분되며, 후기 스카른 단계는 모암에 따라 내성 스카른과 외성(맥상) 스카른으로 세분된다. 서부광체 하부의 스카른대는 주로 광화 전기에 형성된 Mg계열 스카른으로 철 광화작용과 밀접한 연관성을 보이는 반면, 유문암질 반화강암의 주변부를 따라 국부적으로 배태되는 광화 후기의 Ca계열 스카른은 몰리브덴 광화작용과 관련되어 있으며 철광체에 중첩되어 나타나고 있다.

Mg계열 스카른은 전진 스카른 단계 광물인 자철석+감람석+단사회석으로부터 후퇴 스카른 광물인 사문석+녹니석+투각섬석±금운모±활석의 광물조합을 보이고 있다. 감람석은 전기 스카른 단계에서만 정출되며 Fo 함량은 77.1-98.5 mole %로서 Mg가 부화되어 있으며, 입자의 경계부를 따라 불규칙적으로 교대된 현상이 관찰된다. 전기 스카른 단계와 후기 스카른 단계(내성 스카른)에서 정출된 단사회석은 전반적으로 Mg성분이 부화된 투회석조성을 보이는 반면, 맥상으로 산출하는 후기 스카른 단계(외성 스카른)의 단사회석은 회철회석의 조성을 보이며, 철과 망간 함량이 현저하게 증가되는 경향을 보인다. 석류석은 후기 스카른 단계에서만 정출되며, 내성 스카른의 석류석은 전반적으로 Al성분이 부화되며, 이는 스카른화 시 반화강암의 화학조성을 반영한 것으로 해석된다. 외성 스카른의 석류석은 넓은 조성변화를 보이며, 전형적인 화학적 누대구조가 나타나는 특징을 보이는데, 결정입자 중심부에서 외곽부로 갈수록 Fe성분이 부화되는 경향을 보인다.

#### 4. 스카른의 생성환경

신예미화강암류에 대한 섬아연석 지질압력계(0.5±0.2 kbar; Yang, 1991)와 유체포유물에서 유도된 유체압(0.39±0.07 kbar; 배영부, 1992), 그리고 전형적인 천부환경에서 정지된 산출 산상을 종합적으로 고려한 결과 신예미광상의 스카른화작용 및 광화작용시 광화유체의 압력과 X<sub>CO2</sub>는 각각 약 0.5 kbar와 0.1 이하의 개방계 환경으로 해석된다(최선규 외, 2006). 또한 전기 스카른 단계 전진 스카른은 안정한 광물조합에 근거하여 약 400°C에서 약 550°C의 온도 범위에서 진행된 반면, 후퇴 스카른 광물군의 안정영역은 약 300°C에서 약 400°C의 온도 범위로 추정된다. 서부광체 하부 스카른대는 재차 유입된 열수 공급에 기인하여 후기 스카른 단계의 회철회석+석류석+각섬석+석영±휘수연석의 망상 세맥(veinlet skarn)이 전기 스카른 단계의 괴상 자철석+감람석+투회석을 절단하며 중첩된 양상을 보인다.

#### 5. 토의

철, 아연, 몰리브덴, 동 및 연이 수반되는 다금속 광화작용의 특징을 보이고 있는 신예미 스카른광상의 금속(광석광물) 유형은 기원 물질인 관계 화성암의 성인적 특성과 광화유체의 물리-화학적 환경변화에 따라 좌우되고 있다. 관계 화성암인 신예미화강암류는 전형적인 천부 환경에서 정지된 특징을 보이며, 결정분화작용이 상당히 진행된 지화학적 특성(>70 wt. % SiO<sub>2</sub>)을 나타내고 있다(최선규 외, 2006). 신예미광상은 전형적인 Mg계열의 스카른화작용과 관련된 철 광화작용을 보이고 있으나, 기타 금속 생산량 중 Mo/Cu 누적평균비가 1.13으로서 Cu에 비하여 Mo가 부화된 전형적인 Mo형 광상(Mo/Cu>1.0)에 해당하는 금속비를 나타내고 있다. 이는 관계화성암으로 간주되는 신예미화강암류의 지화학적 특성이 이전에 보고된 Mo/Cu 금속비와 서로 일치된 결과로서 철 이외에 몰리브덴을 수반하는 생산성 화강암체로 해석된다(최선규 외, 2006). 또한 반화강암내에 함휘수연석이 확인되어 철 스카른화작용 이후에 잔류 광화유체의 유입에 따른 몰리브덴 광화작용의 가능성을 시사한다.

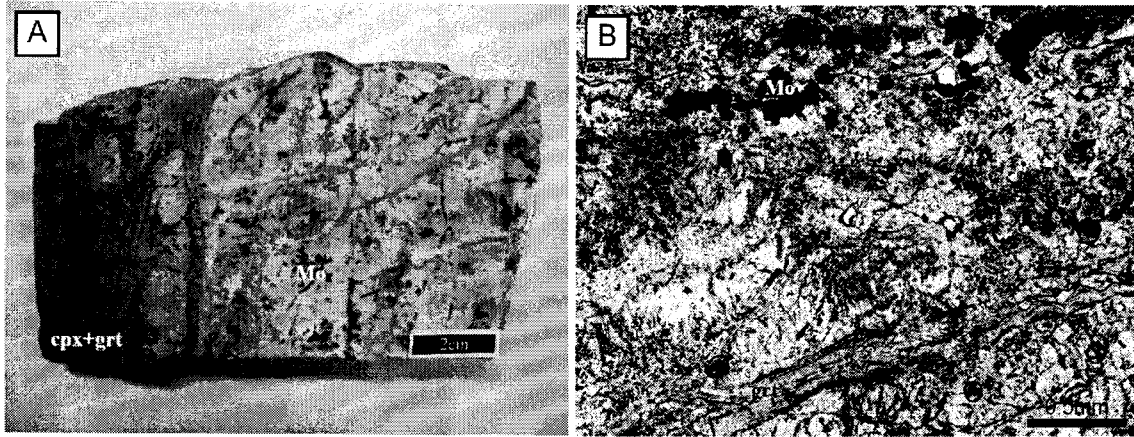


Fig 1. (A) Slab photo of endoskarn with molybdenite and (B) photomicrograph of endoskarn with garnet, clinopyroxene and molybdenite.

### 5. 참고문헌

- 배영부 (1992) 신예미광산 북압광체에 관한 연구. 지구과학회지, 13, 127-135.
- 최선규, 김창성, 서지은, 박정우, 유인걸, 김량희, 신종기, 김남혁 (2006) 2006 벤처탐사 학술연구 용역보고서(몰리브덴: 예미지구). 대한광업진흥공사, 85p.
- Carten, R.B., White, W.H. and Stein, H.J. (1993) High-grade granite-related molybdenum system: Classification and origin, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M., eds., Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper 40, 521-554.
- Kim, O.J. and Kim, K.H. (1978) On the genesis of the ore deposits of Yemi district in the Taebaegsan metallogenic province. J. Natural Sci. Yonsei Univ., 2, 71-94.
- Yang, D.Y. (1991) Mineralogy, petrology and geochemistry of the magnesian skarn-type magnetite deposits at the Shinyemi Mine, Republic of Korea. Ph.D. Thesis, Waseda Univ., 323p.