

# 금성 몰리브덴 광상의 공간적 분포 특성: 큐폴라형 Mo 광화작용

박정우<sup>1)\*</sup> · 최선규<sup>1)</sup> · 서지은<sup>1)</sup> · 안용환<sup>1)</sup> · 이지윤<sup>1)</sup> · 신종기<sup>2)</sup> · 김남혁<sup>2)</sup> · 유인걸<sup>2)</sup>

## 1. 서 언

최근 기존에 개발되었던 스키르네광체의 하부에서 잠두 몰리브덴광체가 확인되고 있으며 특히 금성, 신예미, 삼울소보 광산에서도 몰리브덴의 잠두광체에 대한 부존 가능성이 검토되고 있다. 금성광상의 몰리브덴광체는 영월형 탄산염암이 교대된 괴상 단사휘석-석류석 스키르네대에 주로 배태되고 있으며, 80년대에는 제천화강암과 탄산염암의 접촉부를 중심으로 스키르네광체에 대한 시추 탐사가 중점적으로 실시되었으나, 2006년 대한광업진흥공사에서 수행된 심부시추를 통하여 국내 처음으로 새로운 유형인 큐폴라형 몰리브덴 광체가 확인되었으며(대한광업진흥공사, 2006), 이러한 Mo광체는 반암형 광화작용과 밀접한 연관성을 보이는 것으로 추정되었다(최선규 외, 2007). 본 연구는 상부 스키르네뿐만 아니라 하부 스키르네와 큐폴라를 종합적으로 비교하여 스키르네화작용 및 몰리브덴 광상의 공간적 분포 특성과 광화작용을 정립하는데 목적이 있다.

## 2. 지질 및 광상 개요

금성광상의 광역 지질은 시대미상의 옥천계 변성퇴적암류와 고생대 조선누층군의 퇴적암류 그리고 후기에 관입한 쥐라기 및 백악기 화강암류로 구성된다. 제천화강암체는 조립질의 흑운모 화강암과 흑운모 화강섬록암으로 구성되며(진명식 외, 1992), 자철석계열 I형 아다카이트질 암석화학적 특성이 보고된 바 있다(Ishihara *et al.*, 2005). 또한, 제천화강암류는 K-Ar 연령이 179~169 Ma(Shibata *et al.*, 1983)와 Rb-Sr 연령이 203 Ma(진명식 외, 1992)로 쥐라기 화성활동에 속하며, 각섬석 압력계로 추정된 정치심도는 3.8 kbar로 비교적 심부환경에서 고결된 암체로 간주되고 있다(조등룡과 권성택, 1994).

제천화강암의 남측 경계부에 위치한 금성광산은 단사휘석-석류석 스키르네대에 배태된 몰리브덴광체를 대상으로 개발되었으며, 몰리브덴 생산실적('78부터 '87년까지 약 1,507 t (90% MoS<sub>2</sub>))이 보고된 바 있다. 기존 생산실적의 Mo/Cu 비는 전형적인 몰리브덴형(부화된 Mo-결핍된 Cu) 광상으로 결정분화작용이 매우 진행된 I형 화강암의 최종 분화단계에서 유리된 광화유체가 직접 관여하고 있다(Carten *et al.*, 1993). 금성몰리브덴광상은 공간적으로 인접한 제천화강암체가 관계화성암으로 간주되어 대보화성활동과 관련된 쥐라기 광화작용으로 기재되어 있다(Shibata *et al.*, 1983; 진명식 외, 1992; Ishihara *et al.*, 2005).

## 3. 스키르네대의 공간적 분포와 큐폴라형 몰리브덴광상

2006년도에 수행된 시추결과에 의하면 기존 상부 스키르네대와 함께 심부 시추시료에서도 하부 스키르네대가 확인되었다. 하부 스키르네대는 상부 스키르네대로부터 약 100±30 m 하부에 배태되며, 큐폴라와 백운암질 석회암의 접촉부를 따라 수 m 두께로 산출되고 있다. 상부 및 하부 스키르네대의 유형은 관계화성암의 공간적 근접성에 따라 하부의 근지성(I형) 스키르네과 상부 스

---

주요어 : Mg계열 스키르네, Ca계열 스키르네, 금성, 큐폴라형 몰리브덴 광화작용, 단방향 결정성장 조직

1) 고려대학교 지구환경과학과 (still4@korea.ac.kr)

2) 대한광업진흥공사

카른대의 점이성(II형) 스카른으로 구분되며, 모암인 탄산염암의 조성차이에 따라 상이한 스카른 광물조합을 보여 Mg계열 스카른과 Ca계열 스카른으로 분류된다. 휘수연석은 전반적으로 상부스카른대와 큐폴라형 암체를 중심으로 부존되고 있다.

**상부 스카른대:** 상부 스카른대는 전반적으로 석회암 또는 이질 판상석회암을 교대한 Ca계열 스카른으로, 중심부의 단사회석-석류석대로부터 석회암의 접촉 주변부의 석류석대로 변화되는 점이적인 대상 분포의 특징을 보인다.

단사회석-석류석대는 전반적으로 짙은 녹색색을 띠고 있으며, 주로 단사회석+석류석+녹렴석+석영+양기석+정장석±방해석±스핀의 광물조합을 보이고, 전진 스카른단계에서 형성된 단사회석과 석류석이 후기 후퇴 스카른단계에서 정출-교대된 녹렴석+석영+양기석에 비하여 우세한 경향을 보인다. 광석광물은 주로 휘수연석과 황철석으로 구성되며, 휘수연석은 침상결정의 집합체로서 광염상으로 산출되는 특징을 보인다.

석류석대는 전반적으로 짙은 적갈색의 전형적인 괴상스카른으로, 석류석+단사회석+녹렴석+자철석±적철석±양기석±녹니석±방해석의 고온·중온성 광물조합을 보이고 있다. 석류석은 육안 관찰시 석회암에 근접할수록 담갈색 석류석에서 담황(녹)색 석류석으로 색상변화가 관찰된다.

**하부 스카른:** 하부 스카른대는 반화강암질 암체와 백운암의 접촉부를 따라 소규모로 배태되고 있으며, 내성 스카른과 외성 스카른으로 구분된다. 하부 스카른대는 상부 스카른대와 비교하여 Mg계열 스카른광물이 특징적으로 산출되며, 석류석은 전혀 확인되지 않고 있다. 하부의 외성 스카른대는 전반적으로 짙은 암록색을 띠며, 부분적으로 자철석과 스카른광물 간의 미세한 호층구조를 보이며 투회석, 감람석 및 자철석과 같은 고온성 광물조합을 보인다. 내성 스카른대는 담록색의 색상을 띠며, 부분적인 스카른화작용으로 극미립으로 산출하는 스카른광물과 반화강암의 구성광물이 혼재되어 있다. 주로 투회석과 투각섬석, 금운모, 백운모, 방해석, 석영, 정장석 및 알라나이트로 구성되며, 정장석은 부분적으로 견운모화되어 있다. 휘수연석은 극소량 산출되며 광염상으로 운모류의 벽개면을 따라 치환되어 있다.

**큐폴라형 Mo 광상:** 2006년도 대한광업진흥공사에서 실시된 3호 시추공의 약 234~260 m 구간에서 확인된 큐폴라형 반화강암질 암체는 빗살 석영질 층(CLQ; comb-layered quartz)과 반화강암질 층(AL; aplitic layer)의 미세한 호층구조와 함께 단방향 결정성장 조직(UST; unidirectional solidification texture)을 보이고 있으며, 이는 큐폴라형 광상의 전형적인 조직과 일치하고 있다(Fig. 1). 큐폴라의 내측부에서는 휘수연석을 다량 함유하는 석영 층과 휘수연석을 미량 함유하는 반화강암질 층으로 세분되고, 큐폴라형 암체내부에서 산출되는 광석광물은 주로 휘수연석이 우세하게 산출되며 소량의 황철석이 관찰된다. 반화강암질 큐폴라 최외각부에 배태된 정장석대 K-장석의 K-Ar 연대는  $96.5 \pm 2.1$  Ma(최선규 외, 2007)로 제천화강암과는 상이한 후기 백악기 화성활동과 관련된 광화시기를 보이고 있다. 잔류마그마로부터 분리된 다량의 유체는 암압>유체암(부분적으로 유체암=암압)의 경우 암주형 큐폴라 상부에 농집되어 UST형 몰리브덴광체가 형성된 것으로 추정된다.

#### 4. 결 언

기존에 개발되었던 금성광산의 생산실적은 Cu에 대하여 몰리브덴이 부화된 전형적인 금속비를 나타내고 있으며, 결정분화작용이 상당히 진행된 반화강암(>73 wt. % SiO<sub>2</sub>)과 밀접한 성인적 특성을 보이고 있다(최선규 외, 2007). 특히 기존에 발표된 연구결과에 의하면 제천화강암이 관계화성암으로 보고된 바 있으나, 제천화강암의 암석화학적 특성 및 관입심도를 검토한 결과 몰리브덴광화작용과 연계성은 미약한 것으로 추정된다. 금성광상은 시추시료에서 확인된 바와 같이 분화된 반화강암질 백악기 천부 반심성암체(약 97 Ma)에서 유리된 광화유체로부터

스카른화작용과 함께 몰리브덴 광화작용이 진행되었다. 기존 몰리브덴광체와 2006년도 시추자료를 종합적으로 검토한 결과, 금성 몰리브덴광상은 공간적으로 상부 스카른대에 배태된 점이성 몰리브덴광상과 하부 스카른대의 근지성 Mg계열 Fe스카른과 함께 산출되는 큐폴라형 몰리브덴 광상으로 구분된다. 전진 스카른 단계의 생성환경은 무수스카른광물의 공생관계 및 열역학적 자료를 근거로 약 400~500°C 온도범위에 해당하며, 후퇴 스카른 단계에서 함수규산염 광물의 안정영역으로부터 약 300~400°C의 온도조건으로 추정된다. 금성몰리브덴광상에서 기존에 개발되었던 스카른형 몰리브덴 광체뿐만 아니라 잠두광체인 큐폴라형 몰리브덴광체의 부존 가능성이 확인된 것으로, 몰리브덴 광화작용의 천부 지열수계 성인모델을 적용한 체계적 탐사와 함께 국내 몰리브덴 광물자원의 잠두광체에 대한 재평가가 요구된다.

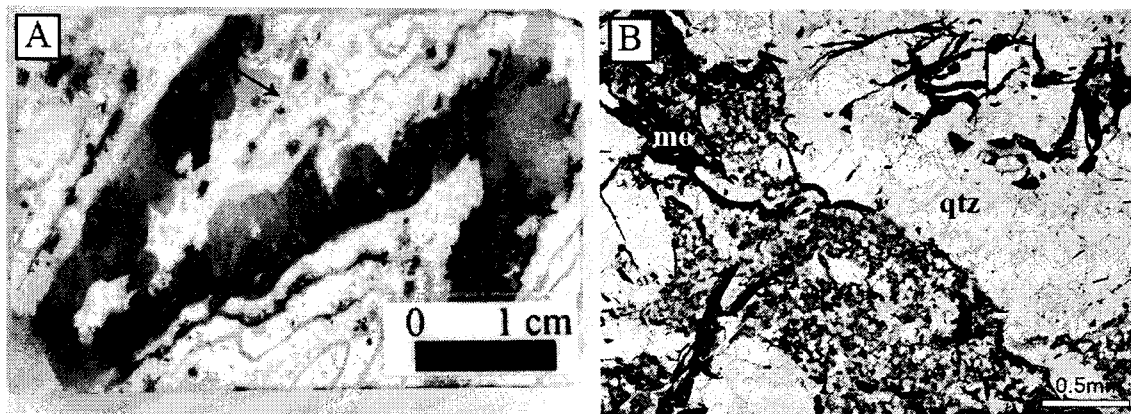


Fig 1. (A) Slab photo of cupola with molybdenite; comb quartz layer with planar bases and euhedral crystal terminations in cupolar. Arrows show the growth direction of comb quartz, (B) photomicrograph of quartz layer in aplitic cupolar containing molybdenite.

## 5. 참고문헌

- 대한광업진흥공사 (2006) 정밀조사 보고서 (몰리브덴: 제천지구). 대한광업진흥공사, 100 p.
- 조동룡, 권성택 (1994) 남한의 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각 두께의 진화. 지질학회지, v. 30, p. 41-61.
- 진명식, 김성재, 신성천, 추성환, 지세정 (1992) 남한의 옥천습곡대에 분포되어 있는 제천화강암체의 열역사. 암석학회지 1, p. 49-57.
- 최선규, 박정우, 서지은, 김창성, 신종기, 김남혁, 유인걸, 이지윤, 안용환 (2007) 금성 몰리브덴 광상의 잠두 큐폴라형 광체에 대한 부존가능성과 성인적 환경. 자원환경지질학회지, v. 39, p. 1-14.
- 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., Thorde, R.I. and Duke, J.M. (eds.) Mineral Deposit modeling. Geol. Asso. Canada Spec. Paper, v. 40, p. 521-554.
- Ishihara, S., Jin, M., and Terashima, S. (2005) Mo-related adakitic granitoids from non-island-arc setting: Jecheon pluton of South Korea. Resource Geology, v. 55, p. 385-396.
- Shibata, K., Park, N.Y., Uchiumi, S. and Ishihara, S. (1983) K-Ar ages of the Jecheon granitic complex and related molybdenite deposits South Korea. Mining Geology, v. 33, p. 193-197.