

PIMA를 이용한 무극 광화대의 열수변질대 연구

박상준¹⁾, 최선규¹⁾, 김창성¹⁾, 이동은¹⁾

1. 서론

단파장 적외선(Short Wave Infrared; SWIR)을 이용한 분광기법은, 이미 여러 분야에서 이용되어온 중적외선 및 원적외선과는 달리, 시료에 대한 침투 깊이(경로길이, path length)가 4-10mm 정도로 깊어, 시료의 전처리 과정 없이 현장에서 분석할 수 있다. 또한 열수변질 광물은 단파장 적외선에 비교적 높은 반응도를 보여 정성 분석뿐 아니라, 반정량적 분석이 가능하며 분석 시간이 짧지만 높은 재현성을 보여 실시간으로 분석하고 해석할 수 있는 장점이 있다. 그러나 단파장적외선을 이용하여 효율적으로 열수변질대를 분대하기 위해서는 변질 광물들에 대한 표준화 및 최적화 연구가 필요하며, 각 광상의 성인적 유형에 맞는 광물조합의 선택 및 특성 연구, 특성화 변수 추출, 여타의 분석과의 종합적 해석 등 운용기법이 필요하다. 본 연구는 단파장 적외선을 사용하는 휴대용 적외선 광물 분석기(Portable Infrared Mineral Analyzer; PIMA)를 이용하여 무극 광화대의 열수변질대를 조사하고 이를 광물학적 분석결과와 대비하여, 무극 광화대 열수변질대의 특성을 비교하였다.

2. 연구지역 및 연구방법

무극광화대는 국내 최대의 생산실적을 보인 대표적 금·은광화대로서 주요 광산으로는 최근까지 가행하여 각각 Au 18.5 t, Ag 55.5 t 과 Au 10.0 t, Ag 16.0 t 을 생산한 무극·금암 광산이 포함되어 있으며, 최근 탐사중인 금봉·유일·태극광산 등이 위치하고 있다. 무극 광화대가 위치한 음성 퇴적 분지는 경기 육괴의 남측 지역내 발달한 NNE방향의 좌수향 주향이동단층에 의해서 형성된 인리형 분지(pull-apart basin)로서 백악기 경상누층군, 하양누층군에 대비되는 하부 초평층과 상부 백야리층으로 구분된다. 백악기 후기에 관입한 흑운모 화강암은 서측 지역에 걸쳐 넓게 분포하고 있으며 백야리층과는 단층접촉하고 있다. 우백질 화강암은 주로 남측 단층 접촉대를 따라 소규모로 관입하고 있다.

본 연구에서는 연구는 최근 활발히 탐사중인 금봉 및 태극광산의 시추 시료를 대상으로 대표적 호공을 각각 2개 선택하여 조사하였다. 선택된 시추시료는 편광현미경 분석, X-선회절분석 및 전자현미경분석 등을 통한 광물 상의 변화 및 변질 광물의 조합을 근거로 분대를 실시하였다. 단파장 적외선 분석을 위해, 절단된 시추시료를 자연 건조 상태에서 4회 반복측정 하였으며, 필요한 경우 동일 시료에서 위치를 달리 하며 분석하였다. PIMA에 의해서 획득된 스펙트럼은 정성·반정량 분석을 위해 석영·장석·방해석·흑운모·녹니석·녹염석·카올리나이트·알루나이트·견운모·스펙타이트 등으로 구성된 표준시료 스펙트럼 자료를 참조 자료 군으로 설정하여 열수변질대 분대를 수행하였다. 또한 참조 자료군 없이 중요한 지시광물의 상대적 함량관계를 신속하게 파악하기 위한 기법으로, 변질 광물의 스펙트럼으로부터 특성 변수를 추출하여 분석하고 결과를 열수변질대 분대와 비교하였다.

3. 무극 광화대의 열수변질 특성

무극 광화대에서는 석영맥을 중심으로 흑운모 화강암과 우백질 화강암을 모암으로 하여 약 심m 범위까지 비대칭적인 열수변질대가 발달한다. 광화대 북측에서는 녹니석화작용·견운모화작용·녹염석화작용이 우세하게 발달하나, 남측에서는 국부적으로 카올린화작용·스펙타이트화작용이 확인된다. 대

상 광산들의 열수변질대는 광물 상의 변화 및 변질광물의 조합을 기준으로 아프로필리틱대(subpropylitic zone), 프로필리틱대(propylitic zone), 아견운모대(subphyllitic), 견운모대(phyllitic zone), 점토대(argillic zone)로 구분된다. 금붕광산의 경우 석영맥 주변에서 대체적으로 아견운모대 또는 견운모대가 발달하고 있으며 태극광산의 경우 석영맥 주변에서 아프로필리틱대 또는 프로필리틱대가 우세하게 분포한다. 이러한 열수변질대의 분포양상은 맥의 금은품위와도 밀접한 상관관계를 갖고 있다. 즉, 고품위 함금은석영맥 주변에 발달한 열수변질대의 분포양상은 석영맥 → 견운모대 → 아견운모대 → 프로필리틱대의 순서로 분포하지만, 빈광대에서는 석영맥 → 프로필리틱대 → 아프로필리틱대로 산출되는 특징을 보인다.

4. PIMA의 열수변질대 적용

PIMA의 최적화 실험 및 표준화 실험 결과를 검증하기 위해 무극 광화대의 금붕 및 태극광산의 시추시료를 대상으로 단과장 적외선분석을 실시하고 이를 광물학적 연구에서 설정된 열수 변질대 분포와 비교하였다. 분석 결과 각각의 변질대에서 특징적인 변질광물조합으로 인해 스펙트럼 패턴의 변화가 잘 인지된다. PIMA에 의한 분석 결과는 주요 지시광물의 상대적 함량을 가지고 분대를 실시하였으며 지시광물들은 카올리나이트, 견운모, 녹니석, 녹염석, 흑운모, 장석으로 설정하였다. 각각의 변질분대의 기준은 다음과 같다. 점토대의 경우 카올리나이트가 우세하게 측정되는 부분으로 설정하였으며, 견운모대는 견운모가 우세하게 인지되는 부분으로, 아견운모대는 견운모가 우세하게 인지되면서 장석과 녹니석이 함께 소량으로 분석되는 곳으로 설정하였다. 프로필리틱대는 녹니석과 녹염석이 주구성광물로 인지되며, 견운모는 견운모대에 비해 상대적으로 소량으로 인지되는 곳으로 설정하였다. 아프로필리틱대는 녹니석과 흑운모가 인지되면서 견운모가 함께 인지되는 곳으로 설정하였다. PIMA에서 인지된 스펙트럼의 분석으로 구분한 열수변질 분대와 광물학적 연구에 의해 나누어진 열수변질대를 비교하여 보면, 아견운모대, 아프로필리틱대가 다소 불일치 하는 경향을 보이고 있으나, 상대적으로 금 품위가 좋은 금붕광산에서 견운모대가 잘 발달하는 반면, 태극광산에서는 석영맥 주변 부에 국한된 좁은 영역에서 인지되어 서로 상이한 열수변질 양상을 잘 반영하고 있다.

열수변질대 탐사시 서로 다른 성인적 의미를 주는 주요 지시광물의 상대적 증감을 참조 광물 조합군이 없이, 특성 변수만을 가지고 탐사하기 위해, PIMA에서 획득된 광물들의 특성 스펙트럼으로부터 특성 변수(spectral parameters)를 추출하여 기 분석된 열수변질대와 비교하여 보았다. 본 지역에서 중요한 지시광물은 카올리나이트, 녹니석, 견운모로서 다음과 같은 특성 변수를 추출하여 분석하였다. 카올리나이트의 경우 1395nm 와 1412nm, 2160과 2208nm에서 나타나는 이중 흡수 피크 및 흡수도, 피크 폭을 선택할 수 있도록 변수를 추출하였다. 이 경우 추출식은 $F(((W(2208)-30)*-1),0)*D(2160)*D(2208))/100$ 이다. 카올리나이트는 금붕, 태극광산 모두 국부적으로 좁은 범위 내에서 산출되며, 광물학적 관찰결과와 PIMA분석 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 견운모와 녹니석은 무극 광화대 열수변질대에서 매우 중요한 지시광물로 본 연구에서는 두 광물의 상대적 증감을 설정할 수 있도록 특성변수를 추출하였다. 견운모의 2210 - 2220nm 부근의 흡수피크와 녹니석의 2230 - 2295nm 부근의 흡수 피크는 두 광물의 상대적 함량에 따라 증가하거나 감소하므로 이를 특성 변수로 이용하여 $D(B(2230,2295))/D(B(2180,2220))$ 의 추출식을 설정하고 두 광물의 상대적 증감을 비교하였다. 추출식의 값이 0.25이상이면 녹니석이 약 10%이상 포함되어 있다. PIMA분석결과와 특성변수를 이용한 결과를 비교하면 금붕광산 석영맥 주변의 아견운모대와 견운모대에서는 녹니석이 인지되지 않는 곳이 우세하게 나타난다. 반면, 태극광산의 석영맥 주변부에서는 대부분이 녹니석이 10%이상 인지되는 특징을 보여 두 열수변질대가 상이함을 잘 보여 주고 있다.

5. 토의 및 결론

무극 광화대 남측에 위치한 금봉광산의 경우 석영맥 주변에 견운모를 주 구성광물로 하는 아견운모대 내지 견운모대가 우세하게 분포하고 있지만, 광화대 최남단에 위치한 태극광산은 주로 녹니석이 우세하게 나타나는 아프로필리틱대 또는 프로필리틱대가 분포하는 특성을 보인다. 이런 열수변질대의 분포특성을 단파장 적외선 분광법을 적용하여 분석한 결과에서도 대상광산의 열수변질대의 상이한 특성을 잘 인지 할 수 있다. 이런 특징은 광석광물에 종류 및 빈도의 차이를 잘 반영하고 있다. 즉, 금봉광산을 포함한 광화대 북측에 위치한 광산들이 황화광물과 함은·함은염광물이 다량 산출되는 반면, 최남단의 태극광산에서는 소량의 함은·함은염광물과 함께 특징적으로 휘은석이 산출된다. 또한 태극광산은 금봉광산에 비해 낮은 균질화 온도를 보이고 있으며, 산소 동위원소 값에 있어서도 가장 낮은 ^{18}O 값을 보이고 있다. 이런 특징들은 태극광산이 금봉광산에 비해 좀더 천부 환경에서 생성되었음을 시사한다. 이런 두 광산의 생성환경 차이가 열수변질대에 반영되어, 금봉광산에서는 견운모가, 태극광산에서는 녹니석이 우세하게 분포하는 특징을 보여 주고 있다. 이와 같이 보다 북측에 위치한 금봉 광산과 비교하여 최남단 태극광산에서는 열수변질대의 분포양상이 상이한 경향을 보이고 있으며, 이는 광산의 성인적 특성 및 모델을 정립하는데 중요한 자료로서 사용될 수 있다.

주요어 : PIMA, 단파장적외선, 열수변질대, 특성변수

1) 고려대학교 지구환경과학과