

단파장적외선 분광분석법에 의한 열수변질대의 탐사 연구

김창성 · 박상준 · 최선규¹⁾

1. 서 언

90년대 말부터 휴대용으로 개발된 단파장적외선 분광법은 광물의 분자구조 특성(작용기의 종류, 작용기의 결합상태 및 작용기와 결합하고 있는 원소의 종류)에 따라 흡수 또는 반사되는 파장 변화를 통하여 광물 상을 동정하는 기법으로 현장에서 열수변질대에서 산출되는 다양한 변질광물의 실시간 분석을 통한 변화양상을 예측함으로써 다양한 유형의 광물자원 탐사에 성공적으로 활용되고 있으며, 특히 열수변질대가 광범위하게 발달된 천부기원의 광화대 탐사에서 매우 우수한 성과를 보여 주고 있다(Thompson et al., 1999; Sun et al., 2001; Yang et al., 2000; Yang et al., 2001). 따라서, 본 연구에서는 단파장적외선 분광분석법의 표준화연구를 통하여 대표적인 열수변질광물간의 정량성 검증과 함께 가사도지역 금·은 광상을 대상으로 단파장적외선 분광분석법의 적용성을 검토하고자 한다.

2. 단파장적외선 분광분석법

1) 기본 원리

적외선이 다원자 분자를 포함하는 특정 물질에 입사되면 분자 내 원자간의 운동을 야기하여 이에 따른 양자화된 특정 파장은 흡수, 소모되고 이외의 파장만이 방출된다. 따라서, 미지의 광물시료에 조사된 적외선은 분자를 구성하는 원자들의 조합 및 결합력 등에 따라 특정 파장영역에 민감하게 반응하므로, 방출된 적외선 스펙트럼을 측정하여 구성하고 있는 분자구조를 결정할 수 있으며, 이에 대한 종합적인 해석을 통하여 최종적인 광물의 동정을 할 수 있다. 특히, 본 분석법에서 사용하고 있는 단파장적외선(1300~2500nm)은 근적외선에 포함되는 비교적 높은 에너지 영역으로 OH, CO₃, SO₄ 등 열수 변질광물에 포함된 작용기들에 매우 민감하게 반응하는 특성을 보인다(Hunt and Ashley, 1979).

2) 표준시료의 선정

원암의 구성광물인 석영, 장석, 백운모 및 흑운모, 저유황형 변질광물인 일라이트, 스�멕타이트, 녹니석, 녹염석 및 방해석, 고유황형 변질광물인 명반석, 카올리나이트 및 납석 그리고, 염기성암의 변질대에서 주로 산출되는 활석(talc) 및 사문석(serpentine)을 표준시료로 선정하였다. 비정형 시료에 대한 X선 회절분석을 통해 순도를 확인하였으며, 이들 스펙트럼은 Fig. 1과 같다.

주요어: 단파장적외선, SWIR, PIMA SP, hydrothermal alteration, PIMA SP

1) 고려대학교 지구환경과학과(cskim72@korea.ac.kr)

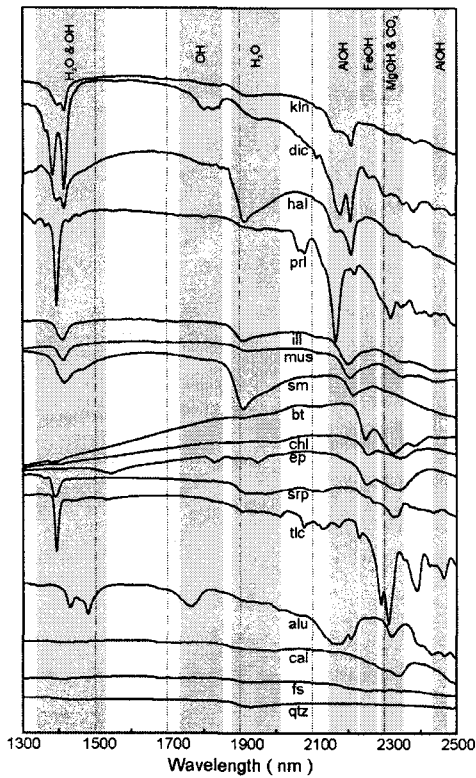


Fig. 1. Representative spectra of standard minerals used to define the alteration zone.

각 단성분의 질량비를 10%씩 증가시켜 스펙트럼을 얻어내는 방법으로 실험을 수행하였다 (Fig. 2). 이들 결과는 정량성의 정확도에 따라 세 가지 유형으로 구분된다. 명반석-카올리나이트와 일라이트-카올리나이트 조합에서는 각각 광물들이 서로 확연히 구분되는 스펙트럼을 가지고 있으므로 각각의 함량 변화가 거의 정확히 인지되고 있으며, 이들의 상관계수는 0.999와 0.993을 나타낸다. 일라이트-녹니석과 일라이트-방해석의 조합의 경우 일라이트-녹니석의 경우 Fig. 2에서와 같이 스펙트럼이 녹니석의 Fe 함유에 의한 1300~2000nm 구간에서 파장에 대해 양(+)의 관계를 갖는 스펙트럼의 특징에 의해 녹니석의 함량이 실제보다 높게 측정되는 것으로 판단된다. 일라이트-방해석의 조합의 경우 방해석이 작용기를 포함하고 있지만, 점토광물에 포함되어 있는 OH기에 비해 현저하게 낮은 흡수도를 나타내는 CO₃를 포함하고 있기 때문에(Clark, 1983) 일라이트에 비해 상당히 낮게 검출되는 경향을 보인다. 이들 광물조합은 ±20% 이내의 오차를 보이며, 상관계수는 0.970, 0.957로 실제 함량에 상당히 근접한 측정치를 나타내고 있다. 일라이트-스멕타이트 조합에서는 두 광물이 거의 동일한 구조의

3) 표준화 연구

본 분석법은 H₂O에 민감한 단파장적외선을 사용하여 반사법에 의해 광물을 인지하고 있어, 시료의 흡착수에 의한 오차가능성과 시료 표면의 굴곡정도에 의한 결과의 변화를 예상할 수 있다. 분석법의 현장 적용 가능성을 판단하기 위해 시료의 함수효과 및 표면효과에 대한 실험을 하였다. 함수효과와 건조효과 100-105°C에서 24시간 건조후의 조건에서 결과를 비교하였으며, 표면효과와 함수 시료를 100, 38, 12, 6μm로 연마하면서 각 단계에서의 스펙트럼의 변화양상을 검토한 결과, 스펙트럼의 변화가 미미하여 자연상태의 시료에 대한 적용이 가능한 것으로 판단된다.

4) 2 성분계

카올리나이트-명반석, 카올리나이트-일라이트, 일라이트-스멕타이트, 일라이트-녹니석, 일라이트-장석, 일라이트-방해석의 열수변질대에서 일반적으로 관찰되어질 수 있는 6가지 경우를 가정하여

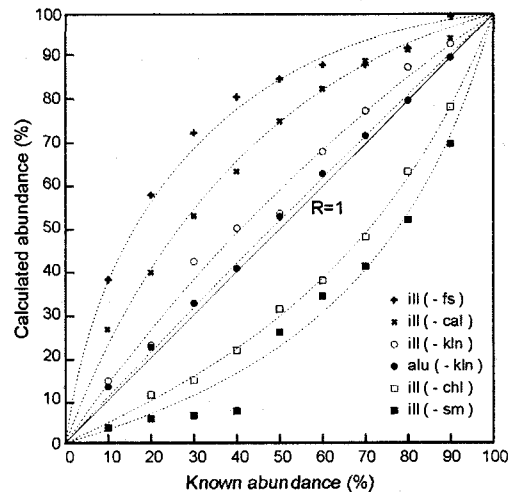


Fig. 2. Correlation between known abundance (in wt. %) and calculated abundance (%) by PIMA SP. Note phyllosilicate assemblage show nearly linear correlation, whereas non-phyllosilicate assemblage display curvature.

광물로 서로 비슷한 과장에서 흡수피크를 형성하며, 흡수피크의 형태 또한 거의 동일한 결과로 해석될 수 있다. 일라이트-장석 조합은 작용기를 포함하는 광물과 포함하지 않는 광물 감에 나타나는 흡수스펙트럼의 차이에 따라 정량성이 현저하게 감소한다. 이들의 경우 상관계수는 각각 0.937과 0.880이다. 이들 결과들을 종합하면 2성분계 표준광물조합 중 일라이트-스멕타이트 조합을 제외한 변질 광물 간의 조합의 함량은 반정량적으로 비교적 정밀하게 측정할 수 있으며, 비점토광물이 포함된 조합에서 반정량적인 자료를 획득할 시에는 비점토광물의 단과장적외선에 대한 낮은 반응도를 고려하여 적용해야 할 것으로 사료된다..

3. 적용사례

PIMA SP의 최적화 및 표준화 실험 결과의 현장 적용성을 검증하기 위해 탐사가 진행되고 있는 천연수 금광상인 가사도광산의 열수변질대에 대하여 단과장적외선분석을 실시하고 이를 편광현미경 실험 및 X선 회절분석에 의한 광물학적 연구에서 확인된 열수변질대 분포 특성과 비교 검토하였다.

Fig. 3b에 제시된 바와 같이 광상의 하부는 주로 일라이트로 구성되며, 석영맥 접촉부의 매우 국한되어(수 mm미만) 카올리나이트가 산출되는 전형적인 저유황형의 변질대가 인지되는 반면, 광상 상부인 지표는 해안을 제외한 급경사지역과 고지대는 명반석-딕카이트-카올리나이트-납석의 광물조합, 저지대 및 완경사 지역은 일라이트-녹니석의 광물조합으로 고유황형과 저유황형의 변질대가 함께 나타나고 있다. 이는 가사도광산의 변질대 분포특성인 고유황형 변질대가 저유황형 변질대의 상부에 얹혀있는 형상을 잘 반영한다. 광상의 최상부 특히, 지표의 고지대 및 급경사 지역에서 부분적으로 고유황형의 변질대가 나타나는 것은 고유황형 변질대 부분이 주변에 비해 상대적으로 낮은 pH의 유체에 의한 변질과 함께 강한 규화작용을 받아 풍화에 강한 때문으로 판단된다.

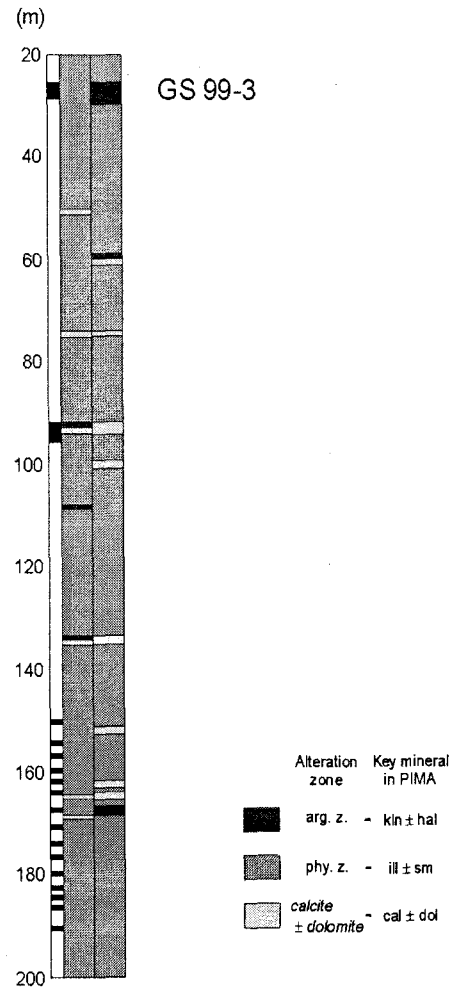


Fig. 3. Drill log from Gasado(99-3) mine. Log shows major alteration zones (middle column) and representative mineral distribution (right column) divided by PIMA SP analyses. solid box in left column means vein. arg. z.: argillic zone, phy. z.: phyllic zone.