

# 광상 탐사와 단파장 적외선 분광분석법

김창성<sup>1)</sup>, 박상준<sup>1)</sup>, 최선규<sup>1)</sup>, 송운섭<sup>1)</sup>

## 1. 서론

적외선 분광분석법 중 단파장 적외선(short-wave infrared;1300-2500nm) 영역은 H<sub>2</sub>O, OH, CO<sub>3</sub> 등 작용기에 대하여 우수한 반응성을 보유하여 원격탐사에 처음 실용화되기 시작한 이후 1990년대에 들어 휴대용 분석장비로 개발되었다. 단파장 적외선 분광분석법은 시료에 대한 전처리 없이 실시간에 변질광물들의 조성을 파악할 수 있는 장점을 가지고 있어 최근 자원선진국에서는 다양한 성인의 광상에 적용하여 열수변질대 연구의 효율성을 극대화하고 있다.

단파장 적외선 분광분석기는 총상 규산염광물, 탄산염광물, 황산염광물을 비교적 정밀하게 동정할 수 있어 현장에서 실시간으로 광물의 동정이 가능하다. 특히, 대부분의 총상 규산염광물은 광상 형성 시 수반되는 열수에 의한 변질광물이므로, 휴대용 적외선 광물분석기는 현장에서 실시간으로 변질광물들을 판별하여 그 지역의 변질 정도를 즉시 판단할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다. 그러나, 이 분석법을 광상 주변 변질대에 적용시키기 위해서는 이들 열수변질대의 성인적 특성을 고려한 광물동정 및 운용기술이 축적되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 호주 Integrated Spectronics 사의 휴대용 적외선 광물분석기(PIMA;Portable Infrared Mineral Analyser)를 사용하여 열수변질대에서 산출되는 대표적 변질광물인 명반석(alunite), 카오리나이트(kaolinite), 일라이트(illite), 스멕타이트(smectite), 녹니석(chlorite)등의 광물에 대한 정성, 정량적 정확도, 시료 표면효과, 함수효과 및 입도효과에 대해 검증하였다.

## 2. 분석조건외 최적화

카오리나이트, 스멕타이트, 명반석, 일라이트, 녹니석 등 본 연구에 사용된 광물들은 XRD 분석을 통해 시료의 순수성을 검증하였다. 단파장 적외선 분광분석법에 의한 표준시료들의 스펙트럼은 Fig. 1과 같다.

### ① 측정 시간 ( 반복 횟수 )

PIMA에서 이용하는 단파장 적외선은 흡광도의 변위가 비교적 미약하기 때문에 분석 조건에 따른 신호 대 잡음비(SNR)를 최소화하기 위하여 PIMA에서는 분석 시간을 조절하는 대신 반복해서 측정하도록 되어 있다. 따라서, 미지 시료의 광물 동정과 함량을 정확하게 분석하기 위해서는 최적의 반복횟수를 결정해야 한다. 일라이트(B)-스멕타이트 혼합물을 선택하여 반복횟수 실험결과 4회 이상 측정시 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

### ② 함수 효과

열수변질대에서 산출되는 점토광물들은 대체로 함수결합(hydroxide bonding)을 가지고 있으며, 이는 단파장 적외선 분광분석시 주요 스펙트럼 중의 하나이다. 그러나, 시료에 흡착되어 있는 흡착수에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에, 시료에 흡착된 물이 PIMA 스펙트럼에서 어떤 효과를 보이는지 해석하기 위해 함수효과 실험을 실시하였다. 건조된 시료는 온도 약 20℃와 습도 45-50% 조건으로 24시간동안 적정한 후 분석하였으며, 건조후 시료는 오븐에서 100-105℃로 24시간 건조한 후 진공 건조기에서 1시간 가량 냉각 후 분석하였으나, 건조전후의 스펙트럼 패턴

이 동일하여 피크 강도 및 폭의 변화가 없다. 이는 상온 상태에서 시료의 흡착된 물은 고체시료에 영향을 주지 않는 것으로 판단되며, 실내 및 실외의 자연조건에서 건조처리 없이 시료를 분석할 수 있는 것으로 판단된다.

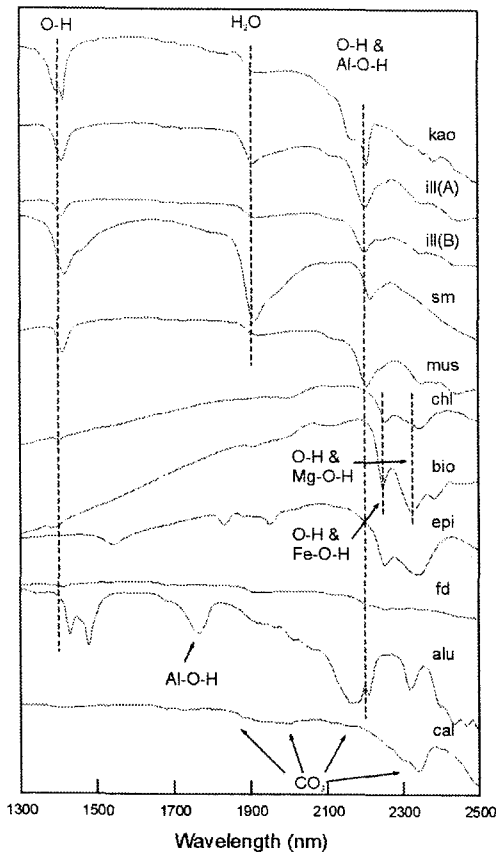


Fig. 3. Representative spectra of standard minerals used to determine alteration zone. Abbreviations : alu=alunite, bio=biotite, cal=calcite, chl=chlorite, epi=epidote, fd=feldspar, ill(A)=illite(A), ill(B)=illite(B), kao=kaolinite, sm=smectite.

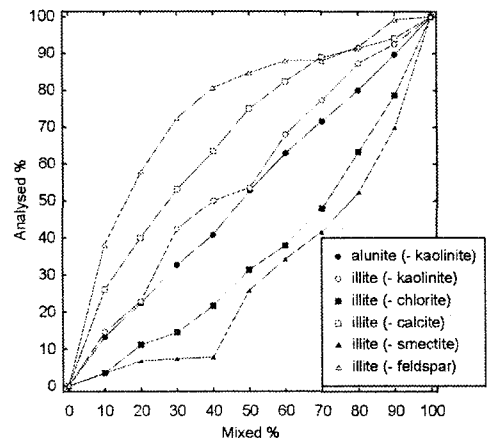


Fig. 2. Correlation between Weight ratio in mixture(X axis) and estimated ratio by PIMA(Y axis). Note phyllosilicate assemblage show linear correlation whereas non-phyllosilicate assemblage display curvature.

### ③ 시료 표면 효과

PIMA는 시료에서 반사되는 적외선으로부터 정보를 얻는다. 따라서, 시료의 표면상태는 반사되는 적외선에 영향을 줄 수 있으므로, 이에 대한 효과를 최적화하기 위해 시료표면효과 실험을 실시하였다. 시료표면 상태를 조절하기 위해 각 시추시료를 절단하고 각각 38, 12, 6 $\mu$ m로 연마하여 시료표면 상태를 조절하였다. 절단한 시료표면은 약 100  $\mu$ m의 연마효과를 갖는다. 스펙트럼의 패턴은 100 $\mu$ m(절단면)에서 12 $\mu$ m 까지 거의 동일한 양상을 보인다.

### ④ 입도 효과

열수변질대에서 산출되는 광물들은 다양한 크기를 가지며 산출된다. 입자에 의해 산란되거나, 흡수되는 적외선의 양은 입자 크기에 영향을 받는 것으로 알려져 있어 페그마타이트 광상산 백운모를 사용하여 입자 크기에 대한 PIMA 최적화 실험을 수행하였다. 2mm 이상의 백운모를 경야에서 직접 선택하였으며, 이를 다시 아게이트에서 파쇄하여 2mm, 500 $\mu$ m, 180 $\mu$ m, 125 $\mu$ m의 체를 이용 건식 입도분리를 실시하였다. 180 $\mu$ m이하의 입자에서 백운모에서는 나타나

지 않는 1910nm의 흡수피크가 인지되어 동일 시료에 대하여 건조 후 반복 실험하였다. 건조 후 180 $\mu$ m이하의 입자에서 흡수피크는 30%이상 감소하는 경향을 보이는데, 이는 180 $\mu$ m이하의 세립 파쇄시료의 경우 자연건조 상태에서 공기 중의 물을 입자표면에 흡착하는 결과로 해석된다. 따라서, 세립으로 파쇄한 시료의 경우, 보다 높은 적외선 반사도를 얻을 수 있으나, 그 반사도의 차이가 크지 않고(<10%) 공기 중의 물이 흡착되어 스펙트럼의 패턴의 변화가 일어날 수 있으므로, 동일한 분석결과를 보이는 중립질 이상(>180 $\mu$ m)의 파쇄가 효과적일 것으로 사료된다.

### 3. 표준화

카올리나이트-명반석, 카올리나이트-일라이트(B), 일라이트(B)-스멕타이트, 일라이트(A)-녹니석, 일라이트(A)-장석, 일라이트(A)-방해석의 열수변질대에서 일반적으로 관찰되어질 수 있는 6가지 경우를 가정하여 각각의 단성분 혼합물을 100 wt. %로하여 한쪽 단성분을 10 wt. %씩 증가시키면서 혼합하여 2성분계 표준화작업을 실시하였다(Fig. 2).

각각 표준광물 조합의 실제 함량치(wt%)와 분석된 함량치 간의 상관계수는 카올리나이트-명반석 0.999, 카올리나이트-일라이트(B) 0.993, 일라이트(B)-녹니석 0.970, 일라이트(A)-스멕타이트 0.937, 일라이트(A)-방해석 0.957, 일라이트(A)-장석 0.880으로 일라이트(A)-장석 조합을 제외하고는 0.9이상의 상관관계를 보여 95% 신뢰 수준에서 매우 높은 상관 관계를 나타낸다.

이 결과를 종합해 보면, 카올리나이트, 일라이트, 녹니석 등 변질 규산염광물들 사이의 조합에서는 상관계수 0.97 이상의 매우 우수한 상관관계를 보이며, 실제로 오차 범위 또한 10% 내외의 결과를 보여주고 있다. 그러나, 같은 변질 규산염광물이라도 일라이트와 스멕타이트의 조합에서는 0.937의 상관 계수로 20% 이상의 오차가 발생하게 되는데, 이는 일라이트와 스멕타이트가 구성원소 및 격자구조가 거의 비슷한 원인으로 생각되며, 이에 대한 더 정확한 해석을 위해서는 앞으로 더 연구를 필요로 한다. 그 외의 일라이트(A)-장석, 일라이트(A)-방해석의 조합은 점토광물과 비점토광물의 조합으로 이 경우 점토광물인 일라이트가 과다 계상되는 결과를 보인다. 이는 장석, 방해석 등 비점토광물이 점토광물인 일라이트보다 상대적으로 단파장 적외선에 낮은 반응도를 보여주는 것으로 해석할 수 있다. 이 경우에도 방해석은 탄산염광물로 단파장 적외선에 반응할 수 있는 작용기를 포함하고 있기 때문에 상당히 좋은 상관관계를 나타내고 있다.

---

주요어 : PIMA, 단파장적외선, 열수변질대, 광상

1) 고려대학교 지구환경과학과