Korean Journal of Remote Sensing, Vol.23, No.6, 2007, pp.493~500

암석분광반사율 특성을 이용한 납석 광화대 추출

지광훈† · 이홍진

한국지질자원연구원 지질자원정보센터

Extraction of Pyrophyllite Mineralized Zone using Characteristics of Spectral Reflectance of Rock Samples

Kwang Hoon Chi† and Hong Jin Lee

Geoscience Information Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

Abstract : In general, it accomplished a spectral reflectance analysis to be, the measurement results appear differently by targets, methods and condition. This paper presents a standard methodology for preprocessing mineral/rock samples and setting the distance from a target to the sensor, and then examines closely the spectral features for pyrophyllite. The size of mineral/rock samples is various according to the condition and scale of outcrop, so it is important to maintain the distance between the sensor and the sample. Before standardization for preprocessing samples and the sensor and sample distance, we prepare various rock samples (Quartz Porphyry) such as natural rock, pebble, powder and cutting rock. For a qualitative analysis to minimize the effect of surface condition of the sample and shadow, we maintains the distance from the sample to the sensor at 30cm and measures three times repeatedly for cutting the sample at 1~2cm thickness.

To illustrate the proposed methodology, a case study for pyrophyllite was carried out. In this study, pyrophyllite showed an absorption pattern at wave length of 1.406nm, 1,868nm, 2.180nm and 2.309nm, and a higher grade represented strong absorption at 1.406nm and 2.180 nm. These absorption feature corresponds the band 7 of LANDSAT TM and band 8 of ASTER imageries. So, using these results, pyrophyllite deposits were extracted from other features (such as barren area, concrete area, bed of river, stone pit area etc.).

Key Words : spectral reflectance, standardization, pyrophyllite, mineralized zone.

요약 : 일반적으로 분광측정을 수행함에 있어서 측정 대상물, 측정 방법, 측정 조건 등에 따라서 측정 결과가 상이하게 나타난다. 본 연구에서는 광물 및 암석 샘플의 전처리, 센서와 대상물과의 거리에 대한 표준화 방법을 제시하고, 납석의 분광특성 연구를 수행하였다. 광물, 암석 샘플의 크기는 노두의 규모와 상태에 따라서 다양하기 때문에 샘플과 센서간의 거리를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 표준화를 수행하기 전에 동일한 암석(석영반암)에 대해서 자연석, 자갈, 분말 그리고 절단암 등 다양한 샘플을 준비하였다. 샘플의 표면 상태와 그림자의 영향을 최소화하고 정량적인 분석을 위하여 센서와 샘플간의 거리를 30cm로 유지하고 1~2cm 두께의 절단암을 3회 반복 측정 하였다.

2007년 9월 5일 접수 ; 2007년 9월 11일 수리.

† 교신저자: 지광훈(khchi@rock25t.kigam.re.kr)

제안된 방법을 검증하기 위해서 납석에 대한 사례 연구를 수행하였다. 본 연구결과에 따르면 납석은 1.406nm, 1,868nm, 2.180nm 그리고 2.180nm 파장대역에서 강한 흡수 양상을 보이며, 특히 1.406nm와 2.180nm 파장대역에서 강한 흡수가 일어난다. 이러한 흡수 특징은 Landsat TM 영상의 밴드 7과 ASTER 영상의 밴드 8과 일치한다. 따라서, 이러한 결과를 이용하여 육안으로 구분되지 않은 다른 대상물(나지, 주차장, 채석장 등)과 납석 광산을 구분할 수 있다.

1. 서 론

지질 자원분야에서 원격탐사 자료의 응용은 주로 광역 지질구조 해석, 지질도 작성 및 수정, 광물자원탐사, 지하수탐사 등에 이용되고 있으나(지광훈 외, 1984, 1994; 이홍진, 1998), 국내의 경우에는 식생의 밀집, 복잡한 암상 분포와 지형적인 조건 등으로 인하여 반건조 지역이나 건조지역에서 보다 활용 결과가 제한적이다. 이러한 제한조건 하에서 열수변질 광화대 지역 추출 등과 같은 광물자원탐사에 원격탐사 자료를 활용하기 위해서는 암석의 분광학적 특성을 이용하는 방법이 있다. 암석에 대한 분광학적 특성에 대한 연구는 Hunt *et al.*(1967, 1970, 1971), Goez *et al.*(1981), Rowan *et al.*(1974 1977, 1982), Krhon(1986), Sabins(1999) 등에 의해서 수행된 바 있으며, Kaufman(1988), Harris *et al.*(1998), Ramadan(2001, 2004)은 암석내 변질광물조합의 존재를 조사하기 위해서 원격탐사 자료를 활용한 바 있다. 또한 지광훈 외(1988)는 휴대용 분광반사율 측정장비와 Landsat 영상을 이용한 언양 단층 주변에 대한 암석분광 특성에 대한 연구를 수행하여 납석광물에 대한 열수변질대를 추출한 바 있다.

본 연구에서는 한반도 남동부의 납석 광화대에 분포하고 있는 양산단층 인근지역의 열수변질 광화대에 분포하고 있는 암석 분광을 측정하고, 암석에 대한 정성적인 분광 특성 분석과 이를 기반으로 한 원격탐사자료를 처리하여 나지, 채석장 등과 같이 노출된 지표대상물과 구분하여 열수변질을 받아 생성된 납석광산을 추출할 수 있는 국내의 지질환경에 적합한 광물자원탐사 기법을 개발하였다.

암석분광 측정에 사용한 장비는 야외 및 실내 분광측정이 가능한 GER-3700으로 323nm~2,526nm 범위의 분광을 측정할 수 있고 객관적이고 정성적인 분석을 위한 분광반사율을 얻기 위해서 측정샘플 전처리, 조건, 방법 및 환경 등에 대해 표준화하였다. 원격탐사 위성영상 분석에는 다중분광 자료인 ASTER 영상(2006년 4월 7일)과 Landsat-5 TM(2005년 4월 5일 Path 114/Row 35)영상을 사용하였다.

2. 분광반사율 측정 표준화

분광반사율은 대상물의 물리-화학적 특성, 지표면의 상태, 대기의 상태, 태양의 고도 등의 영향을 받는다. 특히 암석분광 측정에 있어서 대부분의 노두는 표면이 평탄하지 않거나 토양 및 식생 등이 피복하고 있으며, 식생 및 지형지물에 의해 생긴 그림자, 측정 시 구름의 이동에 의한 그림자 등으로 인하여 암석의 고유한 분광학적 특성을 반영하는 분광반사율을 측정하는데 문제점이 있다. 즉, 야외에서 암석노두의 분광반사율을 측정하더라도 상기와 같은 자연적, 인위적인 요인의 영향으로 Fig. 1에 표시한 것처럼 암석 고유의 분광특성을 보이는 파장대역에서 잡음이 관측되거나 측정시마다 결과가 상이하게 나타나기도 한다.

샘플의 분광반사율 R_λ은 다음과 같은 식(1)처럼 정의된다.

$$R_\lambda = C_\lambda \frac{S_\lambda}{T_\lambda} \times 100(\%) \quad (1)$$

위의 식에서 S_λ, C_λ, T_λ는 각각 빛의 파장, 표준백판의 분광반사율, 샘플암석과 표준백판을 GER-3700에

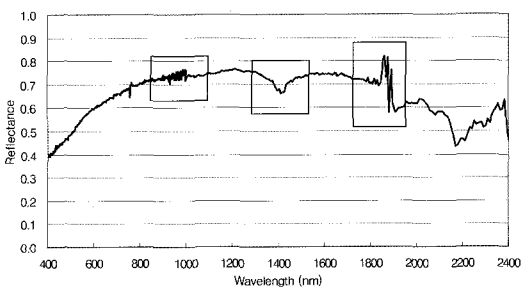

Fig. 1. 납석광물을 현장에서 측정한 분광반사율 특성곡선.

서 측정하였을 때 값, C_i은 1이라 가정한다.

따라서 보다 객관적이고 정성적인 분석을 위한 분광반사율을 얻기 위해서 측정샘플 전처리, 조건, 방법 및 환경 등을 다음과 같이 표준화하고자 하였다.

측정환경의 표준화를 위하여 외부 빛의 차단과 실험실 내부 장치에 의한 재반사 등을 최소화하기 위해 암막 장치를 시설한 실험실에서 분광반사율 측정을 행하였다. 측정조건의 표준화는 우선 광원을 분광반사율 측정에 사용된 GER-3700의 파장대역인 323nm~2,526nm 범위에서 안정적이고 3800°K ~4000°K의 제논램프를 사용하였다. 또한 센서와 샘플간의 높이를 일정하게 유지하는 과정이 필요하여 반복측정을 한 결과 센서와 샘플간의 거리는 30cm를 유지하도록 설정하였을 경우 편차가 낮음을 알 수 있었다.

야외에서 채취한 암석 샘플은 노두의 상태와 암종에 따라서 크기가 다양하여 센서와 샘플간의 거리를 일정하게 유지하기 어렵고, 측정 면이 고르지 못해 동일한 암석 샘플에 대한 분광을 측정하더라도 서로 상이한 반사율 패턴을 보인다. 샘플의 형태를 일정하게 유지하기 위해서 동일한 암석(석영반암)에 대해서 자연석, 분쇄, 파쇄, 절단 등의 전처리를 수행한 후 다음과 같이 전처리의 표준화 방법을 결정하였다.

즉, Fig. 2의 삼성납석광산 인근에서 채취한 시료를 Fig. 3에 표시한 것처럼 자연석 석영반암(I), 이를 약 3cm내외의 일정한 크기로 파쇄한 파쇄암(II), 파쇄암을 분쇄하여 가루를 만든 분쇄암(III), 그리고 약 1cm 두께로 양면을 절단한 절단암(IV)으로 구분하여 이에 대한 분광반사율을 측정하였다. Fig. 4는 이들 암석 샘플에 대한 분광반사율을 반복 측정한 결과로 모든 샘플이 안정된 패턴을 보이지만 절단암의 경우에는 Fig. 4 사각영역에 표시한 것처럼 1,480nm~1,490nm, 1,780nm~1,790nm 파장대역에서 다른 샘플에서는 구분되지 않았던 흡수 패턴이 나타나는 것을 알 수 있다. 분광특성곡

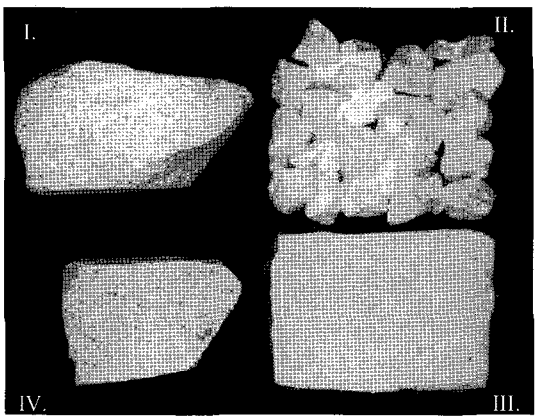

Fig. 3. 암석분광반사율 측정 표준화를 위한 샘플.
I. 자연석, II. 파쇄암, III. 분쇄암(분말), IV. 절단암

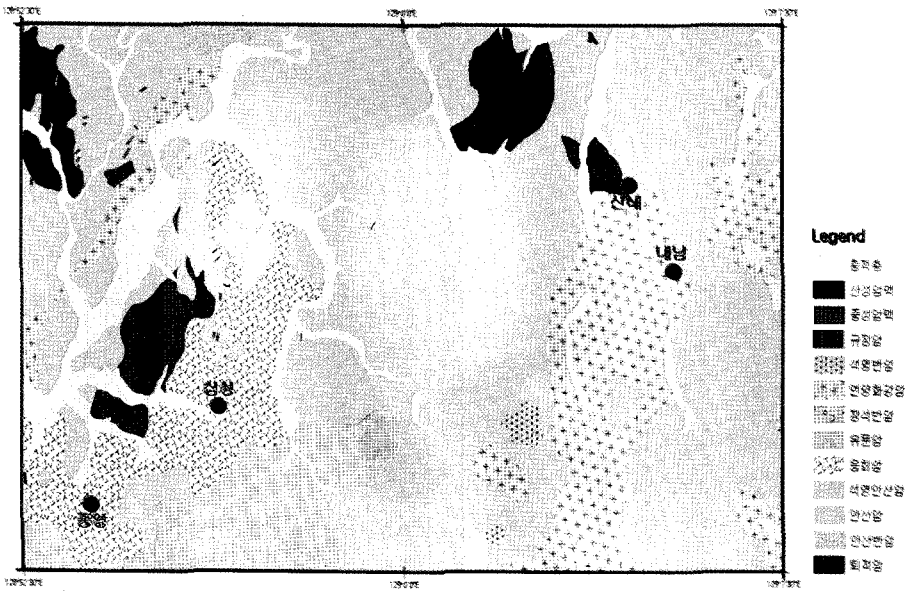

Fig. 2. 연구지역의 지질도 및 납석광산 위치도 (축척 1:50,000).

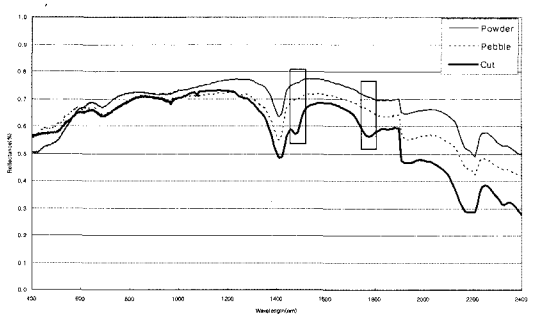

Fig. 4. 표준화된 샘플 종류별 분광반사율 특성곡선.

선의 보다 정밀한 차이를 분석하기 위해서 모든 샘플에 대해 분광반사율을 3회 반복 측정하고 분광반사율 값의 표준편차 결과를 Fig. 5에 표시하였다. Fig. 5에 나타난 것처럼 표준편차가 절단암과 파쇄암은 비교적 안정된 것으로 나타나지만 절단암은 전 파장대역에서 편차가 적고 고른 편차를 보이나 파쇄암은 절단암에 비해 적외선 파장대역에서 가시광 파장대보다 편차가 큰 것으로 분석되었다. 분쇄암은 가시광 파장대역에서 절단암과 파쇄암과 같이 고른 편차를 보이나 적외선 파장대역에서 파쇄암보다 편차가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

파쇄암의 경우, 이와 같은 편차의 차이는 자갈 사이에서 발생하는 그림자의 영향과 불규칙한 표면에 의해서 잡음이 발생하는 경우가 있어 안정된 측정 결과를 얻을 수 없다. 분쇄암의 경우에는 표면과 입자의 크기가 일정하나 장시간 고온의 광원에 의한 영향(비산: 飛散 등)으로 반복 측정 시 큰 편차를 보이므로 비교적 안정된 결과를 보이는 절단암 형태로 암석 분광반사율을 측정하는 것이 최적의 방법이다.

따라서 본 연구에 사용된 모든 암석 샘플에 대한 분광반사율 측정은 암막장치의 실험실에서 제논램프 광원을 이용하여 샘플을 일정 두께로 절단하고, 샘플과 센서 간의 거리는 30cm로 유지하여 3회 반복 측정하는 표준화 절차에 따라 수행하였다.

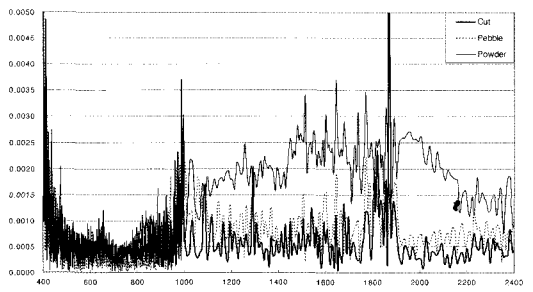

Fig. 5. 샘플 종류별 표준편차 그래프.

3. 납석광물의 분광학적 특성 분석

일반적으로 납석광상의 형성과정은 지질학적 여건, 열수의 물리화학적 특성에 따라 광상의 규모, 산출 상태, 광물조성 등이 현저한 차이를 나타낸다(Iwao, 1972; 상기남, 1992). 연구지역에 분포하는 납석변질대는 안산암질암을 화성암이 관입하면서 열수변질작용에 의해서 생성되었거나, 고온의 유문암질 용결 응회암에 수반되어 나타난다. 납석과 고령토(도석)는 서로 수반되어 나타나는 점토광물로서 고온에서는 납석이 우세하고 저온으로 갈수록 고령토가 우세하게 나타난다. 따라서 저품위의 납석일수록 고령토의 함량이 높아지고 납석과 석영, 다이어스포아(diaspore) 등의 함량이 증가되고 품위가 높아질수록 고령토를 포함한 다른 수반광물의 함량이 낮아진다. Fig. 2의 지질도에 표시된 것처럼 본 역에 분포하는 산내, 내남광산은 안산암질암을 관입한 화성암의 열수작용에 의해서 생성되었고, 삼성, 중앙광산은 응회암 혹은 유문암질 용결 응회암에 수반되어 생성된 것이다(상기남, 1992).

본 연구에서는 다중분광(multi-spectral) 원격탐사자료를 이용한 변질 광화대 지역을 추출하기 위해서 Fig. 6에 표시된 것처럼 연구지역내에 분포하고 있는 4개의 납석광산(내남, 삼성, 산내, 중앙)과 주차장, 나지, 채석장 등에 대한 현지조사를 실시하였다. 이들 납석광산 중 중앙광산을 대상으로 모암인 응회암과 저, 중, 고품위의 납석을 채취하여 납석 분광반사율 특성과 열수변질 광화대 추출에 유효한 원격탐사자료의 파장대 선정에 사용하였다.

중앙광산에서 채취한 모암인 응회암(I), 저품위 납석(II), 중품위 납석(III), 고품위 납석(IV) 샘플로 Fig. 7에 표시한 XRD분석(X-Ray Diffraction analysis) 결과에 나타난 것처럼 고품위 납석(I)은 중품위 납석(II)보다 납석 결정도와 함량이 많아 피크(peak)의 강도가 높다. 저품위(III) 납석은 고품위 납석과 중품위 납석에 비해서 다량의 석영(Quartz)과 기타 수반광물이 포함되어 있어 규화작용이 어느 정도 진행되었음을 보여준다.

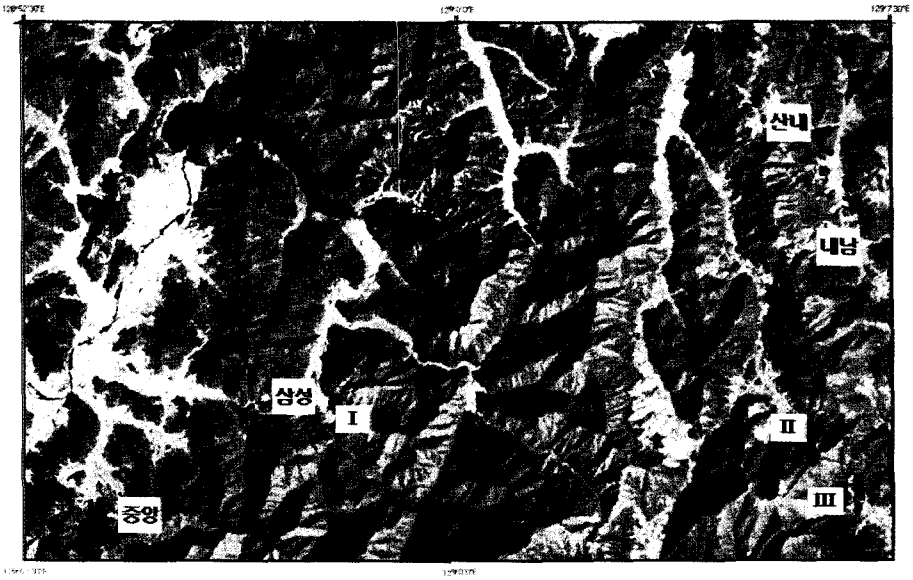

Fig. 6. 연구지역의 원격탐사자료 영상 (Landsat-5 TM, 2005년 04월 05일).
(I) 주차장, (II) 나지, (III) 채석장

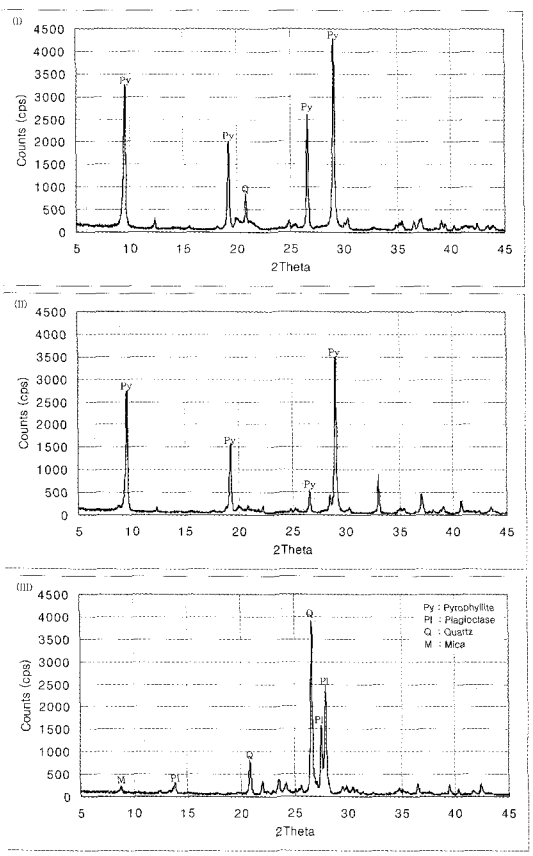

Fig. 7. 납석샘플의 품위별 XRD(X-Ray Diffraction) 그래프.
(I) 고품위, (II) 중품위, (III) 저품위

모든 암석 샘플에 대해 앞에서 서술한 것처럼 측정샘플 전처리, 조건, 방법 및 환경 등에 대해 표준화하여 분광반사율을 측정한 결과를 Fig. 8에 표시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

품위별 납석 샘플은 1,406nm, 1,868nm, 2,180nm 그리고 2,309nm 파장대에서 흡수 패턴을 보인다. 상호간 유사한 반사율의 패턴을 보이지만 품위가 높을수록 상대적으로 높은 분광반사율과 강한 흡수패턴을 보이며 특히 1,406nm와 2,180nm에서 강한 흡수가 일어난다. 비변질대 모암인 응회암의 경우는 변질 정도가 낮은 저품위 납석보다 상대적으로 매우 낮은 분광반사율을 보인다. XRD 분석결과와 분광반사율 측정 결과를 비교하면, 납석의 함량이 높고 다른 수반광물의 함량이 적을수

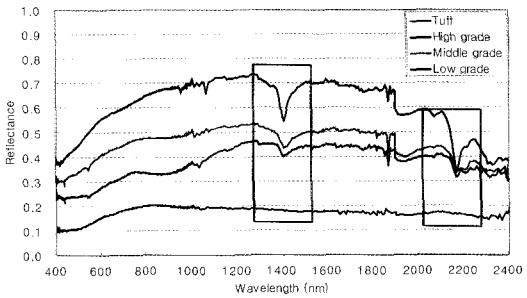

Fig. 8. 모암 및 품위별 납석샘플의 분광특성곡선.

록 상대적으로 분광반사율이 높게 나타나며, 수반광물의 함량이 많아질수록 분광반사율이 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있다.

이러한 납석광물의 분광반사율 특성곡선과 원격탐사 자료의 파장대와 비교하여 보면 강한 흡수패턴을 보이는 2,180nm 파장대역은 LANDSAT 위성의 band 7과 ASTER 위성의 band 8과 일치한다. Hunt *et al.*(1970)은 열수변질을 받은 점토광물은 OH- 때문에 2,200nm 파장대역에서 강한 흡수현상이 일어난다고 보고한 바 있다.

본 연구에서는 상기와 같은 납석광물의 분광반사율 특성과 원격탐사 자료의 파장대역과의 상관관계를 이용하여 원격탐사자료로부터 연구지역의 납석 광화대 지역을 추출하였다.

4. 변질 광화대 추출을 위한 영상처리

Fig. 6에 표시한 연구지역의 Landsat-5 TM 영상에 나타난 것처럼 위성영상에서 변질 광화대인 납석광산은 밝은 부분으로 나타나고 있는데 이는 주차장과 같은 아스팔트(I), 나지(II), 댐과 같은 콘크리트 구조물, 갈수기의 하천바닥 그리고 채석장(III)과 유사하게 나타나기 때문에 영상에서 육안으로 쉽게 구분하기 어렵다. 또한 앞서 수행된 변질 광화대의 암석 분광특성과 다중분광위성인 Landsat-5 TM 영상과 ASTER 영상에서의 분광특성을 이용하였을 경우에도 아스팔트 주차장(Fig. 6(I)), 나지(Fig. 6(II)), 채석장(Fig. 6(III) 등과 명확하게 구분되지 않는다. 따라서 변질 광화대를 추출하기 위한 기법을 다음과 같이 개발하였다.

변질 광화대의 분광 특성을 분석한 결과 Landsat 위성의 band 7과 ASTER 위성의 band 8에 해당하는 파장대역에서 높은 흡수양상을 보인다. 또한 납석광산을 비롯하여 나지, 채석장 등은 토양이 넓게 피복되어 있지만 납석광산에는 납석의 잔류물이 토양에 다량 포함되어 있어 토양 인덱스를 이용하여 변질 광화대 추출에 사용할 수 있다. 토양 인덱스는 Landsat 위성의 band 2와 band 7간의 연산을 통하여 계산할 수 있으며 계산식은 식(2)와 같다.

$$\text{Soil Index} = \frac{\text{Landsat Band 7} - \text{Landsat Band2}}{\text{Landsat Band 7} + \text{Landsat Band2}} \quad (2)$$

따라서 본 연구에서는 Landsat 위성의 band 2와 band 7을 이용하여 계산된 토양 인덱스와 변질 광화대에서 높은 흡수 양상을 보이는 파장대역에 해당하는 Landsat 위성의 band 7과 ASTER 위성의 band 8을 합성하여 변질 광화대 추출에 사용하였다.

변질 광화대 추출결과에 대한 분광특성을 분석하기 위하여 납석광산과 주차장, 나지, 채석장 등의 DN (digital number) 값을 로그 스케일로 Fig. 9에 표시하였다. 그 분석 결과, 납석광산의 DN 값은 토양 인덱스의 경우 0.02~0.07, Landsat band 7에서는 58~62, 그리고 ASTER band 8에서 135~165 사이에 분포한다. 하지만 주차장, 나지, 채석장의 경우, 토양 인덱스 영상의 DN 값은 0.15~0.26, Landsat band 7 DN 값은 69~72, ASTER band 8 DN 값은 190~200 사이에 분포한다. 즉, 납석광산과 주차장, 나지, 채석장의 DN 값은 토양 인덱스 영상에서 0.08, Landsat band 7에서 7, ASTER band 8에서 25 내외의 차이가 발생한다. 결과적으로 납석광산의 경우 토양 인덱스 영상, Landsat band 7, 그리고 ASTER band 8에서 주차장, 나지, 채석장 등에 비해 상대적으로 DN값이 낮게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 10은 토양 인덱스, Landsat, ASTER 영상을 이용하여 변질 광화대를 추출한 결과이다. 원격탐사 자료에 암석분광 특성 정보를 추가하여 변질 광화대를 추출한 결과, 단순 밴드 조합에서 변질 광화대와 구분하기 어려웠던 주차장, 나지, 채석장과 명확하게 구분되었다.

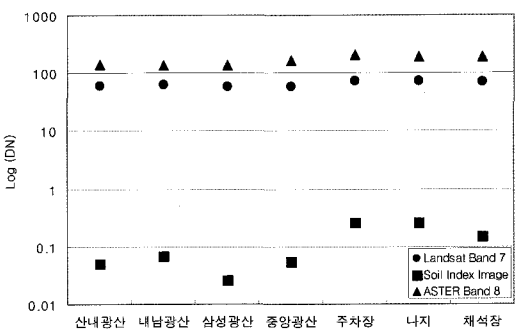

Fig. 9. 납석광산, 주차장, 나지 그리고 채석장 DN값 분포도.

Fig. 10. 위성영상(Landsat Band 7, Soil Index 영상, ASTER Band 8)을 이용한 변질 광화대 추출 결과.
(I) 주차장, (II) 나지, (III) 채석장

5. 결 론

본 연구에서는 원격탐사 자료에서 시각적으로 구분하기 어려운 변질 광화대를 추출하기 위해서 암석의 분광반사율 측정 표준화와 분광특성을 이용한 방법을 다음과 같이 개발하였다.

① 외부 요인의 영향을 최소화하고 동일한 환경에서 암석의 분광반사율을 측정하기 위해서 측정샘플 전처리, 조건, 방법 및 환경 등을 다음과 같이 표준화하였다. 즉, 암막장치를 한 암실에서 샘플과 센서간의 거리를 30cm로 유지하고, 샘플의 두께를 1cm 내외로 절단하여 3회 반복 측정 하였다.

② XRD 분석을 이용하여 변질 광화대에 속하는 납석의 품위를 결정하여 비변질대인 모암(응회암)과 납석의 품위별로 분광 측정을 한 결과, 납석의 함량이 많을수록 (고품위 납석일수록) 상대적으로 높은 분광반사율을 보였으며, 비변질 암석에 비해서 변질 받은 납석의 분광반사율이 상대적으로 높게 나타났다. 납석 샘플의 분광반사율 특성곡선에서 1,406nm, 1,868nm, 2,180nm 그리고 2,309nm 파장대역에서 흡수 패턴을 보인다. 납석의 품위가 높을수록 1,406nm와 2,180nm에서 강한 흡수가 일어난다.

③ 위성영상에서 납석광산과 콘크리트, 나지, 하천바닥, 채석장 등이 명확하게 구분되지 않아 변질 광화대의 추출을 위하여 분광반사율 특성을 이용한 새로운 기법을 개발하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 납석의 분광반사율 특성 중 높은 흡수양상을 보이는 파장대역에 해당하는 Landsat 위성의 band 7, ASTER 위성의 band 6 그리고 토양 인덱스 영상을 합성하여 변질 광화대를 추출하였다. 변질 광화대 추출 결과, 나지, 주차장, 채석장 등이 납석광산들과 명확하게 구분되었다.

사 사

본 연구는 공공기술연구회 "지상관측 위성자료 clearing house 구축" 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

상기남, 1992. 영남지역 고령토-납석 광상의 성인 연구, 광상학회지, 25: 101-114.

이홍진, 1998. 원격 탐사 자료의 통합 기법을 이용한 의

정부-동두천 지역의 지질 판독, 석사학위논문.

智 光薰 · 土屋 淸, 1988. 韓國梁山-東萊斷層域變質帶地域の岩石の分光學的特性, 日本リモートセンシング學會誌, 8: 5-14.

智 光薰 · 土屋 淸, 1993. 岩盤地下水の存在可能域抽出のためのリモートセンシングデータ處理法に關する 硏究, 地學雜誌, 102: 537-548.

Goetz, A. F. H. and L. C. Rowan, 1981. Geologic remote sensing, *Science*, 211: 718-790.

Harris, J. R., Rencz, A. N., Ballantyne, B., and Sheridon, C., 1998. Mapping altered rocks using Landsat TM and lithogeochemical data: Sulphurets-Brucejack Lake District, British Columbia, Canada, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64: 309-322.

Hunt, G. R. and H. P. Ross, 1967. A bidirectional reflectance accessory for spectroscopic measurements. *Applied Optics*, 6: 1687-1890.

Hunt, G. R. and J. W. Salisbury, 1970. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks - I. Silicate minerals, *Modern Geology*, pp. 282-300.

Hunt, G. R. and J. W. Salisbury, 1971. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks - II. Carbonates. *Modern Geology*, 2: 23-30.

Hunt, G. R. and R. P. Ashley, 1979. Spectral of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74: 1613-1629.

Iwao, S., 1970. Clay and silicate deposits of volcanic affinity in Japan, *Univ. of Tokyo*, pp. 267-283.

Kaufmann, H., 1988. Mineral exploration along the Aqaba-Levant structure by use of TM-data, *International Journal of Remote Sensing*, 9: 1639-1658.

Krhon, M. D., 1986. Spectral properties (0.4 to 25microns) of selected rocks associated with disseminated gold and silver deposits in Nevada and Idaho, *Geophysical Research*, 91: 767-783.

Ramandan, T. M., 2004. Mineralogical and structural characterization of alteration zones detected by orbital remote sensing at Shalatein District, SE Desert, Egypt, *African Earth Sciences*, 40: 89-99.

Rowan, L. C. *et al*, 1974. Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas in south central Nevada by the use of computer enhanced ERTS images, *USGS Prof. Paper*, 883: 35.

Rowan, L. C. *et al*, 1977. Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images, *Geophysics*, 42: 522-535.

Rowan, L. C. and A. B. Kahle, 1982, Evaluation of 0.46 to 2.36μm multispectral scanner images of the east tintic mining district, Utah, for mapping hydrothermally altered rocks, *Economic Geology*, 77: 441-452.

Sabins, F. F., 1999. Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, 14: 157-183.