Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol. 6, No. 1, 1990

# 화성암과 퇴적암의 분광특성분석

강필종 · 조민조 · 이봉주
한국동력자원연구소
(1990년 2월 18일 받음; 1990년 2월 20일 수리)

# Spectral Analysis of Igneous and Sedimentary Rocks

**Kang, Pilchong, Cho, Minjoe and Lee, Bongjoo**
Korea Institute of Energy & Resoruces
(Received February 18, 1990; Accepted February 20, 1990)

## Abstract

The study is aimed to analize the spectral characteristics of igneous and sedimentary rocks on their reflectance curves obtained from CARY 17-D Spectrophotometer, and correlation between chemical composition and HHRR data.

The reflectance is higher in acidic igneous rocks, while lower in basic igneous rocks. Especially acidic plutonic rocks show sharp absorption bands at 1.4 and 1.9 $\mu$m due to water inclusion in felsic minerals and basic rocks a broad absoption band near 1$\mu$m due to $Fe^{++}$ ion in mafic minerals.

Sandstones generally have higher reflectance than siltstones and shales, and show strong absorption at 1.4 and 1.9$\mu$m. Arkosic sandstones have lower reflectance at blue band due to $Fe^{+++}$ ion exsolved from feldspars.

The HHRR data have a positive correlation with $SiO_2$ and $K_2O$, while they have a negative correlation with FeO and MgO.

## I. 서 언

위성영상은 지표피복물에 대한 반사도로써 기록되어지기 때문에 위성영상을 분석 및 해석

하기 위해서는 먼저 지표물질에 대한 분광학적 특성을 이해해야 한다.

본 연구는 과기처 특정과제(3년 사업) '인공위성자료에 의한 지질도 작성연구(I)'를 통하여 인공위성영상의 지질학적 응용을 위한 기초자료가 될 수 있는 암석의 분광특성을 규명한 것이다.

금번 연구에서는 한반도 동남부의 경상분지 내에 분포하는 백악기 화성암류와 퇴적암류를 대상으로, CARY 17-D Spectrophotometer를 이용, 가시-근적외 파장역에서의 분광반사도를 측정하여 각 암석에 대한 분광특성을 알아보았으며, Hand Held Ratioing Radiometer(HHRR)에 의한 분광반사도 측정치와 암석성분과의 상관관계를 분석하였다.

## Ⅱ. 분광반사도 측정

### Ⅱ-Ⅰ. 암석시료

실험실 내에서의 암석분광반사도 측정을 위해 변형 및 변질작용을 거의 받지 않은 것으로 알려진 경상분지 내 백악기 화성암류 및 퇴적암류를 대상으로 하여, 1/5만 지질도를 기준으로 암석단위별로 신선한 암석을 선정하여 각 암종의 특성을 대표하는 부분을 선택, 채취하였다(Fig. 1).

다음은 채취시료에 대한 암석학적 기재이다(Table 1).

**Table 1.** Rock sample descriptions

| Sample No. | | Petrographic discription | Sample No. | | Petrographic description |
|---|---|---|---|---|---|
| IGNEOUS ROCK | I-1 | Light grey coarse granite | SEDIMENTARY ROCK | S-1 | Milky white-light grey fine quartzose sandstone |
| | I-2 | Light grey medium granite | | S-2 | Grey medium quartzose sandstone |
| | I-3 | Pinkish coarse granite | | S-3 | Light grey-grey quartzose sandstone |
| | I-4 | Brown coarse granite | | S-4 | Light pink coarse arkosic sandstone |
| | I-5 | Light grey coarse granite | | S-5 | Light grey mdium arkosic sandstone |
| | I-6 | Light yellowish quartz porphyry | | S-6 | Brownish light grey coarse arkosic sandstone |
| | I-7 | Light grey quartz porphyry | | S-7 | Light grey siltstone |
| | I-8 | Light grey rhyolitic tuff | | S-8 | Purple calcareous siltstone |
| | I-9 | Brown rhyolitic tuff | | S-9 | Greenish purple calcareous siltstone |
| | I-10 | Brownish purple rhyolitic tuff | | S-10 | Purple calcareous siltstone |
| | I-11 | Grey medium diorite | | S-11 | Dark grey calcareous shale |
| | I-12 | Dark grey andesite | | S-12 | Grey calcareous shale |
| | I-13 | Dark grey fine andesite | | | |
| | I-14 | Deep greenish grey andesite | | | |

→

| Sample No. | Petrographic discription | Sample No. | Petrographic description |
|---|---|---|---|
| I-15 | Dark grey brecciated andesite | S-13 | Olive calcareous shale |
| I-16 | Dark grey andesite | S-14 | Dark grey calcareous shale |
| I-17 | Deep green coarse basaltic dyke | S-15 | Dark grey calcareous shale |
| I-18 | Deep green fine basic rock | S-16 | Dark grey calcareous shale |
| I-19 | Grey coarse granite | S-17 | Dark grey shale |
| | | S-18 | Dark grey-black shale |

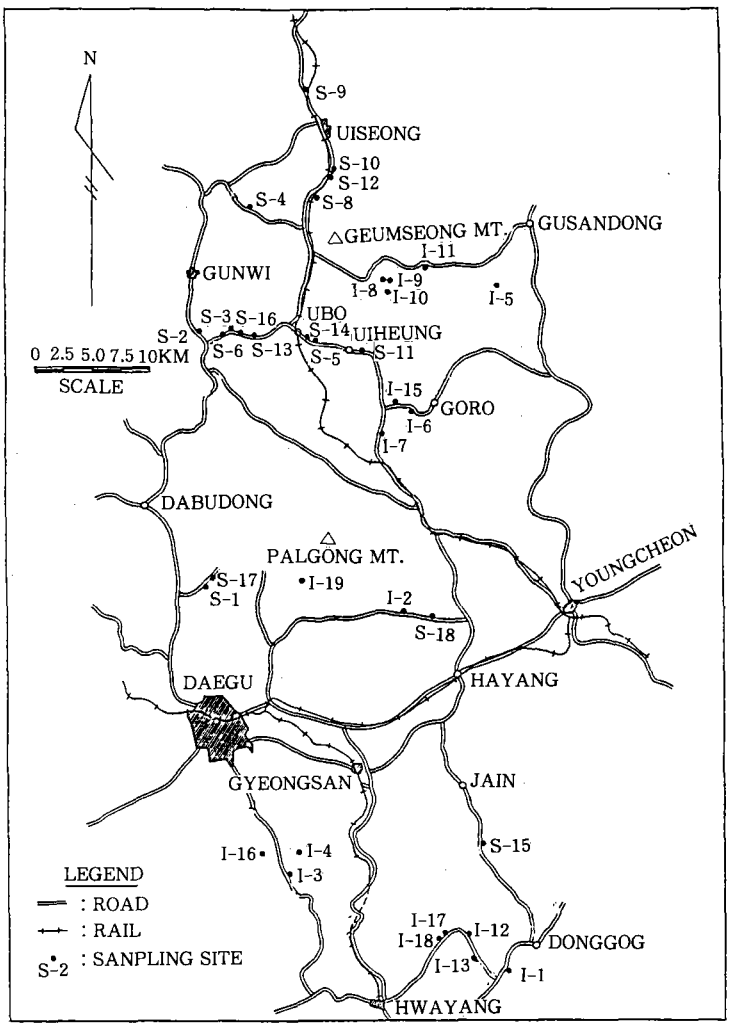


**Fig. 1.** Sampling site map.

## Ⅱ-Ⅱ. 사용기기 및 측정

### Ⅱ-Ⅱ-Ⅰ. Cary 17-D Spectrophotometer

암석의 분광반사도곡선을 구하기 위하여 CARY 17-D UV-VIS-NIR Spectrophotometer를 사용하였다. CARY-17D UV-UIS-NIR Spectrophotometer의 측정파장역은 186-2,650nm이나 기기적인 문제로 인하여 400~2,000nm의 파장역에서 10nm 간격으로 측정하였으며, 실측정치에서 정반사성분(Specular reflectance)을 제외한 것을 분광반사도곡선으로 나타내었다.

Spectrophotometer 측정을 위해 암석시료를 가로 3cm, 세로 3cm, 두께 0.3cm 크기의 박편을 제작하였으며, 박편제작시 Grinding steel에 의한 오염을 제거하기 위하여 Neutral reflectance의 분광학적 특성을 가진 Alumina mortar를 사용하여 시료표면을 연마하였다.

### Ⅱ-Ⅱ-Ⅱ. Hand Held Ratioing Radiometer(HHRR)

암석성분과 분광반사도 간의 상관관계를 구하기 위하여, 휴대용 분광반사도 측정기인 HHRR을 사용하였다. HHRR은 2개의 Optical train에 각 5개씩의 Band-pass filter를 장착할 수 있는 휴대용 분광반사도측정기로서, 본 연구에서는 Landsat TM의 감지파장대와 거의 일치하는 6개의 Filter(Band 1, 2, 3, 4, 5, 7)를 이용하였다(Table 2).

**Table 2.** Spectral characteristics of HHRR filters

| Channel | Center wavelength(nm) | C. W tolerance(±nm) | Bandwidth(nm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 485 | 10 | 70 |
| 2 | 560 | 10 | 80 |
| 3 | 660 | 10 | 60 |
| 4 | 830 | 20 | 140 |
| 5 | 1,650 | 40 | 200 |
| 7 | 2,215 | 50 | 270 |

HHRR 측정에서는 32cm×12cm 크기의 $BaSO_4$ Standard target을 이용하였으며, 측정오차 및 외부영향을 최소화하기 위하여 암석시료를 거의 동일한 입자크기로 파쇄하여 Standard target과 같은 크기의 상자에 담아 실온 20℃, 습도 65% 암실에서 측정하였다(Fig. 2).

## Ⅲ. 분광반사도곡선

일반적으로 광물과 암석의 분광학적 특성은 각 광물의 구성물질, 결합구조 등에 따른

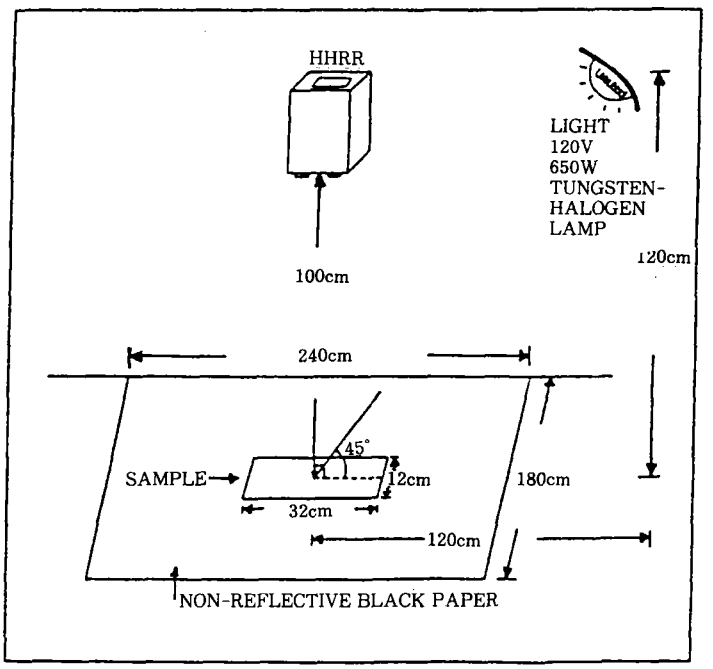


**Fig. 2.** Measurement geometry for rock samples in lab.

Charge transfer, Color center, Bending, Stretching 및 Crystal field effects 등의 복합적인 작용에 의하여 결정되며, 특히 흡수현상은 작용기구(Machanism)상 Electronical process와 Vibrational process로 구분된다.

Electronical process는 금속 물질이나 불순물에 들어있는 이온 간의 전자이동에 의한 변화로 넓은 흡수밴드(Absorption band)가 특징적이다. 흡수파장역은 Ultra-violet에서 1$\mu$m까지이며, Electronical process를 일으키는 주된 요인은 $Fe^{++}$, $Fe^{+++}$이온으로서, $Fe^{++}$이온은 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서 흡수를 일으키고, $Fe^{+++}$이온은 Blue band에서 흡수를 일으킨다.

Vibrational process는 $H_2O$와 $OH^-$, $CO_3^{--}$, $SO_4^{--}$ 등의 음이온의 Fundamental mode의 Overtone, Combination tone, Difference tone에 의하여 여러 파장역에서 일어나는데, Electronical process와는 달리 예리한 흡수밴드를 나타내는 것이 특징적이며 이러한 흡수밴드는 장파장대에서 우세하게 나타난다. 특히 광물에 $H_2O$가 포획되면 1.4, 1.9$\mu$m에서 흡수를 일으키고, $OH^-$ 이온은 1.4$\mu$m에서 흡수를 일으키나 특수하게 2.2, 2.3$\mu$m에서도 흡수를 일으킨다.

## Ⅲ-Ⅰ. 광물의 분광특성

Hunt 외(1970~1971)는 주요 조암광물(Rock forming minerals)에 대하여 가시-근적외파장역에 걸쳐 분광반사도를 측정하였다(Fig. 3). 이에 의하면, 석영(Quartz), 사장석(Plagioclase), 정장석(Orthoclase) 등의 규산염광물($SiO_2$ 화합물)은 파장역 간의 반사도 차이가 거의 없음을 보여 준다.

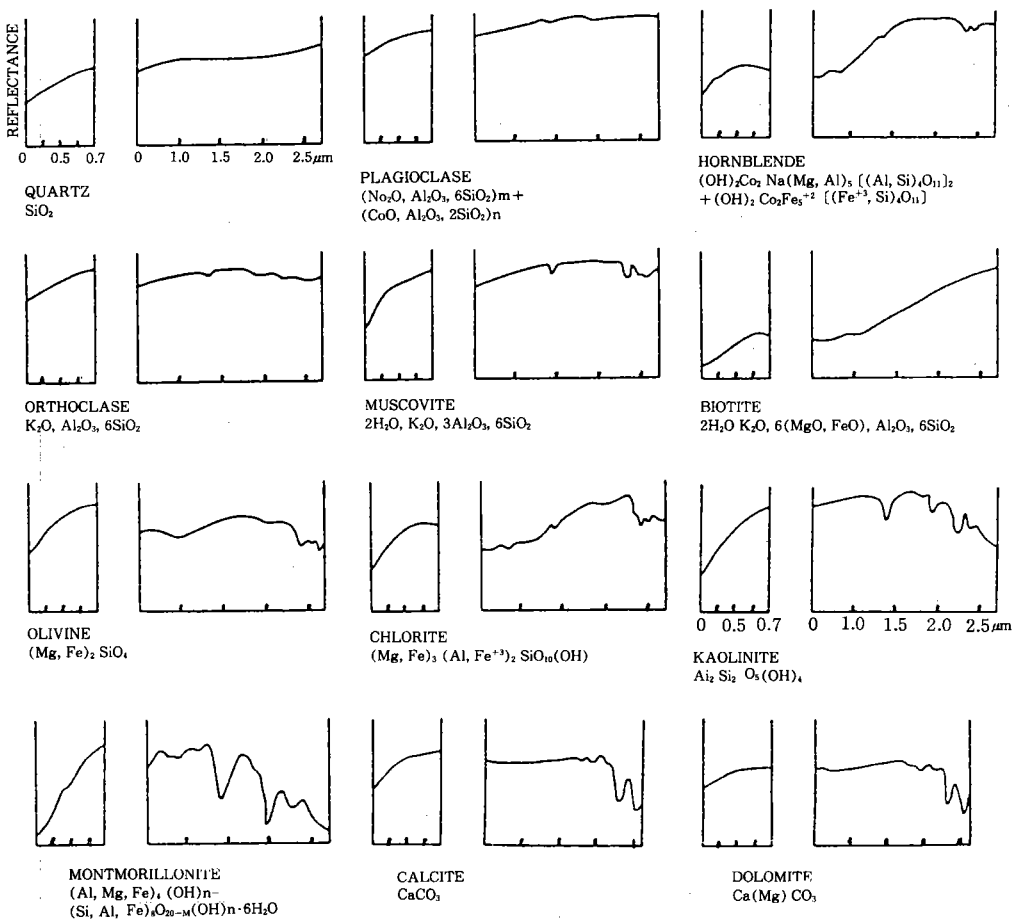


**Fig. 3.** Reflectance curves of major rock forming minerals from Hunt et al(1970, 1971)
(The curves only show relative reflectivities according to wave-length for each mineral).

그리고 흑운모(Biotite), 각섬석(Hornbrende), 녹니석(Chlorite), 몬모릴로나이트(Montmorillonite) 등의 규산염 광물들은 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서 낮은 반사도를 갖는데 이는 $Fe^{++}$ 이온에 의한 흡수 결과이다. 또한 규산염광물 중에는 1.4, 1.9, 2.2 또는 2.3$\mu$m에서의 예리한 흡수 현상을 보이는데, 이것은 $H_2O$ 또는 $OH^-$이온의 Vibrational process에 의한 흡수로서, 이러한 흡수 현상은 고령토(Kaolinite), 몬모릴로나이트 등의 점토광물에서 현저히 일어남을 볼 수 있다. 방해석, 백운모 등의 탄산염광물($CO_3$ 화합물)은 장파장대에서 예리한 흡수가 많이 일어나는데, 2.35, 2.55$\mu$m 부근에서 심하며 그 외는 미약하게 나타난다.

## Ⅲ-Ⅱ. 암석의 분광특성

Cary-17D Spectrophotometer 측정에 의해 얻어진 분광반사도곡선에 의하여 각 암석군에 속하는 암석들의 Reflectance pattern 및 Spectral feature를 상호 비교, 분석하였다.

(1) 화성암(Igneous rock)

전반적인 Reflectance pattern은 부분적인 예외는 있으나 동일암종의 것들은 서로 비슷함을 보여주며 산성암으로 갈수록 전반적으로 반사도가 높아진다(Fig. 4).

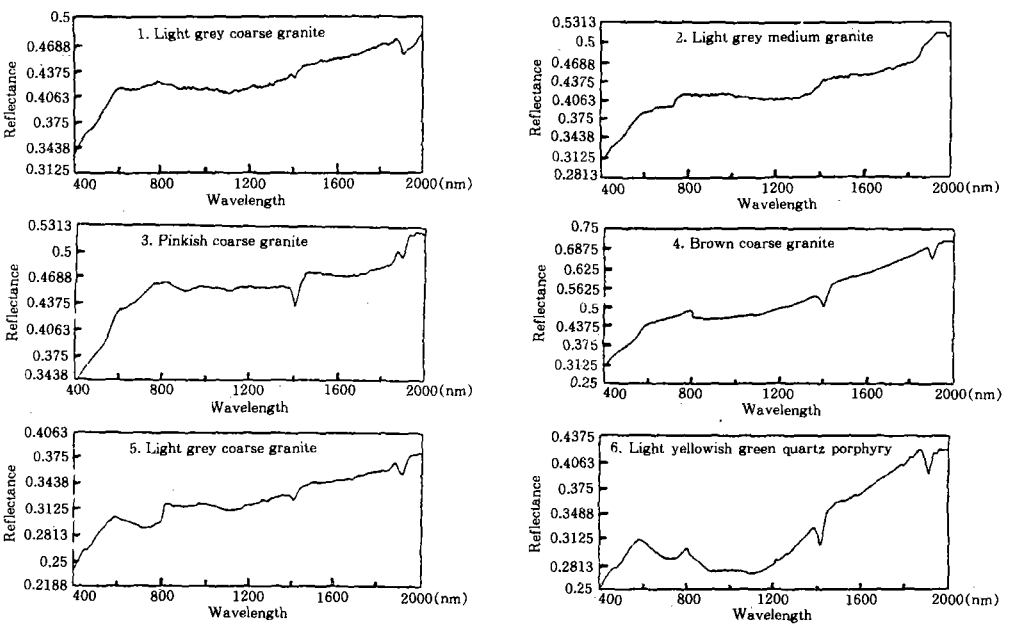


**Fig. 4.** Reflectance curves of igneous rocks.

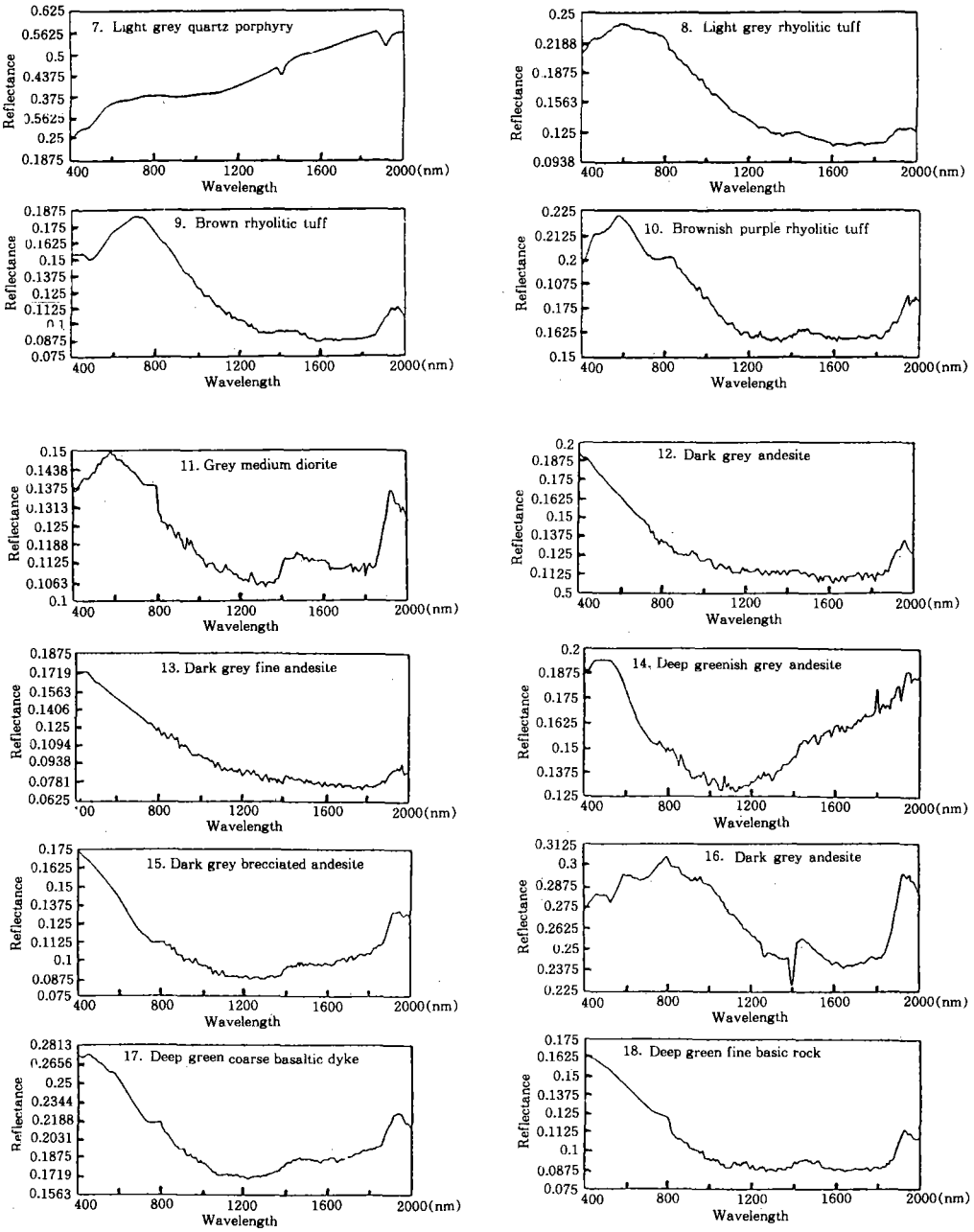


**Fig. 4.** Continued.

* 산성암(Acidic rock)

1. 화강암(Granite): 단파장대에서 장파장대로 갈수록 반사도가 높아진다. Blue band에서 현저한 흡수가 일어나는 것은 정장석에서 용리된 $Fe^{+++}$이온에 의한 것이다. 1.4, 1.9$\mu$m에서 예리한 흡수 현상이 뚜렷한데 이는 $H_2O$ 또는 $OH^-$의 영향이다(Fig. 4-1, 2, 3, 4, 5).
2. 석영반암(Quartz porphyry): 성분상 화강암과 비슷하다. 따라서 화강암과 Reflectance pattern 및 흡수 현상이 거의 일치함을 볼 수 있다(Fig. 4-6, 7).
3. 유문암질 응회암(Rhyolitic tuff): 화산암 기원으로 600~800nm에서 상대적으로 강한 반사도를 보여 주며, 흡수 Band는 거의 보여 주지 않는다(Fig. 4-8, 9, 10).

* 중성암(Intermediate rock)

4. 섬록암(Diorite): Red에서 상대적으로 강한 반사도를 보여 주며 1.4$\mu$m에서 미약한 흡수를 일으킨다. 그리고 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서의 낮은 반사도는 각섬석, 흑운모 등의 유색광물에 있는 $Fe^{++}$이온에 의한 흡수 때문이다(Fig. 4-11).
5. 안산암(Andesite): 1.4, 1.9$\mu$m에서 미약한 흡수 현상을 보이며, 역시 1$\mu$m 부근에서도 흡수현상이 나타난다(Fig. 4-12, 13, 14, 15, 16).

* 염기성암(Basic rock)

6. 염기성암맥(Basic dyke rock): Blue에서 상대적으로 높은 반사도를 갖는다. 유색광물의 $Fe^{++}$이온에 의하여 1$\mu$m 부근에서의 흡수가 현저하다(Fig. 4-17, 18).

위와 같은 분석 결과에 의하면 1.4, 1.9$\mu$m에서의 예리한 흡수 현상은 산성암에서 현저하며, 중성암에서는 미약하게 나타나고 염기성 암석에서는 거의 나타나지 않음을 볼 수 있으며, 염기성암으로 갈수록 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서의 흡수가 심하게 일어남을 알 수 있다.

1.4, 1.9$\mu$m에서의 흡수는 거의 $H_2O$에 의한 것으로 이는 석영, 장석 등의 무색광물에 포획된 Water inclusion에 의한 영향으로서 무색광물이 많은 산성암의 특징적인 흡수현상이다. 그러나 화성암인 응회암에 이러한 현상이 거의 나타나지 않는 것은 급격한 광물 형성으로 광물 입자가 매우 작아 Water inclusion이 거의 없기 때문으로 생각된다.

1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서의 흡수는 흑운모, 감섬석 등의 유색광물에 들어 있는 $Fe^{++}$이온에 의한 영향으로, 염기성암으로 갈수록 유색광물이 증가함에 따라 1$\mu$m에서 흡수가 현저하게 나타난다. 그러나 위와 같은 흡수가 있다 해서 반드시 염기성암에 가깝다고 할 수 없는데, 이는 풍화 생성물인 산화철에 의하여 일어나기도 하기 때문이다.

화성암은 각 흡수 Band를 보여 주는 $H_2O$ 및 $Fe^{++}$이온이 포함된 광물이 암종에 따라 다소 체계적으로 변하기 때문에 분광반사도곡선에 의하여 어느 정도 암석을 분류할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 전반적으로 낮은 반사도를 가지며, 1.4, 1.9$\mu$m에서는 흡수 현상이 거의 없고 1$\mu$m 부근에서 매우 낮은 반사도를 갖는다면, 이는 염기성 암석으로 분류될 수 있을 것이다.

(2) 퇴적암(Sedimentary rock)

퇴적암류는 화성암과는 달리 구성광물 또는 화학성분이 매우 다양하게 변화하기 때문에 각각의 Reflectance pattern은 매우 다양하게 나타난다. 따라서 각 암종에 대한 분광학적 특성을 예측하기가 매우 어렵다.

1. 사암(Sandstone): 1.4, 1.9$\mu$m에서 흡수 현상이 현저히 나타나는데, 이는 풍화에 강한 석영 입자에 포획된 Water inclusion에 의한 영향과 또한 장석이 풍화되어 형성된 점토광물의 $OH^-$에 의한 것이다. 장석질 사암(Arkosic sandstone)이 규질 사암(Quartzose sandstone)에 비하여 Blue band에서 매우 낮은 반사도를 갖는 것은 장석질 사암의 정장석 및 미사장석에서 용리된 $Fe^{+++}$이온에 의한 흡수 때문이다(Fig. 5-1, 2, 3, 4, 5, 6).
2. 미사암(Siltstone), 셰일(Shale): 사암에 비하여 반사도가 전체적으로 낮다. 이들은 대부분 점토광물로 구성되어 있기 때문에 $H_2O$, $OH^-$에 의한 1.4, 1.9$\mu$m에서의 흡수현상이 강하게 나타날 것으로 예상된 데 비하여 이러한 흡수 현상이 거의 나타나지 않으며, 다만 $OH^-$이온에 의한 것으로 보이는 1.4$\mu$m에서의 흡수 현상이 약간 나타난다. 이와 같이 $H_2O$에 의한 1.4, 1.9$\mu$m에서의 흡수가 미약한 것은 사암에 비하여 석영, 장석 등의 무색광물의 양이 적고 입자가 매우 작아 Water inclusion이 거의 존재하지 않기 때문이다(Fig. 5-7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18). 그리고 이들 중 석회질(Calcareous) 암석에서는 탄산염 Band인 2.35, 2.55$\mu$m에서의 강한 흡수가 예상되나, 이는 측정범위 밖이다.

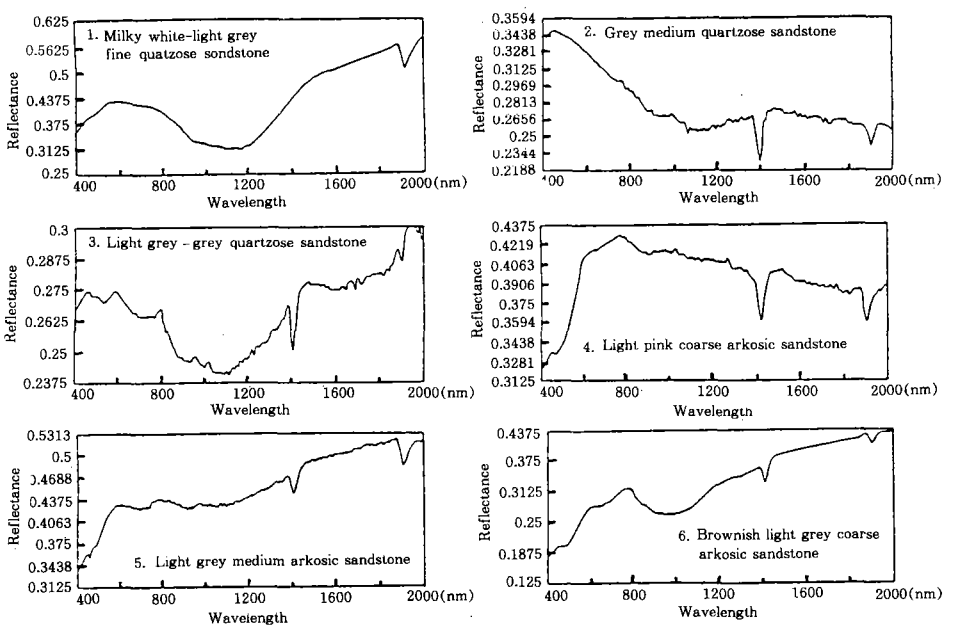


**Fig. 5.** Reflectance curves of sedimentary rocks.

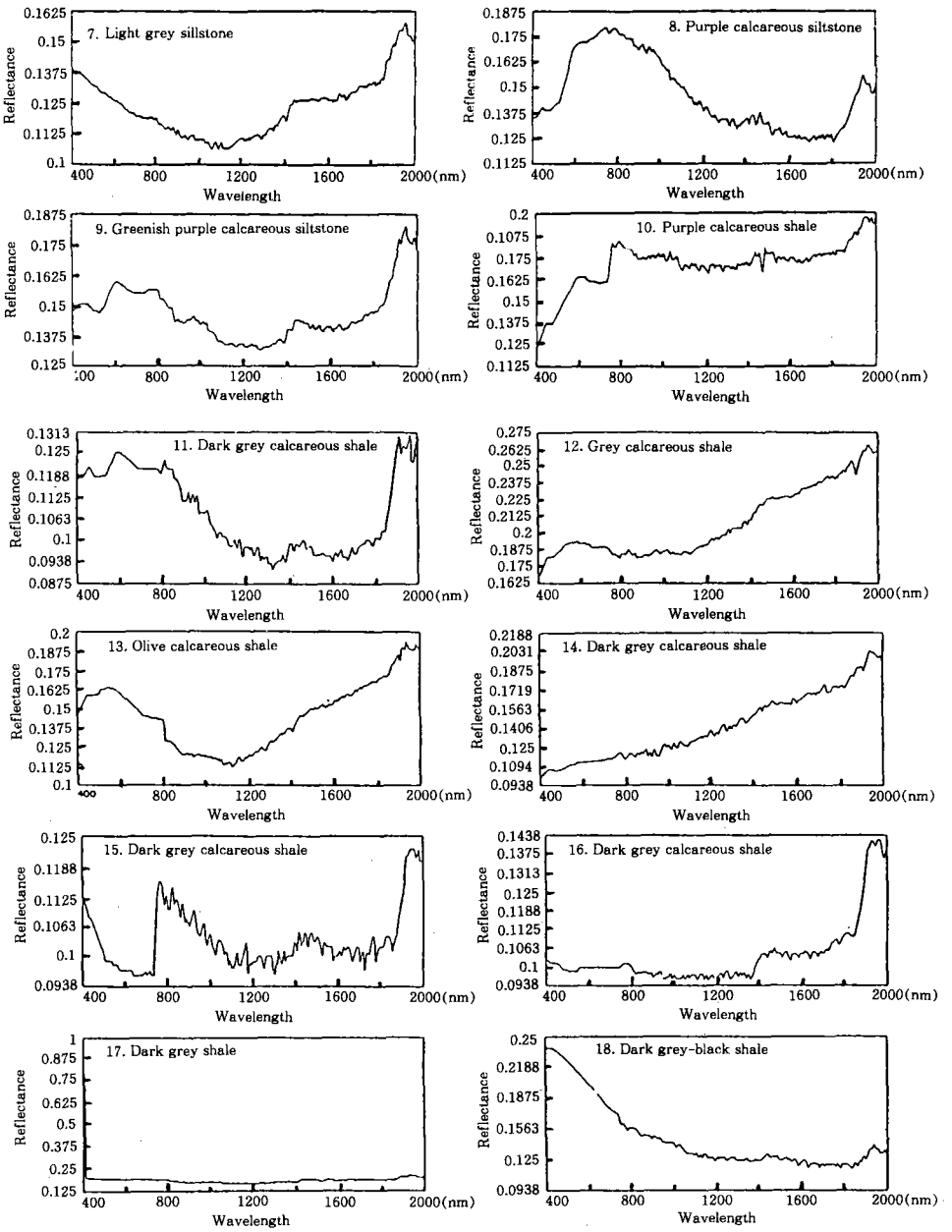


Fig. 5. Continued.

## Ⅳ. 암석성분과 분광반사도

분광반사도곡선에 의한 분광특성 분석결과를 정량적으로 해석하기 위하여 암석성분이 어느 정도 체계적으로 변하는 화성암의 화학성분과 HHRR Band별 반사도 간의 상관관계(Table 3)를 구하여 암석성분 변화에 따른 각 Band별 반사도변화를 분석하였다.

성분과 반사도간의 관계에 있어서 무색광물의 주성분인 $SiO_2$와 $K_2O$는 반사도와 정의 상관관계를 갖고 있음을 볼 수 있는 바, 이는 이들 성분이 많은 산성암에서 전체적으로 반사도가 높아지는 것을 의미한다. 그리고 유색광물의 주성분인 FeO, MgO, CaO 등은 반사도와 부의 상관관계를 가짐에 따라 염기성암으로 갈수록 반사도가 낮아짐을 뜻한다.

특히 FeO는 각 Band별 반사도와 전체적으로 높은 부의 상관관계를 갖는 것은 암석의 전반적인 반사도는 FeO의 함량에 크게 좌우된다는 것을 의미한다. 또한 FeO는 Band 4(0.76~0.9$\mu$m)와 매우 높은 부의 상관관계를 갖는 것은 $Fe^{++}$이온이 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서 흡수를 일으키는 것과 관계가 깊다.

이와 같이 HHRR Band별 반사도와 암석성분과의 상관관계는 분광반사도곡선의 분석 결과와 거의 일치함을 알 수 있으며, 화성암의 화학성분(산성, 중성, 염기성)에 따른 반사도 역시 어느 정도 체계적으로 변함을 알 수 있다.

그러나 암석의 분광특성이 대체로 좁은 파장역에서 나타나기 때문에 비교적 파장역이 넓은 Landsat TM 등의 Spectral data만으로 직접 암석을 분류하기에는 어려울 것으로 판단된다.

**Table 3.** Correlation Matrix of HHRR Band reflectance & chemical composition

| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | MnO | CaO | MgO | $K_2O$ | $P_2O_5$ | $TiO_2$ | $Na_2O$ | FeO | $Fe_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Band 1 | 0.267 | -0.113 | -0.534 | -0.292 | -0.327 | 0.353 | -0.279 | -0.203 | -0.381 | -0.500 | 0.024 |
| Band 2 | 0.363 | -0.185 | -0.591 | -0.382 | -0.382 | 0.392 | -0.351 | -0.274 | -0.305 | -0.642 | 0.013 |
| Band 3 | 0.438 | -0.222 | -0.638 | -0.447 | -0.434 | 0.437 | -0.418 | -0.343 | -0.294 | -0.721 | -0.013 |
| Band 4 | 0.452 | -0.223 | -0.632 | -0.468 | -0.432 | 0.439 | -0.418 | -0.341 | -0.272 | -0.763 | 0.012 |
| Band 5 | 0.367 | -0.272 | -0.427 | -0.365 | -0.268 | 0.243 | -0.293 | -0.228 | -0.029 | -0.705 | -0.012 |
| Band 7 | 0.342 | 0.227 | -0.436 | -0.333 | -0.273 | 0.240 | -0.290 | -0.237 | 0.033 | -0.676 | -0.031 |

## Ⅴ. 결 론

본 연구는 경상분지 내 백악기 퇴적암류 및 화성암류를 대상으로 각 암석의 분광반사도를 측정하고, 이를 토대로 하여 각 암석의 분광반사도곡선, 암석성분과 분광반사도 간의 상관관

계 분석을 시도하였다.

1. 분광반사도곡선에 의한 각 암석의 분광특성을 분석한 결과, 화성암의 경우에는 산성암일수록 전체적으로 반사도가 높은 반면에, 염기성암일수록 반사도는 낮아진다. 산성암에서는 1.4, 1.9$\mu$m에서의 예리한 흡수가, 염기성암에서는 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서의 흡수가 특징적이다. 퇴적암의 경우는 사암이 미사암, 세일보다 전체적으로 반사도가 높다. 사암은 1.4, 1.9 $\mu$m에서의 흡수현상이 강하게 나타나며, 장석질 사암은 Blue band에서의 흡수현상에 의하여 규질사암과 구분된다.
2. HHRR data의 Band별 반사도는 $SiO_2$ 및 $K_2O$와 정의 상관관계를, FeO 및 MgO와는 부의 상관관계를 갖는데, 이러한 관계는 산성암일수록 반사도가 높아짐을 의미한다. 특히 FeO가 Band 4(0.76~0.9$\mu$m)와 매우 높은 부의 상관관계를 갖는 것은 $Fe^{++}$ ion에 의한 1$\mu$m 부근의 넓은 파장역에서의 흡수현상에 기인한 것이다.
3. 화성암은 각 흡수 Band를 갖는 $H_3O$, $OH^-$ 및 $Fe^{++}$이온 등이 암종에 따라 다소 체계적으로 변하기 때문에 분광특성에 의한 암석분류가 어느 정도 가능하나, 퇴적암은 성분변화가 다양하여 암석 구분에 어려움이 따른다.

## References


1) Albert Brunsting, Ralph S., Hernicz, and Andrew J. Dosmann, 1984, Small area measurements of diffuse reflectance from 410 to 700nm. *Applied Optics*, Vol. 23, No. 23.

2) Charles H. Whitlock, Chin Y. Kuo, Stuart R. LeCreo, 1982, Criteria for the use of regression analysis for Remote Sensing of sediments and pollutants, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 12, pp. 151-168.

3) D. S. Kimes and J. A. Kirchner, 1982, Irradiance measurement error due to the assumption of lambertian reference panel, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 12, pp. 141-149.

4) Fredric E. Volz, 1983, Infrared specular reflectance of pressed crystal powders and mixtures, *Applied Optics*, Vol. 22, No. 12.

5) Graham R. Hunt and John W. Salisbury, 1970, Visible and near infrared spectra of minerals and rocks I:Silicate minerals, *Modern Geology*, Vol. 1, pp. 283-300.

6) _____, _____ and Charles J. Lenhoff, 1973, Visible and Near Infrared of minerals and rocks Ⅶ, Acidic igneous rocks, *Modern Geology*, Vol. 4, pp. 217-224.

7) _____, _____, _____, 1973, Visible and Near Infrared spectra of minerals and rocks Ⅷ, Intermediate igneous rocks, *Modern Geology*, Vol. 4, pp. 217-224.

8) _____, _____, _____, 1973, Visible and near infrared spectra of minerals and rocks Ⅵ, Additional silicates, *Modern Geology*, Vol. 4, pp. 85-106.

9) _____, _____, _____, 1974, Visible and near infrared spectra of minerals and rocks Ⅸ, Basic and Ultrabasic rocks, *Modern Geology*, Vol. 5, pp. 15-22.

10) _____, _____, 1976, Visible and near infrared spectra minerals and rocks Ⅺ, Sedimentary rocks, *Modern Geology*, Vol. 5, pp. 211-217.

11) M. J. Duggin and T. Cunia, 1983, Ground reflectance measurement techniques: A comparision, *Applied Optics*, Vol. 22, No. 23.

12) 국립지질조사소, 한국동력자원연구소, 1971-1981, 한국지질도(축척 1:50,000), 의성, 군위, 구산동, 대율, 신령, 대구, 영천, 경산, 자인 도폭 및 설명서.