

변성암의 분광특성

조민조 · 강필중 · 이봉주

한국자원연구소

(1992년 5월 10일 받음; 1992년 5월 20일 수리)

Spectral Characteristics Visible and Near-infrared of Metamorphic Rocks

Cho Minjoe, Kang Pilchong and Lee Bongjoo

Korean Institute of Geology, Mining and Materials

(Received May 10, 1992 ; Accepted May 20, 1992)

Abstract

The study is to analyze the spectral characteristics of metamorphic rocks by their spectral reflectance curves obtained from CARY 17-D Spectrophotometer.

Coarse grained rocks generally show strong absorption at 1.4 and 1.9 μm due to preserved water inclusion in quartz or feldspar. The basic rocks show a broad absorption due to Fe^{++} ion rich in mafic minerals. Strong absorption near 2.0 μm suggests existence of carbonate or clay minerals.

1. 서 언

지표 피복물의 반사도로 기록되는 위성영상을 분석 및 해석하기 위해서는 먼저 지표물질에 대한 분광학적 특성을 이해해야 한다.

본 연구는 과기처 특정과제 “인공위성자료에 의한 지질도 작성연구” 중 화성암과 퇴적암을 대상으로 한 1차년도에 이어 2차년도 연구를 통하여 위성영상으로부터 변성암을 분류할 수 있는 기초자료로 이용하기 위하여 각 암종간의 분광특성을 비교한 것이다.

금번 연구에서는 대전-김천 일원에 위치하는, 지체구조적으로 옥천지향사대와 영남육괴의 변성암류를 대상으로, CARY 17-D Spectrophotometer를 이용, 가시-근적외 파장역에서의 분광 반사도를 측정하여 얻어진 분광반사도곡선에 의하여 각 암석에 대한 분광특성을 분석하였다.

2. 분광반사도 측정

2-1. 암석시료

암석의 분광반사도를 측정하기 위하여 1/5만 지질도에 의하여 각 변성암류별로 풍화되지 않은 암석을 선정하여 채취하였다(Fig. 1).

다음은 채취시료에 대한 암석학적 기재이다(Table 1).

Table 1. Rock samples description

Sample No.	Description	Sample No.	Description
M- 1	dark grey amphibole gneiss	M-23	leucocratic schist
M- 2	leucocratic schist	M-24	dark grey biotite schist
M- 3	grey granitic gneiss	M-25	greenish grey chlorite schist
M- 4	dark grey biotite gneiss	M-26	dark grey biotite schist
M- 5	brown quartzite	M-27	light grey feldspar porphyroblastic gneiss
M- 6	dark grey feldspar-biotite gneiss	M-28	light grey quartzite
M- 7	light quartzite	M-29	grey quartzite
M- 8	light yellowish quartzite	M-30	greenish grey mica-chlorite schist
M- 9	milky white quartzite	M-31	grey granitic gneiss
M-10	light grey feldspar-mica schist	M-32	light green sericite schist
M-11	light grey feldspar porphyroblastic gneiss	M-33	grey granitic gneiss
M-12	dark grey-black slate	M-34	grey biotite gneiss
M-13	black phyllite	M-35	light green marble
M-14	grey phyllitic sandstone	M-36	dark grey biotite gneiss
M-15	greyish olive phyllite	M-37	green muscovite-chlorite schist
M-16	grey phyllite	M-38	dark grey biotite gneiss
M-17	dark grey phyllite	M-39	grey granitic gneiss
M-18	dark grey hornblende schist	M-40	grey banded gneiss
M-19	dark grey phyllitic sandstone	M-41	light grey granitic gneiss
M-20	grey granitic gneiss	M-42	dark grey slate
M-21	dark grey K-feldspar porphyroblastic gneiss	M-43	dark grey phyllitic sandstone
M-22	light grey granitic gneiss	M-44	olive phyllite siltstone

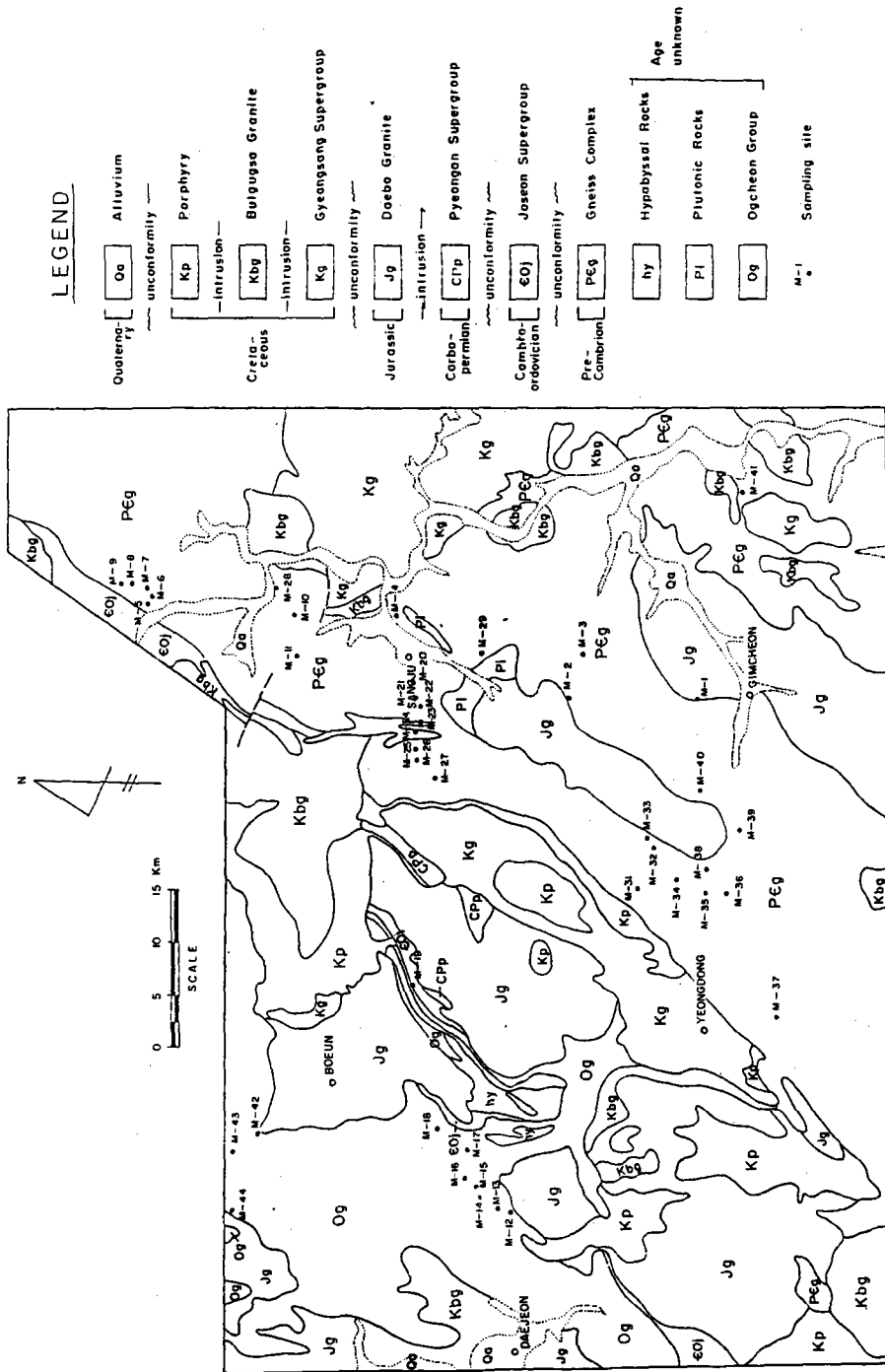


Fig. 1. Map showing geology and sampling sites.

2-2. 사용기기 및 측정

분광반사도 곡선을 구하기 위하여 CARY 17-D UV-VIS-NIR Spectrophotometer를 사용하였다. CARY의 측정 파장역은 186-2,650nm이나 기기의 오차 한계 범위인 400-2,250nm의 파장역에서 10nm 간격으로 측정하였으며, 실 측정치에서 정반사 성분을 제외한 것을 분광반사도 곡선으로 나타내었다. 측정을 위한 암석박편 제작시 Grinding steel에 의한 오염을 제거하기 위하여 Alumina mortar를 이용하여 측정표면을 연마하였다.

3. 변성암의 분광특성

3-1. 분광특성 일반

일반적으로 광물과 암석의 분광특성은 각 광물의 화학성분, 결합구조에 따른 Charge transfer, Color center, Bending, Stretching 및 Crystal field effect 등의 복합적 작용에 의하여 결정되며, 특히 흡수현상은 작용기구(Mechanism)상 크게 Electronical process와 Vibrational process로 구분된다.

Electronical process는 금속물질이나 불순물에 들어 있는 이온간의 전자 이동에 의하여 일어나며, 수백~수천 Wavenumber의 넓은 파장역에서 나타난다. 이러한 흡수파장역은 주로 Ultra violet에서 나타나며 Visible에서는 진동수가 작을수록 흡수파장역이 넓어진다. Electronical process는 Infrared에서도 일어나며, 대체로 Iron band라 불리는 $1\mu\text{m}$ 까지 일어난다. Electronical process를 일으키는 주성분은 Iron(Fe)으로서, 이온의 형태에 따라 흡수파장역이 달라진다. Fe^{++} 이온은 $1.0\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$ 부근의 넓은 파장역에서 가장 강한 흡수를 일으키는데, 전자 전이형태에 따라 ~ 0.55 , ~ 0.51 , ~ 0.45 , $0.43\mu\text{m}$ 에서도 흡수가 일어나며, Orthopyroxene에서는 간혹 $1.8\mu\text{m}$ 부근에서도 흡수가 일어난다(Bancroft and Burns, 1967; White and Keester, 1967). Fe^{+++} 이온은 전이형태에 따라 ~ 0.87 , ~ 0.7 , ~ 0.49 , 0.45 및 $0.4\mu\text{m}$ 에서 흡수를 일으키는데 $0.4\mu\text{m} \sim 0.7\mu\text{m}$ 가 가장 강렬한 Fe^{+++} band window이다(Hunt and Salisbury, 1970).

Vibrational process는 Electronical process에 비해 비교적 좁은 파장대(100 Wavenumber 이하)에서 흡수를 일으키는데, $2.5\mu\text{m}$ 이하에서는 기초진동(Fundamental vibrational mode)은 일어나지 않으며 배수진동(Over tone) 및 배합진동(Combination tone)에 의하여 여러 파장역에서 흡수가 일어난다.

Vibrational process는 주로 H_2O 및 OH^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} 등의 음이온에 의하여 일어난다.

H_2O 는 결정구조에 자유분자(Free molecule)로서 포획되거나(유체포유물: Fluid inclusion),

수화물(Hydrate)과 같이 결정구조에 필수적인 상태로 존재하며 또는 광물입자에 흡착되어 존재하는데, 이에 의해 Visible~Near infrared에서는 $1.4\mu\text{m}$ 및 $1.9\mu\text{m}$ 에서 예리한 흡수현상이 일어난다. $1.4\mu\text{m}$, $1.9\mu\text{m}$ 에서 모두 흡수현상을 보여주면 이는 결정수 또는 유체포유물로서의 H_2O 가 존재함을 의미하며, $1.4\mu\text{m}$ 에서만 나타나는 경우에는 H_2O 보다는 OH^- 이온의 존재를 가르킨다.

OH^- 이온은 $1.4\mu\text{m}$ 에서 강한 흡수를 일으키며, $2.0\mu\text{m}$ 부근에서 대체로 한 쌍의 흡수 Band를 보여주는데, 이들은 각각 $2.2\mu\text{m}$ 와 $2.3\mu\text{m}$, 또는 $2.3\mu\text{m}$ 와 $2.4\mu\text{m}$ 로서 Al과 결합하면 $2.2\mu\text{m}$ 에서 가장 강한 흡수를 일으키며, Mg와 결합하면 $2.3\mu\text{m}$ 에서 흡수가 강하게 일어난다(Hunt 외, 1973). 따라서 Al과 OH^- 의 결합물이 함유된 점토광물에서는 $2.2\mu\text{m}$ 에서의 흡수현상이 강하게 나타나며, Mg와 OH^- 가 많이 함유된 각섬석류(Amphibole)에서는 $2.3\mu\text{m}$, $2.4\mu\text{m}$ 에서의 흡수가 특징적이다.

CO_3^{--} 이온은 대체로 $1.9\sim 2.5\mu\text{m}$ 에서 흡수를 일으킨다. Near infrared에서 5개의 특징적인 흡수밴드를 보여주는데, 이들의 General position은 각각 2.55, 2.35, 2.16, 2.00 및 $1.9\mu\text{m}$ 이다. 그러나 이들은 실측정에서 다소 차이를 보여준다(Hexter, 1958 ; Hunt and Salisbury, 1971).

3-2. 분광반사도 곡선

변성암은 기존의 암석이 고온, 고압하의 지하에서 광물조성 및 조직을 변화시키는 변성작용에 의하여 형성된 암석으로서 변성작용의 형태에 의하여 만들어지는 암석이 다르며 이에 따른 암종분류 역시 서로 다르다.

본 연구에서는 변성작용의 형태를 고려한 암종분류가 아닌 일반적인 변성암 분류에 의거하였기 때문에 동일 암종으로 분류되었어도 성분 및 입자의 크기가 일정치 않으며, 이에 따라 반사도 곡선의 특성이 서로 다르게 나타나기도 한다.

3-2-1. 규암(Quartzite)

사암이 변성되어 주로 재결된 석영립으로 구성되어 있으며, 특징적인 흡수현상은 불순광물이나 석영립에 들어있는 H_2O 에 의하여 일어난다(Fig. 2 ; M-5, 7, 8, 9, 28, 29).

모든 시료가 Fe^{++} 이온의 영향으로 $0.48\mu\text{m}$ 에서 미약한 흡수를 보여준다. M-7은 $1.8\mu\text{m}$ 부근에서 약간 넓은 흡수밴드를 보여주는 것은 Orthopyroxene에 함유된 Fe^{++} 이온의 영향이다.

1.4 , $1.9\mu\text{m}$ 에서 예리한 흡수현상이 나타나는 것은 재결정 작용 후에도 석영립에 남아있는 Water inclusion의 영향이며, $2.2\mu\text{m}$ 에서의 강한 흡수현상은 점토광물 또는 백운모의 OH^- 이온의 영향이다.

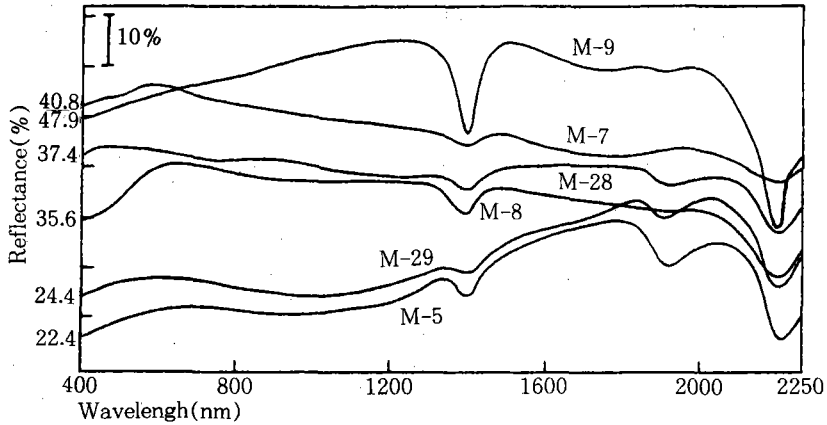


Fig. 2. Spectral reflectance curves of quartzites.

3-2-2. 대리암(Marble)

석회암이 재결정되어 형성된 탄산염암(Carbonate)으로 CO_3^{--} 이온에 의한 흡수밴드가 특징적이다(Fig. 3 ; M-35).

1.4 μm 에서의 예리한 흡수현상은 사문석(Serpentine)의 OH^- 이온 때문이며, Fe^{++} 이온에 의하여 1.0 μm 부근에서의 넓은 흡수가 나타난다.

1.87, 1.98, 2.15 μm 에서의 전형적인 Carbonate band가 잘 나타난다.

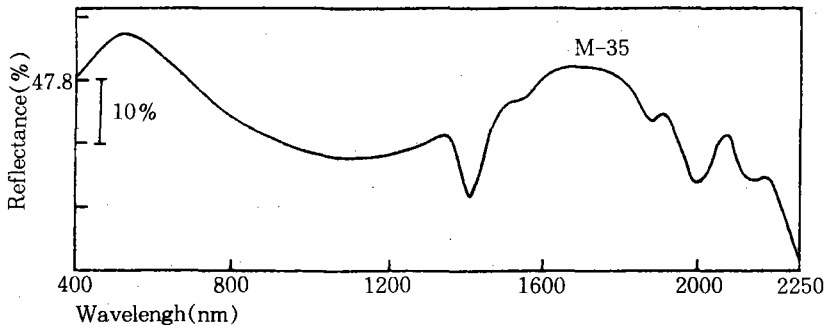


Fig. 3. Spectral reflectance curve of marble.

3-2-3. 변성퇴적암류(Meta-sediments)

저변성작용을 받은 퇴적암류로서 퇴적구조가 거의 보존되어 있다. 본 변성퇴적암류는 입자의 크기 및 벽개구조(Cleavage)에 따라 점판암(Slate), 천매암(Phyllite)으로 분류되는데, 점

판암은 세립의 암석으로 완전한 벽개구조를 가지며, 천매암은 견운모(Sericite)에 의한 광택성의 편리구조(Schistosity)가 발달한다.

분광반사도 곡선에 의하면 Pattern에 의하여 다음과 같이 크게 3가지로 구분되며, 전반적으로 H₂O band가 나타나지 않는 것은 본 암류의 입자가 작기 때문으로 생각된다.

- A. 장파장대로 갈수록 반사도는 점점 낮아지나 1.8+ μ m 부근에서 다시 높아져 1.9+ μ m 부근에서 peak를 보인다(Fig. 4 ; M-13, 16, 17, 42, 43).
- B. A와 비슷한 pattern을 보여주나 가시 파장대인 0.45 μ m 또는 0.6 μ m 부근에서 약간의 peak를 보여주는데(Fig. 4 ; M-12, 18, 44), 이는 Fe⁺⁺⁺ 이온에 의한 가시 파장대에서의 흡수 때문이다.

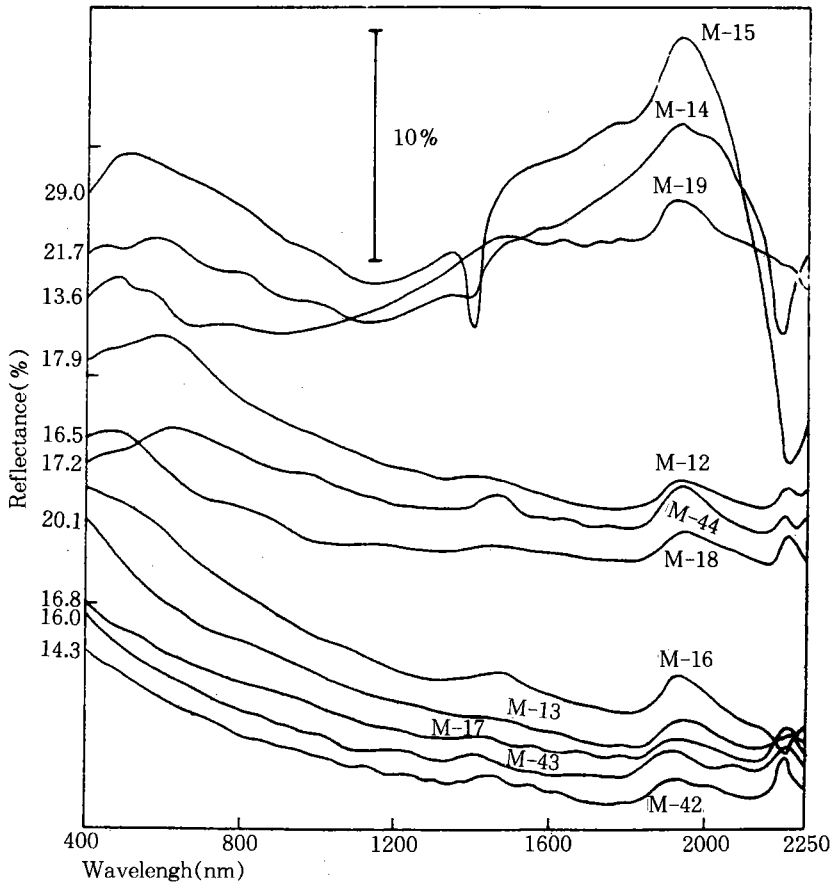


Fig. 4. Spectral reflectance curves of meta-sediments.

C. 가시과장대에서는 B와 비슷하며 장파장대로 갈수록 점점 낮아지나 0.9~1.2 μm 에서 다시 높아져 1.9 μm 부근에서 최고치를 갖는다(Fig. 4 ; M-14, 15, 19). 0.9~1.2 μm 에서의 넓은 흡수는 Fe^{++} 이온의 영향이며 1.4, 2.2 μm 에서의 강한 흡수현상은 점토광물 또는 백운모의 Al과 결합한 OH^- 이온의 영향이다(Fig. 4 ; M-14, 15).

이와 같은 3가지 형태의 반사도 곡선에 각각 속하는 암석들은 암석학적으로 동일 암종이 아니며, 다만 이러한 반사도 곡선 형태는 과장대에 따른 상대적인 반사도에 의하여 분류된 것으로서, Electronical process를 일으키는 Fe^{++} 또는 Fe^{+++} 이온의 함유량의 차이에 의하여 결정된다.

3-2-4. 편암(Schist)

천매암보다 변성도가 높은 암석으로 재결정 작용으로 만들어진 광물입자가 대체로 크다. 본 편암류는 전반적으로 Fe^{++} 이온에 의하여 1.1 μm 부근에서 낮아진다(Fig. 5 ; M-2, 10, 23, Fig. 6 ; M-24, 25, 26, 30, 32, 37).

성분상 화강암질에 가까운 유백색 편암류들은 다른 편암류에 비하여 상대적으로 높은 반사도를 가지며 장파장대로 갈수록 반사도가 점차적으로 높아지는데, H_2O band인 1.9 μm 에서의 흡수현상이 미약하게 나타난다(Fig. 5 ; M-2, 10, 23).

1.4, 2.2 μm 에서의 OH^- band가 강하게 나타나는 것은 점토광물의 OH^- 이온의 영향이다(Fig. 6 ; M-32, 37). 특히 M-37은 다양한 흡수밴드를 보여주는데 이는 녹니석(Chlorite)에 포함된 Fe^{++} 에 의한 0.85, 1.15 μm 에서의 흡수와 Carbonate band인 1.86, 2.01 μm 에서의 흡수현상이다.

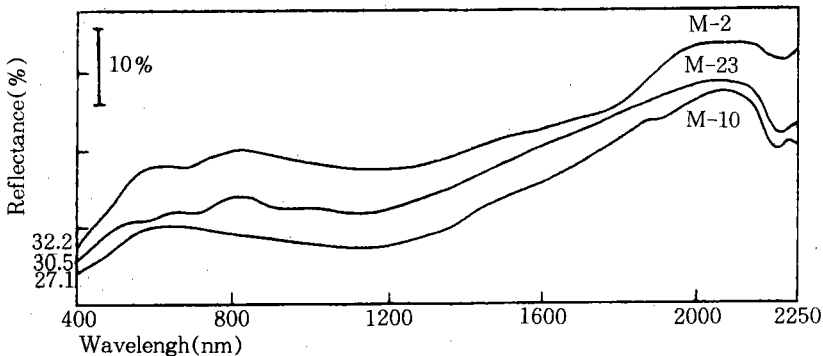


Fig. 5. Spectral reflectance curves of schists(1).

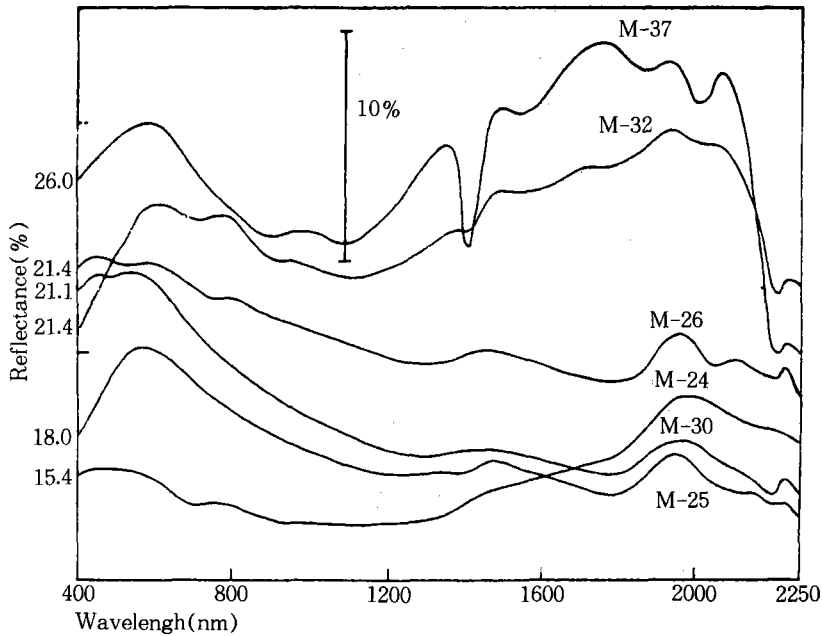


Fig. 6. Spectral reflectance curves of schists(2).

3-2-5. 편마암(Gneiss)

입자가 큰 2종류 이상의 광물들이 불규칙한 호층을 이루는 편마구조(Gneissosity)를 보여주는 변성암으로서, 장석류가 가장 많이 포함되며, 다음으로 석영, 운모, 각섬석 등이 함유되어 있다.

○ 화강편마암(Granite gneiss)

화강암과 유사하나 엽리구조가 발달되어 있으며 성분은 화강암~섬록암에 가깝다. 각 시료의 반사도 곡선은 대체로 비슷하나 $0.6\sim 2.0\mu\text{m}$ 에서 크게 3가지 형태로 분류되는데, 이러한 차이는 Electronical process를 일으키는 Fe^{++} 과 Fe^{+++} 이온의 함량 차이 때문이다.

- A. $1.1\mu\text{m}$ 부근에서 반사도가 제일 낮으며, $2.0\mu\text{m}$ 로 갈수록 반사도가 높아져 $2.0+\mu\text{m}$ 부근에서 peak를 이룬다(Fig. 7 ; M-6, 20, 22, 39, 41). 유색광물이 많아 Fe^{++} 이온에 의한 $1.1\mu\text{m}$ 부근에서의 흡수현상이 현저하다. OH^- band인 $1.4, 2.2\mu\text{m}$ 에서 흡수가 약간 나타나는데 (Fig. 7 ; M-6, 39), H_2O band는 거의 나타나지 않는다. 다만 M-39, 41에서 재결정시 파괴되지 않은 Water inclusion에 의한 $1.9\mu\text{m}$ 에서의 흡수가 미약하게 보인다.
- B. $1.4\mu\text{m}$ 에서 흡수현상이 보이며, $1.8\mu\text{m}$ 에서 갑자기 높아져 $1.9\mu\text{m}$ 부근에서 peak를 보인다(Fig. 8 ; M-31, 33, 36, 38). $1.8\mu\text{m}$ 에서의 급격한 변화는 Orthopyroxene의 Fe^{++} 이온에 의한 흡수 때문이다.

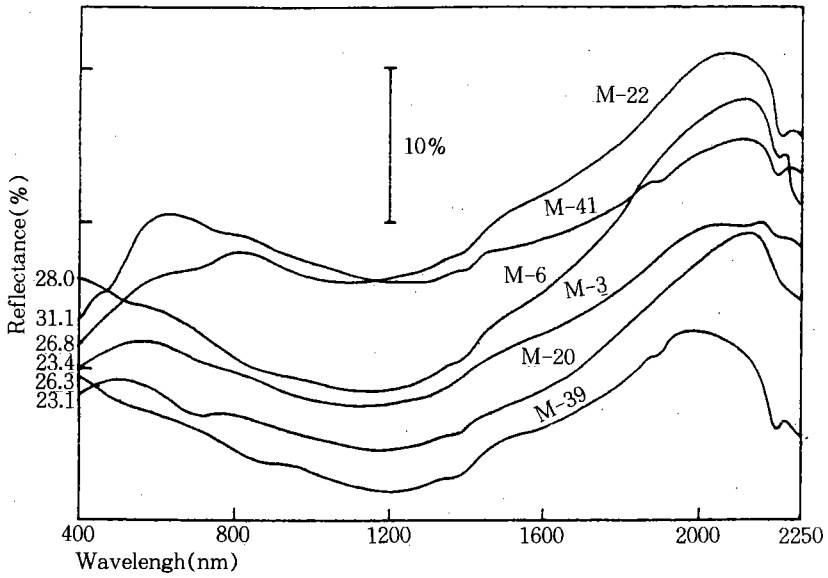


Fig. 7. Spectral reflectance curves of granite gneisses(1).

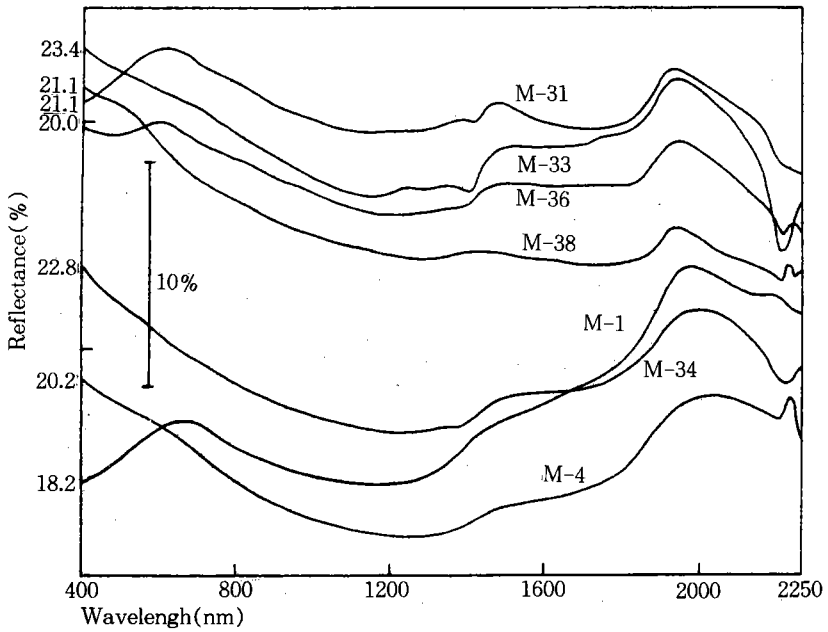


Fig. 8. Spectral reflectance curves of granite gneisses(2).

C. B와 비슷하나 $1.2\mu\text{m}$ 부근에서의 Fe^{++} band가 현저하며, $1.8+\mu\text{m}$ 에서의 변화가 급격하지 않다(Fig. 8 ; M-1, 4, 34).

위와 같은 반사도곡선에 의한 분류는 암상과 거의 일치하는데, 즉 A는 화강암질에 가까우며 B, C는 유색광물이 상대적으로 많은 섬록암질에 가깝다.

○ 호상편마암(Banded gneiss)

유색광물과 무색광물이 호층을 이루는 암석으로서 반사도곡선 형태는 화강편마암 중 A와 비슷하며, 본 암석의 성분 역시 화강암질에 가깝다(Fig. 9 ; M-40).

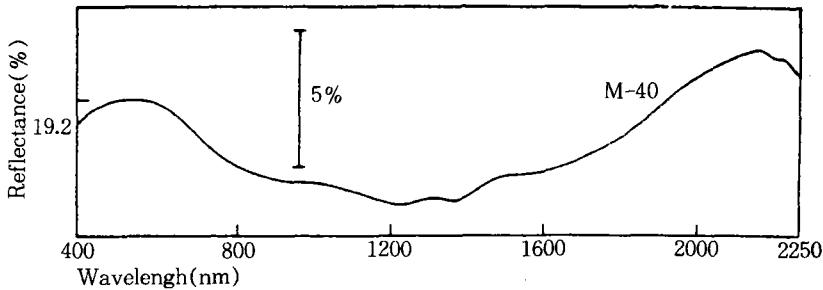


Fig. 9. Spectral reflectance curve of banded gneiss.

○ 반상변정질 편마암(Porphyroblastic gneiss)

석영, 장석 등의 광물들이 압연되어 형성된 반상변정(Porphyroblast)을 갖는 편마암이다.

반사도 곡선 형태는 화강편마암 중 A와 비슷하나 $1.4, 1.9\mu\text{m}$ 에서의 H_2O 또는 OH^- band가 뚜렷하게 나타나는데, 이는 반상변정이 대체로 크기 때문에 Water inclusion이 파괴되지 않고 그대로 남아있기 때문이다(Fig. 10 ; M-11, 21, 27).

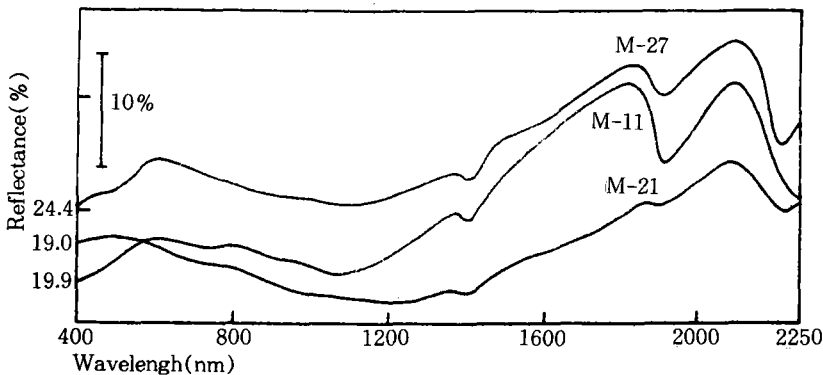


Fig. 10. Spectral reflectance curves of porphyroblastic gneisses.

4. 토의 및 결론

반사도 곡선은 암석에 따라 다양한 형태를 보여주며 같은 암종이라도 서로 다른 형태를 갖기도 한다. 이러한 이유는 변성암의 분류가 화성암과 같이 체계적이 아니며, 퇴적암과 같이 입자의 크기에 의한 분류기준 역시 적용되지 않기 때문이다. 즉 동일성분, 비슷한 크기의 입자로 구성되어 있어도 변성구조에 따라 암석분류가 달라지기 때문이다.

대부분의 주조암광물의 분광특성이 서로 비슷함에 따라 이들 광물로 이루어진 암석 역시 특징적인 분광특성을 보여주지 않는다. 그러나 H₂O band인 1.4, 1.9 μ m에서의 흡수현상에 의하여 조립암 또는 세립암의 구분이 어느 정도 가능하며, 1.0 μ m 부근에서의 넓은 흡수현상에 의하여 성분상 산성 또는 염기성 암석으로 구분할 수 있을 것이다. 그리고 2.0 μ m 이상에서의 강한 흡수현상에 의하여 탄산염 광물 또는 OH⁻ 이온이 많은 점토광물의 존재를 예상할 수 있다.

참고문헌

- 1) Adams, J. B. and Flice, A. L.(1967), Spectral reflectance 0.4 to 2.0 microns of silicate rock powders. J. G. R., Vol. 72, pp. 5750~5715.
- 2) Bancroft, G. M. and Burns, R. G.(1967), Interpretation of the electronic spectra of iron in pyroxene, Am. Min., Vol. 52, pp. 1278~1287.
- 3) Crowley, J. K.(1984), Near-infrared reflectance of zunyite : Implications for field mapping and high alumina rocks. Economic Geology, Vol. 79, pp. 553~557.
- 4) Hunt, G. R. and Salisbury, J. W.(1970), Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks I, Silicate minerals. Modern Geology, Vol. 1, pp. 283~300.
- 5) _____ (1971), Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks II, Carbonates. Modern Geology, Vol. 2, pp. 23~30.
- 6) _____ and Lenhoff, C. J.(1971), Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks III, Oxides. Modern Geology, Vol. 2, pp. 195~205.
- 7) _____ (1973), Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks VI, Additional silicates, Modern Geology, Vol. 4, pp. 85~106.
- 8) Hunt, G. R. and Salisbury, J. W.(1973), Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks VIII, Metamorphic rocks, Modern Geology, Vol. 5, pp. 219~228.

- 9) Hexter, R. M.(1958), High resolution, temperature-dependent spectra of calcite. *Spectrochim Acta*, Vol. 10, pp. 281~290.
- 10) White, W. B. and Keester, K. L.(1967), Selection rules and assignment for the spectra of ferrous iron in pyroxenes. *Am. Min.*, Vol. 52, pp. 1508~1514.
- 11) 강필중, 조민조, 이봉주(1989), 위성자료에 의한 지질도 작성연구(Ⅰ), 과학기술처.
- 12) _____ (1990), 위성자료에 의한 지질도 작성연구(Ⅱ), 과학기술처.
- 13) 국립지질광물연구소(1973), 1/25만 지질도(대전).
- 14) 국립지질조사소, 자원개발연구소, 한국동력자원연구소(1968~1989), 한국지질도(1/5만) ; 구미, 낙동, 무주, 보은, 상주, 선산, 설천, 영동, 예천, 옥산동, 청산, 함창.