

## 울산 지역 암석 시료의 스펙트럼 특성과 이의 Clustering 응용

박종남\*·김지훈\*\*

\*동아대학교 교수, \*\*동아대학교 자원공학과 대학원 재학  
(1990년 9월 1일 받음; 1990년 9월 10일 수리)

### The Clustering Application of Spectral Characteristics of Rock Samples from Ulsan

Jong-Nam Park\* and Chi-Hoon Kim\*\*

\*\*\*Dept. of Mineral and Petroleum Engineering, Dong-A University, Pusan  
(Received September 1, 1990; Accepted September 10, 1990)

#### Abstract

Study was made on the spectral characteristics of rock samples including bentonites collected from the northern Ulsan area.

The geology of the area consists mainly of sediments of the Kyongsang Series and Bulguksa granite, the Tertiary volcanics, andesites and tuffs.

Relative reflectances of meshed samples(2.5~10mm) to BaSO<sub>4</sub> are measured at 6 Landsat TM spectral windows(excluding the thermal band) with HHRR, and their reflection characteristics were analysed.

In addition, three different data selection schemes including the Euclidean distance, multiple regression, and PCA weight methods were applied to the 30 TM ratio channels, derived from the above 6 bands.

The selected data sets were subject to two unsupervised classification techniques(FA and ISODATA) in order to compare the effectiveness for classification of particularly bentonite from others.

As a result, in ISODATA analysis the multiple regression model shows the best, followed by the Euclidean distances one. The PCA weight model seems to show some confusion. In FA, though difficult for quantitative analysis, the best still seems to be the regression model.

Among ratio bands, ratios of band 7 or 5 against other bands represent the best contribution in classification of bentonites from others.

## 1. 서 론

지질 문제 해결을 위한 원격탐사 자료의 응용에는 여러 가지 방법이 있겠으나 일반적으로 광역지질도 작성뿐만 아니라 국지적인 소규모 지질 특성 연구에도, 어느 단일 밴드보다도 여러 자료에 의한 다변수 함수 처리기법이 매우 유용하게 이용되고 있는 실정이다(Kwarteg, et al., 1990, Park, 1983; 박종남 외, 1988; 박종남 외, 1989).

실제 LANDSAT TM의 6개 밴드(열밴드인 Band 6는 제외)의 조합에 의해 만들어지는 변수의 수는 무한이 많겠으나, 그 중 단순 2개 밴드간의 비는 그 역비를 포함하여  $P_2$  즉 30개이다. 효과적이고 또한 시간적으로 효율적인 다변수 함수처리를 위해서는 적절한 수의 변수를 선정해야 하는데(일반적으로 7~8개 변수), 변수 선정기법은 그 기법에 따라 차이가 있겠으나, 일반적으로 표본자료가 없는 경우에는 통계적 기법에 의존할 수밖에 없는데, 필자들의 경험에 의하면 이들 통계적 기법은 많은 경우에 자료 의존적이기 때문에 절대적 우열은 단정하기 어려운 실정이다.

여러 자료 선정기법에 대한 비교 분석은 Mucciardi 등(1971)에 의해 검토되었는데, 이들의 심전도 자료에 의한 분석 결과, 최소한 통계적으로 선정한 기법이 임의로 선정한 자료보다 우수하고, 또한 어느 특정한 기법의 적용은 적용의 용이성, 경제성 그리고 응용성 등이라 지적하고 있다.

본 연구에서는 연구대상 지역인 울산 북부 구 1:50000 감포 도폭지역을 대상으로 이 지역 및 주변에 분포하는 암석 및 광물 시료를 채취하여, 이들 시료에 대한 TM의 6개 밴드 대역에서의 분광 반사율을 측정 분석하고, 이들 밴드간의 비에 의해 만들어지는 변수값들에 대하여 Euclidean distance 원리, 회귀분석, 주성분의 가중치원리 등에 의한 변수 선정 기법을 시도하고, 선정된 자료에 대해 대표적인 비감독 패턴 분류기법의 하나인 인자분석(FA: Factor Analysis) 및 ISODATA에 의한 Cluster 분석을 하여, 특히 비금속 광물 분류를 위한 밴드비값들의 적용성을 분석코자 하였다.

## 2. 연구대상지역(울산북부)에 대한 지질개요

본 연구 대상 지역은 울산 북부의 구 1/50000 감포도폭을 중심으로한 지역이다(Fig. 1).

본 지역에 대한 지질은 立岩巖(1925)이 처음 본 지역에 대한 광역 지질 조사를 실시한 이래, 김옥준 외(1971)의 포항-울산간 점토 자원의 지질과 물리 화학적 특성 연구가 수행되었

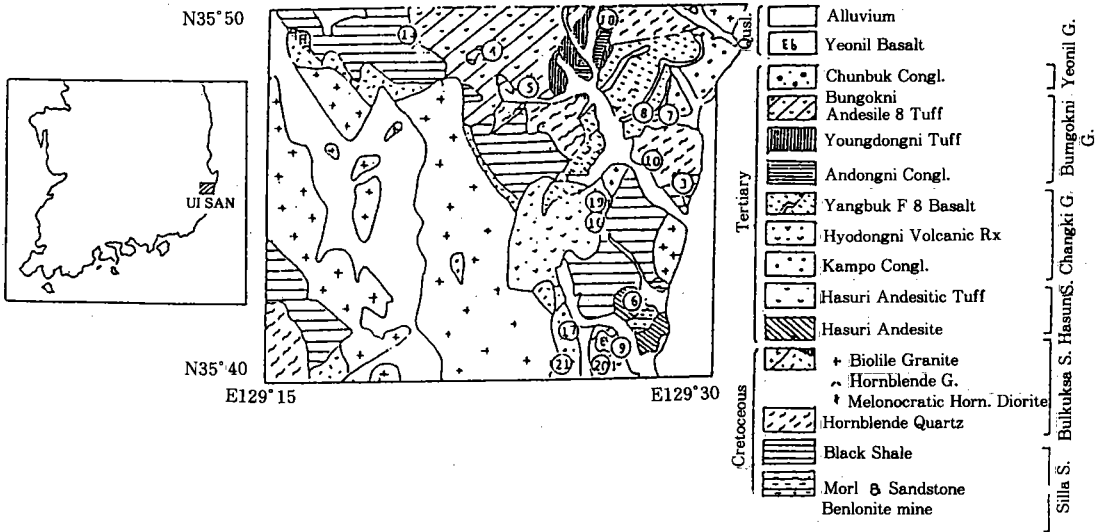


Fig.1. Geological Setting of the Ulsan Area.

고, 이 지역 및 그 주변에 생성되는 벤토나이트광상과 관련된 많은 연구(조기봉, 김종대, 1970; 김종환 외, 1980; 문희수 외, 1986)가 수행되었다. 이들에 의한 본 지역의 지질 개요를 요약하면 다음과 같다.

본 지역의 지질은 마이오세의 화산암, 화산 퇴적암류 및 쇄설성 퇴적암 등이 백악기 경상계 퇴적암류, 심성암 및 화산암을 부정합으로 덮으면서 분포되어 있다. 경상계의 퇴적암류는 주로 흑색세일이며, 그 외에 이암, 사암 등이 본역의 동부에 소규모 분포한다. 이들 백악기의 세일 및 화강암류를 부정합으로 덮는 3기층은 하부로부터 하서리층, 장기층, 범곡리층 그리고 소규모 연일층의 천북역암이 분포한다. 하서리층은 본역의 동남부에 분포하며, 주로 안산암 내지 안산암질 응회암류로 구성된다. 본 응회암 중 백색의 비교적 세립질 응회암이 대량 분포를 보이는데, 이들이 불석 및 벤토나이트를 배태하고 있다. 본 역의 장기층군은 감포지역에 분포하며, 하부로부터 감포역암, 효동리화산암류, 양북(어일)현무암이 분포된다. 범곡리층은 시대적으로 장기층군의 상부로 보이며, 주로 용동리 응회암, 범곡리 안산암질 응회암으로 구성된다.

본 역의 벤토나이트를 배태한 층군은 모두 화산성 퇴적물의 양이 많은 응회암 내지는 응회질 퇴적암이 분포된 층군을 따라 배태된다. 벤토나이트의 주성분 광물은 몬모릴로나이트로서 주로 시추용이수, 유지정제용, 주형점결재 등 많은 용도로 이용되고 있다.

### 3. 벤토나이트 및 주변 암석 시료의 분광학적 특성

#### 3-1. 암석 시료의 특성

본 대상 지역에 분포하는 암석의 스펙트럼 분광 특성을 측정하기 위하여, Fig. 1의 지질도에 표시된 위치 및 주변 지역에서 각 암석의 대표적인 암석시료를 채취하였다. 이들은 화강암류, 화산암류 및 세일, 사암, 역암 등의 퇴적암과 사암 내지 세일의 호온펠스 그리고 벤토나이트 및 도석(주로 Kaolinite) 광물 등으로 이들 시료의 특징은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of rock samples

Sample No.	암 석 명	특 징
S 1	흑운모 화강암	* 중립질, 등립질 석리를 보이며, 사장석이 부분적으로 큰 반정으로 남으며, 구성 광물은 석영, 사장석, 정장석, 흑운모가 거의 동량으로 함유되어 있다.
S 2	각섬석 화강암	* 중립질 화강암으로 주성분 광물은 흑운모, 각섬석으로 구성된다. 심한 풍화를 받았으며, 우백색을 띠며, 석영의 함량이 비교적 적다.
S 3	화강 섬록암	* 세립질 암회색이고, 치밀질 등립질, 석리를 보이는 화강섬록암 내지 섬록암이며 주 구성 광물은 각섬석과 장석이다.
S 4	범곡리 안산암	* 옅은 회록색을 띠고 중립의 사장석 반정과 세립의 각섬석 반정을 함유하며, 부분적으로 녹염석화한 흔적이 있다.
S 5	유문암질 내지 석영안산암 (Rhyodacite)	* 암회색 유리질 석기내에 백색 핑크색 장석과 석영반정이 드물게 함유한다. 장석의 반정이 큰 것은 3mm 정도이고, 석영의 반정은 큰 것이 1mm 정도이다.
S 6	하서리 안산암	* 유문암질 석영 안산암과 유사하다. 연한 회색을 띠며 유리질 석기내에 각섬석 및 장석 반정이 보이며, 장석의 반정은 직경 3mm 정도로 상당히 크며 각섬석은 주상자형 결정을 보인다.
S 7	안산암질 현무암	* 회록색 안산암 내지 현무암으로 커다란 장석 및 각섬석 반정이 보인다.
S 8	현무암	* 사장석 및 각섬석, 휘석 등이 유리질 석기내에 성장하며, 색은 암록색이고 기공 발달이 현저하다.
S 9	연일 현무암	* 암록색 내지 흑색을 띠며 유리질 석기내에 1cm 내외의 큰 자형 장석 반정과 소규모의 작은 각섬석 반정을 갖는다.
S10	염기성 암맥	* 세립의 치밀질 암록색 괴상암맥으로, 주로 각섬석과 석영으로 구성되어 있다.

Sample No.	암 석 명	특 징
S11	규장암	* 치밀질 암회색 암맥으로, 광물반정은 발견하기가 어렵고 대부분 현정질로 되어 있다.
S12	호은펠스(sh)	* 세일이 호은펠스와한 것으로 녹색을 띠며, 녹염석화한 부분에서는 암갈색을 띠고 전체적으로 괴상석리를 띤다. 부분적으로 층리의 흔적이 남아 있다.
S13	호은펠스(ss)	* 사암이 호은펠스와한 것으로, 녹색 내지 회록색 호은펠스로 장식과 각섬석 반정을 가지며, 석기는 녹염석의 미립자로 구성되어 있다.
S14	녹염석 호은펠스	* 녹염석으로 된 호은펠스로 세일의 층리를 완전히 상실한 괴상의 석리를 보인다. 신선한 면은 화록색을 띠나 풍화면은 회갈색을 띤다.
S15	응회질사암 내지 역암	* 비교적 회백색을 띠며, 입자의 분급도가 낮으며, 입자의 원마도는 매우 불량한 사암 내지 역암으로, 석기는 응회질 물질로 된다.
S16	효동리 화산암류	* 안산암질 화산암으로 열변질을 받았으며, 회록색으로 유리질석기 내에 장식과 각섬석, 녹염석 반정이 보인다.
S17	천북 역암 내지 사암	* 회갈색 중립질 사암으로서, 국부적으로 2-4mm 크기의 각력을 가지는 역암의 세맥을 가진다.
S18	용동리 응회암	* 거의 백색을 띠며 입도가 미립질이며, 층리가 잘 발달되어 있다.
S19	역암 (벤토나이트)	* 고결도가 매우 약한 역암으로 역의 종류는 세일, 안산암, 석영 등을 함유한다. 석기는 조립석영부터 미립석영까지 함유하며, 석기중 점토분은 몬모릴로나이트 광상을 형성하고 있다.
S20	하서리 안산 암질 응회암	* 유백색 화산회로 이루어져 있고, 대부분 벤토나이트화하였다.
S21	도석	* Kaolinite화한 도석으로 석영맥이 협재한다.
S22	벤토나이트	* 회백색 응회암층 중에 층리가 잘 발달되며, 층리를 따라 쳐트질층을 함유한다.

### 3-2. 암석 시료의 분광 반사율 특성

본 연구에서 광물 및 암석시료의 분광 특성을 측정하기 위해 이용된 분광반사계는 한국 동력자원연구소에서 보유하고 있는 HHRR(Hand Held Reflection Radiometer)이다. 일반적으로 이러한 기기에 의해 분광 특성을 측정하기 위해서는 측정대상물의 표준화 즉, 방사측정의 기하학적 관계(태양고도, 관측각 등), 기상이나 대상물의 기하학적 관계의 균일성 등이 요구되는데, 야외에서는 이러한 표준조건을 만족시키지 못하므로 측정시간이나 기하학적 관계에 따라 측정값의 변화가 매우 심하여 표준화된 신뢰성 있는 자료를 얻기는 거의 불가능하다(동자연 지광훈과 대담).

따라서 본 연구에서는 측정치의 표준화 내지 신뢰도를 높이기 위하여 야외 측정은 제외되고, 대신 실내에서 동일 조건 하에서 BaSO<sub>4</sub> 표준백색판을 사용하여 이에 대한 각 암석시료들의 반사율을 측정하였다. 측정은 조명 방향을 규정한 2방향성 반사계수를 Landsat TM의 각 밴드 파장대 영역과 같은 6개 채널(Band 6인 열밴드는 제외)에 대해 측정하였다.

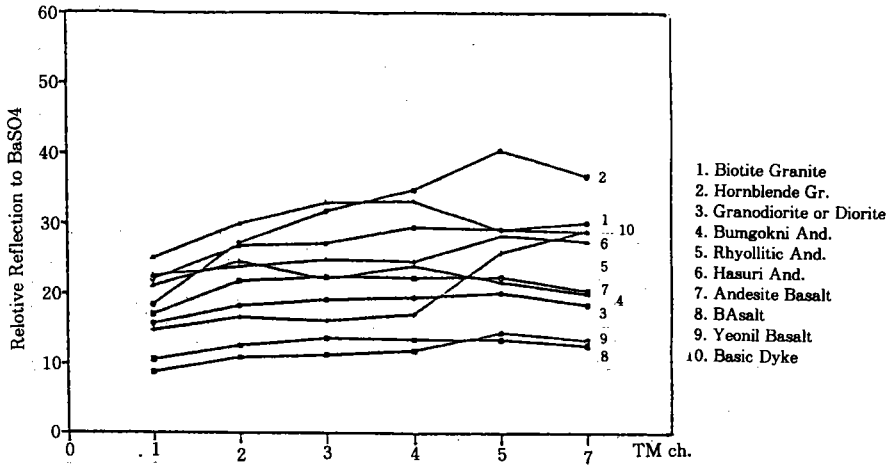
암석 시료는 0.25-1cm 크기로 파쇄한 것으로 Fig. 2와 같이 12cm×32cm 크기의 검은 마분지 상자에 고르게 정돈한 것이다.



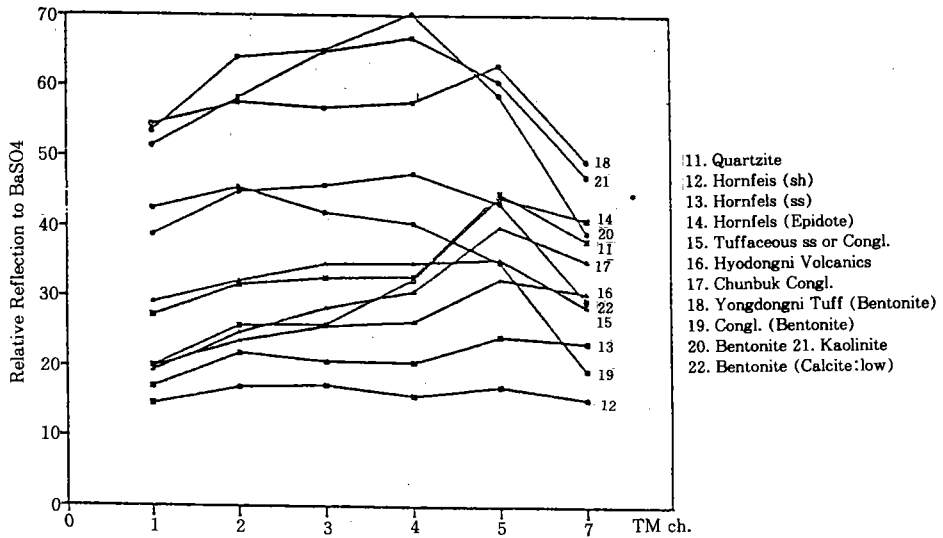
Fig. 2. Rock samples used for reflectance measurement.

### 3-3. 분광 반사율의 특징

Table 2는 측정된 광물 및 암석시료에 대한 분광 반사율이며, 이를 화성암류와 퇴적암 및 변성암류의 2개 군으로 분류하여 Fig. 3(a) 및 (b)에 도시하였으며, 다음과 같은 특징이 있음을 분석할 수 있다.



(a) Igneous rocks



(b) Sediments and metamorphic rocks

Fig. 3. Spectral reflectance curves of rock samples.

Table 2. Reflectances of rock samples of the Ulsan area

Sample No.	TM Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch7	Remarks
1	22.09	26.36	27.25	29.50	29.15	30.12	Biotite granite
2	18.49	27.24	31.79	34.77	40.43	36.76	Hornblende granite
3	15.85	18.37	19.25	19.55	20.18	18.49	Granodio.or Diorite
4	21.13	24.66	22.18	23.99	21.68	20.00	Bumgokni andesite
5	22.64	23.90	24.91	24.64	28.29	27.47	Rhyolitic andesite
6	25.09	29.95	32.97	33.14	29.07	28.87	Hasuri andesite
7	17.14	21.88	22.50	22.33	22.43	20.47	Andesitic basalt
8	10.67	12.67	13.75	13.58	13.53	12.65	Basalt
9	8.87	11.01	11.34	11.98	14.56	13.44	Yeonil basalt
10	14.86	16.76	16.25	17.17	25.91	23.95	Basic dyke
11	27.43	31.75	32.75	33.00	44.93	38.10	Quartzite
12	14.67	17.10	17.33	15.83	17.11	15.31	Hornfels(sh.)
13	17.14	22.04	20.83	20.67	20.42	23.46	Hornfels(ss.)
14	20.19	25.99	26.18	32.55	44.35	41.09	Bpidote hornfels
15	29.24	32.31	34.73	34.90	35.47	28.62	Tuffaceous ss or Congl.
16	20.00	23.75	25.89	26.58	32.61	30.54	Hyodongni volcanics
17	19.43	24.95	28.48	30.80	40.10	35.19	Chunbuk conglo. or ss.
18	54.53	57.73	56.99	57.80	63.04	49.46	Yongdongni tuff
19	42.67	45.70	42.08	40.58	35.05	19.47	Bentonite(conglo.)
20	53.58	64.11	65.19	70.30	58.80	39.25	Bentonite
21	51.51	58.35	64.91	67.00	60.73	47.30	Kaolinite
22	38.87	45.07	45.94	47.65	43.50	29.54	Bentonite

Fig. 3(a)의 화성암류는 특징적 예외를 제외하고는 전체적으로 화강암의 반사율이 높으며, 그 다음으로 안산암류, 그리고 현무암 및 섬록암이 가장 낮게 나타난다. 이는 불투명한 암석은 대체로 낮은 반사율을 나타내기 때문으로 생각된다.

염기성 암맥의 경우 Band 1-4까지는 현무암과 유사하게 낮은 값을 보이는 반면, Band 5 및 7에서는 상대적으로 높은 반사율을 나타내고 있다. 하서리 안산암의 경우 Band 1-4에서는 화강암류보다 높거나 유사한 반사율을 보이며, Band 5 및 7에서는 감소되는 경향을 보인다.

화강암류 중 각섬석 화강암은 흑운모 화강암보다 Band 1에서는 상대적으로 낮으나 Band 3 이상은 상대적으로 높으며 이 현상은 Band 5 및 7에서 더욱 뚜렷하다. 흑운모 화강암은 전 밴드에 걸쳐 특징적 현상은 나타나지 않으나 각섬석 화강암은 Band 1에서 강한 흡수 현상을 보이는데, 이는  $Fe^{3+}$ 에 의한 현상으로 생각되며, Band 7에서 어느 정도의 흡수 현상은 심한 풍화에 의한 수산화 내지 점토물에 의한 것으로 생각된다. 안산암류는 하서리 안산암이 가장 높은 반사율을 나타내며, 유문암질 안산암, 범곡리 안산암 순으로 적어지고 있다. 특히



Band 1-4에서는 하서리 안산암이 다른 안산암보다 상대적으로 높은 반사율을 나타내는데 이는 응회질의 백색도에 기인한 것으로 생각되며, Band 5 및 7에서는 범곡리 안산암이 상대적으로 낮은 것이 특징적이다.

현무암 및 섬록암은 이들 화성암류 중 가장 낮은 반사율을 보이는데, 이 중 안산암질 현무암이 범곡리 안산암과 유사하게 가장 높은 반사율을 보이고, 전체적으로 특징적인 흡수현상은 나타나지 않는다. 이는 불투명하고 또 현저한 차철석의 무정질화에 의해 스펙트럼 특성이 나타나지 않기 때문이다.

Fig. 3(b)의 퇴적암류 내지 변성암류는 그 반사율의 특성으로 보아 크게 2가지로 분류되는데 즉, 벤토나이트 및 도석 광물시료와 기타 퇴적암류 및 그들의 호온펠스가 그것이다. 벤토나이트 및 도석 광물시료는 Band 4에서 최대 70% 정도의 높은 반사율을 보이며, Band 7에서 강한 흡수 현상을 보임이 특징이고, 이들 광물시료는 백색도가 높은 시료일수록 높은 반사율을 보인다(18, 20, 21>22>19). 그리고 Kaolinite가 다른 벤토나이트보다 대체로 반사율이 높게 나타난다. Band 7의 강한 흡수 현상은  $2.2\mu\text{m}$  파장대에서  $\text{OH}^-$ 에 의한 강한 흡수 때문이며(Hunt et al., 1970, 1979) 또한 Band 1에서의 흡수 현상은  $\text{Fe}^{3+}$ 에 의한 현상이 아닌가 한다.

Rowan et al.(1977)에 의해 확인된 바와 같이 열수 변질광물은 Band 5에서 Band 7의 흡수대에 비해 상대적으로 높은 반사율을 보임으로 Band 5/Band 7을 열수 변질대탐사에 응용되었으나, 본 측정에서와 같이 황철광 등  $\text{Fe}^{2+}$ 의 수반이 없는 경우 Band 4/Band 7이 열수 변질대를 더 강조할 것으로 예상된다. 이러한 암석 및 광물시료의 반사율 특성은 강필중 외(1989)의 양산지역 시료에 대한 측정 결과와 약간 상이한데 특히 본 연구에서 Band 4에서 흡수현상이 없는 것은 본 열수광상 시료들이 황철광 등  $\text{Fe}^{2+}$ 를 함유하지 않기 때문으로 생각된다. 그리고 호온펠스나 사암, 역암 등은 스펙트럼 특성이 거의 나타나지 않으나, Band 1 및 Band 7에서 약한 흡수 현상이 확인되는데, 이는 각각 산화철이나 점토 성분이 함유한 때문으로 생각된다(Hunt et al., 1976).

시료 11의 규장암의 경우 Band 5에서 나타나는 상대적으로 높은 반사율은 석영의 백색도에 기인한 것으로 생각되며, Band 7에서 약한 흡수 현상은 Clay 내지 Calcite에 의한 영향으로 생각된다(Hunt et al., 1976).

#### 4. 다변수 함수 분석을 위한 자료군 선정

본 연구에서는 광물, 암석시료의 분광 반사율 채널간의 비에 의해 만들어지는 30개의 변수 자료에 대하여 Euclidean distance원리, 회귀분석 및 PCA의 주성분의 가중치에 의한 분석 등 3가지 방법에 근거한 3개군의 자료를 선정하였다.

#### 4-1. Euclidean distance 원리에 의한 선정

Euclidean distance(ED) 원리는 일반적으로 Cluster 분석에서 매우 유용하게 이용되는 방법으로 그 원리는 다음 식과 같다. 즉,

$$D_k = \sum_{i=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_k)^2$$

여기서 k는 밴드비 채널, i는 시료 번호, n는 총시료수,  $\bar{X}_k$ 는 K채널의 평균값. 특이값에 의한 지나친 가중값을 줄이기 위해 각 비값 내에서 채널비는  $\pm 1.96$  표준편차내로 하였으며, 이 때 유의성은 95%이다.

#### 4-2. 회귀분석에 의한 선정

본 회귀분석은 Schutz 및 Goggans(1961)의 알고리즘에 의한 통계적 기법을 적용하였다. 이 통계적 기법은 그 기여도의 크기를 다변수 함수회귀에 있어서 회귀자승합(Regression(or Residual) sums of squares:RSS)의 큰 것에 근거한 것으로, 본 연구에서는 Euclidean distance 가 가장 큰 R71을 종속변수로 한 회귀분석 결과이다.

#### 4-3. PCA의 주성분 가중치에 의한 선정

주성분 분석은 모든 변수에 공통인 공통분산을 극대화하는 방향으로 변수들의 확률밀도 함수의 축을 서로 직교하게 하는 새로운 변수로 만드는 것으로, 새로 만들어지는 변수는 그 기여도의 순위에 따라 PC1, PC2, ...와 같이 각 성분별로 재정렬하게 되는데, 이들 각 성분의 정보의 양은 Eigenvalue에 의해 상대적으로 비교되며, 이들 성분의 각 채널의 가중치는 Eigenvector값이 된다.

본 연구에서는 TM 밴드간의 비값 30개 채널에 대해 PCA 분석을 한 결과 처음 5개의 주성분이 전체의 99%의 정보를 함유함으로써, 처음 5개의 주성분값에 대한 각 밴드의 가중치를 계산, 기여도 순위를 정하였다. 즉,

$$W_k = \sum_{i=1}^5 E_i * V_{ik}$$

$W_k$ 는 k 채널의 가중치,  $E_i$ 는 i번째 주성분 Eigenvalue,  $V_{ik}$ 는 k 채널, i번째 주성분의 Eigenvector, 물론 여기서 Eigenvector값은 절대값을 취하였다.

상기 3개의 기법에 의해 선정된 변수비들이 Table 3에 있다.

Table 3. Priority order of rock reflectance ratios

order methods	1	2	3	4	5	6	7
ED	R71	R51	R27	R47	R37	R72	R17
Regression	R71	R72	R21	R51	R52	R12	R45
PCA wt	R54	R53	R35	R47	R37	R42	R45

여기서 R71은 밴드비 B7/B1이다.

### 5. FA 및 ISODATA 분석 결과 및 토의

#### 5-1. FA 및 ISODATA 분석 원리

본 절에서는 개략적인 원리만을 서술하기로 한다. 인자 분석은 서로 어느 정도 상관성을 가지고 있는 다변수 함수의 확률밀도함수의 축을 서로 직교되는 새로운 변수로 만들고, 적용 변수의 수보다 적은 주어진 '인자'에 대해 변수간에 공통되는 상호 상관성을 극대화하게 하는 기법이다. 반면에 ISODATA는 대표적인 자승오차 Clustering 방법 중의 하나로, 전체 평균에서 Distance threshold에 근거하여 잠정적으로 계산된 K Cluster 그룹 평균과 각 측정치를 비교하여 가장 가까운 Cluster에 할당하고, 또 다시 새로운 Cluster 평균이 계산되는데, 이러한 작업이 주어진 error-of-fit을 만족할 때까지 반복한다. 자세한 것은, FA는 Cooley 및 Lohnes (1971), Davis(1973) 등에, ISODATA 분석은 Ball and Hall(1966), Crisp(1974) 등에 기술되어 있다.

#### 5-2. 분석 결과 및 토의

##### 5-2-1. Euclidean distance 원리에 의한 자료군

###### (a) FA 분석

본 자료군에 대한 FA분석 결과 가장 분류성이 좋은 것은 Factor 1과 Factor 2와의 산포도 면이다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이, 비금속 시료들은 Factor 1에서는 큰 값으로 나타나고 Factor 2에서는 적은 값으로 나타난다.

이들에 대한 통계 결과인 Table 4에서 보면 Factor 1에서는 R17, R27, R37 및 R47는 큰

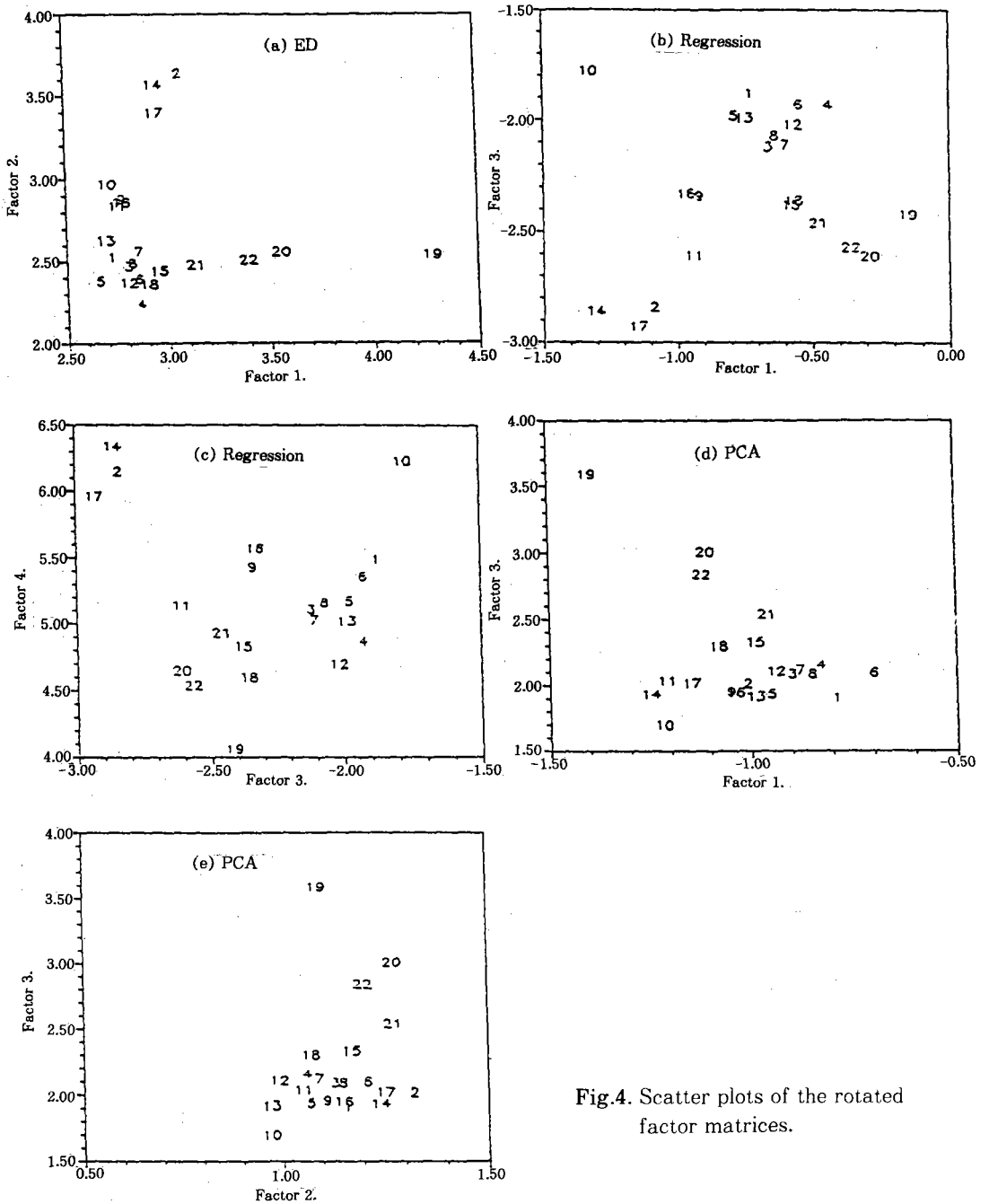


Fig.4. Scatter plots of the rotated factor matrices.

Table 4. Rotated factor matrix for the ED model

Variable \ Factor	1	2	3	4
R17	0.8558	-.4986	-.0110	-.1311
R27	.8772	-.4595	-.0874	-.0910
R37	.8748	-.4479	-.1646	.0375
R46	.8953	-.3791	-.1934	.1237
R51	-.3667	.9291	.0162	-.0016
R71	-.5550	.7995	.2090	.0166
R72	-.6296	.6810	.3710	.0011

양수의 가중치, 그리고 R51, R71, R72는 음의 가중치를 가진다. Factor 2는 대체로 그 반대 현상을 나타내며, 특히 R51의 가중치가 크게 나타난다. 도면에서 이들 비금속 광물 패턴은 Factor 1에서는 2.9 이상의 큰 값을 나타내는 반면, Factor 2에서는 낮은 값으로 아주 좁은 범위(2.3~2.6)의 값을 보인다.

#### (b) ISODATA 분석

ISODATA 분석에 의한 결과는 Table 5에 있다. Spherical factor가 0.5 및 0.6인 경우 가장 좋은 결과를 보이고, 본 자료의 비금속 광상 Clustering을 위해서는 4개의 Cluster군 일 때 가장 좋은 결과를 나타낸다. 그러나 Table 5에서 보는 바와 같이 S19가 다른 비금속 시료와 분리되어 분류되고 또 S4(범곡리 안산암) 및 15(응회질 사암)는 이들 비금속 광물과 같은 패턴으로 분류되고 있다. 이 현상은 FA 분석에서도 유사하게 나타나고 있다.

### 5-2-2. 회귀분석에 의한 자료군

#### (a) FA 분석

본 자료군의 경우 가장 좋은 비금속 광물의 분류는 Factor 1 및 Factor 3, 그리고 Factor 3 및 Factor 4의 산포도면의 경우이다. 이들 인자 중 가장 기여도가 큰 것은 Factor 1이며, 다음으로 Factor 3 및 4는 각각 어느 정도 분류에 기여함을 알 수 있다. Factor 1에서는 이들 비금속 광물의 경우 가장 큰 값으로 나타나며, Factor 3에서는 중간 부분의 상당히 제한된 범위(-0.24~-0.26)의 값을 가지며, 이 때 S15가 혼돈되고 있고, Factor 4는 대체로 가장 낮은 값을 나타낸다. 또한 S19는 이들 그룹과 어느 정도 분리되고 있다. 이들에 대한 통계값은 Table 6에 있다.

Table 6에서 보는 바와 같이 Factor 1은 R45가 큰 양의 가중치를 가지며, R21, R51, R71, R52 및 R72는 대체로 큰 음의 가중치를 가지나 그 중 특히 R72, R52가 가장 큰 음의 가중치를 가진다.

**Table 5.** ISODATA results of the euclidean model model

Variable	R17	R27	R37	R47	R51	R71	R72
Cluster 1 Mean	.79	.94	.98	.98	1.4	1.3	1.1
STD.DEV	.93-01	.11	.12	.98-01	.18	.15	.12
Cluster 2 Mean	.51	.66	.72	.80	2.0	.19	1.5
STD.DEV	.23-01	.63-01	.12	.14	.19	.86-01	.15
Cluster 3 Mean	2.2	2.3	2.2	2.1	.82	.46	.43
STD.DEV	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Cluster 4 Mean	1.2	1.3	1.3	1.4	1.1	.88	.77
STD.DEV	.13	.19	.21	.23	.59-01	.95-01	.10

Cluster 1:1 3 5 6 7 8 9 11 12 13 16

Cluster 2:2 10 14 17

Cluster 3:19

Cluster 4:4 15 18 20 21 22

Percent Error 13.28

Euclidean Distances Between Cluster Centres

Cluster	1	2	3	4
1	.0	1.2	2.8	1.0
2	1.2	.0	3.8	2.0
3	2.8	3.8	.0	1.9
4	1.0	2.0	1.9	.0

**Table 6.** Rotated factor matrix for the regression model

Variable \ Factor	1	2	3	4
R12	0.1433	.9789	.1411	.0285
R45	.7521	.0600	.3832	.5325
R21	-.5788	-.5074	-.6136	-.1713
R51	-.7939	-.4496	-.3894	-.1079
R71	-.6858	-.2407	-.6515	-.2115
R52	-.8943	-.2261	-.3603	-.1187
R72	-.9447	-.1556	-.2329	-.1471

(b) ISODATA 분석

본 자료군에 대한 ISODATA 분석 결과는 Table 7에 있다.

이 경우 Spherical factor가 0.6의 4Cluster의 경우, 전 비금속 광물 시료가 한 Cluster로 분

Table 7. ISODATA results of the regression model

Variable	R12	R45	R21	R51	R71	R52	R72
Cluster 1 Mean	.85	.93	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1
STD.DEV.	.46-01	.11	.64-01	.17	.17	.14	.13
Cluster 2 Mean	.75	.79	1.3	2.2	1.9	1.6	1.4
STD.DEV.	.47-01	.54-01	.87-01	.64-01	.99-01	.94-01	.97-01
Cluster 3 Mean	.89	.66	1.1	1.7	2.0	1.5	1.7
STD.DEV.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Cluster 4 Mean	.88	1.1	1.1	1.1	.79	.94	.70
XSTD.DEV.	.37-01	.88-01	.51-01	.12	.17	.11	.15

Cluster 1 : 1 3 5 6 7 8 9 11 12 13 16

Cluster 2 : 2 14 17

Cluster 3 : 10

Cluster 4 : 4 18 19 20 21 22

Percent Error 18.51

Euclidean Distances Between Cluster Centres

Cluster	1	2	3	4
1	.0	1.2	1.1	.7
2	1.2	.6	.0	1.9
3	1.1	.6	.0	1.9
4	.7	1.9	1.9	.0

류되고 있다. 그 외 S1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16이 같은 Cluster로, S2,14 및 17이 다른 한 Cluster로 분류되고 또 S10(basic dyke)가 전혀 다른 Cluster로 분류된다.

본 분석 결과는 F4 분석에서 Fig. 4-(b) 및 (c)의 인자분석의 산포도면과 유사한 결과를 보인다.

5-2-3. PCA 주성분 가중치에 의한 자료군

(a) FA 분석

본 자료군에 대한 FA 분석 결과, Factor 1 및 3에서 비금속 광물 분류가 가장 잘 되고 있으며(Fig. 4-(d) 참조), Factor 3 및 2 혹은 Factor 3 및 4에서도 어느 정도 분류된다. 전체적으로 비금속 광물은 Factor 3에서 가장 잘 분류되며, 이 때 이들 광물시료는 가장 큰 값으로 나타난다. Factor 1 및 4에서는 낮은 값을 가지나 이 때 다른 많은 시료와 혼돈되고 있다. 이

들에 대한 통계는 Table 8에 있는데, Factor 3의 경우 R35, R37, R45 및 R47이 양의 가중치를 가지며, R42, R53 및 R54가 음의 가중치를 가지며, 특히 R37 및 R47의 기여도가 큼을 알 수 있다.

Table 8. Rotated factor matrix for the PCA model

Variable \ Factor	1	2	3	4
R35	0.8460	-.2522	.4532	-.0804
R37	.4801	-.2179	.8469	-.0647
R45	.8623	-.0703	.4794	.1380
R47	.4764	-.1055	.8713	.0421
R42	-.1487	.9798	-.1332	.0069
R53	-.8809	.2736	-.3467	.1603
R54	-.9011	.0673	-.4150	-.0729

#### (b) ISODATA 분석

본 자료군에 대한 ISODATA 분석 결과는 Table 9에 있다. 이 경우 Spherical factor가 0.5~0.6, 4Cluster의 경우 가장 좋은 결과를 보인다. S20, 21, 22가 같은 Cluster로 분류될 뿐 S19는 하나의 별개의 Cluster로 분류되며, 또한 S18도 다른 Cluster로 분류됨으로써 대체로 혼돈되는 양상을 보인다. 이들은 F4 분석의 Fig. 4(e)의 Factor 2 및 3의 산포도면과 유사한 결과를 보인다.

### 5-3. 결과 토의

시료의 분광 반사율 채널비로 된 3개의 자료군에 대한 FA 및 ISODATA 분석 결과, 선정된 자료군에 따라 분석 결과 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있으며, 본 자료에 대해서는 FA 분석에서 정량적인 우열을 구분하기 어려우나 대체로 회귀분석에 의한 자료군이 가장 좋은 결과를 나타내며, ISODATA 분석에서는 특히 회귀분석에 의한 자료군이 가장 좋은 결과를 가져오며, Euclidean distance model이 그 다음이며, PCA 모델은 어느 정도 혼돈되고 있어 3모델 중 가장 좋지 않은 결과를 나타낸다. 그런데 상기 분석에서 S15는 비금속 광물과 혼돈되는 경우가 많은데, 이는 이 암석시료가 응회질로서 本域 광물시료와 유사한 특성 때문이 아닌가 한다. 그리고 같은 자료군의 두 가지 분석 즉, FA 및 ISODATA 분석 결과는 대체로 유사한 결과를 나타내나, ISODATA 분석에서는 뚜렷한 Cluster군으로 분류됨이 유용한 반면, FA 분석에서는 채널별 기여도를 알 수 있음이 유용하다.



Table 9. ISODATA results of the PCA model

Variable	R35	R37	R45	R47	R42	R53	R54
Cluster 1 Mean	.75	.80	.79	.85	1.1	1.4	1.3
STD.DEV.	.90-01	.11	.68-01	.99-01	.11	.17	.11
Cluster 2 Mean	1.2	2.2	1.2	2.1	.89	.83	.86
STD.DEV.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Cluster 3 Mean	1.1	1.5	1.1	1.6	1.1	.93	.89
STD.DEV.	.22-01	.12	.47-01	.15	.37-01	.22-01	.33-01
Cluster 4 Mean	.99	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
STD.DEV.	.63-01	.82-01	.70-01	.77-01	.58-01	.62-01	.67-01

Cluster 1 : 2 5 9 10 11 13 14 16 17

Cluster 2 : 19

Cluster 3 : 20 21 22

Cluster 4 : 1 3 4 6 7 8 12 15 18

Percent Error 14.97

Euclidean Distances Between Cluster Centres

Cluster	1	2	3	4
1	.0	2.0	1.3	.7
2	2.0	.0	.8	1.5
3	1.3	.8	.0	.7
4	.7	1.5	.7	.0

이에 의하면 특히 양의 기여도가 큰 것은 채널비가 R17, R27, R37, R47, R35, R45 등이며, 음의 기여도가 큰 것은 R51, R71, R72, R52, R53, R54 등으로 TM B5 및 7와 다른 밴드간의 비값들이 기여도가 큼으로써 이들 밴드의 중요도가 인지된다.

6. 결 론

본 연구에서는 비금속 광물의 탐사를 위한 분광 반사율 특성을 연구하기 위하여 경상계 퇴적암류 및 화성암류, 그리고 제3기층의 화산암 및 화산퇴적암류 분포지역인 울산 북부 지역을 대상으로 암석 및 벤토나이트 시료를 채취하여, Landsat TM의 6개 밴드 원도에서의 분광 반사율을 측정, 분석하였다. 또한 이들 밴드값의 조합에 의한 밴드비 값에 대하여 Euclidean distance 원리, 다중회귀 및 PCA 원리에 의한 변수 선정기법을 적용, 선정된 3개군의 자료에 대한 FA 및 ISODATA 분석에 의한 Clustering을 시도함으로써 상기 3변수 선정기법을 비교

하고자 하였다.

비금속 광물의 분광 반사율은 대체로 다른 암석시료보다 훨씬 크게 나타나며, Band 7에서 강한 흡수현상을 나타냄이 특징적으로, 이는  $2.2\mu\text{m}$  파장대에서  $\text{OH}^-$ 의 강한 흡수 때문이며, 또한 Band 1에서의 약한 흡수현상은  $\text{Fe}^{+3}$ 에 의한 것으로 생각된다. 그리고 광물시료간에는 백색도가 높은 시료일수록 높은 반사율을 보인다.

그 외의 암석시료간에는 화성암류가 가장 높은 분광 반사율을 보이며, 다음으로 안산암류 그리고 현무암 내지 염기성 암맥 순으로 낮아진다. 따라서 염기성으로 갈수록 또한 암석이 불투명할수록 낮은 반사율을 나타낸다고 볼 수 있으며, 현무암 등에서는 특히 불투명하고 자철석의 무정질화에 의해 스펙트럼 특징이 나타나지 않고 있다. 또한 본 지역의 시료들은  $\text{Fe}^{2+}$ 을 함유하는 유화물이 결여된 것으로 생각된다.

3개 자료군에 대한 Clustering 분석결과, 대체로 다중회귀, 모델의 경우 가장 좋은 결과를 보인다. FA 및 ISODATA 분석은 뚜렷한 Cluster군으로 분류됨이 매우 유용하여 상호 보완적이라 하겠다.

이들 분석에 의하면 Band 7 및 5와 다른 밴드와의 비값들이 비금속 광물분석에 가장 기여도가 큼이 확인되고 있다.

## 사 사

본 연구는 과학재단 목적 기초연구과제의 일환으로 수행되었으며, 시료의 분광 반사율 측정에 도움을 주신 동력자원연구소 원격탐사연구실 강필종 박사님 및 실원들께 깊은 감사드립니다. 또한 야외 시료 채취에 많은 노고를 해주신 동아대 강대우 교수와 암석시료의 분류에 도움을 주신 동아대 김종대 교수께도 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 강필종, 지광훈, 1989, Landsat TM자료에 의한 영남지역의 광상대 조사 및 응용 방법 개발 (Ⅲ); 대한원격탐사학회지 5-2, pp. 91~108.
- 김옥준 외, 1971, 포항 울산간 점토 자원의 지질과 그 물리화학적 특성에 관한 연구: 광산지질, 제4권, pp. 106~215.
- 김종환 외, 1980, 구룡포 및 감포지역 불석, 벤토나이트 및 산성백토 광상조사연구: 자원개발 연구소, 조사연구보고, 제8호, pp. 99~148.
- 문희수, 유장한, 김종환, 1986, 3기층 분포지역의 벤토나이트 및 불석광상에 대한 광물·광상

- 학적 연구:한국동력자원연구소, 연구보고서 KR-86-8, p. 73.
- /박종남, 서정희, 1988, 식생이 무성한 지역에서의 Principal Component Analysis에 의한 Landsat TM 자료의 광역지질도 작성:대한원격탐사학회지 v 4(1), pp. 49~60.
- /박종남, 서정희, 1989, 광역지질도 작성을 위한 ISODATA 응용:대한원격탐사 학회, 立岩巖, 1925, 연인, 감포 및 구룡포 지질도 및 설명서:지질조사소.
- /조기봉, 김중대, 1970, 벤토나이트 광상조사연구:국립광업연구소, 광상조사연구보고, 제4호, pp. 183~231.
- (Ball, G. H. and Hall, J. J., 1966, ISODATA, an interactive method of multivariate data analysis and pattern classification, in Digest of Technical Papers, *IEEE Intl Comm. Conf.*, pp. 116~117.
- Cooley, J. W. and Lohnes, P. R., 1971, Multivariate data analysis:John Wiley and Sons Inc., p. 364.
- Crisp, D. A., 1974, Application of multivariate methods of regional geochemistry:The evaluation of a new technique. M. Sc., *Thesis Unpub. Dept. of Geology*. Univ. of London, p.107.
- ✓Davis, J. C., 1973, *Statistics and data analysis in geology*, John Wiley and Sons Inc., NewYork, p. 550.
- Hunt, G. R. and Ashley, R. P., 1979, Spectra of altered rocks in the visible and near infrared: *Economic Geology*, 74, pp. 1613~1629.
- Hunt, G. R. and Salisbury, J. W., 1976, Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: XI. Sedimentary rocks:*Modern Geology. v. s.*, pp. 211~217.
- Kwarteng, A. Y. and Chavez, Jr. P. S., 1990, Digital image processing of airborne geophysical data for uranium-mineralized breccia pipes exploration in northwestern Arizona:Geophysics, 55-8. pp. 965~967.
- Mucciard, A. N. and Gose, E. E., 1971, A comparison of seven techniques for choosing subsets of pattern recognition properties:*IEEE Trans. on Computers*, V.C-20, No. 9, pp. 1023-1031.
- Park, J. N., 1983, Pattern Recognition Techniques for Integration of Geophysics, *Remote Sensing, Geochemistry and Geology*:Ph.D Thesis, Univ, of London(Unpub), p.362.
- Rowan, L. C., Goetz, Af. h. and Ashley. R. P., 1977, Discriminant of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near-infrared spectra:x. stony meteorites:*Modern Geology*, v5, pp. 115~126.
- Schultz, E. F. and J. F. Goggans, 1961, A systematic procedure for determining potent independent variables in multiple regression and discriminant analysis, Agricultural Experiment Station, Auburn Univ. Auburn, Alabama, Bull, 336, p.74.