

울산지역 비금속광물 및 암석 분류를 위한 원격탐사 자료처리

박종남*.박인석**

* 동아대학교 교수, ** 동아대학교 대학원 재학
(1991년 11월 1일 받음 ; 1991년 11월 10일 수리)

Remote Sensing Data Processing of the Ulsan Area for Classification of Non-metallic Minerals and Rocks

Jong-Nam Park* and In-Seok Park**

*, ** Dept. of Mineral and Petroleum Engineering, Dong-A University, Pusan
(Received Nov. 1, 1991 ; Accepted Nov. 10, 1991)

Abstract

Feature enhancement combined with some pattern recognition techniques were applied to the Remote Sensing Data for geological mapping with particular emphasis on non-metallic ore deposits and their related geologies.

The area chosen is north of Ulsan, the size of which is about 400km². The geology of the area consists mainly of volcanics, volcanic sediments and clastic sediments of Miocene age, underlain by the Kyungsang sediments of Cretaceous age. The mineralization occurs in tuffs or along the bedding plane of tuffaceous sediments, the main products of which are Kaolinite and Bentonite.

The outcrops or mine dumps in the study area were most effectively extracted on the histogram normalized image of TM Band 1 and 2, due to their high reflectivity. These may be confused with some artificial features, like slate roof complex of the poultry farm or cement ground, which should be classified by field checking.

Detailed examination of enhancement image combined with pattern recognition techniques made enable to classify different rocks and thereby extract volcanic products which are mainly related to non-metallic ore deposits in the study area.

1. 서론

원격탐사자료는 지표하부로 침투성이 결여되고 토양이나 암석분류에 있어 일반화하기 불가능한 단점이 있지만 신속한 광역개사가 가능하고 접근하기 어려운 먼 지역의 조사가 가능할 뿐 아니라, 특히 지질구조나 층의 연속성 등의 확인이 가능하므로 모름지기 광역지질 및 구조 규명에 매우 중요한 수단이 되고 있다. 물론 직접적인 지질확인은 암석이 잘 노출되어 그들의 특징적인 조직에 의한 스펙트럼 특성이 분류될 때 가능하나 토양 및 식생에 의해 피복되어 직접적인 확인이 어려운 대부분의 지역에서는 지형 형태학적인 분석에 의해 간접적으로 규명될 수도 있다(Lillesand, et al., 1987, Siegal, 1980).

본 연구에서는 이러한 원격탐사자료를 이용하여 광역지질 및 광물자원탐사, 특히 비금속광물자원 탐사를 위한 연구가 시도되었다. 대상지역은 울산북부지역(Fig. 1 참조)이며, 연구방법은 대상지역의 Landsat MSS, TM 및 항공방사능 자료를 지리좌표계에 맞게 재정렬하여 1차적으로 각 밴드 및 이들 밴드간의 비를 영상강조처리하여 기존의 광역지질 특성과 면밀히 비교 분석하고, 2차적으로 다변수합수 분석을 위한 자료군을 선정하고, 이들 자료군에 대해 패턴분류기법을 적용하여 전체적으로 지질도 작성의 가능성을 검토하였고, 나아가서 비금속광물 및 이와 관련된 지질적 특성을 유출할 수 있는가에 대해 연구 검토하였다. 적용된 패턴분류기법은 PCA 및 ISODATA에 의한 비감독분류이며 영상강조처리 및 자료선정기법 등 자세한 것은 뒤에 기술하겠다.

2. 연구대상지역의 지질개요

본 지역에 대한 지질은 본 학회지(박종남 외, 1990)에 이미 기술되었으나 독자의 이해를 돕기 위해 본지에 다시 기술하겠다. 본 지역에 대한 지질은 立 岩巖(1925)이 최초로 광역지질조사를 실시한 이래 본 역에서 생성되는 점토자원에 관련된 많은 연구(김옥준 외, 1971 · 조규봉, 김종대, 1970 · 김종환 외, 1980 · 문희수 외, 1986)가 수행되었으며, 그 지질개요는 다음과 같다.

본 역은 마이오세의 화산암, 화산퇴적암류 및 쇄설성 퇴적암 등이 백악기 경상계 퇴적암류, 심성암, 및 화산암을 부정합으로 덮으면서 분포되어 있다. 경상계 퇴적암류는 주로 흑색세일이며, 이들 백악기의 세일 및 화강암류를 부정합으로 덮는 3기층은 하부로부터 하서리층, 장기층, 범곡리층 그리고 소규모 연일층의 천북역암이 분포한다(Fig. 1 참조).

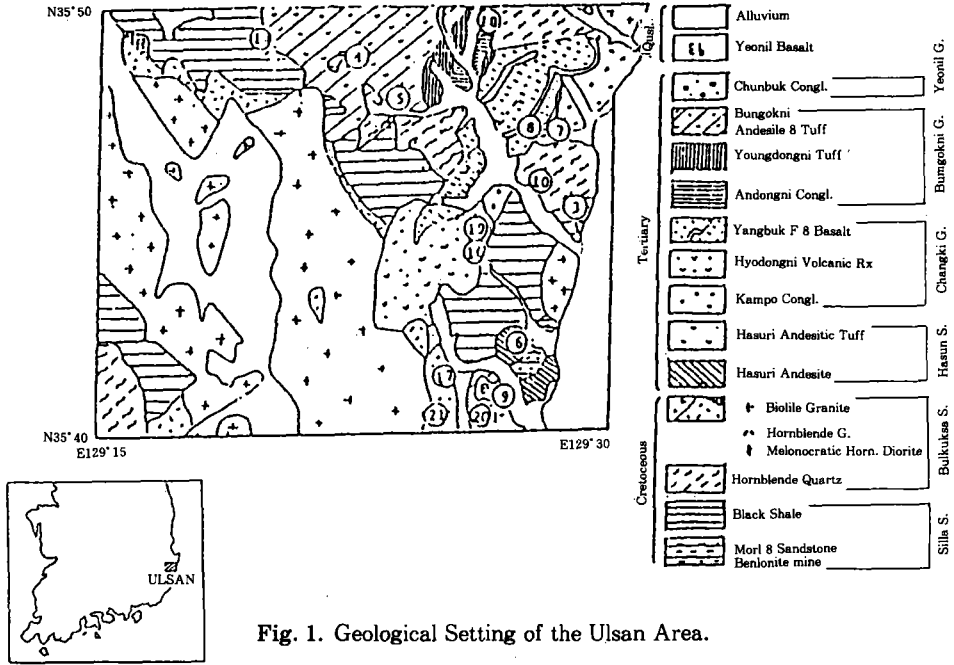


Fig. 1. Geological Setting of the Ulsan Area.

하서리층은 본 역의 동남부에 분포하며 주로 안산암 내지 안산암질 응회암류로 구성된다. 장기층군은 감포지역에 분포하며 주로 감포역암, 호동리 화산암류, 양북(어일) 현무암이 분포된다. 범곡리층은 시대적으로 장기층군의 상부로 보이며, 주로 용동리 응회암, 범곡리 안산암질 응회암으로 구성된다. 본 역의 고령토 및 벤토나이트 광상은 모두 화산성 퇴적물의 양이 많은 응회암 내지 퇴적암이 분포된 층군을 따라 배태된다.

3. 영상강조처리

영상강조처리는 Landsat MSS 및 TM 자료를 본 역에 맞게 재배열하여, 원 밴드와 이들 밴드간의 조합에 의한 밴드비들을 히스토그램 정규분포화로 강조처리하여 각각의 자료에 대해 분석하였다.

상기 분석은 한국과학기술원 양영규 외(1990)가 개발한 ERIMS 패키지의 히스토그램 정규화 프로그램을 일부 수정하여 자료의 양단에 2.5%씩 할당하던 기존의 프로그램을 각각 0.1%씩 할당함으로써 양단에서의 포화도를 낮게 한 것이다. 이렇게 함으로서 양단 부근의 값을 강조하기 위함이다.

Landsat MSS 4개 밴드와 밴드비 12개, 그리고 TM 6개 밴드와 밴드비 30개에 대해 영상강

조처리에 의한 분석결과, 광역지질 내지 지질구조 등의 지질특성과 그 유용성을 정성적으로 3가지로 분류하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Degrees of Geological Correlations of Chs and Ch. Ratios
(Qualitative Analysis)

Degree	MSS	TM
Good	R46, R47, R56, R57	R21, R31, R71, R72, R73
Moderate	R45, R74, R75, R64, R65, R54	R17, R25, R27, R34, R35, R45, R47, R51, R52, R53, R54
Poor	R67, R76	R12, R13, R14, R15, R23, R24, R37, R57, R74 R75, R41, R42, R43, R32

단, R46은 B4/B6임.

특히 MSS의 밴드비 R67 및 R76에서는 지형효과가 거의 완전하게 제거되나 식생효과를 반영하고 있고, 실제로 지질적 특성은 거의 없는 것으로 분석되며, TM 밴드의 R57 및 R75 또한 이와 유사한 특성을 나타낸다. R57은 Rowan et al.(1977)의 연구에 의하면 열수변질대가 밝게 나타난다고 하나 본 연구에서는 적절한 규모의 대상 지역이 없어 확인되기 어렵다.

MSS 원 밴드에서는 Band 4 및 5가 대체로 비금속광상노두나 광역지질 내지 지질구조 등의 특성이 Band 6 및 7보다 나은 것으로 판명된다. 이는 Band 6 및 7은 식생효과가 크고 또 충전층 등과 다른 지형지질과의 대비가 감소되는 경향 때문이다. TM의 6개 밴드 중에서는 비금속광상노두가 전 밴드에서 높게 나타나나 주변과의 대비에 의해 가장 잘 분류되는 것은 Band 1과 2이며, 그 다음이 Band 3인데, Band 3의 경우 충전층의 bare soil과 어느 정도 혼돈되고 있다. Band 4에서는 세밀한 지형구조는 잘 표현되나 서로 다른 특성간의 대비가 감소되고 있다. Band 5에서도 이와 유사한 현상을 보인다. Band 7은 다시 충전층이나 광상노두 특성이 같이 높게 나타나 서로 혼돈되고 있다.

밴드비에 의한 영상은 지형효과를 줄임으로서 지형에 의한 혼돈은 줄일 수 있겠으나, 많은 경우에 지형형태의 특성에 의한 지질특성 분류가 가능함을 고려하면 소수의 밴드비 값을 제외하고는 원 밴드의 영상처리가 보다 효과적이라 하겠다.

MSS 자료의 전체적인 유형이 TM과 유사하나 해상력이 떨어지므로 본 지면에서는 제외하고 TM 밴드 및 밴드비 중 대표적인 것(Band 1, 3 및 R71, R21)을 Plate 1에 도시하였다.

이들 영상에서 벤토나이트 및 고령토 노두 내지 채광장이 가장 높은 반사율을 보이는 것이 확인되는데, 이는 박종남 외(1990)의 광물 및 암석시료의 분광반사율 측정에서 확인된 높은 반사율과 일치하고 있다. 이들 중 A1~A5는 기존의 광산현장이나, A6 및 A7은 과거 채광흔적은 있지만 기록상에는 없는 것으로 현지답사에 의해 새로 확인된 곳이다. 그리고 이들과 유사한 패턴을 보이는 P1~P7은 현지답사 결과 계사군의 슬레이트 지붕 내지 관광지의 시멘트 광장 등에 의한 것으로 상기 노두들과 같이 높은 반사율을 나타낸다(Table 2 참조).

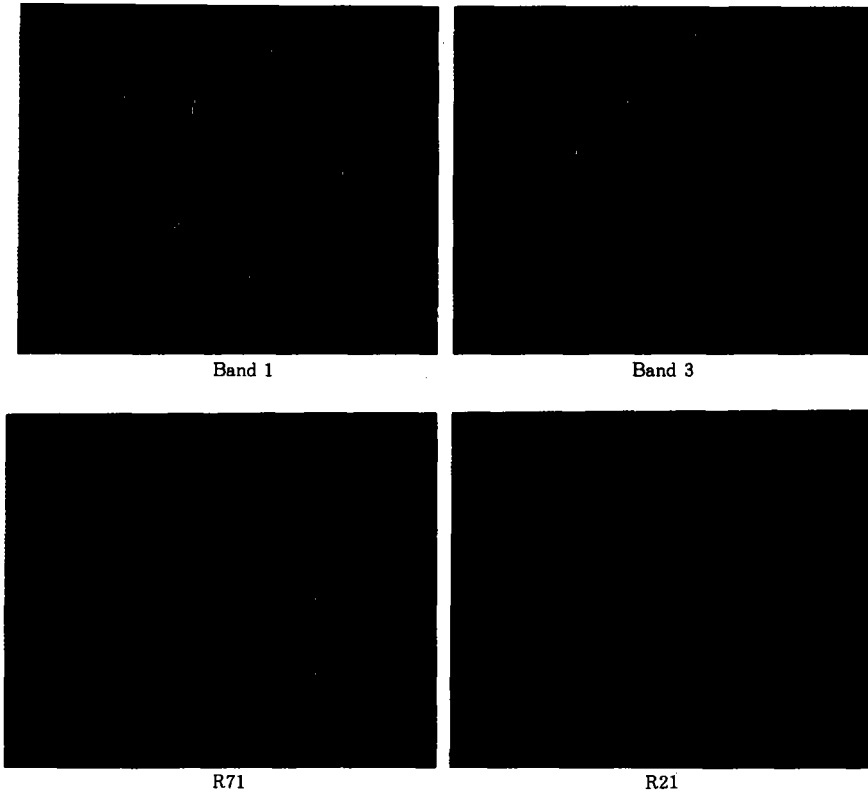


Plate 1. Histogram normalized images of Ulsan TM bands and ratios.
(R71 represents Band 7/Band 1)

Table 2. Results of field check for the anomalies picked up on the image

Anomaly no.	Location	Field checking	Remarks
A1	Yangbuk, Yongdong-ni	Bentonite mine	
A2	Yangbuk, Dusan-ni	Bentonite mine(Dusan Mine)	
A3	Yangnam, Sangna-ni	Bentonite mine(Chibul Mine)	
A4	Yangnam, Sanggye-ri	Bentonite mine(Daesung Mine)	
A5	Yangnam, Suwang-ni	Bentonite field dump	
A6	Yoidong, Yipsil	Kaolinite	New
A7	Yoidong, Yipsil	Kaolinite	New
P1	Yangnam, Shindae-ri	Slate roof of cattle shed	
P2	Yoiding, Tojeom	Slate roof + Bare sandy soil	
P3	Yoiding, Duckdong	Slate roof and cement yard of poultry farm	
P4	Naenam, Myunggye-ri	Slate roof and cement yard of poultry farm	
P5	Ulju, Katin	Slate roof and cement yard of poultry farm	
P6	Mt. Toham, Iljumun	Cement yard	
P7	Kyungju, National-folk village	Cement yard	

또한, 이들 영상에 대한 지형 형태학적 분석으로 광역지질 분류가 어느 정도 가능하다. 즉, 본 역의 응회질암은 안산암 등과 뚜렷이 분류되는데, 안산암은 대체로 풍화에 강함으로 산세가 뚜렷한 양상을 보이는 반면 응회암류는 산세가 낮고 완만한 편이다. 또한, 화성암 지역도 대체로 풍화에 약하여 지형 형태가 뚜렷하지 않으며 다른 화산암류보다 낮은 반사율을 나타냄이 특징이다. 이는 실제 현장시료의 분광 반사율 특성과는 상반되는 것으로 이러한 화강암 지역의 저반사율 특성은 이들 지역에 널리 분포하는 사철성 식생 및 일부 그늘진 사면의 지형적 영향에 의한 것으로 생각되며, 산세가 험한 지역은 대체로 활엽수가 우세하고 자료 취득시('87. 4. 4) 이들 지역은 건조하거나 초봄의 미엽이 발달된 상태이다. 또한, 현무암이나 다른 화산암 지역은 분화구 특성을 포함한 구조적 특성이 뚜렷하다.

4. 패턴 분류

본 연구에서 적용한 패턴분류기법은 PCA 및 ISODATA에 의한 Clustering 등 비감독분류 기법이며, 감독분류기법은 본 연구에서 제외되었는데, 그 이유는 Clustering은 'Natural'하고 또 'Homogeneous'해야 하는데(Park, 1983), 상기 조건에 부합되는 'Training Set' 선정에 있어서의 문제 때문이다.

4-1. 자료군 선정

자료군 선정은 패턴분류기법 적용에 있어서 가장 중요한 문제 중 하나인데, N개의 자료 중에서 M개를 선정하는 데 가능한 모든 조합을 고려할 수 있겠으나, 이 경우 시간적으로 불가할 뿐 아니라 비효율적이다. 따라서 학습적(heuristic) 방법에 의해 선정하게 되는데, Mucciardi et al.(1971)은 8가지의 통계적 기법을 비교 연구한 결과 오차확률기법 및 평균상관계수법을 조합한 것이 가장 유용함을 밝혔고, 박종남 외(1990)는 다중회귀법이 대체로 양호한 결과를 나타냄을 확인하였을 뿐 아니라 본 지에는 제시되지 않았지만 실제 울산지역 자료에 적용한 결과, 또한 다중회귀모델이 가장 유용성이 있음을 확인하였다. 그러나 Landsat TM의 경우 6개의 원 밴드값과 이들간에 만들어지는 30개의 밴드비 등 총 36개의 자료가 되는데, 이들 자료를 함축적으로 7~8개 자료로 줄이기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이미 전술한 바와 같이 상기 각각의 자료를 영상강조처리하여 기존의 지질자료와 면밀히 비교 분석하여 1차적으로 상관성이 적은 14개 자료를 제외하고(Table 1의 Poor로 분류된 자료), 나머지 22개 자료에 대한 상관계수를 구하고 그 상관계수의 절댓값이 0.95 이상인 밴드들을 한 조로 PCA 분석을 하면 거의 전정보(98~99%)가 PC1에 집중됨으로서 PC1을 취하고(Table 3 참조), 그 나머지 자료를 합하여 회귀모델 방법에 의해 7개 자료를 선정하였다.

나아가서 항공방사능 자료와 TM자료를 종합한 자료군을 선정하여 비교 분석코자 하였다.

Landsat MSS의 경우 상기와 같은 방법에 의해 쉽게 자료군이 선정되나 해상력이 낮은 것 외에는 거의 TM자료와 중복되기 때문에 제외시켰다. 선정된 자료군은 Table 4와 같다.

Table 3. Statistics of PCA Analysis on Highly Correlated Couples(Ulsan TM)

Variable	Correlation	Prec. contr.		Eigenvectors	
		PC1	PC2	PC1	PC2
B2	0.955	97.745	2.225	0.707	-0.707
B3				0.707	0.707
B5	0.976	98.801	1.199	0.707	
R71				0.707	
R17	0.997	99.842	.158	0.707	
R27				0.707	
R25	0.989	99.428	.572	0.707	
R35				0.707	
R52	0.976	98.784	1.216	0.707	
R53				0.707	
R72	0.983	99.153	.847	0.707	
R73				0.707	

Table 4. Data Sets Selected for Pattern Recognition Analysis

Landsat TM	PO1, R47, R34, B1, R21, R51, PO2 (B5, R71)	(R72, R73)
TM & Radiometric	R71, R31, R21, R47, Total, K, Th/K	

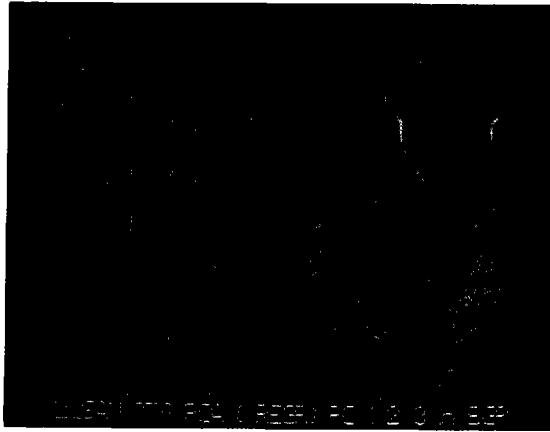
* PO1은 B5 및 R71의 PCA분석의 PC1임.

4-2. 패턴분류분석 결과 및 토의

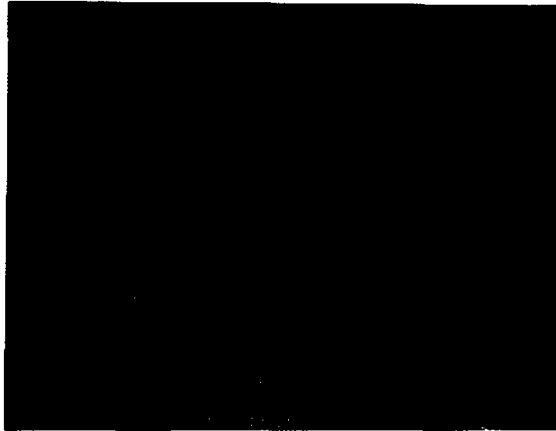
본 연구에 적용한 PCA(Principal Component Analysis)는 다변수함수의 공통분산이 극대화 되는 방향으로 그 축을 서로 직교되게 변환시키는 것으로 자세한 내용은 Cooley and Lohnes (1971), Davis(1973) 등에 있으며, ISODATA Clustering 기법은 대표적인 자동오차 Clustering 방법 중의 하나로 Ball and Hall(1966), Crisp(1974) 등에 자세히 기술되어 있다.

4-2-1. PCA 분석

다중회귀모델과 TM 및 항공방사능 자료와의 혼합모델(이하 혼합모델)에 대한 PCA 분석 결과를 Plate 2 (a) 및 (b)에 도시하였으며, 이들의 통계적 결과는 Table 5 (a) 및 (b)에 있다. 통계에 의하면 PC1, 2 및 3은 회귀모델의 경우 전체의 96.7% 이상, 또 혼합모델의 경우



(a)



(b)

Plate 2. Colour Composites of PCA Results of Ulsan Reg. and Mix. Models.

90.5% 이상의 분산을 나타내고 있으며, 상기 Plate 2는 이들의 색중합이다. Plate 2(a)의 회귀모델 경우 도폭 서부 및 동부의 화강암이 자색으로 나타나고 양북층 현무암이나 용동리 응회암, 하서리 응회암류와 화산암류는 그 정도는 약하지만 이와 거의 유사한 특성으로 나타난다. 그리고 서북부 흑색세일을 제외한 중부 및 동남부, 그리고 서남부의 세일층이 초록을 띄며, 북부의 범곡리 안산암과 어느 정도 혼돈된다. 이들간에는 지형적 특성이 유사하며 풍화에 강한 뚜렷한 산세를 나타낸다. 서북부의 세일층은 대체로 이들과 인접한 화강암류와 특성이 유사하게 나타난다. 이들은 대체로 지형적 특성이 유사하고 이에 따른 식생의 분포가 유사하기 때문에 분류되는 현상이 아닌가 한다. 비금속광상 노두 특성은 본 색중합에서는 뚜렷하지

Table 5(a). Statistics of PCA Analysis on REG. Model of Ulsan TM
(’87. 4. 4)

Variable No.	Mean	Variance	Stand DEVI
B1	92.6199	110.6337	10.5183
R34	34.2509	215.5168	14.6805
R47	11.1669	30.3464	5.5088
R21	69.9891	499.7328	22.3547
R51	56.9623	202.7633	14.2395
P1(B5, R71)	123.9356	861.8898	29.3580
P2(R72, R73)	176.7136	1694.5600	41.1650

Similarity Matrix

	B1	R34	R47	R21	R51	P1	P2
B1	1.000	.289	-.232	.382	.387	.785	-.159
R34	.289	1.000	.487	-.534	-.229	.018	-.876
R47	-.232	.487	1.000	-.863	-.921	-.648	-.723
R21	.382	-.534	-.863	1.000	.856	.754	.788
R51	.387	-.229	-.921	.856	1.000	.783	.578
P1	.785	.018	-.648	.754	.783	1.000	.249
P2	-.159	-.876	-.723	.788	.578	.249	1.000

	Eigenvalue 1	PRCT. CONTR. 2	CUM. PRCT. 3
1	4.300	61.434	61.434
2	2.011	28.728	90.162
3	.457	6.534	96.697
4	.121	1.728	98.425
5	.067	.958	99.383
6	.028	.400	99.783
7	.015	.217	100.000

Eigenvectors

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
B1	-.186	.581	.565	-.333	.436	.071	-.042
R34	.255	.538	-.503	.346	.296	-.159	-.401
R47	.452	.048	.370	.623	.102	.358	.360
R21	-.470	-.011	.132	.463	.133	-.670	.284
R51	-.442	.131	-.494	-.002	.247	.473	.508
P1	-.372	.419	.109	.268	-.712	.236	-.198
P2	-.375	-.422	.132	.308	.355	.336	-.574

Table 5(b). Statistics of PCA Analysis on Mix. Model of Ulsan TM
(Untransformed '87. 4. 4)

Variable No.	Mean	Variance	Stand DEVI
R71	69.8637	563.2916	23.7338
R31	119.0725	1174.5990	34.2724
R21	114.7592	1063.1520	32.6060
R47	11.0421	38.4094	6.1975
TOT	81.3657	1308.1900	36.1689
K	106.2734	2037.5830	45.1396
TH/K	13.8491	1786.3330	42.2650

Similarity Matrix

	1	2	3	4	5	6	7
R71	1.000	.859	.733	-.831	.230	.217	-.494
R31	.859	1.000	.917	-.715	.304	.286	-.535
R21	.733	.917	1.000	-.545	.263	.253	-.407
R47	-.831	-.715	-.545	1.000	-.221	-.205	.543
TOT	.230	.304	.263	-.221	1.000	.932	-.415
K	.217	.286	.253	-.205	.932	1.000	-.443
TH/K	-.494	-.535	-.407	.543	-.415	-.443	1.000

	Eigenvalue 1	PRCT. CONTR. 2	CUM. PRCT. 3
1	4.038	57.688	57.688
2	1.663	23.760	81.448
3	.635	9.065	90.513
4	.428	6.116	96.629
5	.122	1.740	98.369
6	.068	.970	99.339
7	.046	.661	100.000

Eigenvectors

	1	2	3	4	5	6	7
R71	.435	-.265	-.005	-.321	-.770	.027	-.209
R31	.456	-.211	.255	.173	.037	-.191	.784
R21	.408	-.206	.516	.382	.287	.146	-.524
R47	-.401	.224	.372	.572	-.562	-.064	.057
TOT	.275	.618	.154	-.172	.036	-.677	-.172
K	.271	.628	.113	-.108	-.040	.691	.168
TH/K	-.355	-.128	.702	-.594	.067	.033	.079

않은데, 그 이유는 비금속광상 노두 등의 소규모 특성은 주성분분석의 후기성분에 주로 잔류되기 때문이다(박종남 외, 1987).

방사능 자료와 혼합자료는 화성암류와 세일층이 혼돈되는데, 이는 이들간의 방사능 특성이 유사하기 때문이며, 특히 도폭 서남단, 동부 및 동북단에 분포하는 각섬석 석영의 분류가 대체로 양호하다. 그리고 용동리 응회암류나 하서리 응회질암 현무암류 그 외 화산암류가 어렵게 나타나는데, 이는 대체로 상대적으로 낮은 방사능 강도나 TM자료에서도 어느 정도 낮은 분광반사율 특성과 일치하고 있다. 연근해로 연장된 자료의 특성은 방사능자료의 재배열에서 온 차이 때문이다.

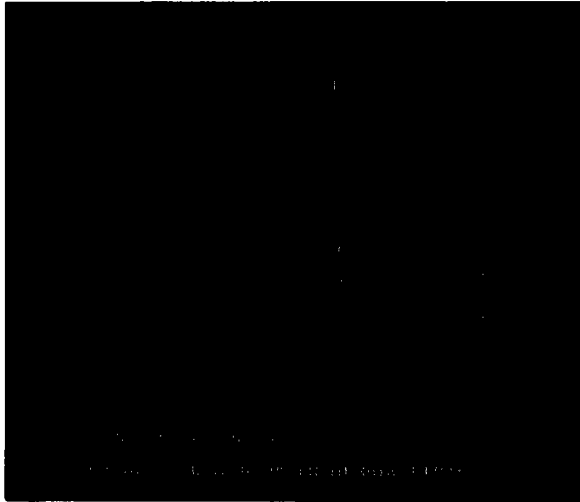
4-2-2. ISODATA 분석

상기 2개 자료군에 대한 ISODATA에 의한 Clustering 결과를 Plate 3 (a) 및 (b)에 도시하였으며, 이들에 대한 통계는 Table 6 (a) 및 (b)에 있다. 회귀모델의 경우 도폭 서부의 화강암류는 자색으로 대체로 분류되나 동부에서의 현무암이나 응회암류와 유사한 패턴으로 분류된다. Table 6의 Euclidean distance를 보면 이와 유사한 갈색 패턴은 대체로 이들과 인접하게 나타나나 주로 녹색을 한 각섬석, 세일 및 호동리 화산암의 지역에서도 혼돈되고 있다. 서북부의 흑색세일 또한 앞절의 영상강조처리에서와 같이 화강암류와 같은 패턴으로 분류된다.

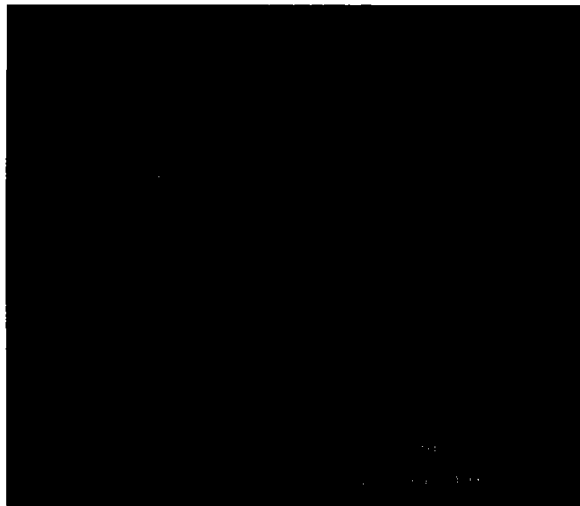
혼합모델의 경우는 전체적으로 상당히 혼돈되는 양상인데 대체로 TM자료의 지형적 영향이나 또는 항공방사능자료 탐사시 험준한 지형에 의한 영향으로 실제로 암석의 스펙트럼 특성이 반영되지 않는 것 때문일 것이다. 그러나 동북부의 각섬석 석영의 분류가 매우 좋으며, 또한 동남부에서는 화강암의 경계가 회귀모델보다 훨씬 더 양호하다. 이는 특수한 경우로 예를 들면 화강암과 흑색세일 등 방사능 특성이 유사한 경우를 제외하고 지형적 영향이 적은 양호한 탐사지역에서는 항공방사능 자료의 유용성을 입증한다.

5. 결과 토의

본 지역의 Landsat TM 자료에 대한 영상강조처리 결과, 효과적으로 비금속광상 노두 내지 채굴적을 추출할 수 있었으며, 이는 이들 광상이 지하천부에 배태하면서 거의 지표에 노출되어 그 백색도에 의한 높은 반사율 뿐만 아니라 비금속광상 부존지역은 대체로 식생이 없거나 매우 드물게 분포하기 때문에 더욱 반사율을 높여주고 있기 때문이다. 또한, 구조선이나 형태학적 분석에 의해 암석간의 분류가 가능하며, 화산암 지역의 분화구 등의 구조는 이들의 존재를 확인시키는 좋은 증거가 되고 있다. Fig. 2는 상기자료 및 패턴분류결과를 종합 분석한 지질개요 스케치 도면이다.



(a)



(b)

Plate 3. ISODATA Results of Ulsan Reg. and Mix. Models.

본 연구에서의 패턴분류기법 적용은 광역지질분석에 만족할 만한 결과는 얻지 못하였으나 다변수함수 자료를 효과적으로 합축할 수 있을 뿐 아니라 여건이 보다 양호한 지역에서는 항공방사능 자료 등을 중합함으로써 매우 효과적인 결과를 얻을 수 있을 것임을 시사해 준다.

PCA 분석은 자료의 특성간 경계를 뚜렷이 분류하지 못하고 어느 정도 인위적으로 분석해야 하는 결점이 있는 반면, 특히 TM자료에서는 스펙트럼 특성이 지형형태 등을 잘 반영함으

Table 6 (a). Isodata Results of Ulsan TM REG. Model

Cluster	Variable	B1	R34	R47	R21	R51	PO1 (B5, R71)	PO2 (R72, R73)
		1	Mean	88.	30.	10.	70.	57.
	STD. DEV.	4.0	3.4	1.4	5.0	5.4	6.9	7.8
2	Mean	110.	36.	8.0	88.	70.	160.	180.
	STD. DEV.	6.4	3.9	1.1	7.5	6.5	11.	12.
3	Mean	83.	28.	14.	54.	45.	93.	180.
	STD. DEV.	3.8	4.9	2.4	6.0	6.4	9.9	12.
4	Mean	97.	94.	31.	4.5	22.	96.	17.
	STD. DEV.	2.9	5.6	4.2	.81	2.6	12.	4.2
5	Mean	99.	36.	11.	68.	57.	130.	160.
	STD. DEV.	5.8	5.3	1.8	8.4	6.0	12.	14.
6	Mean	93.	31.	8.5	86.	65.	140.	200.
	STD. DEV.	4.6	2.6	1.1	6.5	5.5	8.3	8.9

Percent Error 10.01

RMS Average Pattern Distance

Cluster	1	2	3	4	5	6
	13.9	20.4	18.9	14.7	22.6	15.8

RMS AVG Dist. of Patterns from Their Centers = 17.451

Elclidean Distances Between Cluster Centres

Cluster	1	2	3	4	5	6
1	.0	57.7	32.1	200.4	33.7	30.1
2	57.7	.0	85.7	209.1	43.2	37.9
3	32.1	85.7	.0	184.3	49.0	62.1
4	200.4	209.1	184.3	.0	177.5	219.1
5	33.7	43.2	49.0	177.5	.0	42.9
6	30.1	37.9	62.1	219.1	42.9	.0

로서 지형 형태학적 분석에 의해 광역지질이나 지질구조, 화산암질의 경우 화산 분화구나 유문구조 등의 판독에 의한 지질정보 유출에 매우 유용하다.

ISODATA 분석은 이러한 지형형태에 의한 판독이 불가능한 반면 개개의 Cluster로 뚜렷이 구분되고, 또 각 Cluster의 평균, 표준오차, 그리고 Cluster간의 Euclid 거리 등 통계적 자료에

Table 6 (b). Isodata Results of Ulsan Mixed Model

Variable		R71	R31	R21	R47	TOT	K	TH/K
Cluster								
1	Mean	74.	120.	110.	9.7	69.	91.	6.4
	STD. DEV.	11.	12.	14.	2.0	11.	12.	1.1
2	Mean	64.	110.	100.	12.	95.	130.	5.8
	STD. DEV.	11.	13.	14.	2.8	15.	17.	.88
3	Mean	81.	140.	140.	9.4	130.	160.	5.7
	STD. DEV.	9.9	12.	14.	1.7	15.	19.	.86
4	Mean	69.	120.	110.	11.	42.	57.	7.6
	STD. DEV.	12.	15.	17.	2.5	13.	14.	3.8
5	Mean	59.	110.	100.	13.	150.	190.	5.9
	STD. DEV.	9.4	13.	13.	2.4	16.	20.	.80
6	Mean	26.	55.	65.	20.	59.	89.	6.3
	STD. DEV.	18.	25.	16.	8.7	14.	15.	1.4
7	Mean	86.	150.	140.	8.6	83.	110.	6.3
	STD. DEV.	9.9	12.	14.	1.7	16.	18.	1.3
8	Mean	5.9	23.	45.	28.	23.	37.	10.
	STD. DEV.	4.8	11.	13.	6.3	12.	19.	8.8
9	Mean	4.4	17.	41	30.	.00	.00	250.
	STD. DEV.	1.3	2.6	2.8	4.3	.00	.05	3.8
10	Mean	3.2	13.	30.	22.	.20	.29	170.
	STD. DEV.	1.0	4.7	9.6	6.9	.60	.70	13.

Percent Error 13.04

RMS Average Pattern Distance

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	27.1	31.3	32.5	32.5	33.1	41.2	31.8	30.7	7.0	17.9

RMS AVG Dist. of Patterns from Their Centers = 30.5

Euclidean Distances Between Cluster Centres

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.0	48.4	100.8	43.7	125.7	93.0	50.8	152.7	308.2	252.7
2	48.4	.0	72.1	90.0	78.7	93.0	66.1	166.4	321.7	268.2
3	100.8	72.1	.0	141.2	65.6	163.5	71.6	236.8	369.8	326.1
4	43.7	90.0	141.2	.0	168.1	97.6	79.2	136.3	293.1	234.6
5	125.7	78.7	65.6	168.1	.0	150.0	121.2	225.9	365.3	319.3
6	93.0	93.0	163.5	97.6	150.0	.0	139.4	76.4	275.0	207.4
7	50.8	66.1	71.6	79.2	121.2	139.4	.0	201.0	338.6	290.6
8	152.7	166.4	236.8	136.3	225.9	76.4	201.0	.0	248.3	170.6
9	308.2	321.7	369.8	293.1	365.3	275.0	338.6	248.3	.0	81.8
10	252.7	268.2	326.1	234.6	319.3	207.4	290.6	170.6	81.8	.0



Fig. 2. Geologic sketch map

의해 보다 효과적인 해석이 가능하다. 물론 통계결과는 그 값들의 절대적 크기를 의미하지 않고 대상지역 내의 특성들간의 상대적 개념으로 지역에 따라서는 같은 대상에 의한 특성이 달리 나타날 수 있음을 유의해야 한다.

본 연구에서 PCA 분석 결과에 의한 색중합도는 Landsat TM 밴드의 위색중합도(False Colour Composite)나 자연색중합(Pseudonatural Colour Composite)과 (본지에는 제시되지 않음) 거의 유사한 결과를 보여준다.

6. 결론 및 추천

원격탐사자료에 의한 광역지질특성, 특히 비금속광상과 이들 광상과 관련된 지질적 특성 유출을 위한 가능성이 연구 검토되었다. 대상지역은 울산북부 구 1/50,000 갑포도폭 지역으로, 본 지역에 해당하는 Landsat MSS 및 TM 자료와 이들에 의해 만들어지는 비 밴드 등에 대하여 1차적으로 영상강조처리에 의한 분석과, 나아가 이들 여러 자료를 효과적으로 중합하여 PCA 및 ISODATA 등의 패턴분류기법을 적용하여 광역지질특성의 유출을 시도하였다.

영상강조처리에서는 자료의 양단에서의 포화도를 적게 한 히스토그램 정규화(포화도 각각 0.1%)에 의하여 Landsat MSS Band 1 및 2, 그리고 TM Band 1 및 2에서 그들의 높은 분광 반사율 특성에 의해 광상노두 내지 채광굴적을 가장 효과적으로 추출할 수 있었다. 계사군의 슬레이트 지붕이나 관광지의 넓은 시멘트 광장바닥 등도 또한 이들 이상과 유사한 높은 반사율을 보이는데, 이는 현지답사에 의해 분류되어야 한다. 패턴분류기법 적용에 의해서는 만족

할 만한 결과는 얻지 못하였으나 일부 암석의 분류에는 매우 효과적이다.

영상강조처리 및 패턴분류기법에 의한 결과를 종합하면 응회암류나 분화구 등을 내포한 현무암 등의 지질적 특성은 어느 정도 풍화에 강한 주변의 안산암류나 퇴적암류의 뚜렷한 산세와 쉽게 분류되고 나아가 화강암류와도 어느 정도 분류되고 있다. 본 연구에 적용된 PCA 및 ISODATA 분석기법은 상호보완적이어서, 패턴분류에 이 두 가지 기법을 동시에 적용함이 유용하고 나아가서 Landsat 자료와 항공방사능 자료의 적절한 종합도 매우 유용할 것임을 시사한다. 앞으로 여러 다른 지질적 환경에 대한 보다 많은 연구가 요구된다.

사 사

본 연구는 과학재단 목적기초연구과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사를 드리는 바이다.

참고문헌

- 양영규, 조성익, 김경옥, 1990, 위성영상 및 항공기 탑재 리모트센싱 자료 분석을 위한 마이크로 컴퓨터 영상처리 시스템 개발연구(II), 한국과학기술원 시스템공학센터, BSN20772, p. 211.
- 박종남, 김지훈, 1990, 울산지역 암석시료의 스펙트럼 특성과 이의 Clustering 응용, 대한원격탐사학지, v. 6-2, pp. 115~133.
- 김옥준 외, 1971, 포항 울산간 점토자원의 지질과 그 물리학적 특성에 관한 연구: 광역지질, 제4권, pp. 106~215.
- 김종환 외, 1980, 구룡포 및 감포지역 불석, 벤토나이트 및 산성백토 광상조사 연구: 자원개발연구소, 조사연구보고, 제8호, pp. 99~148.
- 문희수, 유장한, 김종환, 1986, 3기층 분포지역의 벤토나이트 및 불석광상에 대한 광물·광상학적 연구: 한국동력자원연구소, 연구보고서, KR-86-8, p. 73.
- 조기봉, 김종대, 1970, 벤토나이트 광상조사연구: 국립광업연구소, 광상조사연구보고, 제4호, pp. 183~231.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1987, *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons Inc., New York, p. 721.
- Siegal, B. S.(ed.), 1980, *Remote Sensing in Geology*, John Wiley & Sons Inc., p. 702.
- 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., New York, p. 550.
- 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*, v. 5, pp. 115~126.