

## 광역지질도 작성을 위한 ISODATA 응용

朴鍾南\* · 徐廷熙\*\*

\*동아대학교 자원공학과 부교수, \*\*서울대학교 자원공학과 교수

### An Application of ISODATA Method for Regional Lithological Mapping

Jong-Nam Park

Dept. of Mineral and Petroleum Engineering Dong-A University, Pusan  
and

Jung-Hee Suh

Dept. of Mineral and Petroleum Engineering Seoul National University, Seoul  
(Received August 20, 1989; Accepted August 30, 1989)

#### Abstract

The ISODATA method, which is one of the most famous of the square-error clustering methods, has been applied to two Chungju multivariate data sets in order to evaluate the effectiveness of the regional lithological mapping. One is an airborne radiometric data set and the other is a mixed data set of the airborne radiometric and Landsat TM data.

In both cases, the classification of the Bulguksa granite and the Kyemyongsan biotite-quartz gneiss are the most successful.

Hyangsanni dolomitic limestone and neighboring Daehyangsan quartzite are also classified by their typical lowness of the radioactive intensities, though it is still confused with some others such as water-covered areas and nearby alluvials, and unaltered limestone areas. Topographically rugged valleys are also classified as the same cluster as above. This could be due to unavoidable variations of flight height and the attitude of the airborne system in such rugged terrains.

The regional geological mapping of sedimentary rock units of the Ockchun System is in general confused. This might be due to similarities between different sediments.

Considerable discrepancies occurred in mapping some lithological boundaries might also be due to secondary effects such as contamination or smoothing in digitizing process.

Further study should be continued in the variable selection scheme as no absolutely superior method claims to exist yet since it seems somewhat to be rather data dependent.

Study could also be made on the data preprocessing in order to reduce the erratic effects as mentioned above, and thus hopefully draw much better result in regional geological mapping.

## 1. 서론

일반적으로 지질도 작성에 의한 암석의 분류는 암석의 균질성이나 암석을 구성하는 조암광물, 암석 내의 포획물 등에 의해 결정되는데, 이는 암석 성인의 주요 정보가 되는 지화학적 내지 광물학적 자료를 주로 기초로 하고 있다. 지질학자들은 이러한 측정치 내지 분석치와 이들의 단순한 통계치에 근거하여 개인의 지식이나 잘못된 기억 등에 의한 직감적 판단에 의해 mapping을 하는 정성적 내지 반정량적 방법에 흔히 의존한다. 이러한 지질 mapping은 지역적으로 한정된 소규모 지역을 대상으로 한 정밀탐사이며, 광역지질도 작성에는 많은 시간과 노력이 필요하게 된다. 또한, 사람이 접근하기 어려운 험준한 지형이나 수림이 무성한 지역에서는 지상탐사에 의한 자료수집이나 mapping이 매우 어려울 뿐 아니라 비경제적인 방법으로, 이러한 경우 광역지질을 개략적으로 mapping하고, 필요한 지역을 한정시켜, 정밀 지질 mapping을 하게 되면 보다 효율적이고 경제적인 mapping을 할 수 있을 것이다.

최근 전자장비의 발달에 의한 탐사장비의 고도화와 컴퓨터에 의한 다량의 자료 수집 및 처리가 가능해짐에 따라 여러 가지 자료가 효과적으로 중합되어 유용한 지질정보 유출에 응용되고 있는데, 지화학 탐사 자료는 Rhodes(1969), Obial and James(1973), Castillo-Munoz(1973), 그리고 Mancey(1980) 등에 의해 성공적으로 응용되었으며, 특히 Park(1983)은 원격탐사, 지화학 및 중력·자력 탐사자료의 중합 분석으로, 광역지질도 작성의 실효성을 입증한 바 있다.

본 연구에서는 1982년 이래 한국 동력자원 연구소에서 수행해 오고 있는 항공방사능 탐사 자료(구자학 외, 1983) 및 지구자원 위성에 의해 반복적으로 측정되는 Landsat TM 자료를 이용하여 컴퓨터에 의한 다중합수준에 대한 clustering을 시도하여 광역지질도 작성의 가능성을 연구·검토하였다.

이용한 Clustering 기법은 Ball 및 Hall(1966)이 처음으로 개발한 ISODATA 프로그램으로, 이는 Euclidean distance 원리에 근거한 것으로 보다 자세한 것은 3·1절에 기술되어 있다. 선정된 대상지역은 충주도폭 일원으로, 본 지역은 대체로 산세가 험할 뿐 아니라 자연 내지 인공조림에 의한 식생이 무성한 지역이다.

## 2. 충주지역 지질 개요

본 연구 대상지역은 구 1/50,000 충주도폭의 동부 2/3와 황강리도폭 서부 1/3인 1개 도폭크기의 지역으로, 지리좌표계는 북위 36°50'~37°00' 및 동경 127°50'~128°05'간이며, 그 면적은 약 400km<sup>2</sup>이다(Fig. 1 참조).

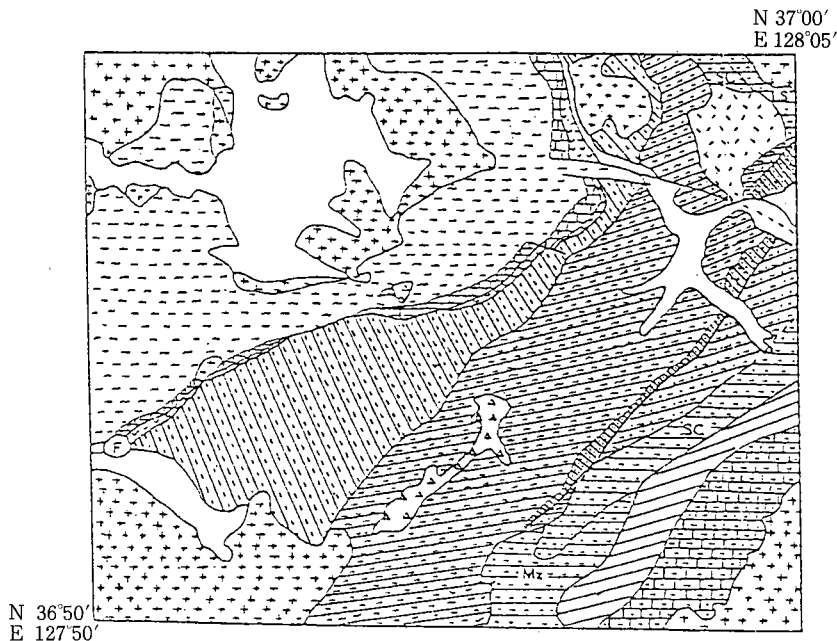
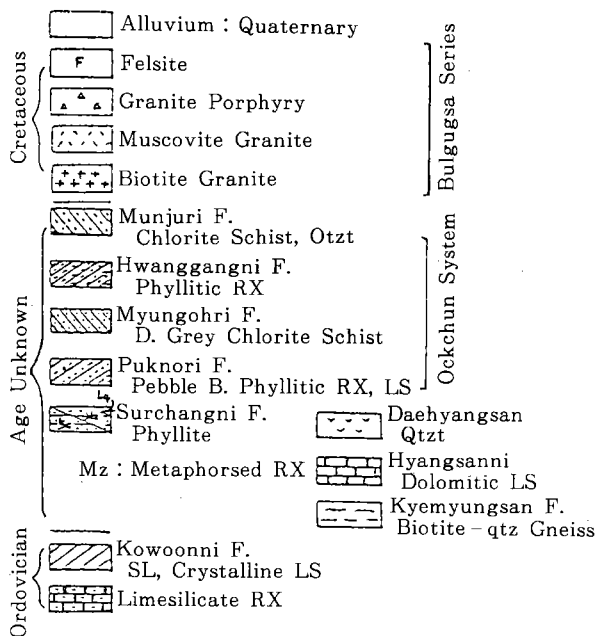


Fig. 1. Regional Geological Setting of the Chungju Area.

Keys



본 지역의 지질은 시대미상의 계명산층이 중서부에서 북동 방향으로 널리 분포되어 있으며, 동부로 향산리층 백운암 및 대향산 규암이 좁은 대상으로 인접하고 있으며, 계속해서 시대 미상의 옥천계의 문주리층, 황강리층, 명오리층, 북분리층, 서창리층이 북동-남서 방향의 대상으로 발달하고 있으며, 그 동부에 고생대의 점판암 및 결정석회암으로 구성된 고운리층과 석회규산암암이 같은 북동-남서의 연장성을 갖고 나타난다.

계명산층은 주로 암갈색의 치밀한 암상을 띠는 석영-운모 편암, 석영-운모 편마암 등으로 구성되어 있으며, 다른 층에 비해 변질도가 높다. 대향산 규암층은 타 암석에 비해 풍화에 강한 암질로 험한 지형을 이루며 구성광물은 규암 및 석영, 운모, 편암의 호층을 이룬다.

문주리층과 명오리층은 대체로 사질 천매암과 천매암, 그리고 점판암의 교호층으로 암상이 비슷하고, 중부의 서창리층은 암회색 천매암으로 구성되며, 이들은 동일 층준에 속한다.

황강리층은 문주리층의 하부로 북노리층과 다 같이 Pebbly Phyllite로써 암상이 거의 비슷하며, 이들은 같은 층준으로 사료된다. 황강리층은 주로 완만한 구릉상 및 분지상 지형을 하며 표토는 암회색을 보인다(강필중 외, 1980).

이들 퇴적암류는 연구지역의 서북부 및 서남부, 동남부 코너에서 불국사계의 화강암류에 의해 관입되고 있으며, 같은 시기의 백운모 화강암과 불국사 화강암이 동북 코너부근에서 암주상으로 관입하고 있다.

본 지역은 특히 활석광상이 향산리층 백운석 층준에 따라 배태되는데, 광상의 성인은 백운석의 열수변질 작용으로 생성된 것으로 사료된다(김규봉, 1970).

### 3. 항공방사능 및 Landsat TM 자료의 준비

#### 3-1 자료의 예비처리

##### 3-1-1 항공방사능 자료

본 지역에 대한 항공방사능 자료는 한국동력자원연구소가 수행한 탐사자료로, 대체로 축선간격 500m, Terrain Clearance 50m 내외이며, Total, 포타슘(K), 우라늄(U) 및 토륨(Th)의 4개 채널로 되어 있으며, 원자료의 축점간격은 약 30m로서 가급적 국부적인 잡음효과를 줄이기 위해 3점 평균값을 구하여, 격자망 gridding을 위한 입력자료로 하였다. 이러한 평균은 gridding 시 유발될 수 있는 잡음효과도 줄일 수 있다.

대상지역에 맞는 자료를 얻기 위하여 1차적으로 55\*66 격자망 자료값을 최소곡률 내삽법에 의하여 구한 다음, 다시 선형 내삽법으로 216\*260 크기의 자료로 확대하였다.

### 3-1-2 Landsat TM 자료

본 연구에 이용된 충주지역의 Landsat TM 자료는 일본의 RESTEC(Remote Sensing Technology Center)에서 구입한 것으로 1984년 10월 11일 Landsat-5로 관측한 Path 115 Row 34의 TM 영상자료이다. 이 TM 자료는 일차적으로 지상 수신소에서 Bulk 보정을 한 것으로 한 화소의 해상력은 28.5m이다.

연구대상 지역의 지리좌표계에 일치하는 자료를 얻기 위하여 18개의 지상기준점(GCP; Ground Control Point)을 사용하여 정밀보정에 의한 재배열을 하였는데, 그 방법은 최소자승법을 이용한 평면방정식에 의해 구하였다. 이렇게 하여 구한 구 1/50,000 도폭크기의 격자망 수는 649lines, 781 pixels으로 한 화소의 크기는 28.5m\*28.5m이다. 이들 자료는 광역적 지질분석을 위하여 다시 3\*3 box 필터에 의한 Smoothing으로 216\*260 크기의 자료로 축소시켰다.

### 3-2 Cluster Analysis를 위한 자료군 선정

Cluster Analysis는 항공방사능 자료군 및 이들 항공 방사능 및 TM 자료를 혼합한 자료군 등 2가지 자료군을 선정하여 비감독 분류기법(Unsupervised Classification)의 일종인 ISODATA에 의한 clustering을 적용하여 분석하였다.

자료군 선정기준은 Schultz 등(1961)의 알고리즘에 근거하였는데 이 통계적 기법은 다변수 함수의 Regression에 있어서 회귀자승합(Regression Sum of Squares; RSS)이 큰 것에 근거한 것으로, 이는 통계적으로 RSS이 클수록 분류가능성이 크다고 하겠으나, 실제 과연 그러한 변수들에 의해 구성된 다중함수군이 다른 조합의 함수군보다 광물 내지 지질도 작성에 있어서 기여도가 큰 것인지는 입증하기 어려운 실정이다.

이 알고리즘은 처음 기지의 종속변수  $Y_i$ 에 대한 독립변수  $X_i$ 의 RSS를 계산하는 것이기 때문에, 분석목적에 가장 효과적인 종속변수를 미리 결정해야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는 항공방사능 자료는 대체로 Total 성분이 가장 지표지질과 상관성이 큰 것으로 알려져 있어 Total 성분을 종속변수로 하였으며, Landsat TM은 Vincent 및 Pillars(1980)의 연구결과에 의하여 비값 중에서 R4/3를, 그리고 원 밴드값 중에는 밴드 7을 종속변수로 하였다. 항공방사능 및 Landsat TM을 혼합한 자료군 선정을 위하여는 Landsat TM 자료만에 의한 분석을 상기와 같이 시행하여, 우선 순위에 따라 방사능 자료 중 4개, TM 자료 중 3개를 선정하였다. 그 이유는 항공방사능 및 Landsat TM을 혼합한 자료에 대해 분석한 결과 종속변수가 R4/3의 경우 기여도가 큰 순위는 대부분 TM 자료이고 또 종속변수를 Total로 할 경우 방사능자료가 우선 순위 상위그룹에 놓임으로써, 서로 이질적인 자료분석에는 부적합한 것으로 생각되기 때문이다. 상기 분석결과에 의하여 선정된 2개의 자료군은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Data Sets Selected for the multivariate data analysis

Airborne Radioactives	T, K, Th, K/U, U/Th, Th/U, Th/( )
Radioactives+TM	T, K, Th/U, Th/( ), R4/3, R1/2, R3/4

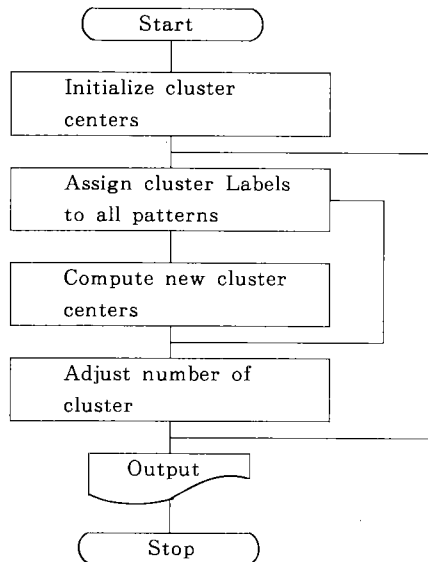
( ) = K + U + Th

여기서 특기할 것은 TM밴드 자료군 선정에 있어서 원 밴드에 의한 값보다는 비에 의한 변수값들이 상위 그룹에 속하고 있다.

#### 4. ISODATA에 의한 Cluster Analysis

##### 4-1 ISODATA 프로그램에 대한 일반적 고찰

ISODATA 프로그램은 가장 유명한 자승오차(square-error) clustering 4방법 중 하나로써 (Dubes Jain, 1976), 이 방법은 전체 평균에서 Distance threshold에 근거하여, 잠정적으로 계산된 K cluster 그룹평균과 각 측정치를 비교하여 가장 가까운 cluster에 할당하고, 또 다시 새로운 cluster 평균이 계산되는데 이러한 작업이 주어진 Error-of-fit을 만족할 때까지 반복된다. 개략적인 Flowchart가 Fig. 2에 있다.



**Fig. 2.** Flowchart for Isodata.  
(After Dubes and Jain, 1976)

계산의 개선을 위해 입력조건을 바꾸면서 반복계산을 하게 되는데, 이 때 입력조건에 따라 cluster가 서로 합치거나 혹은 분리되기도 한다. 샘플의 평균값은 그들 cluster 중심에서부터 샘플까지의 거리의 자승합이 최소가 되는 소위 최대 분산원리에 의해 구해진다. 따라서 일정한 수의 cluster에 대해 프로그램은 총 자승오차  $E^2$ 을 최소화하게 된다.

$$E^2 = \sum_{k=1}^K e_k^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$e_k^2 = \sum_{j=1}^m \sum_{i \in C_k} (X_{ij} - C_{kj})^T (X_{ij} - C_{kj}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $i = 1, 2, \dots, n$

$C_k$ 는 K번째 Cluster center(단,  $C_k = (C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{km})^T$ )이고  $m$  및  $n$ 은 각각 변수의 수 및 한 변수에서의 측정수이다.  $T$ 는 전치행렬을 의미한다.

이 알고리즘은 입력조건에 따라 크게 좌우되는데, 최초의 clustering은 ‘Spherical factor’에 의해 정해지며, 새로운 cluster center는 전체 평균으로부터 측정값까지의 Euclidean distance가 Spherical factor에 전체 표준편차를 곱한 값보다 크면 형성된다. 이러한 작업이 반복되면서 입력조건에 따라 적은 cluster는 무시되거나 다른 큰 cluster에 합치게 되거나 또는 분리된다. 그리고 매 반복계산에서는 최대허용 lumping cluster 수(NCLST)와 Distance threshold (Theta C), 그리고 특이값 (Outlier)을 제외시키는 Discard 수(Theta N), 마지막으로 Cluster를 합칠 것이냐 분리할 것이냐 하는 옵션 등이다.

이와 같이 ISODATA 분석은 여러 가지 입력변수에 의해 좌우되는데, 그 중 가장 민감한 것은 spherical factor 및 Euclidean distance threshold이다(Park, 1983). Park(1983)에 의하면 Spherical factor는 0.4 - 0.8의 범위에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인함에 따라, 본 연구에서는 0.6으로 하였으며, Euclidean distance는 자료에 따라 변하는데, 같은 수의 Pattern Class를 만들 경우 Euclidean distance threshold는 분류 결과에 거의 무관한 것으로 확인되어 자료에 따라 시행착오적인 방법으로 그 크기를 조정하였다. 그러나 이 값이 클 경우 반복되는 Lumping 과정에서 빨리 수렴하는 특성, 즉 만일 최초에 50 Pattern Class가 생성되면 반복계산 과정에서 10회 이내에서 10개 이내의 Pattern Class까지 생성되나, 반면 이 값이 적으면 10회 이상 반복하여도 결코 요구하는 Pattern Class 수까지 수렴되지 않는다. 따라서 Euclidean distance threshold는 적절한 Pattern Class가 나올 수 있도록 충분히 크게 하는 것이 컴퓨터 계산에 있어 보다 효율적이라 하겠다.

그 외에 한 반복계산에서 최대 Lumping할 수 있는 Pattern Class 수를 9로 하였으며 Outlier 등 특정값을 계산에서 제외시키는 Discards는 반복계산에 따라 0에서부터 점점 증가하여 50까지로 하여 전체 자료의 5% 이내를 유지하도록 함으로서, 효율적인 계산 및 효과적인 결과를

가져오도록 하였다.

이렇게 하여 분석한 결과에 의하면, 대체로 7-9개 정도의 Pattern Class의 경우 광역지질을 가장 잘 반영해 주고 있으며, 또한 해석을 위해서도 적절한 수의 Cluster로 확인되었다.

ISODATA 프로그램은 Similarity measure를 각 cluster center로부터 측정값 간의 Euclidean distance를 이용하기 때문에, covariance matrix와 같은 Similarity measure를 사용함으로써 생기는 왜곡현상이나 개개의 측정치의 특성을 살리지 못하는 단점을 극복할 수 있을 뿐 아니라, cluster의 평균을 구하는데 정규 분포에 의한 최대 확률 추정법(maximum likelihood estimation)을 이용하기 때문에 여러 가지 특성이 다른 혼합자료군을 사용할 때 매우 유용한 방법이라 하겠다(Crist, 1974). 더 자세한 것은 Ball and Hall(1966), Crisp(1974)에 의해 기술되어 있다.

#### 4-2 항공방사능 자료군의 Isodata 분석 및 결과 해석

본 자료의 분석에 의하면 9개의 Pattern Class의 경우 가장 좋은 결과를 가져오는 것으로 확인되었다. Plate 1은 이들 항공방사능 자료군에 의한 Clustering 결과를 칼라 영상화한 것이며, 각 Cluster에 대한 통계자료는 Table 2에 있다.

영상에서 보는 바와 같이 대체로 향산리층 백운암 및 규암층이 수계에 인접한 충적층과 같은 패턴인 진한 청색(Cluster G)으로 분류되고, 수몰지역은 황색(Cluster D)으로 분리되나, 이들은 Table 2의 통계표에서 보는 바와 같이 두 Cluster간의 Euclidean Distance가 다른 Cluster와 비교하여 상대적으로 적어 더 적은 수의 Cluster 분류에서는 같은 Cluster로 분류되어 서로 유사한 특성임을 알 수 있다.

그 이외의 광역지질도 어느 정도 분류가 가능하고, 특히 불국사화강암의 분류가 잘 되고 있음이 특징적이다. 서북 및 서남단 부근의 화강암이 청색으로 분류되나 동북단의 암주들은 일부가 청색으로, 그리고 대부분은 녹색(Cluster B)으로 분류되어 계명산 층의 흑운모 석영 편마암과 유사한 패턴으로 분류되고 있다. 동남단의 생산성 화강암은 Cluster H(녹두색)으로 충주동부의 일부 계명산층과 같은 패턴으로 분류되고 있다. 따라서 이들 화성암류의 분류가 일부 혼돈되고 있는 것은 암석 상호간의 유사성이 어느 정도 있음을 반영한다고 하겠다.

본 지역의 육천계 퇴적암류는 적색(Cluster A) 및 분홍색(Cluster E)의 2개의 패턴으로 분류되나, 층간의 구분이나 그 방향성 등은 어느 정도 나타나나, 뚜렷이 구분된다고 할 수 없는데, 이들간의 Euclidean distance도 가장 작은 42.7로 상호 매우 유사한 특성임을 입증한다.

결과적으로 Isodata 분석결과 화강암 지역이 잘 분류될 뿐만 아니라, 다른 패턴간의 구분이 명료하고, 이들 각 Cluster와 변수간의 통계치 등 유용자료를 제공함으로써 해석상의 장점이 크므로 그 유용성이 매우 크다 하겠다.



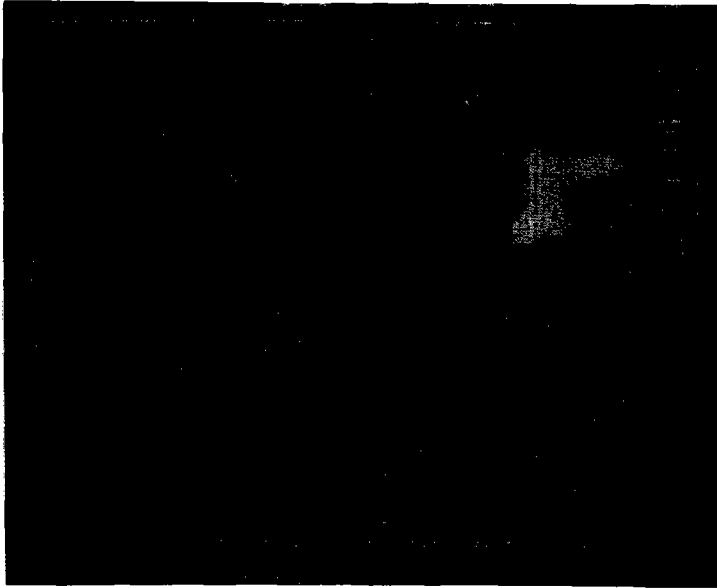


Plate 1.

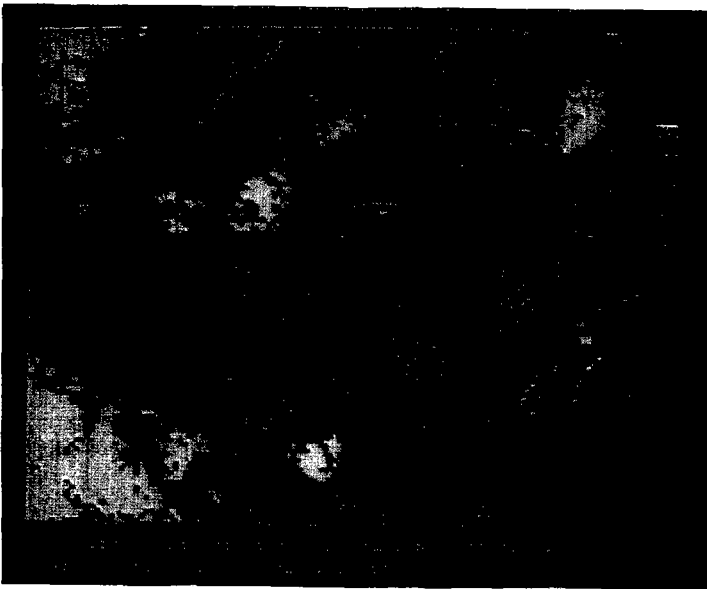


Plate 2.

Table 2. ISODATA results of the Chungju radioactive data set

Variable			T	K	Th	K/U	U/Th	Th/U	Th/(K+U+Th)
			1	2	3	4	5	6	7
Cluster 1	Mean		97.	110.	69.	49.	14.	59.	130.
	STD. DEV.		10.	13.	9.6	9.6	2.0	7.9	12.
Cluster 2	Mean		130.	150.	100.	53.	12.	70.	150.
	STD. DEV.		12.	17.	12.	9.4	1.4	9.1	12.
Cluster 3	Mean		120.	170.	69.	65.	16.	53.	110.
	STD. DEV.		8.4	18.	13.	11.	3.6	9.9	18.
Cluster 4	Mean		35.	32.	18.	18.	55.	19.	72.
	STD. DEV.		9.7	13.	7.2	8.0	36.	7.7	24.
Cluster 5	Mean		100.	110.	84.	56.	9.9	83.	170.
	STD. DEV.		12.	16.	12.	14.	1.4	13.	12.
Cluster 6	Mean		94.	120.	80.	120.	5.3	160.	180.
	STD. DEV.		13.	11.	17.	37.	1.0	35.	17.
Cluster 7	Mean		69.	68.	51.	34.	17.	49.	130.
	STD. DEV.		12.	15.	11.	9.7	3.9	11.	19.
Cluster 8	Mean		150.	150.	130.	61.	8.0	100.	190.
	STD. DEV.		11.	22.	14.	19.	1.6	22.	16.
Cluster 9	Mean		190.	180.	180.	53.	8.4	97.	190.
	STD. DEV.		18.	13.	24.	9.4	1.4	15.	15.

Percent Error 22.73

Euclidean	Distances	Between	Cluster	Centres						
Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0.0	62.0	64.1	145.2	42.7	132.9	58.9	112.7	170.0	
2	62.0	0.0	61.2	203.6	55.6	127.9	118.2	61.8	110.2	
3	64.1	61.2	0.0	182.1	88.1	150.5	117.1	118.9	159.3	
4	145.2	203.6	182.1	0.0	175.9	243.6	100.0	252.0	306.5	
5	42.7	55.6	88.1	175.9	0.0	102.4	80.6	82.8	148.4	
6	132.9	127.9	150.5	243.6	102.4	0.0	161.0	114.6	175.5	
7	58.9	118.2	117.1	100.0	80.6	161.0	0.0	160.5	220.6	
8	112.7	61.8	118.9	252.0	82.8	114.6	160.5	0.0	70.0	
9	170.0	110.2	159.3	306.5	148.4	175.5	220.5	70.0	0.0	

#### 4-3 Landsat TM 및 항공 방사능 자료의 혼합자료군에 대한 ISODATA 분석 및 결과해석

본 지역의 TM 및 항공 방사능 자료를 혼합한 다변수함수 자료군에 대한 ISODATA 분석결과 또한 9개 정도의 pattern class가 가장 효과적인 clustering 결과임을 확인할 수 있다. Plate 2는 이들 자료군에 의한 clustering 결과이며, 각 cluster에서의 변수들의 평균, 편차나 cluster

Table 3. ISODATA results of the Chungju radioactive TM Data Set 격자망

Variable	T	K	Th/U	Th/( )	R1/2	R3/4	R4/3 ( )=(K+U+Th)		
	1	2	3	4	5	6	7		
Cluster 1	Mean	100.	110.	67.	150.	210.	66.	120.	
	STD. DEV.	12.	14.	13.	16.	13.	8.1	14.	
Cluster 2	Mean	150.	160.	87.	170.	210.	59.	140.	
	STD. DEV.	21.	21.	18.	18.	12.	10.	22.	
Cluster 3	Mean	120.	140.	62.	140.	190.	110.	73.	
	STD. DEV.	12.	18.	11.	17.	9.8	19.	11.	
Cluster 4	Mean	120.	170.	55.	110.	200.	69.	110.	
	STD. DEV.	11.	19.	11.	21.	12.	11.	18.	
Cluster 5	Mean	71.	73.	50.	130.	210.	59.	130.	
	STD. DEV.	13.	19.	13.	21.	11.	9.0	21.	
Cluster 6	Mean	84.	87.	60.	140.	190.	110.	76.	
	STD. DEV.	14.	18.	11.	14.	13.	24.	14.	
Cluster 7	Mean	110.	120.	130.	190.	210.	52.	150.	
	STD. DEV.	23.	20.	33.	20.	11.	11.	30.	
Cluster 8	Mean	100.	110.	68.	150.	200.	45.	170.	
	STD. DEV.	13.	16.	14.	19.	7.8	5.0	20.	
Cluster 9	Mean	38.	37.	22.	79.	190.	120.	70.	
	STD. DEV.	12.	17.	11.	28.	12.	31.	20.	

Percent Error 31.14

Euclidean Distances Between Cluster Centres										
Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0.0	76.1	73.4	65.7	57.5	69.2	90.2	56.4	148.7	
2	76.1	0.0	101.7	77.4	128.8	130.5	76.8	83.4	220.5	
3	73.4	101.7	0.0	69.3	113.4	62.2	137.1	122.3	146.8	
4	65.7	77.4	69.3	0.0	108.7	107.0	127.3	91.1	174.2	
5	57.5	128.8	113.4	108.7	0.0	78.4	123.0	69.2	117.3	
6	69.2	130.5	62.2	107.0	78.4	0.0	137.3	117.5	103.3	
7	90.2	76.8	137.1	127.3	123.0	137.3	0.0	81.7	223.0	
8	56.4	83.4	122.3	91.1	69.2	117.5	81.7	0.0	180.3	
9	148.7	220.5	146.8	174.2	117.3	103.3	223.0	180.3	0.0	

간의 Euclidean distance 등 통계는 Table 3에 있다.

Plate 2에서 보는 바와 같이 적어도 Plate 1의 항공방사능자료군의 분석결과와 유사한 결과를 보이고 있다. 특히 화강암류는 황색(Cluster D)을 띠며 방사능자료군에 의한 분석결과보다도 더 잘 분류되나 본 자료에서도 동남단의 생산성 화강암은 이들과 달리 계명산층의 흑운모 석영 편마암류와 같은 패턴(Cluster B: 초록)으로 분류되고 있으므로 이들간의 서로 유사한 특성을 가짐이 확인된다. 물론 이 화강암은 12Cluster로 분류된 결과 자료에선 방사능자료군

분석과 같이 충주시 동부의 일부 계명산층과 같은 패턴으로 분리되어 분류되고 있다. 또한, 향산리층 백운암 및 규암층의 분류가(Cluster E; 분홍색) 확인되는데 여기서도 수계 유역의 층적층과 같은 패턴으로 서로 혼돈되고 있다.

계명산층의 서남부에서 계명산층과 같은 패턴으로 분류되는 패턴의 경계가 북측 계명산층 내부로 상당히 전이되고 있는데, 이것은 항공방사능자료군 분석에서도 유사한 결과를 가져옴으로서, 그 원인으로 다음 몇 가지를 유추하게 한다.

첫째, 광역지질도면인 실제 지질과 다르게 그려진 경우

둘째, 항공방사능 탐사자료의 전체적인 이동현상에 의한 경우

이러한 이동현상은 탐사시 비행속도나 비행각도에 의해서 발생될 수 있으며 탐사자료의 축선간격이 500m이므로 탐사자료를 격자망으로 digitizing할 때 발생될 수 있다.

셋째, 이들의 복합적 영향 등이다.

본 지역에서는 이러한 현상은 다른 암석경계에서도 나타나는데, 항공방사능 특성의 차이로 보아 첫째 이유도 어느 정도 배제할 수 없겠으나 본 지역의 광역지질도는 실제 지질과 유사하다고 보아, 그 주된 이유는 둘째 경우로 사료되는데, 이는 특히 지상에서 어느 정도 거리를 둔 항공탐사에 의한 smoothing 효과나 격자망 digitizing시에도 같은 효과에 의해 경계면이 모호해지거나 그 외에 항공탐사시 지형 특성에 의해 탐사고도를 일정하게 유지 못하는 이유 등이다. 또는 지화학적인 환경의 2차적인 효과, 즉 지표지질의 이동현상에도 그 원인이 있다 하겠다.

전체적으로 대체로 방사능자료군에 의한 결과와 유사하나 방사능값이 낮은 향산리층은 방사능 강도가 낮을 뿐 아니라 풍화에 강한 인접한 규암층의 지형적 특성에 의해 대체로 더 넓게 분류되고 있다. 물론 연구대상지역에서 낮은 방사능값을 갖는 것은 수계, 탐사상 지형영향을 받은 계곡, 그리고 변질받지 않은 석회암류 등이나, 수계 및 지형 등에 의한 영향은 TM 자료에서 쉽게 판독이 되므로 도면 확인에 의해 충분히 분류가 가능하겠으나, 같은 패턴으로 분류되는 석회암류는 현장답사에 의한 확인분류가 불가피하다고 하겠다.

이상과 같이 광역지질의 확인을 위해서는 방사능자료가 매우 유용함이 입증되며, 이에 TM 자료를 복합함으로써 보다 향상된 Clustering 결과를 얻을 수 있으므로 다변수함수분석에서 이와 같이 특성을 달리하는 자료들을 중합, 분석하는 것이 매우 효과적이라 하겠다. 여러가지 지형판독이나 국부적인 특정지질 탐지 등에는 원격탐사자료가 유용함으로서 이들 자료는 비금속 광상 내지 이들과 관련된 광역지질탐사에 상호 보완적인 자료로 매우 유용함이 확인된다.

## 5. 결론

ISODATA 프로그램은 Euclidean Distance 원리에 근거한 유명한 자승오차 Clustering 기법의 일종으로, 본 연구에서는 이를 응용하여 항공방사능 탐사자료군과 이들과 Landsat TM

자료를 혼합한 자료군 등 2개 자료군에 의한 광역 지질 Mapping의 효율성을 연구 분석하고 또한 이들 자료 이용에 의한 문제점 등을 검토하였다. 대상지역은 충청도북 지역으로 분석결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 본 지역의 ISODATA 분석결과 불국사 화강암 및 계명산 흑운모 석영편마암 지역이 가장 잘 분류되고 있다. 그리고 대상지역의 서북 및 서남단의 비생산성 화강암은 Total 및 토륨 성분은 그리 높지 않음으로서 방사능 전 채널의 강도가 높은 동남단 부근의 생산성 화강암과 분류되고 있다.
2. 활석 배태 층준인 향산리층 백운암 및 인접한 규암층은 특징적으로 낮은 방사능 강도에 의해 분류되고 있다. 수물 충주호 및 그에 인접한 충적층, 고운리층의 결정석회암층, 그리고 지형 영향에 의한 계곡 등에서도 대체로 낮은 방사능특성에 의해 백운암과 혼돈되나 석회암을 제외하고는 Landsat TM 자료의 영상 강조처리에 의해 쉽게 판독되어 분류가 가능하나, 석회암지역의 분류는 지상 답사에 의한 확인이 필요하다.
3. 옥천계 퇴적암류간의 분류는 서로 유사한 특성에 의해 혼돈되고 있다.
4. 특히 항공방사능탐사 자료에 의한 광역 지질 Mapping은 실제 지질에 비교하여 경계면의 전이현상이 많이 나타나는데, 이는 항공탐사에 있어서 비행고도나 비행자세 및 비행속도 등에 의한 때문으로, 특히 지형이 험한 지역에서 더욱 현저하게 나타난다. 또한, 탐사 간격이 큰 항공탐사자료의 digigizing시의 smoothing 효과나 잡음효과 등에 의한 영향도 있다.

끝으로, 다변수 함수처리에 있어서 자료선정의 절대적 방법이 없는 한 이에 대한 꾸준한 연구가 필요할 것이며, 항공자료를 이용할 때 위에서 지적한 제 문제들의 보정을 위한 자료 예비처리 기법의 연구가 진행됨으로써 보다 효과적인 광역 지질도 작성이 기대된다.

## 사 사

본 연구는 과학재단의 학술연구 일환으로 수행되었으며, 본 연구 수행에 필요한 자료를 제공하여 주신 한국동력자원연구소 육상물리탐사실 및 과학기술원 시스템공학센터 제12그룹 요원들께 깊이 감사드립니다. 분석을 위한 자료의 예비처리를 위한 시스템 이용을 허락하여 주신 해양경찰대 시험연구과 이창섭 과장님과 여러분에게 또한 깊이 감사 드립니다.

## 참고문헌

- 강필중, 지광훈, 1980. 원격탐사 자료에 의한 옥천계 지질구조 연구. 자원개발연구소 조사연구보고, 8호, pp.21-48.
- 구자학, 박영수 외, 1983. 항공방사능 및 자력 탐사 연구. 한국동력자원연구소 우라늄 광역 탐사연구 82-핵연료자원-1-08, pp.7-51.

- 김규봉, 1970. 활석의 산상. 국립지질 조사소 지질 광상 제11호, pp. 29-33.
- 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.
- Castillo - Munoz, R. 1973. *Applications of discriminant analysis and cluster analysis to regional geochemical surveys*. Ph.D. Thesis, Univ. of London, p.258.
- Crisp, D.A., 1974. *Application of multivariate methods of regional geochemistry: The evaluation of a new technique*. M.Sc. Thesis, Unpubl, Dept. of Geology, Univ. of London, p.107.
- Dubes, R. and Jain, A. K., 1976. Clustering techniques - the user's Dilema. *Pattern Recognition*, Pergamon Press, 8, pp. 247-260.
- Mancey, S. J., 1980. *Computer-based interpretation of large regional geochemical data sets*. Ph.D. Thesis, Unpubl. Univ. of London, p.305.
- Obial, R. C., and James, C. H. 1973. Use of cluster analysis in geochemical prospection with particular reference to South Derbyshire, England. *Proc. 4th Int'l. Gteohem, Expl. Symp.* 72. pp. 237-257.
- Park, J.N., 1983. *Pattern recognition techniques for integration of geophysics, remote sensing, geochemistry and geology*. Ph. D. Thesis, Unpubl. Univ. of London, p.362.
- Schultz, E. F., and Goggans, J. F., 1961. A systematic procedure for determining potent independent variables in multiple regression and determinant analysis. *Agricultural Experiment Station, Auburn, Alabama, Bull.* 336, p.74.
- Vincent, R.K., and Pillars, W. W., 1980. Skylab S-192 ratio codes of soil, mineral and rock spectra for ratio image selection and interpretation. *Remote Sensing of Environment*, 9, pp. 875-896.