

지구과학자료 분석을 위한 GIS의 응용*

박노옥** · 권병두***

I. 서 론

현재 지구과학이나 지구환경 등의 다양한 분야에서 컴퓨터를 이용한 대규모 자료의 수집이나 저장관리, 분석 작업이 보편화되면서, 다량의 각종 정보를 효과적으로 관리할 수 있는 GIS (Geographic Information Systems)의 중요성이 점차 증대되고 있다.

지구과학의 모든 연구분야는 지구를 대상으로 하기 때문에, 대부분의 정보가 특정 위치와 연관된다. 즉 지구과학에서는 현장에서 얻어진 자료를 기반으로 하여 자료획득 위치에 따른 다양한 공간정보와 이를 설명하기 위한 데이터베이스 속성정보와 시간에 따른 변화양상을 수치 모델링, 시뮬레이션, 역산 등과 같은 방법을 통하여 정량적으로 다루고 해석하고 있다. 이러한 지구과학의 각종 자료들은 위치정보와 함께 제시되고 분석되어야 한다는 특징을 갖기 때문에, 대용량 정보를 효과적으로 분석 및 관리할 수 있는 기능을 제공하는 GIS와 직접적인 연계가 가능하다. 또한 지구과학이 종합적 시각과 자료의 통합적 분석을 요구한다는 점에서 GIS의 적용범위는 현재 제한적으로 적용되고 있는 지구과학 활용분야를 확대할 수 있는 많은 가능성을 보이고 있다.

지구과학에서 GIS의 활용에 관한 연구는 자원관리, 환경 모니터링, 재해관리와 예측, 입지선정, 광물자원탐사 등의 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 특히 자료의 종합적인 처리와 분석이 필요한 광물자원탐사, 지질구조해석 등의 지질학 관련 분야와 대기와 수질 등의 환경에 대한 분석, 관리 그리고 자연재해 방지를 위한 예측모델링 개발 등이 활발하게 진행되고 있다.

국내의 경우, 수질 및 환경 분야에서는 인공위성자료를 이용한 수질관측(Jang and Jo, 1998), 수질오염 감시를 위한 항공원격탐사의 활용 (김광은과 이태섭, 1994), 온배수확산 분석 (유복모와 조기성, 1993) 등의 연구가 수행된 바 있으며, 재해분석으로는 지질재해 분석에의 응용 (김윤중 외, 1993), 산사태 활동성 분석을 위한 GIS의 응용 (구호본과 구재동, 1995) 등의 연구가 있었다. 또한 지질분야에서는 인공위성 자료를 이용한 지질암상의

* 이 연구는 서울대학교 사범대학 부설 과학교육연구소 연구비 지원에 의하여 이루어졌다.

** 서울대학교 대학원 과학교육과 지구과학 전공

*** 서울대학교 사범대학 지구과학교육과 교수

분포를 파악하고자 하는 연구 (조민조 외, 1991)와 지질구조를 파악하고자 하는 시도들 (강필중 외, 1991) 이 있었다.

외국에서는 1990년대 이후 GIS를 기반으로 한 지구과학의 공간정보를 통합, 해석하려는 연구들이 수행되었으며, 이러한 연구는 통합방법론의 개발과 통합정보 결과의 분석처리 기술의 연구로 다시 세분화 할 수 있다.

다중정보 통합방법이란 GIS에 구축된 여러 가지 지구환경정보를 대상으로 하여 초기에 설정된 목적에 부합되는 하나의 유용한 통합된 정보를 제시하는 방법을 의미한다. 현재 격자형으로 구축된 공간자료들의 통합에 관한 연구가 많이 시도되고 있는데, 격자형 공간 자료들은 지도 정보에 대한 산술연산이 가능하여, 다양한 지구환경정보를 대상으로 유용한 분석 정보를 제공할 수 있다. 격자형 자료처리를 위한 GIS분야에서 현재까지 개발된 상업용 또는 비상업용 GIS 툴에서 제공되는 대부분의 자료 통합모듈은 영상처리 기법에 근간을 두고 있어서, 지화학자료와 물리탐사자료가 포함된 공간적 지질정보에 대하여 적용 자료에 대한 충분한 사전분석 없이 곧바로 이러한 방법을 적용하는 경우에는 통합의 결과로 제시되는 결정정보조정보의 배경이 충분치 못하거나, 또한 경우에 따라서는 심각한 해석상의 오류를 보일 수 있다 (이기원과 지광훈, 1995).

이러한 배경에서 다양한 공간적 정보를 효과적으로 다루기 위한 수학적 논리적 자료통합에 대한 연구가 시도되고 있다. 현재까지 개발된 통합방법론으로는 베이지안 룰을 이용한 확률적 방법 (Rostirolla et al, 1998), 증거 가중치 (Weight of evidence) 방법 (Bonham-Carter et al., 1989), 신뢰함수 (evidential belief function)를 적용한 방법 (Moon, 1990), 확실인자 (Certainty Factor: CF) 추정방법 (Heckerman, 1986), 퍼지 이론을 적용한 방법 (Wright and Bonham-Carter, 1996), 다변량 통계분석방법 (Lee et al., 1995) 등이 있다. 이러한 통합방법을 적용하여 통합결과로 제시되는 결정정보조자료는 지구과학의 연구목적에 따라 중요한 해석가능 정보를 제공하게 된다. 광물자원탐사 (지광훈 외, 1997), 지질재해 분석 (Chung and Fabbri, 1996), 입지선정 (최현일 외, 1996) 등의 목적으로 많은 연구가 국내 외에서 활발하게 이루어지고 있다.

그러나, 지금까지 통합에 사용되는 입력 주제도들의 영향, 오차 전파 및 처리에 대한 이론, 통합방법들의 비교 및 타당성 검증 등 통합정보 결과의 분석처리 기술은 통합방법에 대하여 체계적으로 정립되어 있지 않은 상황이다. 최근에는 통계기반 공간분석의 중요성이 강조되면서 통계분석언어와 상용 GIS를 연계하여 기존의 GIS에 비하여 발전된 분석기법들이 발표되고 있으나, 이러한 경우에도 주로 통계적 표현이나 통계치 추정 등의 범주에 국한되어 실제로 공간통합정보의 해석방법으로는 부족한 측면이 있다.

본 연구에서는 GIS를 이용하여 다양한 지구과학 자료들을 데이터베이스화하고, 구축된 자료들을 가지고 공간통합을 수행하였다. 연구 대상지역은 그동안 지화학, 항공물리탐사,

원격탐사 영상, 지질도, 지형도 등의 다양한 지구과학 자료들이 조사되어 있는 지역을 택하였다. 이들 수치화된 지구과학 자료들을 GIS 내에서 광물부존지역 예측을 목적으로 하여 공간통합을 실시하였다. 통합방법으로는, 기존의 방법들 중에서 확실인자(CF) 추정방법을 시험적으로 적용하여 통합정보를 획득하였다. 통합정보 이외에 통합결과와 입력주제도의 관계, 입력주제도 상호간의 관계 등을 정량적으로 분석하기 위하여, 다중자료분석에 적용이 가능한 통계분할표를 이용한 몇 가지 통계기법들을 적용하였다. 또한, 입력자료의 공간적 패턴을 분석하기 위하여 GIS의 공간분석방법 중 버퍼링분석을 확장한 다중버퍼영역 분석을 새로이 제안, 적용하여 새로운 결정보조자료를 얻었다. 그리고, 얻어진 결정보조자료를 이용하여 통합결과를 종합적으로 고찰하였다.

II. 이론적 배경

1. GIS (Geographic Information Systems)

GIS는 '지리정보시스템'으로 번역되어 사용되고 있으며, 1960년대 중반에 메인 프레임(Main Frame) 컴퓨터에서 운영할 수 있도록 캐나다에서 개발된 대규모의 국토 도면 종합관리시스템에서부터 시작하여 최근까지 계속 발전되고 있는 분야이다.

GIS는 사용자나 연구자에 따라 다양하게 정의되고 있으며, 다루는 대상에 따라서 붙여지는 명칭은 대상의 종류만큼이나 다양하다. GIS의 여러 정의를 종합하여 보면, "지구환경 내에 포함된 다양한 공간정보의 획득, 저장, 관리, 분석, 표현을 위한 컴퓨터 시스템과 제반 관련기술 및 인력의 종합체계"로 정의할 수 있다 (Aronoff, 1989 ; Burrough and Mcdonnell, 1998).

GIS의 특징은 다양한 도형자료와 속성자료를 가지고 있는 수많은 데이터 파일에서 필요한 도형이나 속성정보를 추출하고 결합하여 각종의 복잡하고 종합적인 정보를 분석·처리 할 수 있다는 것이다. 공간분석은 공간 데이터베이스 내에 들어 있는 도형과 속성자료를 이용하여 현실세계에서 발생하는 각종 의문에 대한 해답을 제시한다. GIS에서 제공하는 공간분석기능은 벡터형 자료나 격자형 자료 등 적용 대상자료에 따라 각각 기능이 구분되고, 보통은 도형자료와 속성자료의 통합분석이 주로 수행된다. 주요한 공간분석 기능으로는 중첩, 공간추정, 지형분석, 근접성분석, 포함성분석, 연결성분석, 영향권분석, 네트워크분석 등이 있다.

2. 확실인자 (Certainty Factor : CF) 추정 방법

확실인자 추정 방법은 전문가시스템에서 주로 사용되며, 초기확률에 대한 확실한 정도를 측정하는 방법이다. 이 방법은 기존의 광물자원 위치 등과 같은 통계자료가 많을 때 유효한 것으로 알려져 있다 (지광훈 외, 1997).

입력주제도 중 k번째 주제도의 픽셀 p에서의 확실인자 $CF_k(p)$ 는 픽셀 p에서의 증거 $v_k(p)$ 가 주어지지 않은 경우로부터, 주어진 경우까지, 픽셀 p가 특정한 주제를 포함한다는 명제의 확실성의 변화로서 정의된다 (Chung and Fabbri, 1993).

일반적으로 확실인자 값은 -1에서 +1의 범위를 가지며, 양의 확실인자 값은 $v_k(p)$ 가 관찰된 이후에 명제의 확실성의 증가를 의미하며, 음의 확실인자 값은 확실성의 감소를 의미한다.

확실인자는 확률의 함수로 주어지는데 다음의 식 (1)과 같다 (Heckerman, 1986).

$$CF_k(p) = \frac{Prob_k\{T_p|v_k(p)\} - Prob_k\{T_p\}}{Prob_k\{T_p|v_k(p)\}(1 - Prob_k\{T_p\})}$$

if $Prob_k\{T_p|v_k(p)\} > Prob_k\{T_p\}$

$$\frac{Prob_k\{T_p|v_k(p)\} - Prob_k\{T_p\}}{Prob_k\{T_p\}(1 - Prob_k\{T_p\})}$$

if $Prob_k\{T_p|v_k(p)\} < Prob_k\{T_p\}$

(1)

T_p : 픽셀 p가 특정 주제를 포함한다는 명제

$Prob_k\{T_p\}$: 어떤 증거가 주어지기 전에 픽셀 p가 특정 주제를 포함할 초기 확률

$Prob_k\{T_p | v_k(p)\}$: 픽셀 p가 증거가 주어진 상태에서의 조건부 확률

식 (1)의 정의에 따르면, 확실인자는 조건부확률이 초기확률과 같으면 0이고, 조건부확률이 초기확률과 차이가 있을 경우 절대값이 증가한다. 따라서 확실인자는 오로지 초기확률에 관한 확실성의 측정이다.

두 개의 다른 주제도의 확실인자 x와 y의 조합 z는 식 (2)을 따르게 된다.

$$z = \begin{matrix} x + y - xy & x, y \geq 0 \\ \frac{x + y}{1 - \min(|x|, |y|)} & x, y \text{ of opposite sign} \\ x + y + xy & x, y < 0 \end{matrix}$$
(2)

3. 통계 분할표를 이용한 통계량 분석

몇 개의 클래스를 가지는 두 주제도의 비교분석에는 통계분할표 (contingency table)를 이용한 통계처리가 많이 사용되고 있다 (Bonham-Carter, 1994). 통계분할표는 두 개의 이산집단에 대해서 빈도수를 나타내는 표를 의미한다. 이 통계분할표는 원격탐사영상을 분류할 때 분류정확도를 산출하기 위해서 계산되는 오차행렬 (error matrix)과 같은 형태이다. 일단 통계분할표가 얻어지면, 이 표를 기반으로 통계분석을 실시하는데, 카이제곱(χ^2) 계수분석, 엔트로피분석, 카파(kappa) 계수분석, 율(Yule) 계수분석, 교차비(odds ratio) 분석 등이 주로 사용되고 있다. 이 중 카파 계수는 두 주제도의 클래스의 수가 같은 경우에만 적용이 가능하며, 율 계수와 교차비는 이진(binary) 주제도에 주로 사용된다.

두 주제도 A와 B 사이의 통계 분할표 T의 각 요소값을 T_{ij} ($i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,m$), i 번째 행의 합을 $T_{i.}$, j 번째 열의 합을 $T_{.j}$, 전체 합을 $T_{..}$ 라고 한다면, i 번째 행과 j 번째 열에 대한 기대값은 $T^*_{ij} = \frac{T_{i.} T_{.j}}{T_{..}}$ 로 표시된다.

그러면, 카이제곱 계수 χ^2 , 크래머 (Cramers) 계수 V, 분할 (contingency) 계수 C 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}\chi^2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(T_{ij} - T^*_{ij})^2}{T^*_{ij}} \\ V &= \sqrt{\frac{\chi^2}{T_{..} \min(i-1, j-1)}} \\ C &= \sqrt{\frac{\chi^2}{T_{..} + \chi^2}}\end{aligned}\quad (3)$$

엔트로피 계수 U의 계산에는 빈도수의 전체에 대한 비율을 이용한 다음 식이 사용된다.

$$\begin{aligned}p_{ij} &= \frac{T_{ij}}{T_{..}}, \quad p_{i.} = \frac{T_{i.}}{T_{..}}, \quad p_{.j} = \frac{T_{.j}}{T_{..}} \\ H(A) &= - \sum_{j=1}^m p_{.j} \ln p_{.j} \\ H(B) &= - \sum_{i=1}^n p_{i.} \ln p_{i.} \\ H(A,B) &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \\ U &= 2 \left[\frac{H(A) + H(B) - H(A,B)}{H(A) + H(B)} \right]\end{aligned}\quad (4)$$

여러 개의 클래스가 있는 경우에 윌 계수와 교차비를 이용하기 위해서는 주제도의 각 클래스를 이진화시켜서 사용한다. 윌 계수 α , 교차비 O_R 은 다음과 같이 정의된다.

$$T_{11} = A \cap B, T_{21} = A \cap \bar{B}, T_{12} = \bar{A} \cap B, T_{22} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{T_{11}/T_{21}} - \sqrt{T_{12}/T_{22}}}{\sqrt{T_{11}/T_{21}} + \sqrt{T_{12}/T_{22}}}, \quad O_R = \frac{T_{11}T_{22}}{T_{12}T_{21}} \quad (5)$$

4. 다중 버퍼 영역 분석 (Multi-Buffer Zone Analysis)

현재 공간분석 통합결과의 정량화분석에 대해서는 그다지 많이 연구되어 있지 않으며, 이러한 측면에 일부 기인하여 GIS에서 제공하는 분석기법들을 자연과학 분야에 그대로 적용하는 데는 여러 부족한 면들이 있다. 즉, 다양한 자료들의 내부적인 복잡성, 자료의 정확도 혹은 질과 관련된 문제, 자료의 오차에 크게 영향을 받는다는 점, GIS 공간분석 기법 적용성의 한계, 주로 시각적 표현에 주안점을 두어 표현한다는 점, 다중자료 통합방법의 적용시 통합 목적에 따른 파라미터의 결정과 다중 소스 자료 모델 사이의 이질성 등이 나타나게 된다.

이 연구에서는 GIS 틀 내에서 통합결과를 해석하기 위하여 추가적인 정보의 획득에 주안점을 두고, GIS 공간분석 측면에서 공간통합에 사용된 다중지구과학 자료들의 공간적 분포 양상을 알아보기 위하여, 다중버퍼영역 분석기법을 제안, 적용하였다.

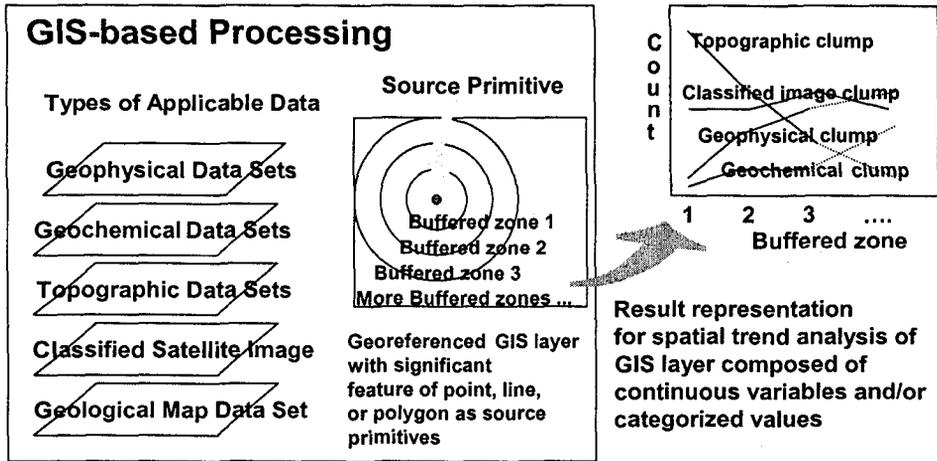
다중버퍼영역 분석은 GIS 측면에서 볼 때, 격자기반 버퍼링 혹은 근접성 분석기법을 다중지구과학 자료의 해석을 위해 확장하여 응용한 것이다. 버퍼링분석 기법은 특정 소스를 중심으로 버퍼링영역 (buffering zone)을 설정하고, 특정 거리에 따른 영향권을 분석하는, 기본적으로 쉽게 적용이 가능한 GIS의 분석기법 중 하나이다 (Chou, 1996).

이 연구에서 적용한 다중버퍼영역 분석은 GIS의 가장 기본적인 도형 모델인 점, 선, 면으로 표현할 수 있는 중요한 지질학적 지표 특징에 대하여 지구과학적 현상이나 양상이 주로 원형 상으로 나타나는 경우에 대하여 적용이 가능하며, 일정한 간격 혹은 거리에 따른 버퍼링영역 내에서의 다중지구과학 자료들의 공간적 분포양상의 변화에 주안점을 두고 있다.

다중버퍼영역 분석에 적용가능한 지질학적 지표 특징, 즉 소스로는 점, 선, 면 등이 있다. 점으로는 광상, 진앙지, 자연재해를 유발시키는 다양한 형태의 점원 등이 있으며, 선으로는 지표 단층선, 수계망 등이, 면으로는 광물 발생 지역, 교대 지역, 특정한 지질학적 패턴들이 있다.

우선 각 버퍼링영역 내에서 다중지구과학 자료의 클래스값의 수를 계산하여, 각 버퍼링

영역에서 우세하게 나타나는 대표 클래스를 선정한다. 그리고, 버퍼링 거리에 따라서 대표 클래스를 그래프화해서 (Figure 1), 다중지구과학 자료의 공간적 양상을 분석하게 된다. 이러한 방법을 적용하여 하나의 지질학적 현상을 설명하는 데 있어서 항공지구물리탐사, 지화학탐사, 지질조사, 위성영상 자료, 지형 자료 등과 같은 복합적인 지구과학 자료들이 어떻게 영향을 미치고 있는 지를 정량적으로 분석할 수 있다.



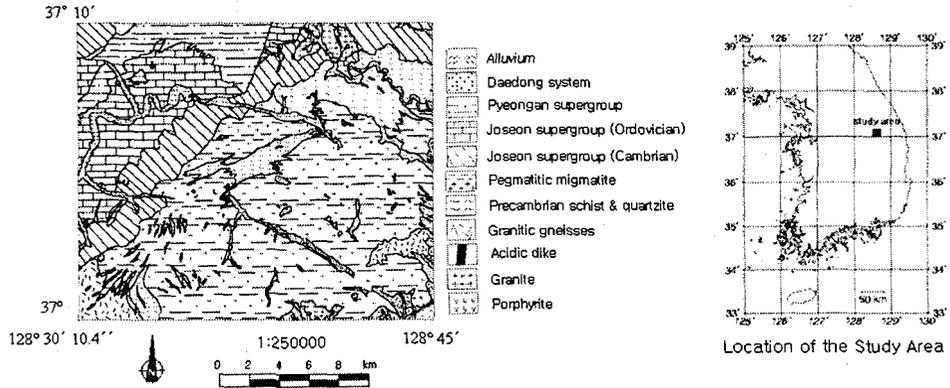
<Figure 1> Applied scheme of multi-buffer zone analysis with point source.

III. 태백 옥동지역의 지구과학자료에 대한 적용 예

연구대상 지역은 광물자원 탐사를 목적으로 다양한 탐사가 이루어진 태백 일대의 옥동 지역이다. 이 지역을 선정한 것은 현재 연구목적에 부합되는 다양한 지구과학 자료가 조사되어 있고, 이들의 직접적인 활용이 가능하기 때문이다.

1. 지질 및 광상

옥동지역의 지질은 기반이 되는 선캠브리아기의 변성퇴적암류와 이에 경사부정합으로 조선계와 평안계의 누층이 놓이고, 대동계의 반송층이 그 위를 덮고 있으며, 시대미상의 화강암류와 맥암이 이들 지층들을 관입하고 있다 (Figure 2).



<Figure 2> Geological map, as one of GIS layers, and location map of the study area.

변성퇴적암류는 선캠브리아기의 변성퇴적암과 이를 교대변성한 페그마타이트질 미그마타이트로서 이 지역의 기반을 이루며, 그 분포지는 연구지역의 약 2/3를 점하고 있다. 조선계층군은 북동쪽에서 남서쪽으로 대각선으로 뻗은 지층으로 전 지역을 통하여 양덕통과 대석회암통으로 이분되며, 상부에는 시대미상의 고성세일층과 고성석회암층이 놓여 있다. 북동부 이목리 부근의 지층들은 후기에 관입한 이목화강암의 영향을 받아 넓은 접촉변질대를 형성하고 있다. 고성세일층을 덮고 있는 고성석회암층은 주로 석회암과 돌로마이트질 석회암이 와층을 이루며, 이들을 홍점통이 경사부정합으로 덮고 있다. 평안계층은 고성석회암층과 부정합을 이루며, 반송층은 주라기의 대동계지층으로 터프질 사암과 세일로 구성되어 있다. 화성암류는 홍제사화강암, 부석화강암, 이목화강암, 석영반암으로 구성되며, 서로 상이한 암상변화를 보인다 (국립지질조사소, 1966).

<Table 1> Eight known mines and rich elements in ore deposit of mines

ID number	Name	Rich element in ore deposit
1	Oyang	Fe
2	Jeongyang	Pb, Zn
3	Gari	Fe
4	Ogdong	Fe
5	Nokjeon	Sericite
6	Imok	Pb, Zn
7	Yujeon	Fe
8	Dohwadong	Fe

연구지역에는 철, 납, 아연 등의 금속광상, 석회석, 장석 등의 비금속광상, 그리고 흑연을 수반하는 석탄광의 세 가지 광종이 등록되어 있다. 금속광상으로는 이목, 유전, 도화동, 옥동, 오양, 정양, 가리, 녹전 등 8개가 분포하고 있다 (Table 1). 연구지역에서는 옥동광산을 중심으로 맥상으로 발달하는 철광상의 북서부지역, 이목화강암체를 중심으로 맥상 및 교대광상으로 발달하는 연, 아연 및 철광상의 북동부 지역 2개소가 가장 활발한 광화작용을 이루고 있음이 보고된 바 있다 (서정률, 1985). 이목~유전지역은 이목화강암의 관입접촉부의 지역별 위치에 따라 북서부의 연·아연을 주로 하는 이목광산, 북동부의 철을 대상으로 하는 유전광산, 북동부의 철을 주로 하는 도화동광산이 발달하고 있다. 옥동지역 내의 광상은 시대미상의 고성세일층, 고성석회암층, 그리고 평안계지층 내에 발달하는 단층구조선 및 소열하를 채운 전형적인 맥상광상으로 철광을 주로 하는 옥동광산이 대표적이다.

연구지역의 알려진 금속광산은 확실인자 추정에 의한 공간통합에서는 통합의 사전 자료로, 다중버퍼영역 분석의 점원으로 사용되었다.

2. 다중 지구과학자료

이 연구에서는 지질도, 6개 원소의 지화학자료, 항공지구물리탐사자료 (항공방사능 및 자력도), 원격탐사 영상으로 Landsat TM과, 수치표고모델(DEM) 등을 주제로 사용하였다. 사용된 주제도들은 작성시기와 범위가 각각 다르기 때문에 이들의 공통 지역인 동경 128°30' 10.4" E ~ 128°45' E, 북위 37° N ~ 37° 10' N 사이의 범위를 연구대상 지역으로 하였다.

<Table 2> Used geo-based data sets and classified GIS layers

Class	Type	Airborne Radiometric Data Sets (unit: γ ray ¹ , K ² , Th ¹ , U ¹ , Mag. ²)					Catchment Geochemical Data Sets (unit: ppm)						DEM (unit: degree)		Satellite Imagery	Geological map
		γ ray ¹	K ²	Th ¹	U ¹	Mag. ²	Ag	Cd	Cu	Pb	U	Zn	Slo.	Asp.	Image Class	
1	min	200	10	5	4	-60	0.10	0.02	10.00	10.00	1.70	17.00	0	0	Water	Alluvium
	max	250	15	6	5	-35	0.17	0.50	13.50	20.90	5.50	36.22	10	45		
2	min	251	16	7	6	-34	0.18	0.51	13.51	20.91	5.51	36.23	11	46	Forest	Daedong system
	max	350	26	10	7	-20	0.81	0.98	35.10	49.00	12.90	59.57	20	90		
3	min	351	27	11	8	-19	0.82	0.99	35.11	49.01	12.91	59.58	21	91	Allu.	Pyeongan supergroup
	max	450	36	13	9	5	2.09	4.20	93.30	114.80	29.50	133.10	30	135		
4	min	451	37	14	10	6	2.10	4.21	93.31	114.81	29.51	133.11	31	136	Agri.	Joseon supergroup (Ordovician)
	max	550	47	17	11	20	3.09	10.40	151.40	175.80	44.70	184.00	40	180		
5	min	551	48	18	12	21	3.10	10.41	151.41	175.81	44.71	184.01	41	181	Shadow	Joseon supergrup (Cambrian)
	max	650	58	21	14	80	7.21	14.80	239.10	267.30	67.00	252.95	50	225		
6	min	651	59	22	15	81	7.22	14.81	239.11	267.31	67.01	252.96	51	226		Pegmatitic migmatite
	max	750	68	24	16	140	15.96	17.21	699.00	5695.00	69.48	495.00	60	270		

Class	Type	Airborne Radiometric Data Sets (unit: cps, gamma)					Catchment Geochemical Data Sets (unit: ppm)						DEM (unit: degree)		Satellite Imagery	Geological map
		γ ray	K ²	Th ¹	U ¹	Mag. ²	Ag	Cd	Cu	Pb	U	Zn	Slo.	Asp.	Image Class	
7	min	751	69	25	17	141							61	271		Precambrian schist & quartzite
	max	850	78	28	18	200							70	315		
8	min	851	79	29	19	201							71	316		Granitic gneisses
	max	950	90	30	22	300							80	360		
9	min												81			Acidic dike
	max												90			
10	min															Granite
	max															
11	min															Porphyrite
	max															

이번에 사용한 자료들은 원래 등치선 또는 텍스트의 자료들인데, 모두 좌표화 (geocoding) 과정을 위한 전처리를 거쳐서, 격자형으로 구축되었다. 공간해상력은 Landsat TM의 공간 해상력인 30미터로 하였다. 연속적인 변수인 항공지구물리탐사자료, 지화학자료, 사면 경사도, 사면 방위도는 기본적인 통계처리를 거쳐서 재분류하였다. 사용된 주제도들과 재분류된 클래스는 <Table 2>에 제시되어 있다.

1) 항공지구물리탐사자료

초기 자료처리과정으로는 등치선으로 작성되어 있는 자료 (박영수 외, 1988)를 먼저 수치지도로 입력하였으며, 여타 자료와의 통합 및 공간분석을 위하여 격자형 자료로 변환하였다. 항공방사능탐사도로는 γ ray, K, Th, U 측정도를, 항공자력탐사도로는 잔여자력이상도를 사용하였다.

2) 지화학 자료

태백지역의 옥동도폭(1:50,000) 내에 분포하는 200개의 하상퇴적물 시료를 채취하여 얻어진 지화학자료 (이진수 외, 1984) 중 Ag, Cd, Cu, Pb, U, Zn의 총 6개의 원소를 사용하였으며, 격자형 자료를 얻기 위하여, 내삽과정을 수행하였다. 광화작용과 관련되지 않은 자연물질에서의 원소함량을 대표하는 값인 배경값 (background value)과 이상값 (anomalous value)을 분리하기 위해, 기본적인 통계처리를 수행하였다. 이러한 통계값을 기본으로, 상위 2.5%를 이상값으로 정하였다.

3) 원격탐사 영상

이 연구에서 사용된 원격탐사 자료는 1989년 10월 25일에 주사된 Landsat 5호의 TM (Thematic Mapper) 센서 자료이다. 위성자료는 태양의 고도, 대기 상태에 따른 방사학적 왜곡 (radiometric distortion)과 인공위성의 자세, 지구자전 등 여러 요인으로 인한 기하학적

왜곡 (geometric distortion)을 포함하고 있다. 따라서 위성자료를 연구에 이용하기 위해서는 분광감지기의 감도차에 의해 발생한 방사왜곡을 보정하기 위한 방사보정 (radiometric correction)과 인공위성의 자세, 지구의 자전 및 지형도의 투영법과의 차이에 의해 나타나는 자료의 변형을 보정하는 기하학적 보정 (geometric correction)등 일련의 전처리 과정이 필요하다 (Lillesand and Kiefer, 1994).

일반적으로 지상수신소에서는 자료를 수신 당시의 대기 및 분광감지기의 상태에 따라 기본적인 방사보정을 실시한 후 사용자에게 제공하고 있기 때문에, 본 연구에서는 별도의 방사학적 보정을 하지 않았다.

기하학적 보정은 지도와 위성 영상에서 명확하게 인지되는 지점을 지상기준점으로 선정하여 다항식 보정을 수행하였다. 해당 지역의 1:50,000 지형도에서 지상기준점 22점을 선정하여, 최소자승법에 의한 어떤 변환을 실시하였다. 보정결과 각 지상기준점에 대한 중등 평균 오차는 화소간격이 30미터 이내의 1 화소 이하인 0.94 화소이다. 영상좌표의 변환 후 화소들의 재배열은 최근린 내삽법 (nearest-neighbor method)을 사용하였다.

일련의 전처리과정을 거친 영상의 공간통합에 적용에는 합성된 영상정보 대신에 분류된 영상을 자료로 사용하였으며, 이때 적용된 분류 기법은 감독분류 중 최대우도법 (maximum likelihood method)을 사용하였다. 분류정확도를 높이기 위하여 수계지역과 산림지역의 일부에 해당하는 그림자지역을 별도로 설정하여 수계, 산림, 충적층, 농경지, 그림자 지역의 총 5개로 나누어 훈련지역을 설정, 분류를 수행하였다. 분류 결과의 평균정확도와 전체정확도는 각각 94.14%, 95.03%로 나타났으며, 카파 계수는 0.93079로 나타난 공간자료 통합에 적합한 것으로 판단된다.

4) 수치 표고 모델 (Digital Elevation Model)

1:50,000 지형도의 등고선을 디지털이징하여 얻어진 벡터자료를 격자형자료로 변환하여 USGS 포맷의 수치표고모델(DEM)을 얻었다.

수치표고모델로부터 얻을 수 있는 주제도는 사면경사도와 사면방위도가 있다. 사면은 수평면에 접하는 면으로 정의할 수 있으며, 이 사면은 고도의 변화율인 기울기와 최대 고도변화율이 일어나는 방향인 방위의 두 가지 요소를 가진다. 한 지점의 경사각은 0부터 90도의 값으로서, 화소의 좌우를 잇는 벡터와 상하를 연결하는 벡터에 의해 결정되는 사면의 기울기로서 계산된다. 사면방위는 사면경사에서와 같이 화소의 좌우를 잇는 벡터와 상하를 연결하는 벡터로 사면을 먼저 결정하고, 이 평면의 주향을 계산하여 구한다. 사면방위각은 0도부터 360도의 값을 가지며, 영상의 위쪽에 해당하는 정북 방향과 구한 평면의 법선벡터를 수평면에 투영한 벡터와의 각을 말한다.

수치표고모델을 이용하여 작성하는 사면경사도와 사면방위도는 지형분석의 기본적인 주제도로서, 이 연구의 지형자료로 이용하였다.

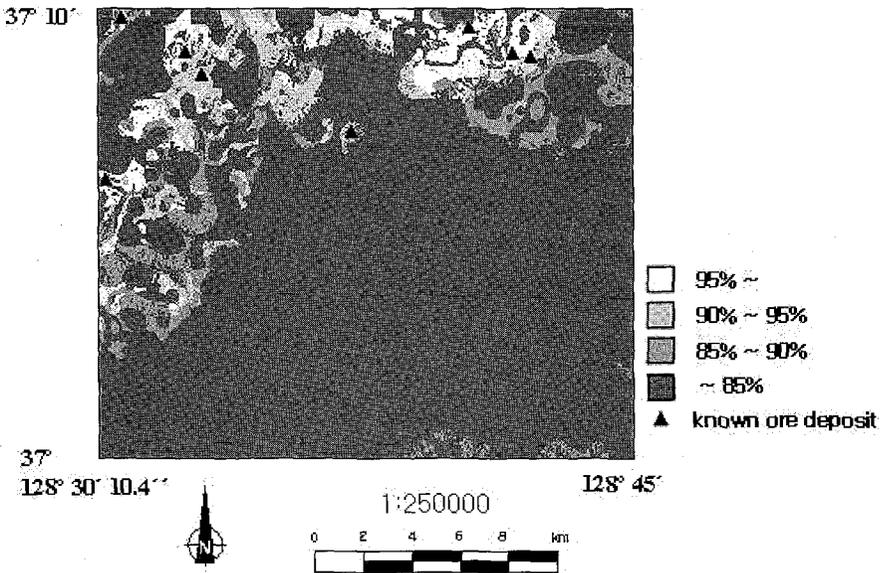
3. 공간 통합 및 분석 결과

1) 확실인자 추정 결과

자료의 특성별로 재분류한 모든 주제도들에 알려진 광상 위치도를 첨부하여 확실인자 추정방법으로 공간통합을 수행하였다.

알려진 광상위치도를 첨부하여 통합을 한 결과를 상위 5%별로 재분류하여 보게되면 (Figure 3), 기존의 광상의 위치와 높은 광물부존 가능성분포를 나타내는 부분이 의미있게 부합되고 있음을 알 수 있다. 이것은 확실인자 추정방법이 기존의 광상위치와 입력된 공간자료들간의 확률적 관계에 기반을 두고 있기 때문이다. 특이한 점은 연구지역의 하단부에 광물부존 가능성이 85%에서 90% 사이인 부분이 나타난다는 것이다. 이 지역은 지질도 상에서 화강암이 나타나는 부분에 해당하는데, 광상들이 주로 석회암과 화강암지대에 위치해 있다는 사실에 기인한 결과이다.

실제로 이번 연구지역과 같은 넓은 지역에서 광물자원탐사를 수행하는 경우, 이 통합결과는 기존 광산이 위치하지 않는 지역에서 광물부존가능성이 높게 나타나는 곳을 골라 정밀 지질조사를 수행하기 위한 결정 보조자료로 이용될 수 있다.



<Figure 3> Spatial integrated model by the CF estimation method.

2) 통합 결과에 대한 통계량 분석

통합 결과에 대한 통계처리를 위해 먼저 각 입력 주제도별로 통계분할표를 계산하였다. 통합 결과에 대한 입력주제도의 전체적인 영향을 알아보기 위해서 카이제곱 계수 χ^2 , 크레머 계수 V, 분할 계수 C, 엔트로피 계수 U를 계산하였다. 각 계수들이 상황에 따라 다른 민감도를 나타낼 수 있기 때문에, 모든 계수들을 함께 고려하였다. 그리고, 광물부존 가능성이 가장 높게 나타나는 부분(95% ~)과 각 주제도를 이진화시켜서 울 계수 α , 교차비 O_R 를 계산하여, 광물부존 가능성이 가장 높게 나타나는 곳에 대한 각 주제도의 우세한 클래스를 알아보았다.

χ^2 테스트의 경우 각 주제도가 서로 포함관계가 없다는 가정을 전제로 하여, 특정 유의 수준에서 계수값이 크게 나오면 이 가정을 기각하게 된다. 즉, 큰 값은 서로 포함 및 영향 관계가 있다는 사실을 반영한다. 엔트로피 계수도 값이 큰 경우 대개 주제도 사이에 큰 포함관계가 있다는 것을 의미하게 된다.

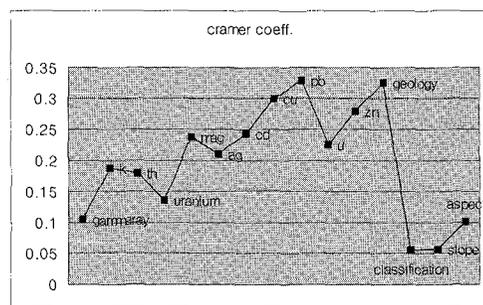
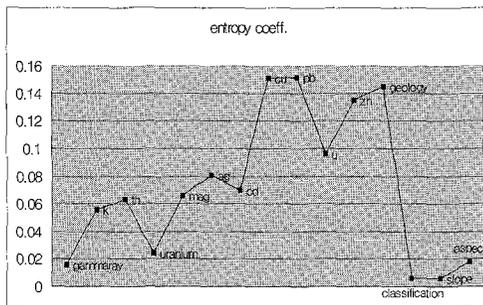
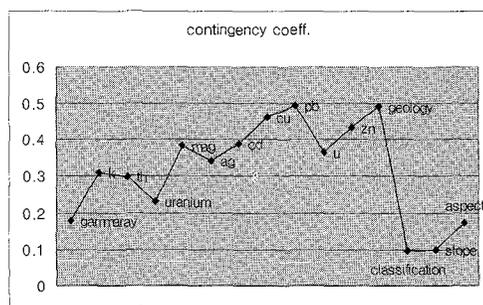
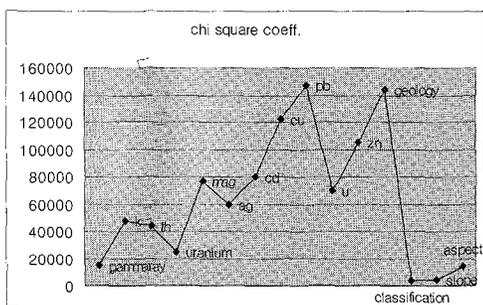
<Table 3> Summary of statistical analysis

(a) chi square (χ^2), Cramer(C), contingency(V), entropy(U) coefficients

Input Layers		χ^2	C	V	U
Airborne geophysical data sets	gammaray	14903.72	0.105	0.179	0.0159
	K	47822.95	0.188	0.309	0.0557
	Th	44153.16	0.180	0.298	0.0634
	U	25285.42	0.137	0.230	0.0243
	Residual magnetic intensity	76838.59	0.238	0.381	0.066
Geochemical data sets	Ag	59790.51	0.210	0.341	0.081
	Cd	80075.26	0.243	0.388	0.070
	Cu	122641.1	0.300	0.462	0.151
	Pb	147770.7	0.330	0.496	0.152
	U	69416.89	0.226	0.365	0.096
	Zn	105290.0	0.279	0.434	0.135
Geology		144378.9	0.326	0.492	0.145
Landsat TM classification image		4160.51	0.055	0.096	0.006
DEM	Slope	4445.05	0.057	0.099	0.006
	Aspect	14159.45	0.102	0.174	0.018

(b) Yule coefficient(α), odds ratio(O_R)

Input layers		Main class	α	O_R
Airborne geophysical data sets	gammaray	7	0.350	4.313
	K	2	0.260	2.903
	Th	5	0.393	5.269
	U	6	0.399	5.414
	Residual magnetic intensity	7	0.607	16.739
Geochemical data sets	Ag	2	0.822	105.295
	Cd	5	0.572	13.500
	Cu	3	0.335	4.036
	Pb	6	0.618	17.972
	U	2	0.488	8.460
Zn	4	0.551	11.938	
Geology		granite	0.518	9.909
Landsat TM classification image		alluvium & barren land	0.158	1.894
DEM	Slope	1	0.097	1.474
	Aspect	2	0.117	1.599



<Figure 4> Plot of statistical analysis: chi square(χ^2), Cramer(C), contingency(V), entropy(U) coefficients.

통계처리 결과를 보게 되면 (Table 3(a), Figure 4), 모든 통계계수들의 전체적인 양상은 일치하고 있으며, 지표측정자료인 지화학자료와 지질도의 영향이 가장 크게 나타나고 있다. 지화학자료의 경우 Cu, Pb, Zn이, 항공지구물리탐사자료의 경우 잔여자력이상도, 지질도가 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 연구지역에 존재하는 광상들의 주성분이 Fe, Pb, Zn이라는 사실과 기존의 광상이 특정 암종에 위치하기 때문에 통합시 이 영향이 반영되었음을 의미한다. 또한, 분류영상 이미지, 사면경사도, 사면방위도와 같은 지형자료는 통합결과에 상대적으로 영향을 크게 미치지 못함을 알 수 있다. 광물자원탐사가 목적인 경우, 광물자원 분포의 지형과 관련된 자료들보다는 광화작용 및 지질과 관련된 다른 주제도가 더 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 원격탐사 영상의 경우, 분류영상 이미지보다는 지질학적으로 의미있는 선구조 등의 주제도가 이용되어야 할 것이다. 실제로 공간통합을 수행할 경우, 통합목적에 맞는 주제도들을 선택하여 사용하지만, 본 연구는 입력주제도의 영향 및 오차전파 파악에 주목적이 있으므로, 사용 가능한 많은 주제도를 사용하여 결과를 분석한 것이다.

통합결과는 지형자료와 항공방사능탐사자료보다는 지질자료, 지표 지화학자료 및 잔여자력이상도에 크게 영향을 받고 있다. 이러한 결과는 기존의 광상과 직접적으로 관련이 있는 지질자료와 지표 조사자료, 연구지역의 광역적으로 우세하게 나타나는 원소인 Fe와 관련된 잔여자력이상도에 기인한 것이다. 따라서, 만약 지화학자료에 이상점(outlier)이 존재한다면, 이상점은 통합결과에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 지화학자료 중, Ag와 U는 다른 지화학 원소들보다는 상대적으로 작은 영향을 미치지만, 항공방사능탐사자료보다는 큰 영향을 미치고 있다. 퇴적암보다는 선캄브리아기 변성퇴적암에서 더 큰 반응을 보이는 Ag와 U의 영향은 자료에 존재할지 모르는 이상점에 의해 유발된 비대각 원소의 영향에 기인한 결과일 것으로 생각된다.

울 계수(α), 교차비(O_R)는 각 주제도와 통합결과를 이진화시켜서 계산을 하였다. 각 주제도별로 광물부존가능성 95% 이상인 지역에 가장 큰 영향을 준 각 주제도별 클래스는 <Table 3(b)>에 나타나 있다. 표의 계수들은 통합결과에 대한 각 주제도별로 가장 큰 영향을 준 클래스의 관계정도를 나타낸다고 볼 수 있다.

일반적으로 O_R 값이 1보다 크면, 강한 포함관계가 있고 0과 1사이의 값이면 음의 포함관계가 있음을 나타낸다. α 계수는 상관계수와 유사하게 -1과 1사이의 값을 나타낸다.

잔여자력이상도, Ag, Pb 및 Zn의 값이 상대적으로 큼을 확인할 수 있다. 항공지구물리탐사자료는 K를 제외하고는, 대부분 높은 클래스 값들이 가장 큰 영향을 미치고 있다. 광물부존가능성이 높은 부분이 지질학적으로는 화강암과 밀접한 관계를 가지고 있음을 고려하여 보면, 이러한 사실을 반영한다고 볼 수 있다. 즉 항공방사능자료의 높은 클래스는 광물부존가능성이 높게 나타나는 화강암지역과 평안계와 관련된 함탄층에 기인한 결과이다.

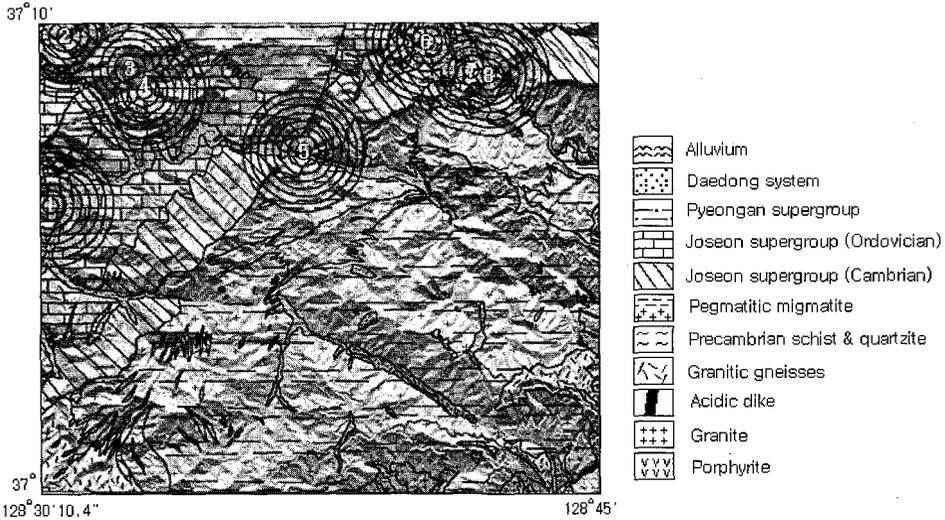
또한 잔여자력이상도의 높은 클래스는 직접적으로 광상의 Fe성분과의 관련을 나타낸다. 화강암지역에서 K는 높은 반응을 나타내지만, K의 낮은 클래스 값이 크게 영향을 미친다는 결과는 이진화를 시키는 과정에서 비대각 원소의 커다란 편차가 영향을 미친 결과이며, 또한 연구지역의 화강암의 정상석 함유 정도와도 관련이 있다.

지화학자료 중 연구지역의 광상의 원소와 관련된 Pb는 가장 높은 값을 나타내는 클래스가 가장 크게 영향을 미치고 있다. 또 다른 연구지역의 광상의 원소인 Zn은 가장 높은 값을 나타내는 클래스가 아닌 클래스 4가 가장 큰 영향을 미치고 있다. Ag, U는 다른 지화학자료와는 반대의 경향, 즉 작은 값들이 큰 영향을 미치고 있다. 이 결과는 다른 지화학 원소들과는 다르게 고생대, 중생대 퇴적물보다는 선캄브리아 지층에서 더 큰 값들을 보이는 것을 반영한다. 특별히 Ag 성분의 경우, 다른 값들보다는 극단적으로 아주 큰 값을 보이고 있는데, 이것은 이진화시키는 과정에서 두 주제도의 여집합에 해당하는 성분의 영향이 아주 크게 나타나는 것을 의미한다. 즉 비대각원소에 포함되어 있을 수 있는 이상점의 영향이 크게 반영되었음을 의미한다. 또 Cu성분의 경우, 값이 다소 작게 나타나는데, 이는 통합결과에 미치는 전반적인 패턴을 보이는 계수들의 경향과는 다소 다른 양상을 보인다. 이는 비대각 원소의 값들에 존재할 수 있는 이상점의 영향이 크게 반영되었음을 의미한다.

이상의 분석결과를 종합해 보면 다음과 같다. 전반적으로 지질도와 기존 광상의 주성분에 해당하는 Pb, Zn, 잔여자력이상도가 통합결과에 가장 크게 영향을 미치고 있으며, 지화학자료가 항공지구물리탐사자료보다는 크게 영향을 미치며, 지형자료는 큰 영향을 미치지 못하고 있다. 광물부존가능성이 높은 지역에는 전반적인 양상과 비슷하게 화강암, Pb, Zn, 잔여자력이상도의 높은 값들이 큰 영향을 미치고 있다. 항공지구물리자료 중에서 K, 지화학자료 중에서 Ag, Cu등은 자료에 이상점이 포함되어 있을 가능성이 높은 주제도들이며, 탐색적 자료 분석 관점에서 이들에 대한 보다 정량적인 분석이 필요할 것이다.

3) 다중 버퍼 영역 분석

기존의 알려진 광상을 중심으로 한 입력 주제도들의 공간적 변화 패턴을 알아보기 위해서 다중버퍼영역 분석을 수행하였다. 공간통합에 사용된 기존의 알려진 광상의 위치를 다중 버퍼영역분석의 점원으로 사용하였다. 점원을 중심으로 하여 300미터 등간격으로 2400미터까지 총 8단계의 원형 버퍼 영역을 설정하였다.



<Figure 5> Buffering zones on the DEM-based surface relief image draped over the reclassified geological map.

<Figure 6>은 광상 1, 3, 5, 6의 결과를 나타낸 것이다. 광상 1과 3은 Fe가 주성분이며, 광상 5는 견운모가 주성분이며, 광상 6은 연·아연 광상이다. 각 광상별로 버퍼링 거리에 따라서 나타나는 대표 클래스들은 대체로 사면경사도와 사면방위도와 같은 지형자료는 다른 자료들에 비해서 큰 변화양상을 보이고 있다.

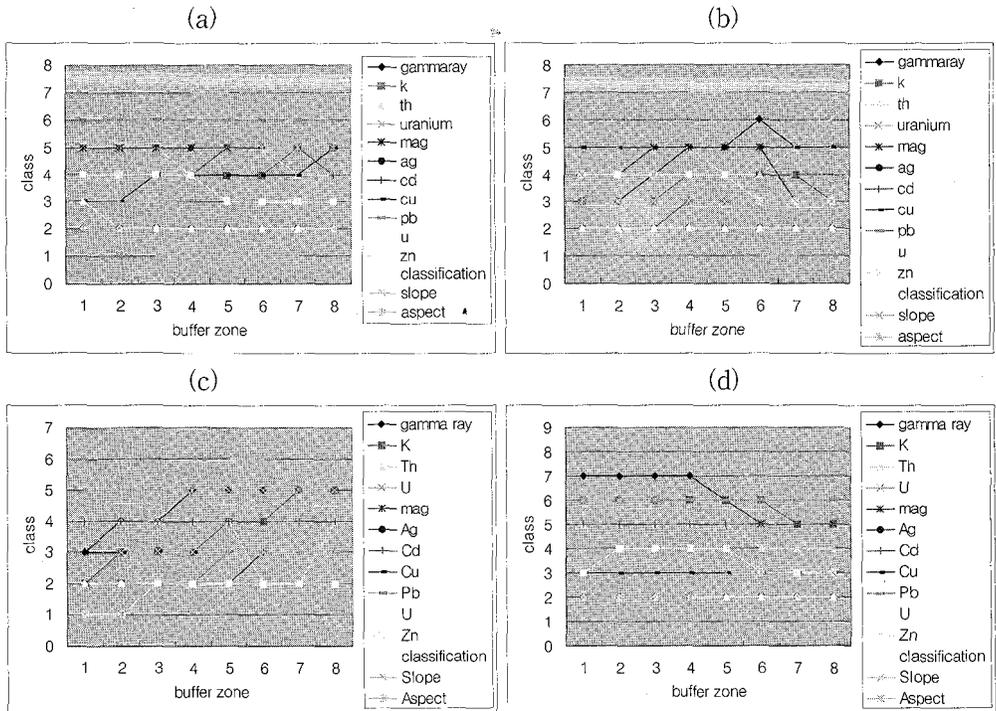
광상 1 (오양)의 경우, 항공지구물리탐사의 버퍼링 거리에 따라서 같은 클래스 값을 보이며, 변화양상이 나타나지 않고 있다. 반면, 지화학자료는 상대적인 변화 양상을 보이고 있다. Cd의 경우 클래스 4에서 5로, Cu의 경우 클래스 3에서 5로, Zn의 경우 클래스 3에서 4로 변화를 보이고 있다. 이와는 대조적으로 클래스 2의 Ag, 클래스 2의 U, 클래스 6의 Pb는 변화하지 않고 있다.

광상 3 (가리)의 경우, 지질상으로는 평안계가 대표 클래스로 나타나고 있다. 항공지구물리탐사자료가 지화학자료보다 상대적으로 더 큰 공간적 변화양상을 보이고 있다. 변화양상을 버퍼링영역의 지질과 관련지어 다음과 같이 설명할 수 있을 것이다. 방사능탐사자료는 퇴적암중에서는 대체로 함탄층, 흑색셰일 등에서 반응이 크게 나타난다. 버퍼링영역에서는 이러한 함탄층과 흑색 셰일을 포함하는 평안계가 대표 클래스로 나타나지만, 다른 지질 지층이 일부 존재하기 때문에, 이 영향으로 변화의 양상이 크게 나타난다고 볼 수 있다.

광상 5 (녹전)의 경우, 항공방사능자료의 공간적 변화 폭이 자연자력이상도 및 지화학

자료들보다 크게 나타나고 있다. γ ray는 클래스 3에서 5로, K는 클래스 2에서 5로 거리에 따라 증가하는 양상을 보인다. 잔여자력이상도, Pb 및 Zn은 각각 클래스 2에서 3, 클래스 2에서 3, 클래스 1에서 2로 증가하는 양상을 보인다. 이들을 제외한 나머지 자료들은 거리에 따라 일정한 값을 보인다.

광상 6 (이목)의 경우, 버퍼링 구역은 화강암체에서 조선계 캄브리아기 지층에 걸쳐 나타난다. 항공지구물리탐사자료들은 모두 다른 광상과는 다르게 비교적 높은 값을 보이고 있다. 이러한 사실은 버퍼링구역이 이목화강암체에 위치한 결과이다. 대체로 광상을 중심으로 높은 값에서 낮은 값으로 감소하는 양상을 보인다. 지화학자료는 대부분 일정한 값들을 보이고 있으며, 특히 광상 6의 주성분인 Pb는 가장 높은 값을 나타내는 클래스 6으로 거리에 따라 일정하게 나타나고 있다. 반면, 광상의 또 다른 주성분인 Zn은 클래스 3과 4의 값을 보이고 있다. 광상 6이 위치한 이목~유전 지역은 연·아연을 주로 하는 이목광산, 이목광산의 동쪽에 위치하는 철을 주로 하는 유전, 도화동광산이 위치한 지역이다. CF 통합결과로부터 이 지역은 위의 광상들로부터 복합황화물 광상 이상대가 나타남을 확인하였다. 이러한 결과는 잔여자력이상도와 Pb의 공간적 양상과도 일치한다.



<Figure 6> Spatially clumped results by cell-counting with respect to mines of 1(a), 3(b), 5(c) and 6(d).

<Table 3>에 제시된 통합결과에 대한 정량적 분석결과와 총 8개의 광산을 중심으로 다중버퍼영역 분석을 실시한 결과들을 비교하여 보면, 통합결과에 우세하게 영향을 미치는 입력 주제도의 주요 클래스와 다중버퍼영역의 대표 클래스와는 완전히 일치하지는 않는다. 지화학자료 중 Ag, Cd, U 및 Zn들은 주요 클래스가 다중버퍼영역이 대표 클래스와 일치하지만, 나머지 자료들은 직접적으로 일치하고 있지는 않다. 이러한 결과는 다음과 같은 사실에 기인할 수 있다. 즉 GIS에서 점으로 모델링된 광상영역이 넓은 지역에 걸친 공간적 양상을 보이지 않을 수 있으며, 모든 주제도의 공간 해상력(30m)이 자세한 광상 모델링에는 적합하지 않을 수 있다는 것이다.

실제로 이 연구에서 분석된 원형으로 나타나는 공간 양상은 전통적인 지질조사 결과만으로는 완전히 설명되지 않을 수도 있다. 하지만, 이러한 분석결과는 GIS의 광물부존지역 예측주제도 작성에의 응용이라는 관점에서 공간 통합결과에 대한 부가적인 보조정보로 간주할 수 있다. 또한, GIS 환경이 아닌 전통적인 해석에 대해서 이 연구의 GIS적 접근방법은 광물자원 탐사를 위한 광상 모델에 대한 기반 및 주어진 소스의 특징에 대한 일반화된 모델의 묘사 등에 대해서 의미있는 정보를 제공하는 장점이 있다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 토의

이 연구에서는 다양한 지구과학자료들을 GIS를 이용하여 데이터베이스화 한 뒤, 광물자원탐사를 목적으로 공간통합을 수행하였으며, 후처리 방법으로 통합정보에 대한 통계량분석, 다중버퍼영역 분석을 수행하였다.

수행 결과들은 GIS 관점에서 통합결과 해석에 중요한 결정정보자료로 활용될 수 있으며, 복잡한 다중정보를 다루는 공간통합 문제에서 입력정보 검증에 위한 일반적인 처리과정으로 발전할 수 있을 것으로 생각된다. 통합결과에 대한 후처리과정으로 적용한 통계분할표에 기반을 둔 통계처리 결과들은 공간통합 결과에 대한 기존의 일반적인 해석방법으로는 밝혀 낼 수 없는 통합결과에 대한 유용한 정보를 제공한다. 즉, 통합결과로부터 얻어지는 가능성 분포 이외에 통합에 사용되는 입력자료들 사이의 관계, 통합결과와 입력자료 사이의 관계들은 정량적으로 제공한다고 볼 수 있다. 이러한 방법론에 기초하여 얻어진 통계, 정량적 분석결과는 통합결과의 시각적 해석에만 주안점을 두어서 간과할 수 있는 입력주제도 사이의 관계, 입력주제도와 통합결과 사이의 관계 및 공간적 패턴에 의한 입력자료의 상태수준 규명에 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 현재 수치화된 자료들이나 GIS 환경에 이용 가능한 지구과학자료들의 획득 및 구축 시기가 각기 다른 상황에서, 통합결과에 크게 영향을 미치는 입력자료들의 상태수준 규명을 위한 방법론의 개발은 중요

하며 이 연구의 방법론은 활용가능성이 크다 하겠다.

GIS에서 제공하는 분석기법의 적용은 공간통합에 의한 주제도작성 문제와 연계되어 제한적인 공간영역 내에서 복합적인 입력자료들에 대한 상호영향을 추론하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 실제 자료들에 대해서 다중버퍼영역 분석 기법을 적용하는데 있어서는 다음의 측면들이 고려되어야 할 것이다. 버퍼링 구역 안에서 각 주제도들의 대표값 선정의 문제, 격자형 기반자료 처리의 한계에 의한 불확실성 및 정확도 수준의 문제, 그리고 사용된 자료들 사이의 내부적으로 복잡하나 상호 관련성에 따른 해석상 발생할 수 있는 오류 등에 대해서 좀 더 고려를 해야 할 것이다. 그러나, 이 방법론은 공간통합에 의한 주제도 작성 문제와 연계되어 제한적인 공간영역 내에서 복합적인 입력자료들에 대한 상호영향을 추론하는데 활용될 수 있다.

앞으로 지구과학분야에 GIS를 적용하기 위해서는 크게 자료의 구축과 분석에 주안점을 두어야 할 것이다. GIS의 구축은 다양한 지구과학 정보를 다루는 지구과학 분야의 일반적인 자료 처리 및 분석 과정과 유사하다. 따라서 지구과학 분야에서 GIS를 채택하여 자료를 처리하는 경우 기존의 수작업에 의존하거나 별도의 프로그램으로 수행하던 여러 단계를 통합적인 전산화 시스템을 통하여 자동화된 과정으로 처리할 수 있게 된다. 그러나, 다양한 목적의 지구과학자료처리와 사용자 요구사항에 부합되도록 GIS를 이용한 종합적이고 체계적인 정보관리시스템을 운영하기 위해서는 우선 응용목적에서 지구과학자료가 가지고 있는 기본 특성을 파악하는 작업이 선행되어야 할 것이다. 즉, 지구과학자료가 다른 GIS응용분야에서 이용되는 자료와 어떠한 차이가 있는지를 고려하여 지구과학자료가 가지고 있는 특수성을 최대한 살릴 수 있는 방향으로 입력, 자료관리, 분석 및 표현이 가능한 정보체계로 구축 및 적용이 되어야 할 것이다. 최근 GIS 기술개발이 촉진되어 왔으나 아직 대부분의 상용 GIS 도구는 공간분석 기능보다는 주로 자료의 취득, 가공, 저장, 가시화 기능 중심으로 구성되어 있는 실정이다. 또한 GIS의 공간분석기능을 복잡하고 다양한 지구과학자료에 그대로 적용하기에는 다소 문제점들이 존재한다. 따라서, GIS환경 내에서 활용 가능하면서 지구과학자료의 분석에 적용 가능한 분석기법 및 분석 도구의 개발을 위한 연구가 진행되어야 할 것이다. 즉 입력자료의 오류분석을 위해 많이 연구되고 있는 지구통계학의 여러 기법들과 통합방법들, 지구과학분야에서 개별적으로 발전되어온 분석기법들의 GIS로의 연계를 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

앞으로 컴퓨터 주변 환경의 급속한 발전은 GIS 기술 개발을 촉진시켜 GIS가 종합적인 지구과학정보를 다루는 중요한 방법론으로 자리잡을 수 있을 것으로 예상된다. 즉 비슷한 작업을 되풀이하던 과거의 비효율적 일들이나, 자료가 너무 방대하고 복잡하여 불가능하였던 일들이 GIS를 통하여 좀더 신속하고 효과적으로 수행 될 수 있을 것이며, 자료들이 점차 누적되어 계속적인 관리, 분석이 이루어진다면 지구과학 분야에서 GIS의 효과는 크

게 증폭될 것이다.

참 고 문 헌

- 국립지질조사소 (1966) 한국지질도 옥동 도폭 (1:50,000).
- 강필중, 조민조, 이봉주 (1991) 한반도 linearment와 circular/arc structure 연구, 대한원격 탐사학회지, 7(2): 95~112.
- 김광은, 이태섭 (1994) 수질오염 감시에의 활용을 위한 항공원격탐사의 적용 연구, 한국 GIS 학회지, 2(1): 65~74.
- 김윤중, 김원영, 유일현 (1993) 지질재해 분석을 위한 GIS 응용연구, 한국GIS학회지, 1(1): 89~94.
- 구호본, 구재동 (1995) 산사태 데이터 베이스 시스템의 GIS 이용, 한국GIS학회지, 3(1): 81~90.
- 박영수, 구자학, 서상용, 최종호 (1988) 항공방사능 및 자력도 : 정선, 삼척, 예미, 장성 (1:50,000), 한국동력자원연구소.
- 서정률 (1985) 옥동도폭내의 광화작용에 대한 지질·광상학적 연구, 금속광상 조사연구 85~15, 한국동력자원연구소, 75~121.
- 이기원, 지광훈 (1995) 격자형 지질정보의 자료유도 통합을 위한 이론적 배경, 한국지형공간 정보학회지, 3(1): 115~121.
- 이진수, 홍영국, 김성재, 윤현수, 진만식, 이취영 (1984) 한국 지화학도: 옥동도폭 (1:50,000), 한국동력자원연구소.
- 유복모, 조기성 (1993) 온배수 확산분석을 위한 Remote Sensing 활용에 관한 연구, 한국 지형공간정보학회지, 1(2): 185~194.
- 조민조 외 (1991) 원격탐사기술 실용화 연구(III), 한국자원연구소, KR-91(T)-23.
- 지광훈, 서재영, 한종규 (1997) 원격탐사와 spatial geoscience data의 정량적 평가에 의한 자원탐사 기법 개발 연구 (II), 과학기술처, KR-97(T)-1.
- 최현일 외 (1996) 산업입지 선정을 위한 지질자료의 정량적 분석(II), 과학기술처, KR-96(T)-13.
- Aronoff, S. (1989) Geographic Information Systems : a management perspective, WDL Publicatoin, Ottawa.
- Bonham-Carter, G. F. (1994) Geographic information systems for geoscientists: Modeling with GIS, Pergamon.

- Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P. and Wright, D. F. (1989) Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential ; in Agterberg, F. P. and Bonham-Carter, G. F.,(ed), Statistical applications in the earth sciences, Geological survey of canada Paper 89~9, 171~183.
- Burrough, P. A. and McDonnell, R. A. (1998) Principles of geographical information systems, Oxford University Press.
- Chou, Y.-H. (1996) Exploring spatial analysis in geographic information systems, Onward Press.
- Chung, F. C. and Fabbri A. G. (1993) The representation of geoscience information for data integration, *Nonrenewable Resources*, 2(2): 122~139.
- Chung, F. C. and Fabbri A. G. (1996) Prediction models for landslide hazard using fuzzy set approach, Manuscript prepared as a part of an invited lecture in the 1st International Aerospace Technomart.
- Heckerman, D. (1986) Probabilistic interpretations for MYCIN's certainty factors, in Kanal, L.N., and Lemmer, J.F., eds., Uncertainty in artificial intelligence: New York, Elsevier, 167~196.
- Lee, K., Kwon, B.-D. and Chi, K.-H. (1995) Multivariate analysis of geochemical data for mineral potential mapping in the taebaek area, *Jour. Geol. Soc. Korea*, 31(6): 567~575.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1994) Remote sensing and image interpretation, John Wiley & sons, Inc.
- Moon, W. M. (1990) Integration of geophysical and geological data using evidential belief function, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 28: 711~720.
- Rostirolla, S. P., Soares, P. C. and Chang, H. K. (1998) Bayesian and multivariate methods applied to favorability quantification in reconvavo basin and ribeira belt, brazil, *Nonrenewable Resources*, 7(1): 7~23.
- Wright, D. F., and Bonham-Carter, G. F. (1996) VHMS favorability mapping with GIS-based integration models, Chiisel lake - Anderson lake area, Geological survey of canada, Bulletin 426 : 339~376, 387~401.

<Abstract>

An Application of GIS for Analyzing Earth Science Data

Park, No-Wook* · Kwon, Byung-Doo**

GIS has been regarded as one of important tools or methodologies for various earth science applications. Recently, spatial data integration schemes using multiple earth science data sets are newly developed and utilized. For this task, research-based approaches for statistical assessments between integrated layers and input layers are not fully considered yet. Moreover, these kinds of approaches are somewhat insufficient quantitative assessment of integrated layers towards known targets and the GIS analysis scheme is rarely extended to scientific approaches.

Related to this point, this study primarily performed spatial data integration using multiple earth science data sets by a known integration scheme (CF estimation). In addition, statistical information extraction with respect to relationships among used data sets and integrated layers was carried out. Also, a simple approach of multi-buffer zone analysis, related to the GIS analytical aspect, was addressed and applied.

This kind of approach provides a decision-making information in the viewpoint of GIS and also shows exploratory data analysis in conjunction with GIS and earth science application. In addition, analytical methodologies associated with GIS are thought to be helpful to analyze earth science data.

* Graduate Student, Department of Science Education (Earth Science), College of Education, Seoul National University

** Professor, Department of Earth Science Education, College of Education, Seoul National University