

## 원격탐사와 지구정보시스템을 이용한 충주지역의 사면안정분석

신현준\* · 이영훈\* · 민경덕\* · 원중선\* · 김윤종\*\*

### Analysis of Slope Stability by Using Remote Sensing and GIS Around Chungju Area

Hyunjun Shin\*, Younghoon Lee\*, Kyungduck Min\*, Joongsun Won\* and Younjong Kim\*\*

**ABSTRACT** : Slope stability analysis was conducted using remote sensing and Geoscientific Information System (GIS) as a part of natural hazard assessment around Chungju area. Landsat TM band 5 and 7 which contain more information about geological structure and geography are chosen and processed to analyse regional geological structure. Through image processing technique such as PCA, HFF, edge detection and enhancement, regional lineament can be mapped and identified. The lineament density map is constructed based on summed length of lineaments per unit area and the study area can be divided into 7 structural domains. Various factors of slope stability analysis such as geology, slope aspect, degree of slope, landcover, water shed as well as characterized structural domain are constructed as a database of GIS. Rating and weighting of each factor for slope stability analysis is decided by considering environmental geological characteristics of study area. Spatial analysis of regional slope stability is examined through overlaying technique of the GIS. The result of areal distribution of slope stability shows that the most unstable area is all over Jaegae-ni, Hyangsan-ni and Mt. Daedun.

#### 서 론

대부분의 사면활동은 지각운동으로 인한 파쇄대가 많이 분포하는 지형, 지질조건하에서 집중된 호우나 폭설 등의 요인에 의하여 발생하게 된다. 이러한 요인들의 상호관계에 의한 사면의 붕괴는 다양한 양상으로 나타나며 특징적인 징후 없이 발생하므로 소규모로도 큰 재산상 또는 인명상의 피해를 초래한다. 따라서 이러한 산사태로부터 오는 피해를 예방 또는 극소화하기 위하여는 산지 사면상의 붕괴 위험성의 유무 또는 위험성의 정도를 효과적으로 판정할 수 있는 방법이 규명되어야 한다.

불안정 사면 또는 산사태를 대상으로한 기존의 연구는 과거에 기록된 산사태 자료를 바탕으로 산사태를 초래하는 요인들을 선정하고 이들이 산사태 발생에 기여하는 정

도를 경험적 또는 통계적으로 분석, 특정 지역에 대한 산사태 발생 가능성을 평가하는 것이 주를 이루었다. 그러나 최근에는 산사태 발생지역에서 나타내는 암상, 구조, 토지 이용, 지형등의 환경지질조건들의 조합에 따른 사면의 안정도를 공간적으로 평가하기 위해 GIS (Geoscientific Information System)를 도입한 연구가 활발하다.

원격탐사자료의 영상처리기법을 통해 얻어낸 선구조는 지각의 구조적 약대 (zone of weakness)를 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 추출된 선구조의 공간적인 분포의 분석을 통해 불안정사면 평가의 1차적인 자료로서 활용하였다.

또한 GIS를 이용하여 사면경사, 사면 방위, 암질, 식생, 토양 등의 사면불안정 요인을 특성화하고 이에 대한 체계적인 데이터베이스를 구축하여 사면안정과의 상관관계를 규명하고 광역적인 사면안정평가를 위한 지도모형연구 (cartographic simulation)를 실시하였다. 본 연구의 대상 지역으로는 다양한 암상과 복잡한 지질구조를 나타내는 육천대 북동부에 위치한 충북 충주의 충주시를 포함한 충주호 남서부일대를 선정하였다.

\* 연세대학교 지구시스템과학과 (Dept. of Earth System Sciences, Yonsei Univ., 134 Shinchondong, Seoul 120-749, Korea)

\*\* 서울시정개발연구원 (Seoul Development Institute, 171 Samsungdong, Seoul, Korea)

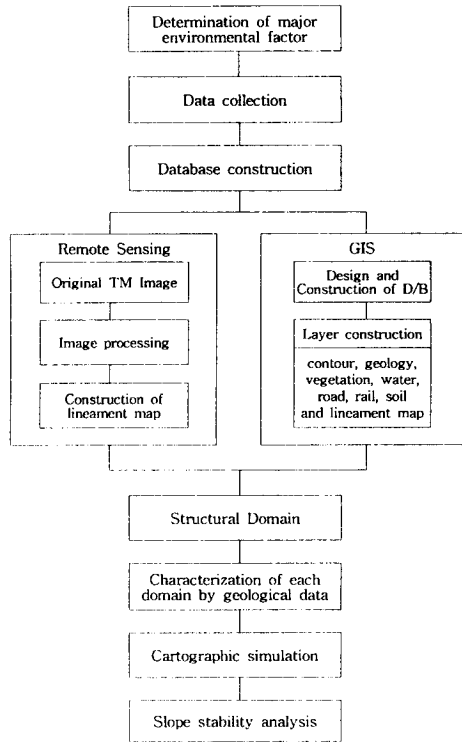


Fig. 1. Flow chart of slope stability analysis using GIS and remote sensing.

전체적인 연구의 흐름내용은 Fig. 1과 같다.

**산사태 발생요인의 선정 및 등급구분**

산사태는 자연사면 또는 변형사면상의 암석이나 풍화 생성물이 중력의 직접적인 작용에 의하여 낮은 곳으로 이동하는 현상이다. 산사태에 영향을 주는 주요인은 강우, 지형, 지질, 토질, 임상 등의 자연적 요인과 인간행위에 의한 인위적 요인 등 다양하다 (Fig. 2). 더우기 이들 중 어느 특정인자에 의해 산사태가 발생하는 것이 아니고 각 인자들이 상호관련하여 발생하기 때문에 산사태 발생을 예측한다는 것은 용이한 일이 아니다 (Bromhead, 1990). 따라서 산사태에 대한 재해예방과 대책을 수립하여 피해를 최소화 하기 위해서는 우선 산사태 발생요인의 적절한 선정과 이들의 상호작용에 대한 이해가 필수적이다.

GIS를 이용한 지도 모형 연구는 GIS의 기본적인 기능을 이용하여 목적에 알맞는 논리적인 단계에 따라 복잡한 공간적인 문제를 해결하기 위한 것으로 다양한 공간자료와 속성자료를 함께 고려하여야 하는 산사태 분석에는 효

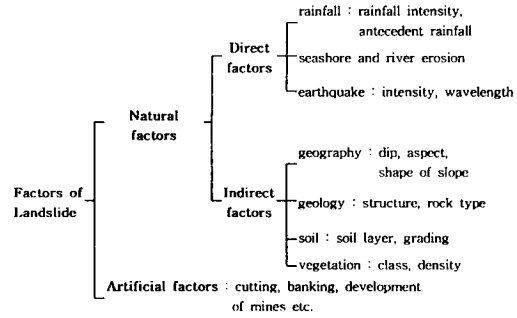


Fig. 2. Factors of Landslide (Bromhead, 1992).

율적으로 적용가능하다 (Gupta, R.P, 1990). 본 연구에서는 광역적인 사면안정평가를 위해 우선 연구지역의 인공 위성 영상자료로부터 광역적인 선구조를 추출, 선밀도 분포도를 작성하여 GIS의 자료층으로 구축하였다. 이로부터 사면안정분석에서 선구조의 공간적 밀도 분포를 고려하였으며 또한 앞에서 설명된 여러 요인 중에서 지도모형 연구에 적절한 요인으로서 사면 방위, 사면 경사의 지형적 요인과 지질, 식생 및 토질이 추가되었다. 이들 요인 중 사면 방위, 사면 경사의 지형적 요인은 연구지역에서 나타나는 선구조의 방향성과 이들이 갖는 경사도와의 관계를 함께 고려하였다. 또한 지질구조는 광역적 구조운동에 따른 파쇄대의 형성과 이를 따른 지하수의 흐름을 조절하여 산사태 발생에 영향을 미칠 뿐만 아니라 암석자체의 공학적 특성에 의해서도 사면의 안정에 영향을 준다. 식생은 강우에 의한 토양 침식을 막는 지표의 피복으로서, 또한 뿌리에 의한 전단강도의 감소등으로 산사태에 영향을 미친다. 토양의 공학적 특성은 구성물질, 풍화도, 모암의 변성정도와 함수비에 따라 크게 좌우되므로 기반암과의 경계에서 사태발생률이 높다. 본 연구에서는 상기한 요인들이 산사태를 조절하는 대표적인 요인으로서 선정하였으며 그 밖의 요인들 (강우, 지진, 인간의 활동, 지하수위 등)은 주로 산사태의 발생시기와 관계되거나 자료의 불충분으로 GIS를 통한 공간적인 분석이 불가능하므로 본 연구에서는 제외하였다.

**선정요인의 등급구분**

본 연구에서는 기존의 경험적 또는 통계적 사면안정 평가법에서 사면의 경사, 사면의 방위, 불연속면의 유무, 암상 등에 대해 분리적으로 등급 및 가중치를 고려하는 것과는 달리 각각의 요소들의 상호관계에 의한 1차적인 사면안정 평가의 기준으로서 Hoek, Bray (1979)가 제시하는 방법을 이용하였다. 이들은 주로 평면파괴와 쉐기형

파괴 (plane and wedge failure)에 관한 충분조건을 설정하였다. 즉, 압괴가 어느 절리면을 따라서 분리되려면 평면파괴의 경우

① 절리의 주향이 사면의 주향과  $\pm 20^\circ$ 내외가 되어야 한다.

② 절리와 사면의 경사방향이 일치하여야 하며 절리의 경사가 사면의 경사보다 작아야 한다.

③ 절리의 경사가 절리면의 마찰각보다 커야 한다.

썩기형 파괴는 상기의 평면 파괴와 같으며, 다만 절리면의 주향, 경사 대신 두 절리면이 만나서 이루는 선의 주향과 경사를 대입한다. 본 연구에서 사면의 경사와 방향은 지형도로부터 얻어진 등고 자료를 GIS의 TIN (Triangular Irregular Network) 형태로 변환, 처리하여 구하여 졌으며 절리의 주향과 경사는 영상처리기법을 통한 선구조의 분석과 야외조사로부터 구하였다. 또한 암상에 따른 마찰각은 한국 원자력 연구소 (1990)의 자료를 이용하였다.

상기조건을 만족하는 지역은 Fig. 3과 같은 순서에 의거, GIS 중첩기법을 이용하여 추출, 등급을 부여하였으며 사면안정분석의 자료층으로 활용하였다.

본 연구지역에서 나타나는 암질에 따른 불안정등급은 국내 지질분포에 따른 산사태 발생비 (건설부, 1989)를 참조하여 Table 1의 (a)와 같이 등급을 부여하였다 (Table 1, a). 식생은 밀도가 낮을수록 높은 불안정 등급을 부여하였으며, 개발이 이루어진 거주지와 수계는 상대적으로 산사태 발생확률이 낮으므로 등급을 낮게 주었다 (Table 1, b). 또한 인공위성영상으로부터 추출된 선구조의 공간적 분포에 따라 선구조의 밀도가 높은 지역을 잠재적인 사면불안정지역으로 판단하여 높은 등급을 부여하였다 (Table 1, c). 토질은 정밀토양도 (농업진흥청, 1978)의 분류를 공학적 목적으로 널리 쓰이는 통일분류법 (Unified Soil Classification System)에 맞추어 재분류한 후 각각의 공학적 특성에 따른 산사태 기여도에 따라 등급을 부여하였다 (Table 1, d).

선정된 각각의 요소들은 GIS를 이용한 사면안정분석

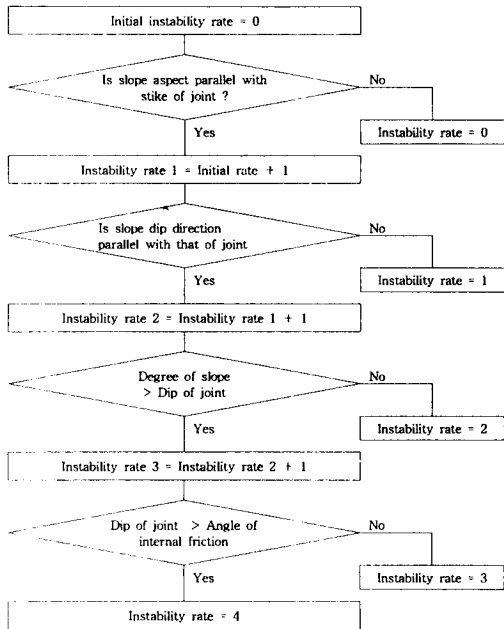


Fig. 3. Rating of unstable slope by Hoek and Bray's method (1979).

Table 1. Rating of (a) lithology, (b) vegetation, (c) density of lineament (d) soil.

Instability rating	Lithology	Instability rating	Vegetation
1	limestone, dolomite	1	dense forest, residential area
2	biotite granite, granite porphyry, quartzite	2	light forest
3	gneiss	3	rice field
4	chlorite schist, phylitic rock	4	grass
		5	barren land
(a)		(b)	
Instability rating	Density of lineament (m/250,000 m <sup>2</sup> )	Instability rating	Soil
1	0 ~ 300	1	GP
2	300 ~ 600	2	SW
3	600 ~ 900	3	SP
4	900 ~ 1200	4	SM
5	1200 ~ 1500	5	ML
6	1500 ~ 1800		
7	1800 ~		
(c)		(d)	

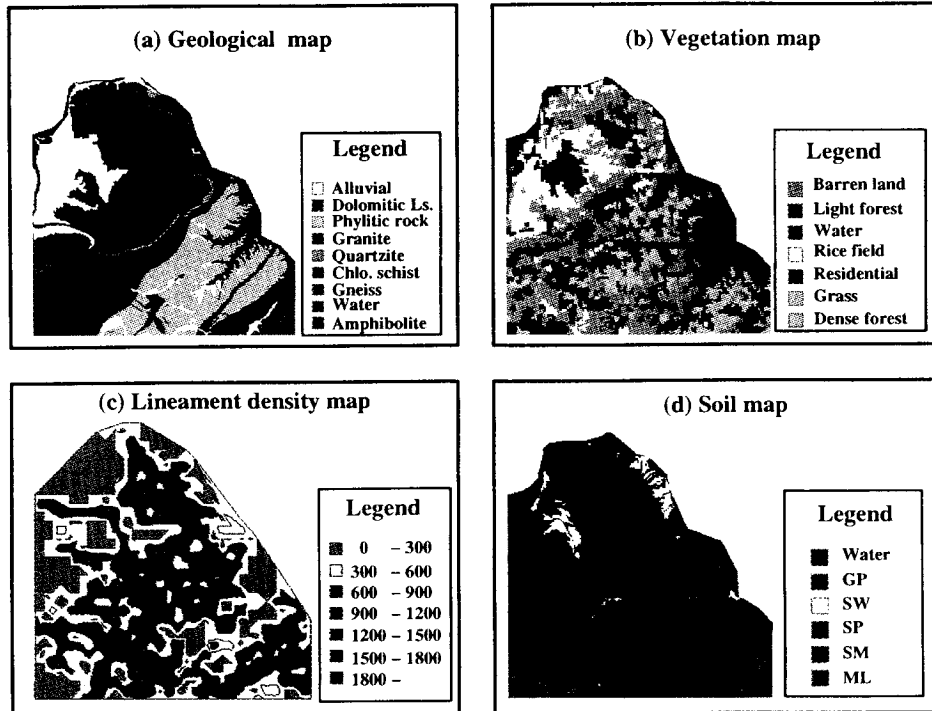


Fig. 4. Selected factors for slope stability analysis.

을 위해 도면으로 작성되었으며 그 속성들이 입력되었다 (Fig. 4).

### 선구조 분석

본 연구에서는 기존의 국지적인 사면대상의 산사태 분석과는 달리 인공위성자료의 영상처리기법을 통해 선구조를 추출하여 광역적 단열시스템을 추적하였다. 영상처리 기법을 통해 추출된 선구조는 직선 또는 완만한 곡선의 배열로 나타나는 지표의 단순 또는 복합적인 선형구조이며 이러한 선구조는 지각의 약대를 나타낸다 (O'Leary *et al.*, 1976). 따라서 이러한 선형의 지형요소는 대부분 단층 또는 균열대를 따른 구조적 변위 또는 차별침식으로부터 기인하는 것이다. 인공위성 영상에서 선구조는 다양한 영상처리기법을 통해 추출가능하며 지질학적 해석방법 (단층, 습곡, 암상, 광상의 인식, 지하수 추적 등)으로서 많은 이점을 지녀 이미 국내외적으로 원격탐사자료를 이용한 광역적인 지질구조의 해석과 자원의 탐사가 활발히 이루어지고 있다. 국내의 원격탐사자료를 이용한 최근의 선구조 분석 연구의 예로는 김규한 등 (1994)의 '남한의 수계 발달과 지질구조와의 관계에 관한 연구'에서 지형도의 수계를

도해하고 수계에서 해석된 구조선과 위성사진에서 얻은 선구조, 지질조사에서 얻어진 단층구조를 수계분지 별로 서로 비교하여 지질조사에서 미확인된 단층을 추정하고, 구조구별 수계 패턴의 특성을 검토한 바 있다.

본 연구에서는 지질학적 경계도시에 효과적인 원격탐사자료의 밴드 7과 밴드 5를 선정하였다 (Qari, 1991). 이에 유사한 자료를 갖는 밴드들을 압축하여 자료량을 줄임과 동시에 공간적인 해석이 용이하도록 하는 주성분 분석 (Principal Component Analysis, PCA), 낮은 공간주파수 성분을 약화시키고 높은 주파수 성분을 유지시켜 영상의 세밀한 부분을 강조시키는 고주파대통과여과 (High Frequency Filtering, HFF), 인접한 두 영상소의 밝기가 크게 변하는 경계선을 추적하는 기법인 경계선 추출 및 강조 (Edge enhancement)와 같은 영상처리를 실시하여 광역적인 선구조의 추출을 실시하였다 (Pratt, 1978).

인공위성자료의 다양한 영상처리를 통하여 향상된 연구지역의 영상으로부터 추출된 선구조는 모두 지질학적 또는 자연적인 선구조를 의미하는 것은 아니기 때문에 다음과 같은 절차에 따른 선구조의 평가 및 해석이 필요하다 (Floyd, 1978).

- 1) 추출된 모든 선구조를 그 기원별로 분류한다.

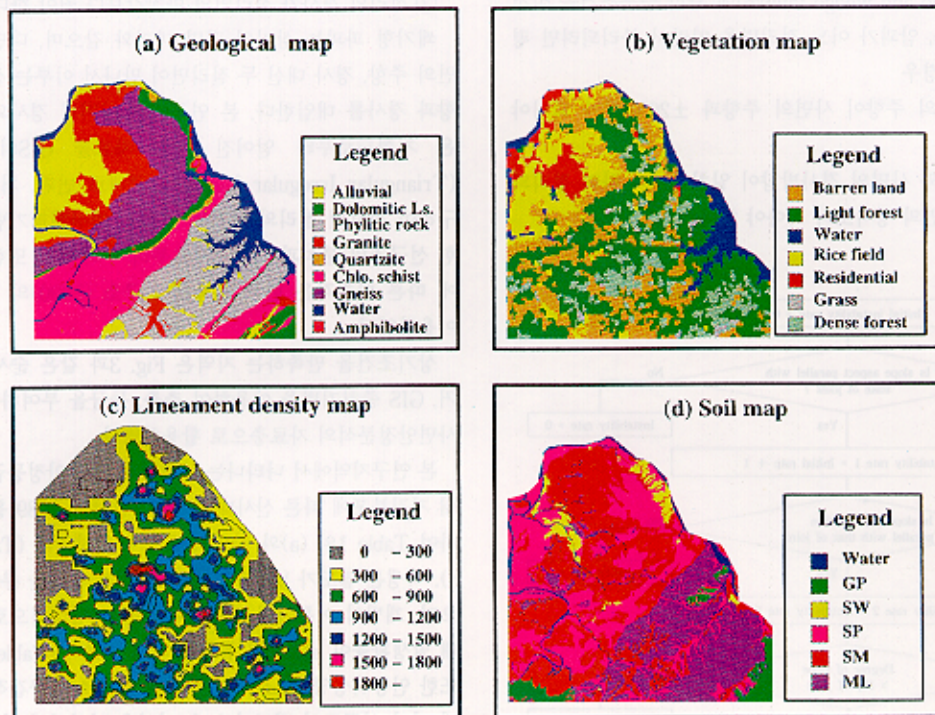


Fig. 4. Selected factors for slope stability analysis.

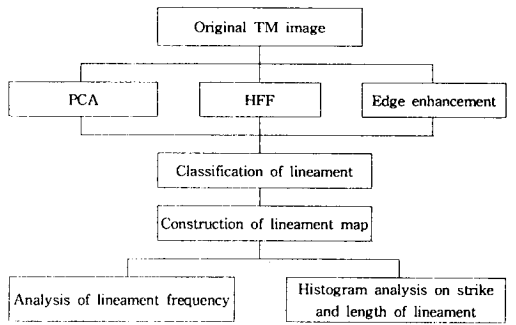


Fig. 5. Flow chart of image processing and lineament analysis.

영상처리기법을 통해 개선된 영상으로부터 추출된 선구조는 본 연구에서 사용된 지리정보시스템 소프트웨어인 ARC/INFO에서의 자료층으로 구축되었으며 수계, 도로, 지질의 자료층과의 중첩, 3차원적 도시 기법과 야외조사 등을 통해 주요 선구조들을 확인하였다.

2) 분류된 선구조 중 자연적 선구조가 아닌 인공 시설물에 의한 선구조를 선별, 제거하고, 그 후로도 남은 선구조는 예비도면 상에 점선으로 표시한다.

3) 야외조사와 취득 가능한 다양한 참고자료로부터 확인된 선형 구조를 실선으로 전환시키고 이 후로도 남은 점선에 대한 해석을 실시한다. 이러한 점선들은 전혀 구조적 의미가 없는 선 (noise)일 가능성도 있으므로 주의가 요구된다.

이에 더하여 지질학적, 지질공학적으로 의미가 있는 것으로 판별된 선구조로 작성된 선구조도 (lineament map)로부터 주요 선구조의 방향성, 양상을 분석하였으며, 또한 연구지역에 500×500 m 크기의 격자를 설정하여 격자당의 선구조의 길이의 합으로서 선밀도 분포도를 작성하여 선구조의 공간적 분포와 밀도를 얻어내었다. 상기한 선구조 분석 과정을 도표화하면 Fig. 5와 같다.

### 선구조 분석결과

상기한 분석과정에 따라 연구지역의 영상으로부터 추출된 선구조와 GIS를 이용하여 구축한 각각의 자료층 (수계, 도로 등)과의 중첩, 3차원적 도시 기법을 통해 확인된 선구조를 기원에 따라 분류한 결과 Fig. 6에서와 같이 총 239개의 선구조 중 수계에 의한 선구조가 35.15%, 지형에 의한 선구조가 44.77% 이고, 지질요소에 의한 선구조가 4.2%, 도로, 철도등의 인공구조물에 의한 선구조가 7.5%, 미확인된 선구조가 8.37%로 나타났다. 이 중에서 인공구조물을 제외한 자연적 기원의 선구조만을 고려하

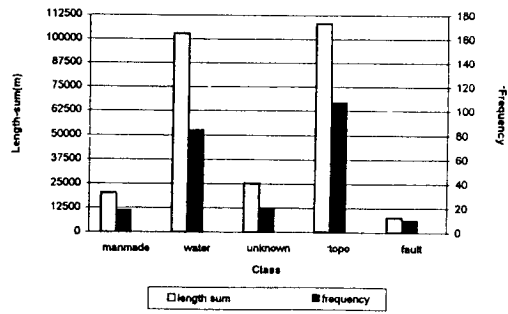


Fig. 6. Classification of lineaments according to its origin.

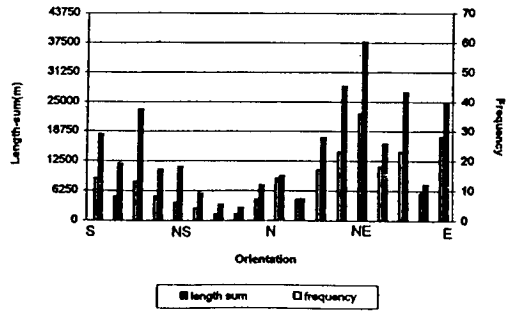


Fig. 7. Orientation of lineaments of study area.

여 그 방향성을 나타낸 결과는 Fig. 7과 같다. Fig. 7은 방향에 따른 선구조의 빈도와 길이를 나타낸 것으로 전반적으로 NE방향이 우세함을 보인다. 이는 연구지역 전반에 걸쳐서 나타나는 지층의 배열이나 습곡축의 방향과도 일치하는 것으로 추출된 선구조가 전반적인 지질구조를 반영함을 보인다.

연구지역에서 나타나는 선구조의 공간적 분포를 고려하기 위해 설정된 연구지역의 각 격자당의 선구조 길이의 합을 계산하여 Fig. 4, (c)와 같이 선밀도 분포도로 나타내었다. 작성된 선밀도 분포도는 불안정사면의 공간적인 분포로 고려되어 GIS의 자료층으로서 지도모형연구에 이용되었다. 높은 선밀도를 나타내는 지역은 격자당의 선밀도가 1500 m 이상을 나타내는 용난동, 직동과 설운리 일대로 나타났으며 대둔산 일부지역도 포함된다.

또한 300 m 간격으로 나타낸 이 선밀도 분포도에서 격자당 선구조 길이의 합이 900 m를 나타내는 등밀도선을 경계로 연구지역을 7개 구조구로 설정하였다. 이중 구조구 7은 자연적 선구조의 발달이 극히 미약한 충주시 일대로 이미 개발이 이루어진 지역이므로 자연사면이 거의 없고 지형이 매우 평탄하여 사태의 발생가능성이 희박한 것으로 판단되어 선구조 분석시 제외되었다. 추출된 선구조의 공간적 분포에 따라 설정된 구조구는 Fig. 8과 같다.

인공위성영상으로부터 얻어진 선구조에는 경사에 대한 정보가 결여되어 있으므로 야외조사로부터 얻어진 자료로부터 Table 2와 같이 각 구조구에서 나타난 불연속면에 대한 방향성과 경사도를 구하였다.

**충주지역의 광역적 사면안정분석**

GIS는 모든 형태의 지리정보를 효율적으로 수집, 저장, 갱신, 처리, 분석, 표현하기 위해 구축된 하드웨어, 소프트웨어, 지리자료, 인적자원의 통합체로 정의된다 (Aronoff, 1989). GIS의 가장 큰 장점은 특정지역에 관련되는 모든 속성자료 (통칭하여 공간정보)들이 컴퓨터를 이용한 수치지도 형태로 저장되어 사용자의 요구에 맞추어 저장, 검색, 수정, 삭제, 추가 등이 될 수 있다는 점이다. 본 연구에서는 원격탐사자료를 이용하여 추출된 선구조와 이의 분석으로부터 얻어진 구조구의 자료와 함께 연구지역의 지형, 수계, 도로망, 토양, 식생 및 지질분포와 같은 공간자료를 GIS의 자료층으로 구성하였으며 또한 추출된 선

구조의 타당성 검증과 연구지역의 최종 사면안정분석에도 활용하였다.

본 연구에서는 1/50,000 충주, 덕산 지형도로부터 얻어진 선형태의 등고자료를 GIS의 TIN 자료형태로 변환, 처리하여 연구지역의 경사도와 방위도가 작성되었다. 또한 3차원적으로 표현된 지형에 벡터로 구성된 수계, 도로, 지질 등의 다른 자료층을 씌우는 3차원 표면중첩기법을 이용 추출된 선구조의 확인을 실시하고 추출된 선구조의 공간적 분포를 나타내기 위한 선밀도 분포도의 작성이 이루어졌다.

광역적 사면 안정 분석을 위해 선정된 불안정요인과 이들 요인이 사면안정에 미치는 중요도에 따른 가중치는 Table 3과 같다. 이중 Hoek, Bray의 방법에 의해 선정된 불안정사면은 실제로 사면 방위, 경사, 절리 (또는 불연속면)의 방향과 경사 등을 함께 고려한 것이므로 다른 요인들에 비해 상대적으로 큰 가중치를 설정하였으며 선밀도에 따른 가중치는 실제로 사면안정평가에 적용된 예가 없었으므로 상대적 중요도의 설정이 어려웠으나 광역적인 불안정사면의 분포를 나타내므로 높은 가중치를 부여하였다. 또한 다른 요인들의 가중치는 본 연구지역의 환경 지질적 특성을 고려하여 설정하였다. 설정된 각 요소에 대한 불안정등급과 가중치를 고려하여 연구지역에서의 사면 불안정지수 (Instability Index)를 다음과 같이 구하였다.

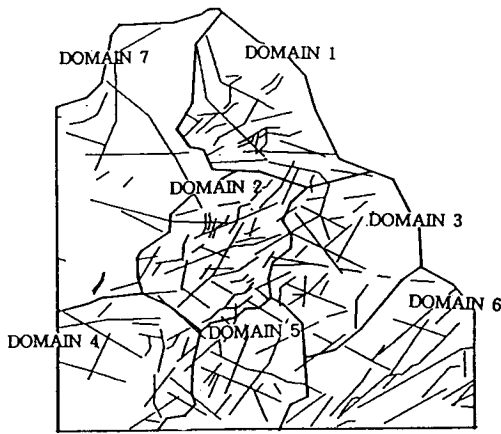


Fig. 8. Lineament map and structural domain of study area.

Table 3. Rating and weight of selected factors in slope stability analysis.

Factor	Rating	Weight
Unstable slope	0-4	6
Soil	1-5	5
Lineament density	1-7	4
Lithology	1-4	3
Vegetation	1-5	2

Table 2. Trend and dip of major lineaments per each structural domain.

Domain	Lithology	Orientation of major lineament	Dip from field data
1	Kg, Bg, Hd, Tq	N40~70E/N80~90E	SE 40/NE 80
2	Kg, Hd, Tq, OcM, Gp	N40~50E	SE 43
3	OcH, OcM, Tq, Hd, Kg	N80~90E	NE 75
4	OcM	N30~40E/N70~80W	SE 67/NE 38
5	OcH, OcM	N20~50E/N50~70W	NW 45/NE 84
6	OcH, OcMy, Ocp, Sc, Ko	N30~40E	SE 79

Abbreviation Kg; biotite-quartz gneiss OcM; greenish chlorite schist  
 Bg; biotite granite Gp; granite porphyry  
 Hd; dolomitic limestone OcH; pebble bearing phyllitic rock  
 Tq; quartzite OcMy; grey chlorite schist

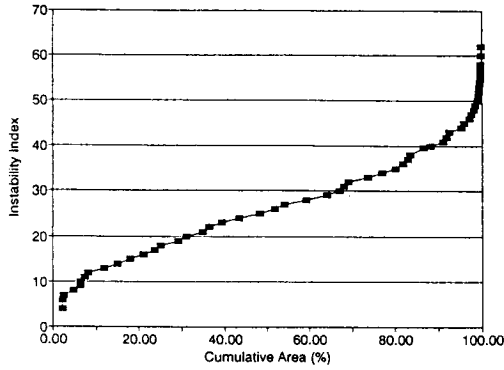


Fig. 9. Cumulative area (%) vs. Instability index.

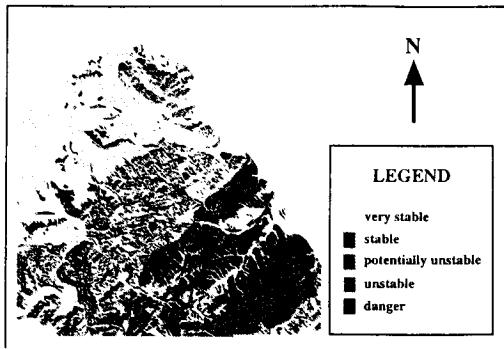


Fig. 10. Regional slope stability map.

불안정지수 =  $\sum$  (요소별 불안정등급  $\times$  가중치)

따라서 불안정지수가 높으면 사면의 불안정성 즉, 붕괴 가능성이 크다는 것을 의미한다. 이러한 불안정지수의 계산은 불안정등급이 부여되어 자료층으로 구성된 각 요인들을 GIS의 중첩기법을 통하여 하나의 자료층으로 만들고 이의 속성표에 유지된 모든 도면들의 속성에 가중치를 부여하여 더함으로서 이루어 졌다.

계산된 불안정지수는 4~92까지의 범위를 갖는다. 따라서 이를 적합한 최종 불안정등급으로 분류하여 도면으로 작성하기 위해 불안정지수를 세로축으로 이들의 누적 분포 면적 (%)을 가로축으로 하여 누적 분포도를 작성하였다 (Fig. 9). 그리고 이 분포도 곡선 상에서 가장 두드러진 변화를 나타내는 변곡점 (불안정 지수 16, 23, 31, 52)을 선택하여 최종 불안정등급을 결정하였다. 이러한 최종 불안정등급의 결정방법은 김윤종 등 (1992)의 연구를 참조하여 이루어 졌으며 이들에 의해 전체 지수를 5등급으로 구분하여 최종 사면 안정도를 작성하였다 (Fig. 10).

최종 불안정등급의 지수는 사면의 상대적인 불안정도

를 나타내는 것으로 이러한 불안정등급이 높은 지역은 호우, 지진과 같은 산사태 유발요인의 존재시 붕괴가 가능한 지역으로 고려될 수 있으며 앞으로의 개발지의 선정시에도 정밀한 조사가 필요한 지역으로 판단된다.

연구지역의 최종 사면안정도 (Fig. 10)를 보면 위험한 지역은 재오개리 일대와 대둔산 일대, 향산리 일대에 해당되며 불안정 지역은 주로 편리가 발달하였으며 기복이 심한 지형을 형성하는 문주리층의 두릉산 일대와 역시 편리가 발달한 준편마암으로 구성된 계명산층과 함력 천매암으로 구성된 북노리층의 직동과 대둔산 일대에 해당한다. 상대적으로 낮은 기복과 완만한 경사를 이루는 황강리층은 불안정도가 매우 낮은 안정지역으로 나타났다.

### 토의 및 결론

본 연구에서는 원격탐사와 GIS를 이용하여 넓은 지역에 대한 신속하고 효과적인 사면안정평가를 실시하였다. 이러한 연구는 기존에 발생한 산사태 자료의 활용 및 분석결과와 효과적인 시각화에도 큰 장점을 지니며 본 연구에서 고려한 산사태 발생요인 이외에도 지역적인 특성에 따르는 추가적인 요인을 포함할 때에도 간단하고 경제적인 적용이 가능하다.

그러나 본 연구에서의 추출된 선구조의 검증은 수계 또는 도로와 같은 요소들의 확인에는 어느 정도 타당성을 나타내나 지형적인 요소에 의한 선구조의 확인에는 주관적인 판단이 큰 비중을 차지하며 야외조사를 통해서도 확인이 어렵다는 한계를 갖는다. 또한 산사태 발생요인의 선정과 선정된 각각의 인자들의 상대적 중요도의 부여에도 객관적, 통계적인 근거체시가 불가능하였다. 따라서 향후의 연구에서는 인공위성자료를 이용한 다양한 선구조 추출 기법과 추출된 선구조의 항공사진등을 통한 객관적인 검증 및 야외조사를 통한 세부조사가 요구되며 또한 국내 산사태 발생자료의 체계적인 자료구축과 함께 우리나라의 조건에 알맞는 인자의 선정과 각각의 인자의 중요도에 대한 타당한 수치화가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 실시한 충주지역에 대한 원격탐사와 GIS를 이용한 사면안정분석의 결과 사면불안정도가 가장 큰 위험지역은 재오개리 일대와 대둔산 일대, 향산리 일대에 해당되며 불안정 지역은 주로 편리가 발달하였으며 기복이 심한 지형을 형성하는 문주리층의 두릉산 일대와 역시 편리가 발달한 준편마암으로 구성된 계명산층과 함력 천매암으로 구성된 북노리층의 직동과 대둔산 일대에 해당한다. 상대적으로 낮은 기복과 완만한 경사를 이루는 황강리층은 불안정도가 매우 낮은 안정지역으로 나타났다.



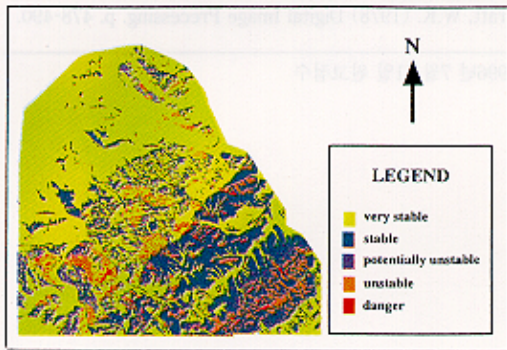


Fig. 10. Regional slope stability map.

## 사 사

본 연구는 1995년도 교육부 기초과학 육성 연구비 (과제번호 BSRI-95-5415)의 지원에 의하여 이루어 졌다.

## 참고문헌

- 김규한, 김완숙 (1994) 남한의 수계발달과 지질구조와의 관계에 관한 연구. 자원환경지질, 27권, p. 593-599.  
 김윤중, 김원영, 유일현 (1992) 광역 지질재해분석 (산사태)을 위한 GIS활용. 지질공학학회지, 2권, p. 131-140.  
 영산강수계 종합정비계획 (1989) 건설부.  
 농업진흥청 (1978) 정밀토양도.  
 장천중 (1990) 절리암반에서 조도와 전단강도와의 관계. 한국자원연구소, p. 15-21.  
 한국자원연구소, 한국지질도 (충주, 황강리).  
 Aronoff, S. (1989) Geographic Information System: A Management Perspective. p. 31-46, 103-188.

- Bromhead, E.N. (1992) The stability of slopes. Blackie Academic & Professional.  
 Floyd F. Sabins. JR (1978) Remote Sensing, Principles and interpretation. p. 65-117.  
 Gupta, R.P. and Joshi, B.C. (1990) Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach-A Case study from the Ramganga Catchment, Himalayas. Engineering Geology, v. 28, p. 119-131.  
 Hoek, E. and Bray, W.J. (1979) Rock Slope Engineering. p. 37-63.  
 Mohammed Yousef H.T. Qari (1991) Application of Landsat TM data to Geological Studies, Al-Khapt Area, Southern Arabian Shield. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 57, p. 421-429.  
 O'Leary, D.W., Freidman, J.D. and Pohn, H.A. (1976) Lineaments, linear, lineation-some proposed new standards for old terms. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 87, p. 1463-1469.  
 Pratt, W.K. (1978) Digital Image Precessing. p. 478-490.

---

1996년 7월 31일 원고접수