

## 원격탐사와 지구정보시스템 (GIS)을 이용한 이천분지의 사면안정평가

원종석\* · 이영훈\*\*

### Analysis of Slope Stability by Using Remote Sensing and GIS in Ichon Basin

Jong Suck Won\* and Young-Hoon Lee\*\*

**ABSTRACT :** In this study, Ichon basin is selected as study area and regional analysis of geological structure are done by using lineament analysis. The factors which affects slope stability, are chosen, and integrated to database using GIS (Geoscientific Information System). Landsat TM band 4, 5 and 7 are chosen and processed by various image enhancement technique to analyse the regional geological lineaments. Spatial distribution of lineament is analysed through lineament density map and study area can be divided the eight structural domains. Considering environmental geological characteristics of study area, rating and weighting of each factors for slope stability analysis are determined and spatial analysis of regional slope stability is examined through overlaying technique of GIS. The result of areal distribution of slope stability shows that the most unstable area is all over Mt. Buksung, Mt. Daepo, Mt. Songrim and Mt. Yankak.

### 서 언

최근에 활발하게 진행되고 있는 지역개발은 개발지역에서의 사면붕괴의 가능성을 증가시키고 있으며 개발로 인해 유발될 수 있는 붕괴에 의한 환경파괴를 최소화하기 위하여 개발대상지역을 안정지역과 불안정지역으로 구분하는 것이 필요하다 (Mehrotra, 1992). 산악지형에서 개발계획 결정 및 보완에 있어서나 환경균형의 파괴를 최소화하기 위하여 현존하는 사면의 불안정을 고려하여야 한다 (Anbalagan, 1992). 이러한 연구는 지질학적인 관점에서 보면, 지면의 파쇄대가 많이 분포하는 지질조건에서 사면붕괴가 다양한 양상으로 나타나게 되며, 이러한 산사태는 지난 수 세기동안 가장 중요한 자연재해중의 하나였다. 산업의 발전과 인구증가로 인한 도시화의 확대와 산사태의 방지를 위한 연구의 부족으로 인하여 피해는 증가 추세에 있다 (Yoon, 1992). 그러므로 그러한 재해를 방지하거나 피해를 최소화하기 위해서는 사면의 붕괴위험에

대한 위험성 정도를 효과적으로 예측할 수 있는 방법이 연구되어야 한다.

본 연구는 경도  $127^{\circ} 12' \sim 127^{\circ} 38'$ 와 위도  $38^{\circ} 37' \sim 37^{\circ} 59'$ 에 걸쳐있는 이천분지를 대상으로 지역개발 등에 의해 가속될 수 있는 사면불안정에 대한 안정성평가를 하는 것이다. 연구지역의 지질학적인 구조 또는 지형이 가장 잘 나타나는 Landsat TM (Thematic Mapper) 영상의 세 개의 밴드를 선정하고 주성분분석 (Principal Component Analysis, PCA), 저역통과 여과등의 처리를 하여 개선된 영상을 가지고 경계선추출을 하는 객관적인 알고리즘 (Moore, 1984)에 따라 선구조를 추출하였다. 추출된 선구조의 공간적인 분포와 야외조사 자료에 따라 연구 지역을 8개의 구조구 (structural domain)로 구분하였다. 야외에서는 체계적이고 객관적인 불연속면들의 조사를 실시하여 영상처리기법에 의한 선구조 추출의 타당성을 검증하였으며 선구조 분석프로그램을 이용하여 각 구조구에서의 선구조의 종류, 주방향, 경사를 분석하여 특성화하였다. 그리고 지구정보시스템 (GIS; Geoscientific Information System)을 이용하여 본 연구지역의 지형도, 지질도, 토양도등의 도면으로부터, 산사태에 영향을 미치는 요소들인 지형, 지질, 토양, 수계, 식생과 같은 환경요

\* 서울시정개발연구원 (Seoul development institute, Seoul 100-250, Korea)

\*\* 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth system sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea)

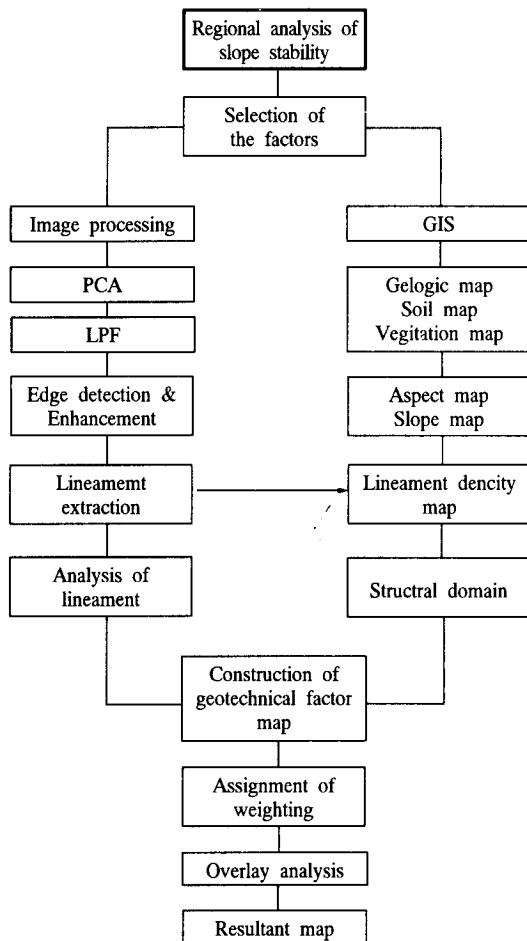
인들의 공간자료를 데이터베이스로 구축하였으며 기존의 논문들 (Anbalagan, 1992; Chang, 1992; Gupta *et al.*, 1990; Mehrotra *et al.*, 1992)을 참조하고 산사태 발생현황을 고려하여 사면안정에 대한 각 환경요인의 등급 및 가중치를 결정하여 지도모형연구를 실시하였다. 전체적인 연구의 흐름은 Fig. 1과 같다.

### 지질공학적 사면불안정 요인의 선정

본 연구에서는 일차적인 사면안정평가의 기준으로서 Hoek, Bray (1979)가 제시하는 방법을 이용하였다. 이들은 주로 평면파괴와 쇄기형 파괴 (plane and wedge failure)에 관한 충분한 조건을 설정하였다. 즉, 암괴가 어느 절리면을 따라서 분리되려면 평면파괴인 경우는 다음과 같다. : 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 내부마찰각보다 커야 한다. 쇄기형파괴는 상기의 평면파괴의 경우와 같으며, 다만 절리면의 주향, 경사대신에 두 절리면이 만나서 이루는 선의 방위와 경사로 고려된다.

본 연구에서 사면의 경사와 방향은 지형도로부터 얻어진 등고자료를 GIS의 TIN (Triangulated Irregular Network) 형태로 변환 처리하여 구했으며 절리의 주향과 경사는 영상처리기법을 통한 선구조의 분석과 야외조사로부터 구하였다. 또한 우리나라의 일반적인 암상에 따른 마찰각은 기존의 연구결과 (양형식, 1992) 등을 인용하였다. 상기조건을 만족하는 지역은 위의 과정에 따라 GIS 중첩기법을 이용하여 추출하였으며 또한 지질공학적 요인도를 작성하여 사면안정분석의 자료층으로 활용하였다.



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

### 원격탐사자료의 분석에 의한 경계선 추출 및 증강

주성분분석 (PCA)은 밴드간의 차이를 최대화시키기 위한 것으로 원격탐사에서 널리 사용하는 통계학적인 기술이다. 이러한 과정은 육상물질간의 구별능력을 증진시킨다 (Nalbant, 1995). 경계선강화 및 선구조추출의 기본 영상은 Landsat TM밴드 4, 5, 7번을 이용하였으며 주성분처리를 한후 분산도가 큰 순서대로 3개의 성분을 취해서 최대의 정보를 포함시키기 위하여 주성분 1번을 red로, 2번을 green로, 3번을 blue로 하여 false-color composite을 만들어서 분석을 하였다 (Mah, 1995). 저역통과 여과는 영상에서 국지적인 형태와 잡음 (noise)을 제거하여 전반적인 형태가 보다 명확해지고 자료의 경향에 대한 일반적인 묘사가 보다 쉽게 이루어지도록 하는 것이다. (Mather, 1987).

본 연구에서 사용된 선구조 증강은 객관적인 수치처리방법으로 다음 5단계로 구성된 컨벌루션 (convolution)과정이다 (Moore, 1984). 5단계는 저역통과여과영상 (low pass image)의 형성, 저역통과여과영상으로부터의 방향성성분의 추출, 방향성성분영상의 평활화 (smoothing), 방향성성분으로부터 성분의 추출, 영상증첩과 재축적화 (rescaling)를 말한다. 첫 번째 단계는 저역통과여과영상 (low pass image)의 형성은  $3 \times 3$ 의 평균함수 (average function)을 이용하여 저역여과영상의 평균을 얻는 과정이다. 여기에서  $A_0$ 는 평균함수로 처리하기 전의 픽셀의 값이고  $A_1$ 은  $A_0$  주변의 8개의 값을 합하여 평균을 낸 평균함수의 결과로 원래 픽셀의 값인  $A_0$ 을 대체하는 값이다 (Fig. 2a).

(a)

B	C	D
E	A	F
G	H	I

$$A_1 = (A_0 + B + \dots)/9$$

(b)

East-West	North-South	NW-SE	NE-SW
-1 -2 -1	-1 2 -1	2 -1 -2	-2 -1 2
2 4 2	-2 4 -2	-1 4 -1	-1 4 -1
-1 -2 -1	-1 2 -1	-2 -1 2	2 -1 -2

WNW-ESE	NNW-SSE	ENE-WSW	NNE-SSW
1 -2 -2	1 1 -2	-2 -2 1	2 1 1
1 4 1	-2 4 -2	1 4 1	-2 4 -2
-2 -2 1	-2 1 1	1 -2 -2	1 1 -2

(c)

B	C	D
E	A	F
G	H	I

$$A_3 = (A_2 + B + \dots)/9$$

Fig. 2. First three steps of convolution Lineament extraction. a; First step, b; Second step, c; Third step.

Fig. 2a에서 중앙값 A는 처리하기 전의 값  $A_0$ 와 처리하고 난 값  $A_1$ 의 두 가지 값으로 표현하였다. 두 번째 단계인 저역통과여과영상으로부터의 방향성성분의 추출은 거의 원하는 방향을 나타내는 경계의 대조를 증가시킨다. Fig 2b에서 방향성성분을 추출하는데 사용된 행렬을 볼 수 있다. 세 번째 단계인 방향성성분영상의 평활화 (smoothing)는 평균화 함수 (averaging function)가 방향성여과의 2차적인 효과 (인공구조물, harmonics, noise)를 감소시키기 위하여 사용되었다. Fig. 2c에서 중앙값 A는 처리하기 전의 값  $A_2$ 와 처리하고 난 값  $A_3$ 의 두 가지 값으로 표현하였다. 원하는 경계와 선분을 최소로 변화시키면서 불필요한 영상 특성을 최대한 줄이는 것은  $3 \times 3$ 의 창을 사용하여 얻을 수 있다. 여기에서  $A_2$ 는 평균함수로 처리하기 전의 픽셀의 값이고  $A_3$ 는  $A_2$  주변의 8개의 값을 합하여 평균을 낸 평균함수의 결과로 원래 픽셀의 값인  $A_2$ 를 대치하는 값이다. 방향별로 사용된 행렬은 Fig 2c에서 보인다. 네 번째 단계인 방향성성분으로부터 성분의 추출은 방향성 경향과 잡음을 보다 잘 구분하기 위하여 영상자료를 처리하는 것이다. 영상막대그래프 (image histogram)의 양 끝 근처의 값은 사실상 그 영상의 대부분의 방향성 정보를 포함한다. 막대그래프의 중앙값근처의 화소값 (digital values of pixels)들을 중간화색인 128과 같게 놓고, 막대그래프의 양 끝단을 신장시켜 0부터 127까지의 구간과 129에서 255까지의 구간을 채우는 것이다. 양 끝단의 범위는 누적 막대그래프에서

Table 1. Forth step of Lineament extraction.

Original Value	New Value
0 to x	0 to 127
(x+1) to (y-1)	128
y to 255	129 to 255

구한다 (Table 1). 마지막 단계인 영상중첩과 재축적화 (rescaling)는 성분을 원래의 영상에 더하는 것하고 보여주기위하여 합을 0에서 255까지의 범위로 재축적화시키는 것으로 구성된다.

### 선구조의 분석과정

본 연구에 사용된 프로그램은 영국의 세필드 대학의 C. D. Clark 등에 의해, 빙하흐름 복원에 대한 대형 지구정보시스템 프로젝트의 일환으로 개발된 프로그램이다. 이를 이용하여 선구조기재, 디지털이징을 통해 얻은 자료를 길이, 방향, 간격, 밀도, 최인접통계치 (nearest neighbor statistics) 등의 공간적인 매개변수들을 계산하여 연구지역에 나타나는 선구조에 대한 특성화를 시도하였다. 본 알고리즘은 Fig. 3과 식 (1)에서와 같이 개개의 선구조를 차례로 취하여 x, y좌표의 평균인 중점의 좌표를 구하고 피타고拉斯 정리와 삼각법을 이용하여 구한 최인접거리를 반영하여 수직, 수평 간격을 계산하여 연구지역내의 모든 선구조의 분포양상을 알게 된다.

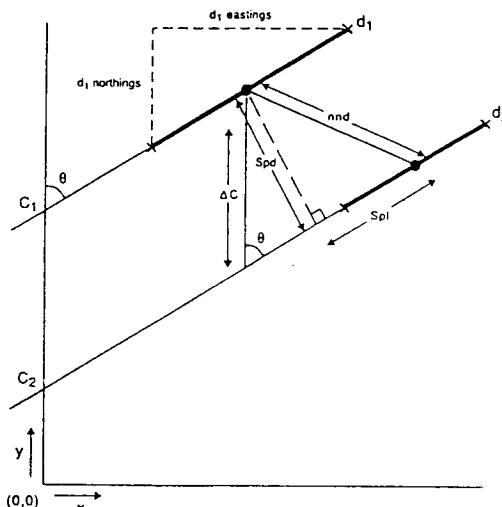


Fig. 3. Geometry logic and notation used in spatial analysis algorithm (modified from C. Clark, 1994).  $d_1$ ; drumlin 1,  $d_2$ ; drumlin 2,  $\times$ ; digitised endpoints,  $\bullet$ ; computed midpoints,  $nnd$ ; nearest neighbor distance,  $Spd$ ; perpendicular spacing,  $Spl$ ; parallel spacing,  $C$ ; y-axis intercepts,  $\theta$ ; orientation.

$$R_n = \frac{\sum(nnd_1, nnd_2, \dots, nnd_n)/n}{0.5\sqrt{a/n}} \quad (1)$$

여기서  $R_n$  : 최인접통계치,  $nnd_n$  : 선구조의 갯수,  $a$  : 연구지역의 면적 ( $m^2$ )

최인접통계치 ( $R_n$ )는 0에서 2.15의 범위를 가지며, 0인 경우는 '완전군집적 (completely clustered)', 1인 경우는 '임의적 (random)', 2.15인 경우는 '완전규칙적 (perfectly regular)' 등으로 해석을 한다. 본 연구에서는 전체적으로 0.76으로 '군집적 (clustered)'에 근사한 경우이고 1, 3, 4, 5, 6, 8번 구조구에서는 '군집적 (clustered)'에 근사하게 나타났으나 2번과 7번 구조구에서는 다른 경향으로 '임의적 (random)'에 근사한 것으로 나타났다.

### 선구조밀도도의 작성 및 분석

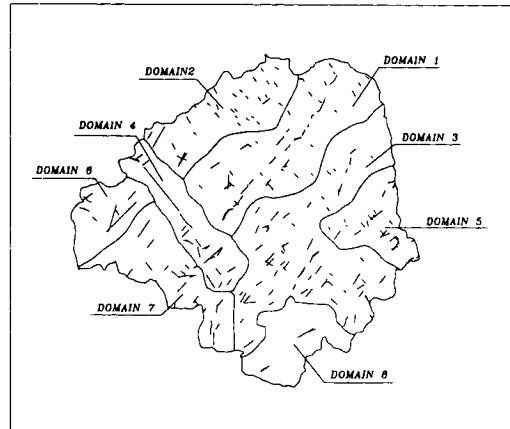
다수의 열곡대, 단층, 지질학적인 접촉대, 기타의 기반암내 불연속면과 같은 지하의 특성들은 항공사진이나 위성영상에 대한 분석을 통하여 탐측될 수 있는 표면 특징을 나타낸다. 자세한 지질기재와 연결하여 열곡 혼적 (fracture trace)나 선구조분석은 일부 선구조나 기반암 특성사이의 상관관계때문에 기반암의 특성을 나타내는 현실적인 도구로써 응용이 되곤한다 (경재복, 1993).

아래의 수식 (2)와 같이 선구조의 수, 선구조의 총길이, 이러한 2가지의 선구조 매개변수의 정규화된 합을 선구조 요인값으로 정의했다 (Hardcastle, 1995). 선구조의 수와 총길이는 선밀도를 지시하며 선형특성들사이의 교차를 암시한다.

$$\text{밀도지수} = w_1 \frac{\text{격자당선구조의 빈도}}{\text{평균격자당의 빈도}} + w_2 \frac{\text{격자당선구조의 길이의 합}}{\text{평균격자당의 길이의 합}} \quad (2)$$

여기서  $w_i$ : 가중치

대상지역을  $750\text{ m} \times 750\text{ m}$ 의 격자로 나누고 각 격자에 대하여 선구조의 길이와 빈도값을 도출한 후에 그 매개변수값들에 대하여 평균치를 사용하여 정규화시킨 것이다. 평균치는 대상지역내의 전체의 선구조를 대상으로 한 것이고 각각의 매개변수에 대하여 정규화된 값은 각각 가중치  $w_1$ 과  $w_2$ 를 각각 곱하여 하나의 합으로 합쳐진다. 그러나 본 연구에서는 가중치의 근거를 찾기 어려우므로 1이라는 단위값을 주었다. 구해진 밀도지수는 격자별로 표시되고 다음 단계의 평가작업을 위하여 이산지역의 가시화와 선택에 도움이 되도록 등치선화한다. 또한 등치선의 수치적인



**Fig. 4.** Lineament map & Structural domains in Ichon basin.

값은 이 지역의 정량적인 순위화를 가능하게 해준다. 작성된 선밀도분포도는 불안정사면의 공간적인 분포로 고려되어 GIS의 자료층으로서 지도모형연구에 이용되었다. 밀도지수의 분산값을 간격으로 나타낸 이 선밀도분포도에서 격자당 밀도지수의 값이 0인 등밀도지수선을 경계로 연구지역을 8개의 구조구로 나누었다. 추출된 선구조의 공간적인 분포에 따라 설정된 구조구는 Fig. 4에 나타났다.

상기한 분석과정에 따라 연구지역의 영상으로부터 추출된 선구조에 대한 통계분석결과와 야외조사결과를 비교해보았다. 우세한 선구조의 방향을 결정하기위하여 각 구조구별 로즈다이어그램 값들중에서 가장 긴 로즈 다이어그램의 값을 100%라고 하고 그외의 방향 (petal)중에서 70%이상인 것을 찾아 내어 주방향을 결정하였다. 나누는 기준 70%라는 것은 임의로 선택한 것으로 주방향이 과반수 이상이 되는 것 이내로 정하고 주방향을 3개 이내로 나타내어 분석의 효율성을 최대로 하기 위한 것이다. 연구결과로 얻은 공간 매개변수들은 구조구별 선구조의 길이, 방향성, 최인접통계치 (Nearest neighbour statistic)등으로 도시하였으며 Table 2, 3에 요약하였다. 각 구조구별로 선구조의 평균길이, 표준편차, 밀도, 최인접통계치등은 각기 특징적으로 구분됨을 보인다. 불연속면들의 방향성을 보면 2번 구조구 (structural domain)와 7번 구조구를 제외한 대부분의 구조구에서 10도 이내로 유사한 방향성을 나타내고 있으며 주로 NE와 NW방향을 나타낸다.

### 지구정보시스템을 이용한 분석

본 연구에서는 원격탐사자료를 이용하여 추출된 선구조와 이의 분석으로부터 얻어진 구조구 등의 자료와 함께

**Table 2.** Trend and dip of major discontinuities in each structural domain.

Parameter	Structural domain							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Major direction 1	049/67	183/47	047/68	223/70	216/52	144/52	240/67	342/83
Major direction 2	315/82	048/36	358/58	274/11	121/78	067/49	062/48	082/65
Major direction 3	215/44	-	193/34	-	-	-	156/79	218/71
Geology	Granite	Geniss Granite	Granit	Schist Gneiss Granite	Granite	Schist Gneiss Granite	Gneiss Graite	Granite

**Table 3.** Trend and dip of major linement in structural domain.

Parameter	Structural domain								total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Major direction	42.5, 137.5	135	40	50	52.5, 135	52.5	37.5	57.5	35,130
Number	67	36	86	31	51	15	25	4	317
Mean length (m)	370.78	489.66	485.72	641.31	335.96	703.88	632.94, 4	918.50	476.70
Standard deviation	214.59	298.72	261.75	833.54, 7	200.76	862.41	369.40	395.39	338.51
Density	0.68	0.65	0.63	0.70	1.50	0.51	0.48	0.11	0.64
Rn	0.725	1.094	0.861	0.802	0.583	0.552	0.923	0.224	0.76

연구지역의 지형, 수계, 도로망, 식생 및 지질분포와 같은 공간자료를 GIS 소프트웨어의 하나인 ARC/INFO의 자료층으로 구성하였으며 또한 추출된 선구조의 타당성 검증과 연구지역의 최종 사면안정분석에도 활용하였다. 본 연구에서는 1/25000의 이천, 여주, 장호원, 안성도록에서 얻어진 선형태의 등고자료를 이용하여 기복이나 경사방향 등의 지형분석과 입체적표현에 매우 효과적인 불규칙 삼각분할네트워크 (TIN)자료형태로 변환처리하여 연구 지역의 경사도와 방위도를 작성하여 자료층으로 활용하였다. 이러한 삼각망을 지질공학요인도에서의 분석의 기본이 되는 사면분석단위로 이용하였다. 그리고 각각의 요인의 도면층을 가중치를 주고 중첩기법을 이용하여 결과 도면을 얻었다. 사면안정평가를 하는 데에는 여러 가지 요소가 있을 수 있는데 이들중 어떤 요소를 사용하느냐에 따라 그 중요성이 다르게 나타날 수 있다. 많은 요소들 중에서 위에서 언급한 공간자료들은 다 사용하였으나 지하수위, 수계, 사면형태 또는 단층으로부터의 거리 등은 사용하지 않았다. 왜냐하면 지하수인 경우에는 산악지역의 자료까지 얻을 수 없어서 등수위선을 작성하는 경우에 내삽에 의한 오차가 많을 것이고 수계나 사면형태인 경우에는 발생현황자료에서 구체적인 사항을 얻을 수 없을 것이며 단층으로부터의 거리 역시 구체적으로 위험정도에 대한 근거를 제시하기 어렵기 때문이다. 다음으로 중요한 사면안정평가에 고려되어야 할 것은 각 요소들의 상대적인 중요도 즉, 사면안정에 얼마나 기여하느냐 하는 것으로 보통 가중치로 표현된다 (최경, 1986). 본 연구에서는

**Table 4.** LSV (Landslide susceptibility values).

Factor	Geotech-nical	Geology	Lineament density	Soil	Vegetation
LSV	20.38	19.69	17.10	16.35	15.83

기존에 연구되었던 요소들이 각 연구에서의 비중도를 백분율로 나타내어 각 요소 가중치 (LSV; Landslide susceptibility values)를 구하였다 (Table 4).

대상지역의 산사태발생현황 자료가 거의 전무한 상태에서 경기도전체지역의 산사태발생현황 (경기도산림환경연구소편, 1990)을 가지고 세부범주별 가중치 (Landslide susceptibility index)를 정했다. 아래의 수식 (3)처럼, 해당속성에 대한 발생면적 (Area)을 가지고 그에 해당하는 빈도 (frequency)를 나눈 것을 A라고 하고 이 A값들의 해당요인내에서 상대적인 비중을 나타내는 값, 즉 A의 요인별 합 ( $\Sigma A$ )으로 해당 세부범주를 나누어 준 것으로 B라고 한다. 그리고 각 요인별 가중치를 곱하여 100으로 나누어 준 값을 LSI로 하였다 (Mehrotra, 1992). 연구결과로 얻은 각 요인별 LSI는 Table 5에 요약했다.

$$A = \text{Frequency} / \text{Area}, B = A / \sum A \quad (3)$$

$$\text{LSI} = B / 100 (\text{LSV})$$

여기에서 LSV : Landslide Susceptibility Values

LSI : Landslide Susceptibility Index

그러나 지질, 식생, 토양이외의 지질공학적요인과 선구조밀도인 경우에는 발생현황자료를 얻을 수 없었으므로

**Table 5.** Rating Factors.

## a) geology

Factor	Area (ha)	Frequency	A	B	LSI
1 Gneiss	23.99	20	0.83	1.19	0.23
2 Granite	43.05	39	0.91	1.30	0.25
3 Schist	2.70	3	1.11	1.59	0.30

## b) vegetation

Factor	Area	Frequency	A	B	LSI
1 Heavy Forest	15.8	12	0.76	1.09	0.17
2 Light Forest	47.45	40	0.8	1.20	0.19
3 Barren	6.49	10	1.54	2.21	0.35

## c) soil

Factor	Area	Frequency	A	B	LSI
1 SW	22.83	18	0.79	1.13	0.18
2 SP	38.61	35	0.91	1.30	0.21
3 SM	3.60	4	1.11	1.59	0.25
4 GP	2.50	3	1.20	1.72	0.28
5 ML	2.2	4	1.82	2.61	0.42

d) geotechnical factor ( $\mu$ ; mean,  $\sigma$ ; standard deviation)

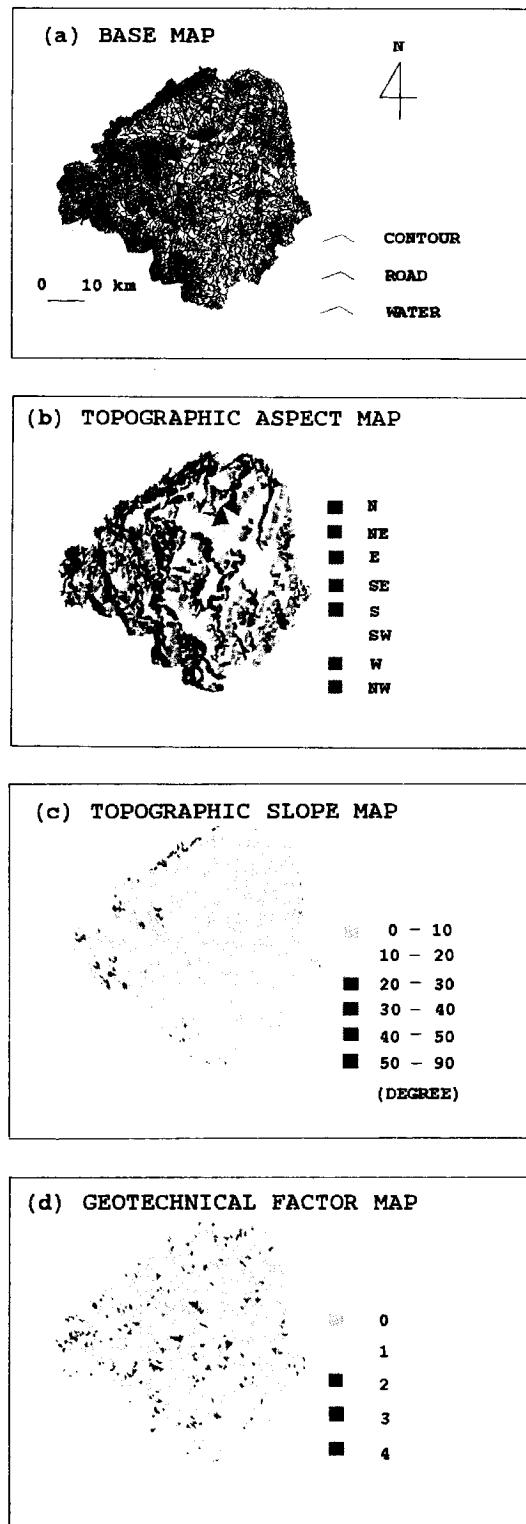
Factor	Class	B	LSI
1	0	0	0
2	$\mu - \sigma$	1.08	0.22
3	$\mu$	1.54	0.31
4	$\mu + \sigma$	2.00	0.40
5	$\mu + 2\sigma$	2.46	0.49

e) lineament density ( $\mu$ ; mean,  $\sigma$ ; standard deviation)

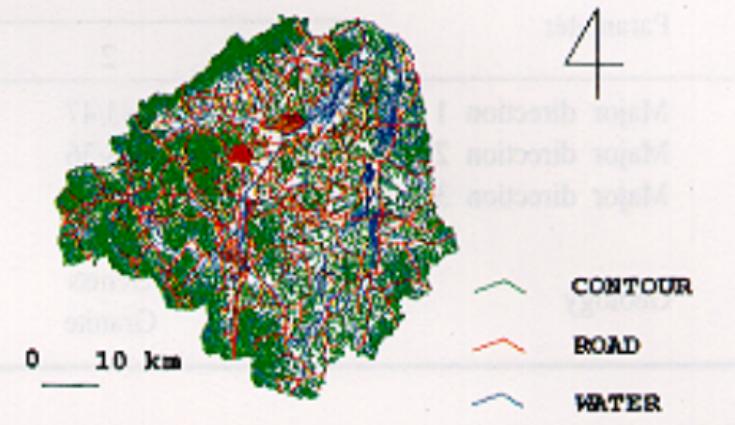
Factor	Class	B	LSI
1	0	0	0
2	$0\sim 2.3$	$\mu - 3\sigma$	0.15
3	$2.3\sim 4.6$	$\mu - 2\sigma$	0.62
4	$4.6\sim 6.9$	$\mu - 1\sigma$	1.08
5	$6.9\sim 9.2$	$\mu$	1.54
6	$9.2\sim 11.5$	$\mu + \sigma$	2.00
7	$11.5\sim 13.8$	$\mu + 2\sigma$	2.46
8	$13.8\sim 16.1$	$\mu + 3\sigma$	2.93

지질, 식생, 토양의 각각의 요인의 B값을 가지고 평균값 ( $\mu$ )과 표준편차 ( $\sigma$ )를 계산한 다음, 간격을 나누고 순위를 정하였다.

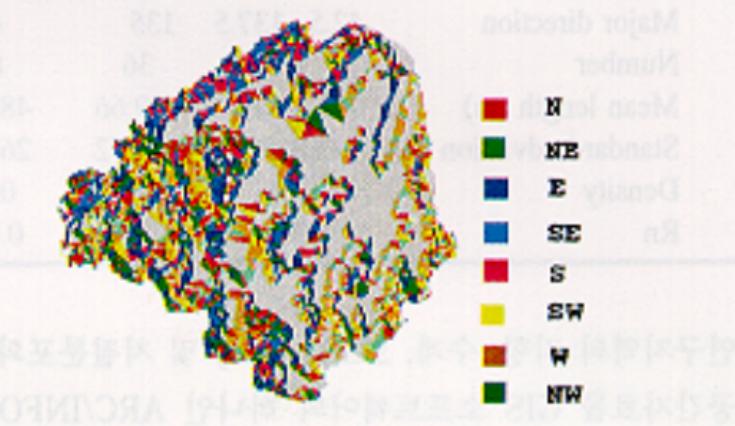
## 이천지역의 광역적 사면안정분석

**Fig. 5.** Data layers for slope stability analysis.

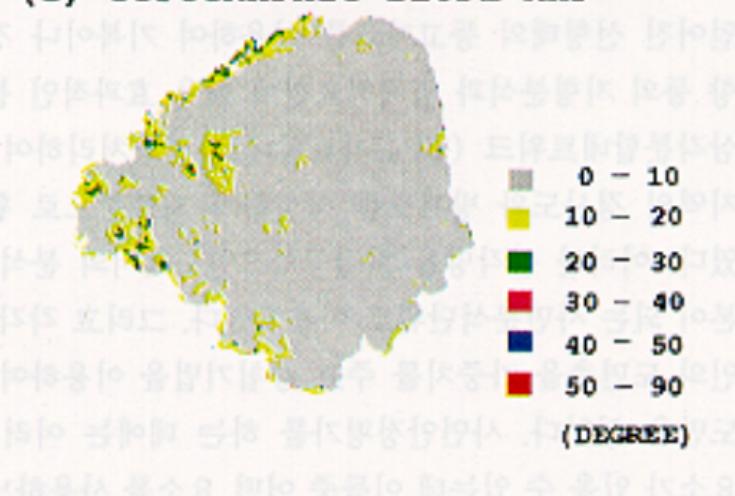
(a) BASE MAP



(b) TOPOGRAPHIC ASPECT MAP



(c) TOPOGRAPHIC SLOPE MAP



(d) GEOTECHNICAL FACTOR MAP

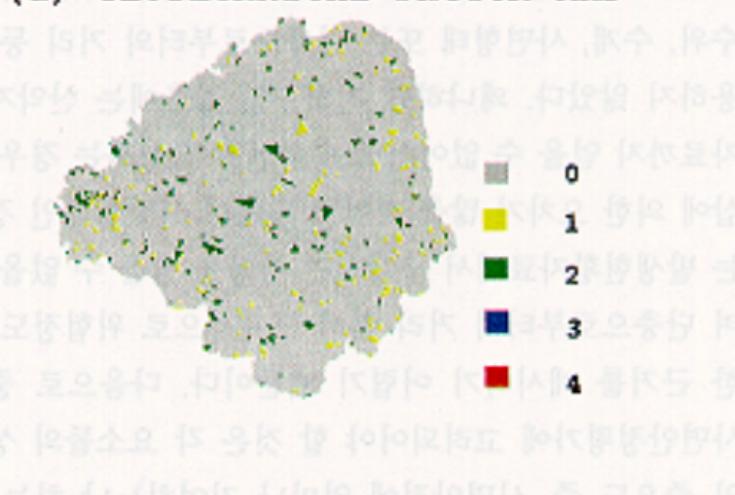


Fig. 5. Data layers for slope stability analysis.

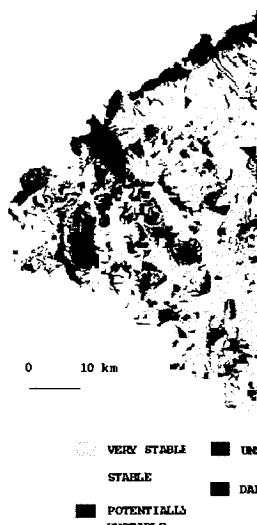


Fig. 6. Regional slope stability map in Ichon basin.

인공위성영상에서 얻어진 선구조에는 경사에 대한 정보가 결여되어 있으므로 야외조사의 결과를 이용하여 각 구조구에 나타난 불연속면에 대한 경사와 주향을 정하였다. Fig. 5는 경사도와 사면방위도를 이용하여 단위사면에 대한 구조구별 불연속면을 비교하여 앞의 '사면불안정 요인의 선정' 항에서 언급한 방식대로 지질공학적인 요소를 평가한 것이다.

연구지역의 광역적 사면안정분석을 위해 아래의 수식 (4)와 같이 각 분석단위별로 앞절에서 구한 세부범주별 가중치 (LSI)의 합에 의하여 불안정지수를 구하였다.

$$\text{불안정지수} = \text{LSI} \quad (4)$$

이러한 불안정지수의 계산은 불안정등급이 부여되어 자료층으로 구성된 각 요인들을 GIS의 중첩기법을 통하여 하나의 자료층으로 만들고 이들의 속성에 가중치를 부여하여 더함으로써 이루어졌다. 앞서 설명한 선구조밀도 및 지질공학적 요인도와 함께 GIS의 지도모형연구에 사용된 자료층은 식생, 지질, 토양이었다.

위의 방법에 따라 계산된 불안정지수는 0에서 1.52까지의 값을 가진다. 따라서 이를 적합한 최종불안정등급으로 분류하여 도면화 (Fig. 6)하기 위하여 불안정지수와 면적분포를 고려하여 누적면적분포곡선상 (Fig. 7)의 변곡점을 기준으로 최종결과도면의 등급을 나누었다. 그래프에서의 금변점 (natural break)은 최빈값을 어느정도 반영하기 때문에 계급구분의 기준으로 사용되기도 한다 (류근배, 1990). 그리하여 두드러진 변곡점을 가지는

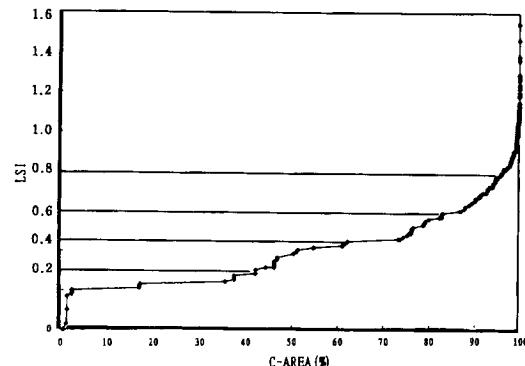


Fig. 7. Cumulative Area vs. LSV.

0.3, 0.45, 0.6, 0.8을 기준으로 5개의 등급으로 최종결과를 작성하였다.

## 토의 및 결론

본 연구에서는 원격탐사와 지구정보시스템을 이용하여 광역적인 사면안정평가를 신속하고 효과적으로 수행하였다. 이러한 연구는 기존의 산사태 발생현황의 활용 및 분석결과의 효과적인 시각화에도 큰 장점을 지니며 본 연구에서 고려한 산사태 발생요인이외에도 지역적인 특성에 따른 추가적인 요인을 이 후에 포함할 때에도 간단하고 경제적인 적용이 가능하다. 원격탐사자료로부터의 선구조의 분석을 위하여 선구조분석 프로그램을 사용하여 효과적인 분석을 할 수 있었으며 발생현황과 발생면적을 가지고 요인들에 대한 가중치를 정량적으로 주기위한 시도를 하였다. 그러나 보다 체계적인 선구조의 이용을 위하여 정확한 검증과 성인에 대한 연구가 필요할 것을 사료된다. 또한 산사태에 대한 발생요인의 선정과 가중치의 부여에 있어서 발생현황자료의 내용의 한계 때문에 상대적인 요인별 가중치와 발생현황에 언급되지 않은 요인들에 대한 순위와 가중치를 선정하는데 어려움이 있었다.

따라서 차후의 연구에 있어서 보완하여야 할 사항은 다음과 같다. 인공위성자료를 이용한 다양한 선구조 추출기법과 추출된 선구조의 체계적인 검증에 대한 연구가 있어야 할 것이고 또한 산사태 발생현황에 대한 보다 체계적인 자료의 구축과 정량화의 작업이 이어져야 하리라고 판단된다.

본 연구에서 사용한 선구조 분석프로그램의 경우에 GIS 프로그램인 ARC/INFO의 작업결과를 가지고 손쉽게 ASCII 파일로 선구조에 대한 공간적인 매개변수를 얻을 수 있었다. 그리고 최인접통계치라는 분포양상을 나타

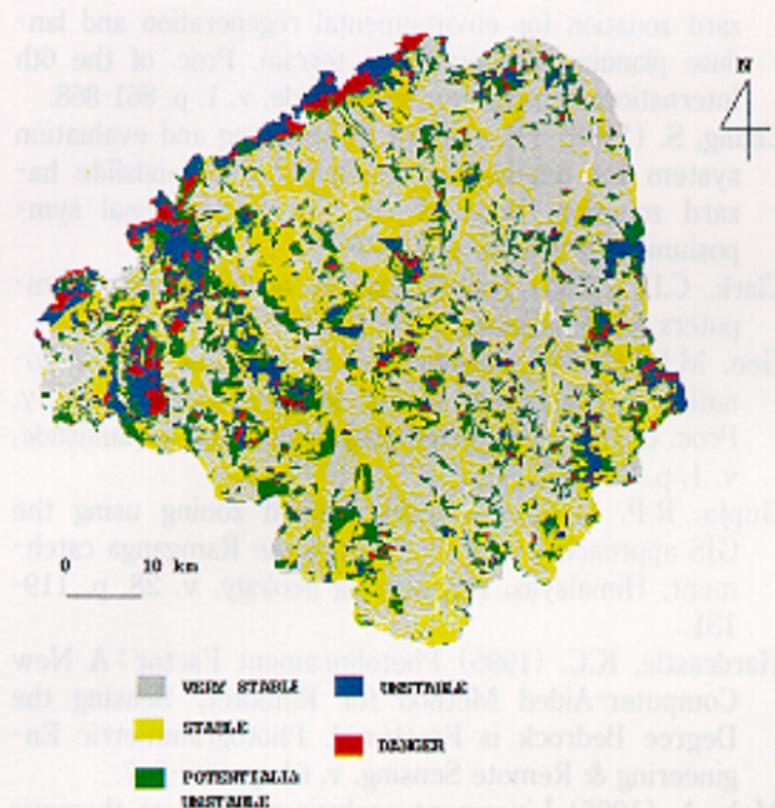


Fig. 6. Regional slope stability map in Ichon basin.

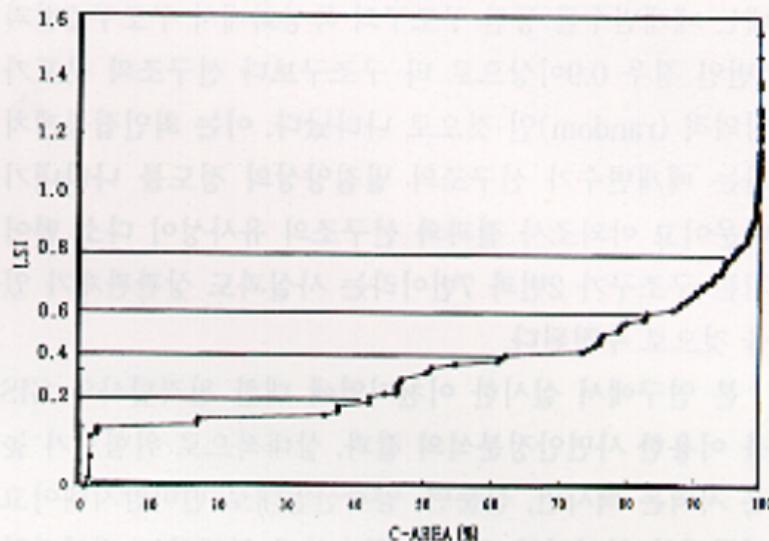


Fig. 7. Cumulative Area vs. LSV.

0.3, 0.45, 0.6, 0.8을 기준으로 5개의 등급으로 최종결과를 작성하였다.

## 토의 및 결론

내는 매개변수를 통한 구조구의 특성화에서 구조구 2번과 7번인 경우 0.9이상으로 타 구조구보다 선구조의 분포가 임의적 (random)인 것으로 나타났다. 이는 최인접통계치라는 매개변수가 선구조의 밀집양상의 정도를 나타내기 때문이고 야외조사 결과와 선구조의 유사성이 다소 떨어지는 구조구가 2번과 7번이라는 사실과도 상관관계가 있을 것으로 추정된다.

본 연구에서 실시한 이천지역에 대한 원격탐사와 GIS를 이용한 사면안정분석의 결과, 상대적으로 위험도가 높은 지역은 백사면, 신둔면, 양각산일대로 편마암지대이고 연구지역 북서지역 일대에 협소하게 분포하는 편암지역인 마장면지역과 선구조밀도가 높게 나타난 망향산, 북성산, 대포산일대로 화강암지대이다. 이를 지역은 주변 지역보다 상대적으로 사면의 불안정성이 높으므로 개발지역 선정시 또는 시설물의 설치와 안전관리시 본 연구결과는 유용한 참고자료로 될 것으로 보인다.

## 사      사

본 연구는 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 (KRA427, 04-D-0180) 연구비에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- 경재복 (1993) 남한의 지진출현과 지형 및 선구조선의 대비. *한국지구과학회지*, 14권, p. 480-491.
- 김윤종 (1992) 광역지질재해분석 (산사태)를 위한 GIS활용. *지질공학회지*, 2권, p. 131-140.
- 류근배 (1990) *지리정보론*, p. 19-35, 250-264, 상조사.
- 양형식 (1992) 국내주요암석의 파괴요건계수. *지질공학회지*, 29권, p. 91-102.
- 최 경 (1986) 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. *강원대학교 임학과 박사학위논문*.
- Anbalagan, R. (1992) Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and landuse planning in moutainous terrain. Proc. of the 6th International symposium on landslide, v. 1, p. 861-868.
- Chang, S. (1992) The simprecise mapping and evaluation system for engineering geological and landslide hazard zonation. Proc. of the 6th International symposium on landslide, v. 1, p. 9-15.
- Clark, C.D. (1994) Spatial analysis of lineaments, Computers & Geosciences, v. 20, p. 1237-1258.
- Gee, M.D. (1992) Classification of landslide hazard zonation method and a test of prediction capability. Proc. of the 6th International symposium on landslide, v. 1, p. 947-952.
- Gupta, R.P. (1990) Landslide hazard zoning using the GIS approach-a case study from the Ramganga catchment, Himalayas. *Engineering geology*, v. 28, p. 119-131.
- Hardcastle, K.C. (1995) Photolineament Factor : A New Computer-Aided Method for Remotely Sensing the Degree Bedrock is Fractured. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 61, p. 739-747.
- Mah, A. (1995) Lineament analysis of Landsat thematic mapper images, Northern Territory, Australia. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, v. 61, p. 761-773.
- Mather, P.M. (1987) Computer processing of remotely-sensed images, an introduction. p. 206-218, 242-275, John Wiley & Sons.
- Mehrotra, G.S. (1992) Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India. Proc. of the 6th International symposium on landslide, v. 2, p. 1001-1007.
- Moore, G.K. (1984) Objective Procedures for Lineament Enhancement and Extraction. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 49, p. 641-647.
- Nalbant, S.S. (1995) The use of Landsat TM imagery for analyzing lithology and structure of Korucu-Dugla area in western Turkey. *International Journal of Remote sensing*, v. 16, p. 2357-2374.
- Yoon, G., G. (1992) The extent and economic significance of landslide in Korea. Proc. of the 6th International symposium on landslide, v. 1, p. 1071-1076.

1997년 5월 21일 원고접수