

## 지구정보시스템을 이용한 충주호 북부 지역의 사면 안정 평가

문상기\* · 이영훈\* · 민경덕\*

### Analysis of Slope Stability Using GIS in the Northern Area of Chungju Lake

Sangki Moon\*, Younhoon Lee\* and Kyungduck Min\*

**ABSTRACT:** As a part of natural hazard assessment, regional slope stability analysis was conducted using Geoscientific Information System (GIS) in the northern area of Chungju Lake. Selected factors which affect the slope stability in the study area were lithology, soil, density of lineament, groundwater level, dip of slope, aspect of slope, and geological engineering properties. Geological structural domains were determined by collected data of joint orientation from about 200 sites in order to produce a slope instability map. Potential type of failure and its direction could be expected through the domains. And a slope instability map was produced, comparing the representative orientations of the domains with the orientations of the slopes which were made through TIN module in ARC/INFO. Under the consideration of environmental geological characteristics of the study area, rating and weighting of each factor of slope stability analysis were decided and spatial analysis of regional slope stability was conducted through overlaying technique of GIS. The result of areal distribution of slope stability showed that the most unstable area was the area between Mt. Pudae and Mt. Jubong, and the northern area of the railway station, Samtan.

## 서 론

때때로 인간에게 막대한 피해를 입히는 사면 붕괴 현상을 분석하고 이에 대한 효과적인 예방책을 제시하기 위해서 최근 들어 영상처리 기법과 GIS (Geoscientific Information System)를 이용하여 국내의 광역적인 사면 안정 평가를 시도한 연구들이 성행하고 있다 (이사로, 1992; 신현준, 1996). 그런데 여러 논문 (Anbala-gan, 1992; Pachauri, 1992; Chang, 1992; Hearn, 1992) 에서 사면 안정 평가시 중요한 요인으로서 지질공학적 요인을 첨가하는데 반하여 국내 연구에서는 아직 이와 같은 연구가 미비하다. 따라서 본 연구에서는 GIS 를 이용하여 지질공학적 요인을 새로 도입한 광역적인 사면 안정 평가를 실시하였다. 본 연구에서 다루는 지질공학적 요인은 절리, 층리면 등 불연

속면들과 지형 자료의 기하학적인 관계에 의하여 사면의 불안정성을 유발시키는 요인에 국한시킨다. 본 연구 지역은 주로 산악지형으로서 토양의 심도가 낮게 나타나는 곳이므로 이곳의 자연 사면들은 토양의 붕괴 특성보다는 암반사면의 붕괴특성을 따른다. 암반의 붕괴특성을 좌우하는 중요한 요소는 암반의 불연속면들이므로 이를 지질공학적 주 고려요인으로 첨가하였다. 이 외에 LANSAT TM 센서로 포착한 영상자료로부터 얻은 선밀도 분포도, 시추자료에 의한 지하수위도, 일반 지질도로부터 얻은 암상, 공학적 분류법에 의한 토양 종류, 사면경사, 사면방위에 대한 데이터베이스를 구축하고 이 요인들을 결합시켜 고려한 최종적인 사면 안정도를 산출 및 도시하였다. 연구지역은 지리적으로 동경 127°50'~128°10', 북위 36°55'~37°05'로서 행정적으로는 충청북도 충주호 북부에 위치한 증원군 동량면 일대이다. 이와 같은 사면안정도론은 이 지역의 개발 계획과 발전을 위한 기초자료로 응용될 수 있다. 전체적인 연구의 흐름 내용은 Fig. 1과 같다.

\* 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth System Sciences, Yonsei University, 134 Shinchondong, Seoul 120-749, Korea)

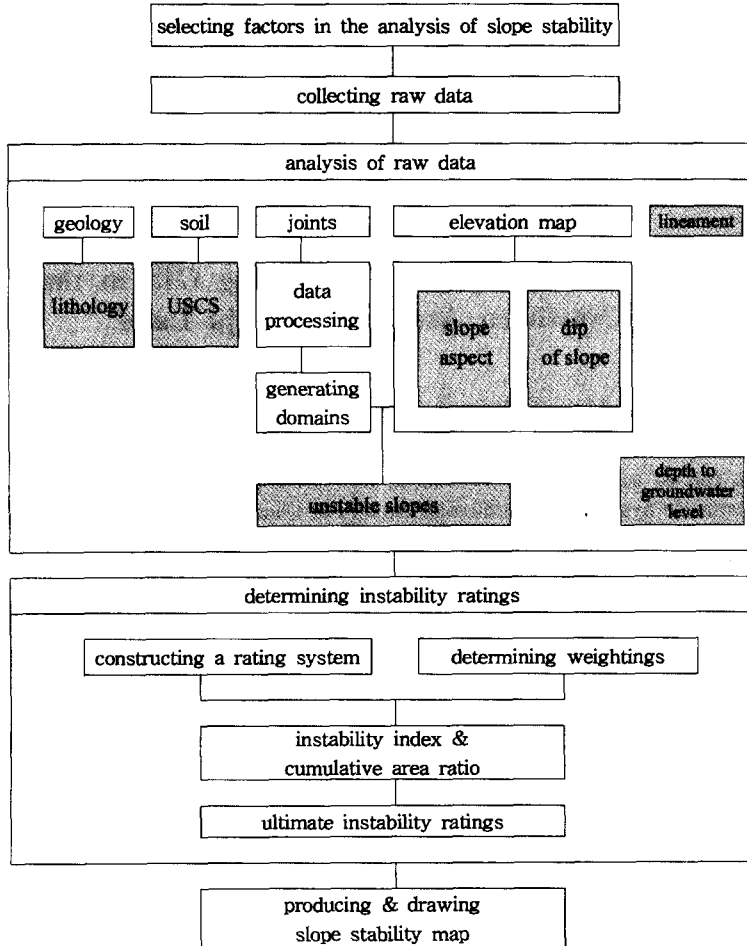


Fig. 1. Flow chart of slope stability analysis using GIS with geological engineering factors.

### 사면불안정 요인의 선정 및 등급구분

본 연구는 사면 불안정 요인들을 선정하기 위해 국내의 관련 논문들 10 편에서 선정한 요인들을 참조하고 그 요인들 중 연구 지역의 적용가능성을 검토하여 결정하였다.

본 연구 지역에서 나타나는 토질은 정밀토양도 (농업진흥청, 1978)의 분류를 공학적 목적으로 널리 쓰이는 통일분류법 (Unified Soil Classification System)에 맞추어 재분류한 후 각각의 토질공학적 특성에 따른 사면 붕괴 기여도에 따라 등급을 부여하였다 (Table 1a; 김윤중 외, 1991). 한편, 인공위성 영상으로부터 추출된 선구조의 공간적 분포에 따라 선밀도 분포도를 도출하였으며 선밀도가 높은 지역을 잠재적인 사면 불안정 지역으로 판단하여 높은 등급을 부여하였다

(Table 1b; 신현준, 1996). 또 사면방위는 Blong과 Dunkerley (1976)의 연구를 참조하여 붕괴 발생 빈도에 따라 사면 방위가 남향인 곳에 가장 높은 등급을 부여하고 그 다음으로 동향, 서향, 북향 순으로 등급을 부여했다 (Table 1c). 이는 사면 방위에 따른 일조시간 차이의 영향으로 남쪽 방향 사면들의 풍화정도가 다른 방위의 사면보다 크기 때문인 것으로 사료된다. 사면 경사는 정밀토양도의 배수기준과 분포면적을 고려하여 경사를 0~2, 2~7, 7~15, 15~30, 30~60, 60~100% 및 100 (%) 이상으로 분류하고 여기에 1~7 까지 등급을 주어 구분하였다 (Table 1d; 유일현 외, 1989). 압상에 따른 불안정등급은 국내 지질분포에 따른 사면 붕괴 발생비 (건설부, 1989)를 참조하여 분류하였다 (Table 1e). 연구지역의 지하수위에 대한 등급을 결정하기 위하여 수맥도 (농어촌진흥공사, 1987-

**Table 1.** Rating of (a) soil, (b) lineament density, (c) slope aspect, (d) degree of slope, (e) lithology, (f) level of groundwater.

(a)

| instability rating | Soil |
|--------------------|------|
| 1                  | GP   |
| 2                  | SW   |
| 3                  | SP   |
| 4                  | SM   |
| 5                  | ML   |

(b)

| instability rating | Lineament density |
|--------------------|-------------------|
| 1                  | 0.0~1.0           |
| 2                  | 1.0~2.0           |
| 3                  | 2.0~3.0           |
| 4                  | 3.0~4.0           |
| 5                  | 4.0~5.0           |
| 6                  | 5.0~              |

(c)

| instability rating | Slope aspect               |
|--------------------|----------------------------|
| 1                  | Flat Area                  |
| 2                  | Northwest, North           |
| 3                  | Northeast, Southwest, West |
| 4                  | Southeast, East            |
| 5                  | South                      |

(d)

| instability rating | Dip of slope (%) |
|--------------------|------------------|
| 1                  | 0~2              |
| 2                  | 2~7              |
| 3                  | 7~15             |
| 4                  | 15~30            |
| 5                  | 30~60            |
| 6                  | 60~100           |
| 7                  | 100~             |

(e)

| instability rating | Lithology                                     |
|--------------------|---|
| 1                  | Limestone, Dolomite                           |
| 2                  | Biotite granite, Granite, Porphyry, Quartzite |
| 3                  | Gneiss  |
| 4                  | Chlorite schist, Phyllitic rock               |

(f)

| instability rating | Depth to groundwater level (cm) |
|--------------------|---------------------------------|
| 1                  | 914.4~524.0                     |
| 2                  | 457.2~914.4                     |
| 3                  | 152.4~457.2                     |

1992)와 충주댐 관련 시추조사 자료 등을 이용하여 총 229 공에 대해 데이터베이스가 구축되었다. 이 자료들로부터 회귀분석법을 이용하여 연구지역의 지하수위를 전체적으로 분석하였다. 관계식은 다음과 같다.

$$wt = 0.990185203 \times s - 3.32505955, \gamma^2 = 0.985 \quad (1)$$

(s: 지표면의 고도, wt: 지하수위의 고도)

상관계수 ( $\gamma^2$ )는 0.985로 비교적 높은 값을 보여주었으며, 이 식을 이용하여 계산된 연구지역의 지하수 깊이 범위와 등급은 Table 1f와 같다 (이사로 외, 1996).

지질공학적 요인의 경우 기존의 경험적 또는 통계적 사면안정 평가법에서 사면의 경사, 사면의 방위, 불연속면의 유무, 암상 등에 대해 분리적으로 등급 및 가중치를 고려하는 것과는 달리 각각의 요소들의 상호 관계에 의한 1차적인 사면안정평가의 기준으로서 Hoek and Bray (1979)가 제시하는 방법을 이용하였다. 이들은 주로 평면파괴와 쐐기형 파괴 (plane and wedge failure)에 관한 충분조건을 설정하였다. 즉, 암괴가 어느 절리면을 따라서 분리하려

면 평면파괴의 경우

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

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

③ 절리의 경사각이 절리면의 마찰각보다 커야 한다. 쐐기형 파괴는 상기의 평면 파괴와 같으나 다만 절리면의 주향, 경사 대신 두 절리면이 만나서 이루는 선의 편각 (trend)와 복각 (plunge)을 이용하게 된다.

본 연구에서 사면의 경사와 방향은 지형도로부터 얻어진 등고 자료를 GIS의 TIN 형태로 변환, 처리하여 구하였으며 절리의 주향과 경사는 야외조사로부터 구하였다. 또한 암상에 따른 마찰각은 한국 원자력 연구소 (장천중, 1990)의 자료를 이용하였다.

상기 조건을 만족하는 지역은 Fig. 2와 같은 순서에 의거, GIS의 벡터형 응용 프로그램 중 하나인 ARC/INFO의 속성 자료를 처리하는 TABLES module을 통하여 추출하였으며 사면안정분석의 자료층으로 활용하였다.

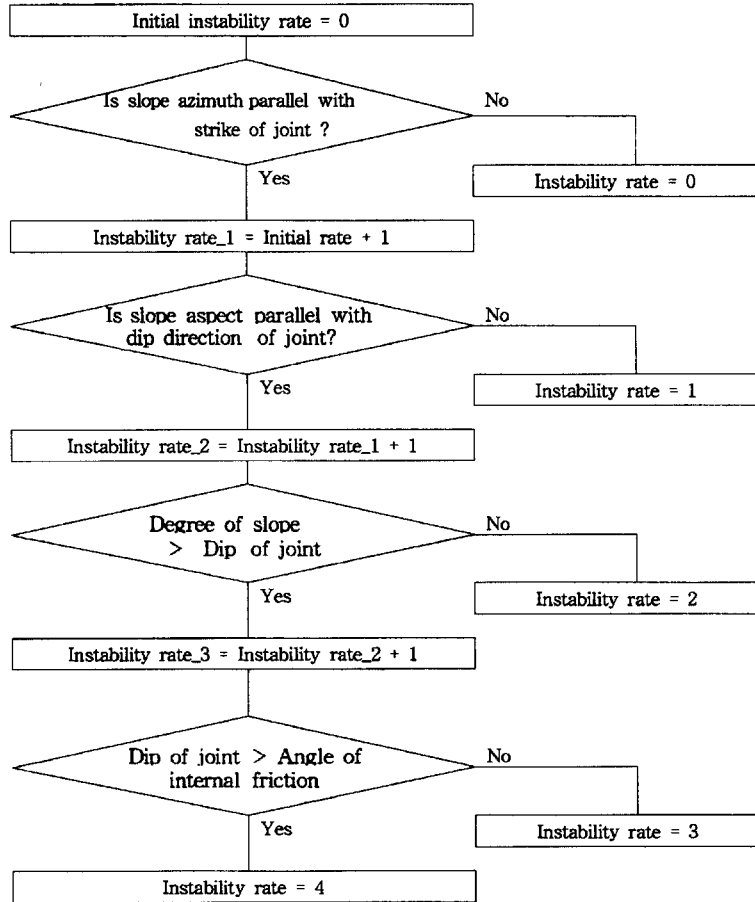


Fig. 2. Rating of unstable slopes by Hoek and Bray's method (1979).

지질공학적 요인에 의한 사면불안정 분석

Fig. 3은 전체 연구 지역에서 얻은 불연속면들의 방향성에 대한 stereonet 이다. 본 연구지역은 주로 변성암류로 구성되어 있기 때문에 불연속면의 종류도 주로 foliation과 joint 들로 구성되어 있었다. 그림 에서 알 수 있듯이 불연속면들은 set 1:32/279, set 2:83/290, set 3:89/210 (이상 경사/경사방향) 으로서 주로 북서쪽의 경사방향을 가지고 있는 것을 알 수 있는데 이는 옥천대 지역의 전체적인 주향을 잘 반영하는 것이다. 그러나 사면 안정 평가를 위해서는 보다 세부적이고 구체적인 지역의 방향성 자료의 분석 결과가 필요하므로 이를 위해서 해외에서 주로 이용하는 지질학적 구조구의 개념을 도입하였다 (Hoek and Bray, 1979), 즉 지질학적 구조구는 유사한 방향성을 갖는 불연속면들의 그룹을 의미하며 이로써 현장자료로부터 연

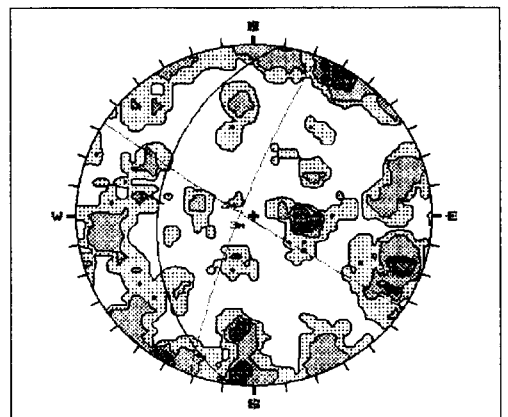


Fig. 3. Stereonet of the entire area.

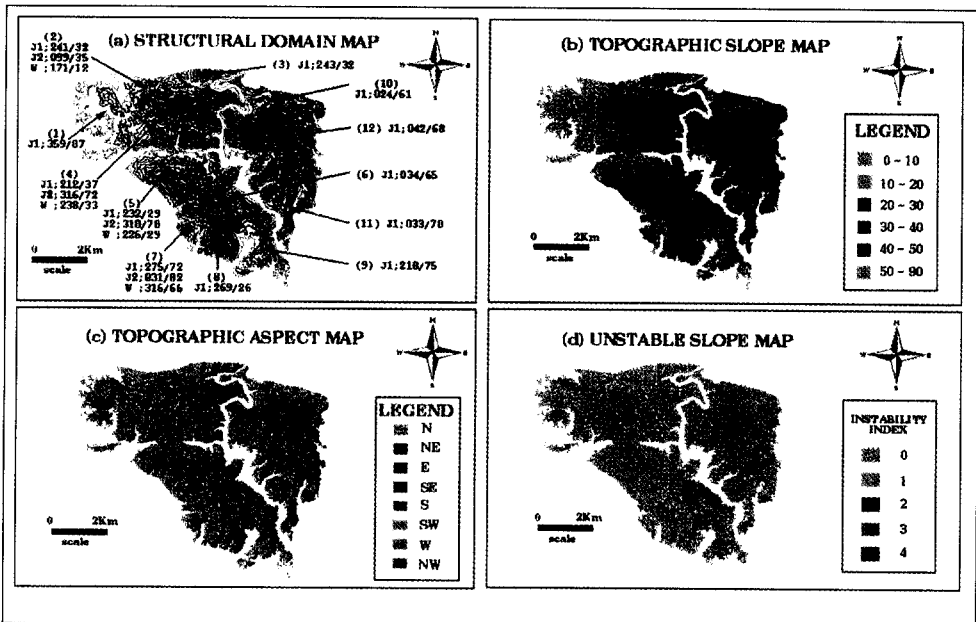
구 지역 전체 불연속면들의 방향성 분포를 특성화시킬 수 있다.

본 연구는 기존 연구들과 달리 Hoek and Bray 방법에 의한 결과를 지질공학적 요인으로 고려하여 전체적인 사면불안정 분석에서 고려되는 요인들 중 하나의 요인으로 첨가하였다. 이러한 불안정 사면을 평가하기 위한 1차적 단계로서 사면의 방향과 비교될, 방향성이 유사한 불연속면들의 집합인 구조구를 구분하기 위하여 200 여개의 지점에서 절리면의 주향과 경사를 측정하였다. 측정된 절리면의 주향과 경사를 그려 보아서 유사한 방향성을 보이는 절리군을 1차적으로 선정 한 후 절리군 사이의 자료들은 그 방향성을 고려하여 방향성이 보다 가까운 절리군에 포함시키므로써 절리군

을 구분하였다. 총 12개의 구조구가 형성되었고 각 구조구에 있는 절리 자료들의 우세한 주향과 경사는 Table 2와 같다. 결과와 같이 한 개 내지 두 개의 주된 방향을 가지는 경우가 나타났으며 한 개의 주절리를 가지는 경우 발생할 수 있는 사면 붕괴 유형은 평면파괴 뿐이나 주된 절리의 방향이 2개인 구조구에서는 그것들의 교차에 의하여 썩기형 파괴가 일어날 수 있으며 그 파괴 예상 방향에 해당하는 교차선의 편각과 복각을 구하였다 (Fig. 4a). 이와 같이 하나씩 지정된 가능한 파괴 방향과 각 구조구에서 GIS의 TIN 작업을 통해 생성된 사면의 경사와 경사방향을 위에서 설명한 Hoek and Bray method에 의해 비교하여 등급을 결정하였다 (Fig. 4b, c). 불안정 사면도를 보면 5번 (지등산과 관모봉), 10번 (부산 일대) 구조구에 해당하는 사면들은 모두 안정한 것으로 나타났는데 이는 사면의 방위각과 절리군의 주향이  $\pm 20^\circ$  내에서 평행하지 않기 때문이다. 반면, 3번 (삼탄역 북부 일대와 명서리), 8번 (포란리), 11번 (사기리) 구조구에 해당하는 사면들이 가장 불안정한 것으로 나타났는데 이는 사면의 방위각과 절리군의 주향이 평행하고 경사방향도 같은 방향일 뿐만 아니라 사면의 경사가 절리군의 경사보다 크거나 또는 암석의 마찰각이 절리군의 경사각보다 작은 경우이다. 나머지 1, 2, 4, 6, 7, 9, 12번 구조구에 속하는 사면들은 대개 안정 또는 잠재적으로

**Table 2.** Preferred Orientation of the structural domains 1~12. (단, 방향은 dip direction/dip 임)

| domain   | Joint 1 | Joint 2 | Trend/Plunge of Wedge |
|----------|---------|---------|-----------------------|
| domain1  | 002/84  | -       | -                     |
| domain2  | 241/32  | 099/35  | 171/12                |
| domain3  | 243/32  | -       | -                     |
| domain4  | 212/37  | 316/72  | 238/33                |
| domain5  | 232/29  | 310/78  | 226/29                |
| domain6  | 034/65  | -       | -                     |
| domain7  | 275/72  | 031/82  | 316/66                |
| domain8  | 269/26  | -       | -                     |
| domain9  | 210/75  | -       | -                     |
| domain10 | 024/61  | -       | -                     |
| domain11 | 033/70  | -       | -                     |
| domain12 | 042/60  | -       | -                     |



**Fig. 4.** Evaluation of unstable slopes.

불안정한 사면들로 판명되었는데 이는 사면과 절리군의 방위각과 주향 또는 경사방향이 같은 방향이지만 경사각에 대해서는 불안정한 조건을 만족하지 않는 것들이다 (Fig. 4d). 한편 사면경사와 사면 방위도면은 그 자체로서 사면 불안정 요인으로 선정된 바 결과 도면을 보면 사면 경사의 경우 산악 지역에서 높은 경사도 (40°~50°)를 보이고 평지에서는 낮은 경사도를 보인다 (Fig. 4b). 사면 방위도면의 경우 등급이 가장 높은 남향인 사면은 두갈봉 일대에서 부산 남부 일대로 이어지고 있음을 볼 수 있으며 삼탄역 북부 일대에도 존재하고 있다 (Fig. 4c).

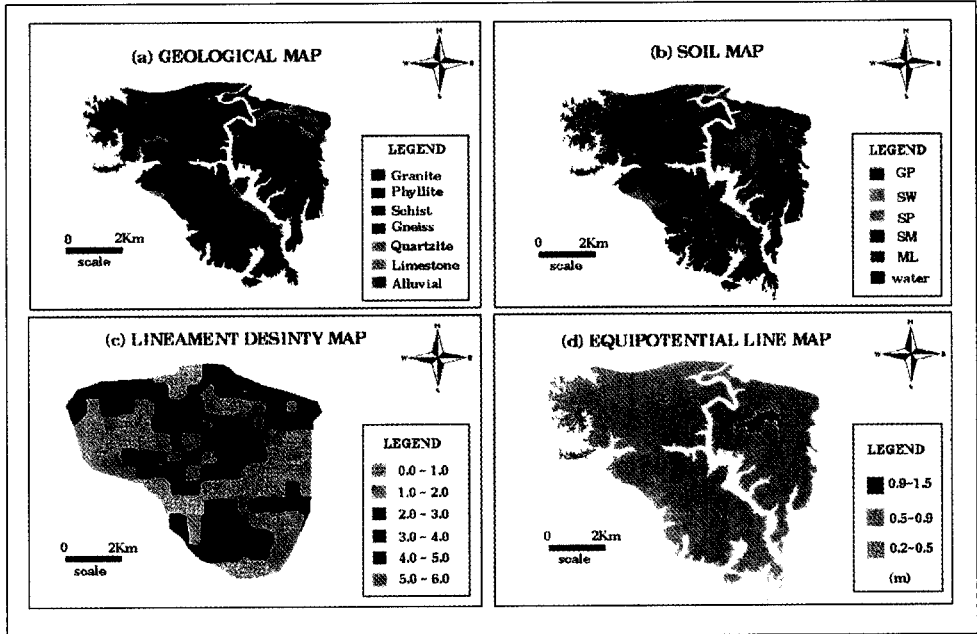
**그 밖의 사면불안정 요인들에 의한 분석**

앞에서 설명한 지질공학적 요인과 함께 GIS를 이용한 사면 안정 평가에 사용된 자료층은 Fig. 5 와 같다. 암상은 옥천계에 해당하는 천매암, 편암, 편마암으로 구성되어 있으며 옥천계의 형태에 따라 옥천계의 상하에 중생대 화강암이 나타나고 있다 (Fig. 5a). 토양은 주로 실트질 모래 (SM)가 주를 이루는데 이것은 조립토 중 No. 4체 (4.76 mm) 이하의 입도를 가지는 모래질 토양으로서 실트가 전체의 12% 이상인 토양에 해당된다. 입자가 크지 않은 변

성암을 모암으로 하기 때문에 이러한 토양이 나타나고 있다 (Fig. 5b). 선밀도 분포도를 보면 가장 높은 밀도를 보이는 지역은 부산 일대와 사동리 일대이다 (Fig. 5c). 지하수위도를 보면 연구 지역 전반에 걸쳐 지하수위가 457.2~914.4 cm에 해당하는 것으로 나타났다. 선밀도가 가장 높은 지역에 해당하는 부산 일대의 지하수위가 지표면으로부터 가장 깊게 나타났으며 연구지역 전체에서 지표면 고도가 가장 낮은 지역인 연구 지역의 서쪽 변두리의 지하수위가 가장 낮게 나타났다 (Fig. 5d). 이는 지표면의 등고가 낮을수록 지하수위는 등고가 높은 지역보다 상대적으로 높게 나타나는 회귀분석식의 성질이 반영된 것이다.

**Table 3.** Ratings and weightings of selected factors in slope stability analysis.

| Factor                                       | Rating | Weighting |
|--|--------|-----------|
| Unstable slope (from Hoek and Bray's method) | 0~4    | 8         |
| Dip of Slope                                 | 1~7    | 7         |
| Soil   | 1~5    | 6         |
| Lineament density                            | 1~6    | 5         |
| Lithology                                    | 1~4    | 4         |
| Aspect                                       | 1~5    | 3         |
| Depth to groundwater                         | 1~3    | 2         |



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

**충주호 북부 지역의 광역적 사면안정분석**

광역적 사면 안정 분석을 위해 사면안정에 미치는 중요도에 따라 선정된 사면불안정요인의 가중치를 Table 3과 같이 부여하였다. 이 중 지하수위를 제외한 모든 요인들은 본 연구지역의 환경지질학적 여건을 고려하면서 김윤중 외 (1991)의 연구와 신현준 (1996)의 연구에서 설정한 가중치를 상호 비교하여 종합적으로 가중치를 부여하였다. 지하수위는 회귀분석에 의해 추출한 것이어서 다른 요인들에 비해 부정확하므로 가장 작은 가중치를 부여하였다.

선정된 각 요소에 대한 불안정등급과 가중치를 고려하여 연구지역에서의 사면 불안정 지수 (Instability Index)를 다음과 같이 구하였다.

$$\text{불안정 지수} = \sum(\text{요소별 불안정 등급} \times \text{가중치}) \quad (2)$$

따라서 불안정지수가 높다는 것은 사면의 불안정성 즉, 붕괴가능성이 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 더함으로써 이루어졌다.

상기한 방법에 따라 계산된 불안정지수는 22~116까지의 범위를 갖는다. 그리고 이를 적합한 불안정 등급으로 분류하여 최종 사면 안정 도면을 작성하기 위해 불안정지수를 세로축으로, 이들의 누적분포면적 (%)을 가로축으로 하여 누적 분포도를 작성하였다 (Fig. 6). 그리고 이 분포도 곡선 상에서 가장 두드러진 변화를 나타내는 변곡점 (불안정 지수 44, 58, 86)을 선택하여 최종 불안정 등급을 결정하였다. 이러한 최종 불안정 등급의 결정방법은 김윤중 외 (1990)의 연구를 참조하여 이루어졌으며 이들에 의해 전체 지수를 4 등급으로 구분하여 최종 사면 안정도를 작성하였다

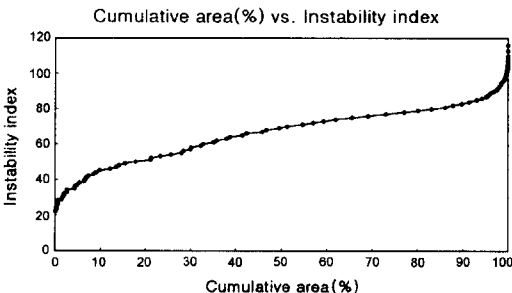


Fig. 6. Cumulative area (%) vs. Instability index.

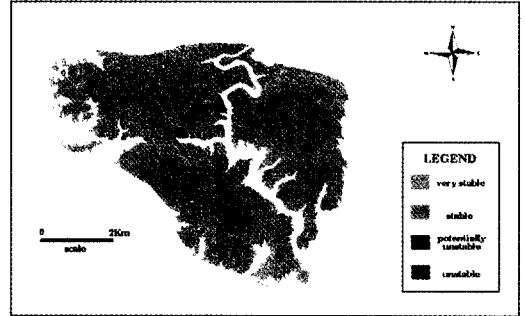


Fig. 7. Regional slope stability map.

(Fig. 7). 작성된 도면의 최종 불안정 등급은 사면의 상대적인 불안정도를 나타내는 것으로 이러한 불안정 등급이 높은 지역은 호우, 지진과 같은 사면 붕괴 유발요인의 존재시 붕괴가 가능한 지역으로 고려될 수 있으며 앞으로의 개발지의 선정시에도 정밀한 조사가 요구되는 지역으로 판단된다.

연구지역의 최종 사면안정도를 보면 불안정한 사면은 주로 부대산 남단과 주봉산 사이, 산척면 삼탄역 북부 일대에 존재하며 잠재적으로 불안정한 사면은 인등산 남쪽으로 폭넓게 나타나고 있다. 연구 지역 전반에 걸쳐 있는 사면들은 대부분 안정한 사면들로 판별되었고 가장 안정한 사면들도 그 수는 적지만 폭넓게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 가장 불안정한 지역에 해당하는 부대산 남단과 주봉산 사이 및 산척면 삼탄역 북부 일대는 사면의 경사가 30°~50°에 해당하는 지역으로 다른 지역에 비해 고경사 지대이며 절리과 사면이 보다 평행한 불안정한 사면들이 분포하는 지역이다. 특히, 구조구 3번과 6번에 해당하는 지역으로서 암반 붕괴가 발생한다면 우세한 방향이 한 방향으로 나타나므로 예상되는 파괴 유형은 둘 다 평면 파괴이며 그 방향은 산척면 북부 일대에서는 243/32, 부대산 남단과 주봉산 사이에서는 034/65로 예상된다.

**토의 및 결론**

본 연구에서는 GIS를 이용하여 광역적인 사면안정 평가를 실시하였다. 사면 안정 평가에서 사면 붕괴 발생 요인의 선정과 선정된 각각의 인자들의 등급 및 상대적 중요도 (가중치)의 부여에는 객관적이고 통계적인 근거 제시가 기대된다. 그러나 본 연구에서는 기존 연구 논문들을 참조하여 각 나라 연구 지역에서 공통적

으로 중요하게 여긴 요인들을 선정하였다. 그리고 그 요인들의 등급 및 가중치도 연구 지역 주변에 대한 연구 논문들을 참조하여 일률적으로 부여하였다. 이러한 경험적인 방법은 연구의 객관성을 유지하지 못하고 연구자마다 다른 결과를 만들어내는 단점을 가진다. 객관적이고 통계적인 등급 체계에 근거한 사면 안정 평가를 하기 위해서는 연구 지역에서 발생한 사면 붕괴에 대한 자료가 필요하다. 하지만 본 연구 지역에 대한 사면 붕괴 자료는 전혀 구축되어 있지 않았으며 주변 지역 (충청북도 전체 지역)에서 발생한 사면 붕괴 자료들로부터 통계적인 등급체계 및 가중치를 만들어 적용하기에는 그 자료의 양이 방대하고 자료가 얻어진 지역이 연구지역에 비해서 광범위한 점 등 많은 어려운 점이 있었다. 그러므로 일반적으로 광역적인 사면 안정 평가시 자료가 부족한 경우에 적용하는 경험적인 방법을 본 논문에서도 적용하였다. 이에 대하여 광역적인 사면안정 평가에서 경험적인 방법은 객관적이고 통계적인 등급체계에 의한 평가와 크게 다르지 않다는 보고도 있다 (Chang, 1991). 사면 붕괴 지역의 붕괴 면적과 사면 붕괴 발생 요인들에 대한 자료들이 구축되어 있을 때 여러 통계 처리에 의하여 연구 지역의 환경 지질학적 조건에 근거한 객관적인 등급체계 및 가중치가 결정된다 (노형진, 1990; 최경, 1986). 실제 이와 같은 사면 붕괴 예측에 관한 연구에서 많이 사용되는 통계적 기법으로는 다변량 해석법의 일종인 수량화 I류 등이 있다 (노형진, 1990; Kasa, 1992). 그러나 본 연구에서와 같이 GIS를 이용한 광역적인 사면 안정 평가를 위해서 이와 같은 통계적 기법을 적용할 때엔 많은 한계가 있다. 자료의 부족함 외에도 GIS를 이용한 광역적인 사면안정 평가와 같은 연구의 성격상 사면 붕괴 발생 요인들 중 상세한 조사를 수반해야 하는 요인들에 대한 자료충을 얻기가 어렵다. 또한 광역적인 연구를 위해서 선택되는 요인들에 대하여 수량화와 같은 통계처리를 실시할 때 정밀한 유의성 (significance)을 가지기 어려운 점도 존재한다.

따라서 사면안정 평가에 대한 보다 발전된 연구를 위해서는 국내 사면붕괴 발생 자료의 체계적인 자료 구축이 필요하다. 즉, 보다 넓은 지역에 걸쳐서 또한 보다 자세한 현장 조사를 통해서 사면 붕괴지 파악 및 사면 붕괴 발생 요인들에 대한 자료의 구축이 실시되어야 할 것이다.

본 연구에서 사용한 사면불안정 요인들은 지질공학적 요인, 토양, 암상, 지하수위, 선밀도분포도, 사면경사, 사면방위, 불안정사면도 등이다. 이들 요인들 중에

서 문제점으로 지적될 수 있는 것들을 살펴보면, 지하수위의 경우 연구 지역을 제외한 시추 자료로부터 회귀분석에 의하여 얻어진 자료이므로 보다 신빙성있는 자료를 얻기 위해서는 연구 지역의 시추 자료를 필요로 한다. 선택된 요인들 중 토양의 경우 통일분류법에 따른 재분류 과정에서 실제로 토양 시료를 대상으로 하여 실험 과정을 필요로 하나 본 연구가 광역적이고 기초자료로의 활용을 위한 것이므로 정밀토양도로 대신하였다.

다음으로 본 연구에서는 기존 연구를 참고하여 일률적으로 가중치를 적용하였는데 객관적인 가중치를 부여하기 위한 기초적인 연구가 필요하다.

이상에서 토의한 것과 같이 변수 요인의 선정과 가중치의 적용에 따라 불안정 지수가 결정된다. 또 이 불안정 지수와 누적분포면적비에 대한 곡선으로부터 변곡점을 구하여 최종 불안정 사면도의 불안정성을 평가하게 된다. 즉, 변수 요인의 선정과 가중치의 값은 최종 불안정 사면도의 불안정성을 결정하는 데 있어서 가장 근본적인 요인들이다. 그러므로 변수 요인의 선정과 가중치의 적용은 객관적이고 일관된 기준에 의해서 실시되는 것이 바람직하다. 그러나 연구 지역에서 얻을 수 있는 환경지질학적 변수들의 종류와 빈도는 각 지역마다 차이가 있고 또한 환경지질학적 조건에 따라 그 가중치도 다소간의 차이가 생기게 된다. 따라서 전세계적으로 일관된 변수 요인의 선정과 가중치의 적용에는 한계를 가질 것이다. 하지만 이러한 한계에도 불구하고 보다 작은 범위에 대하여 일관된 변수 요인의 선정과 가중치의 적용에 대한 기준을 제시하는 연구가 실시되고 그 연구의 결과가 맺혀지고 있다. 대표적으로 미국 지역의 지하수 오염 취약성 평가를 위한 시스템인 DRASTIC 을 예로 들 수 있다. 따라서 국내의 광역적인 사면 안정 평가에 대해서도 국내의 환경지질학적 조건에 부응하는 불안정 요인들과 각각의 가중치값들에 대한 일관된 기준이 제시되어야 한다.

그럼에도 불구하고 광역적인 사면 안정 평가시 본 연구는 넓은 지역에 대하여 신속하고 효과적인 평가를 실시할 수 있다. 또 한 번 평가된 지역에 대한 자료는 전산화되어 데이터베이스로 구축되어 반영구적으로 보존되며 언제든지 사용할 수 있고 또 필요한 경우 수정 및 갱신도 손쉽게 행할 수 있다. GIS에 있는 여러 분석 기능을 이용하여 유용한 분석을 할 수 있는데 그 중 하나가 중첩 기능으로서 이 기능을 사용하여 사면 붕괴 발생 요인들을 결합시켜 종합적으로 고려할 수도 있다.



본 연구에서 실시한 충주호 북부 지역에 대하여 GIS를 이용한 사면 안정 분석 결과 사면불안정도가 가장 큰 위험지역은 부대산 남단과 주봉산 사이, 산척면 삼탄역 북부 일대에 해당된다. 이 지역은 상대적으로 높은 경사도를 보이고 지질공학적인 방법에 의하여 평가된 불안정 사면들이 존재하며 예상되는 붕괴 유형은 암반 붕괴일 경우 평면 파괴에 해당하며 그 방향은 부대산 남단과 주봉산 사이에서는 034/65, 산척면 삼탄역 북부 일대에서는 243/32로 예상할 수 있다. 그러나 연구 지역 전반에 걸쳐서는 안정한 사면들이 분포하고 있다. 본 연구 결과를 통해 연구지역에서 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 가장 높은 곳을 제시할 수 있으며 또한 도로 건설 및 대단위 공단 조성 시에 기초도면으로의 활용을 기대할 수 있다.

## 사 사

본 연구는 1998년도 교육부 기초과학 육성연구비(과제번호 98-015-D00273)의 지원에 의하여 이루어졌다.

## 참고문헌

- 건설부 (1989) 영산강수계 종합정비계획.  
국립지리원. 한국지형도 (덕산, 업정, 제천 도폭).
- 김윤중, 김원영, 유일현, 박수홍, 백종학, 이현우 (1991) GIS를 이용한 광역지질재해 (산사태) 분석연구. 대한원격탐사학회, 7권, 2호.
- 김윤중, 김원영, 유일현, 백종학, 이현우, 류중희 (1990) 쓰레기 매립장 부지설정을 위한 GIS 활용연구. 대한원격탐사학회, 6권, 2호, p.135-151.
- 노형진 (1990) 다변량해석-질적 데이터의 수량화. 도서출판 석정.
- 농어촌진흥공사 (1987-1992) 수매도 조사보고서 (충청북도).
- 농업진흥청 (1978) 한국개략도양도 1-1.
- 신현준, 이영훈, 민경덕, 원중선, 김윤중 (1996) 원격탐사와 지구정보시스템을 이용한 충주지역의 사면안정 분석. 자원환경지질, 29권, 5호, p.615-622.
- 유일현, 한대석, 김원영, 김윤중, 이수곤 (1989) 서울 성동 지역 응용지질도. 한국동력자원연구소.
- 이사로 (1992) 지리정보시스템 (GIS)을 이용한 청주지역의 광역적 산사태 분석 연구. 석사학위 논문. 연세대학교 지질학과 대학원. p.1-61.
- 이사로, 김윤중 (1996) DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구. 한국 GIS 학회, 4권, 1호, p.1-11.
- 장천중 (1990) 절리암반에서 조도와 전단강도와의 관계. 한국원자력연구소. p.15-21.
- 최 경 (1986) 한국의 산사태 발생 요인과 예지에 관한 연구. 박사 학위 논문. 강원대학교 입학과. 한국동력자원연구소. 한국지질도 (목계, 제천, 황강리 도폭).
- Anbalagan R.. (1992) Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land-use planning in mountain terrain. Proc. of the 6th Inter. Symp. on Landslide, v.2, p. 861-868.
- Blong, R. J., Dunkerley, D.L. (1976) Landslide in the Razorback area. New South Wales, Australia. Geografiska Annaler, 58A (3), p.139-147.
- Chang, S. C. (1992) The simprefine mapping and evaluation system for engineering geological landslide hazard zonation. Proc. of the 6th Inter. Symp. on Landslides. v. 2, p. 905-910.
- Hearn, G. J. (1992) Terrain hazard mapping at Ok Tedi mine, Papua New Guinea. Proc. of the 6th Inter. Symp. on Landslides, v. 2, p. 971-976.
- Hoek, E., Bray, W. J. (1979) Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London, .
- Kasa, H. et al. (1992) Study on landslide prediction model using satellite remote sensing data and geographical information. Proc. of the 6th Inter. Symp. on Landslides, v. 2, p. 983-988.
- Pachauri, A. K. et al. (1992) Landslide hazard mapping based on geological attributes. Eng. Geol., v. 32, p. 81-100.

1999년 9월 14일 원고접수, 1999년 10월 19일 게재승인.