

## 지구정보시스템을 이용한 금수산일대의 암반사면 안정성 평가

배현철\* · 문상기\* · 이영훈\*

### Analysis of Rock Slope Stability by Using GIS in Mt. Keumsu Area

Hyun-chul Bae\*, Sang-ki Moon\* and Young-hoon Lee\*

**ABSTRACT:** The goal of this study is to assess the spatial distribution of unstable natural slopes and cutting slopes under would-be development. For this goal, a quantitative slope stability analysis method using GIS integrated with a computer program was developed. Through field investigations, the discontinuity parameters were collected such as orientation of discontinuity, persistence, spacing, JRC, JCS, and water depth. The distributions were interpolated from the ordinary kriging method in ARC/INFO GIS after variogram analysis. The layers showing all parameters needed for limit equilibrium analysis were constructed. The final layer using GIS works was composed of 162,352 polygons, that is, unit slopes. The rock slope stability analysis program was coded by C++ language. This program can calculate geometrical vectors related to rock block failures using input orientation data and direction and dimension of strength to occur failure. Also, this can calculate shear strength of joints through empirical equations and quantitative factors of safety. This methodology was applied to the study area which is located in Jaechon city and Danyang-gun of the northeastern part of the Okcheon belt showing various lithologies and geological structures. The area including Mt. Keumsu is about 135 km<sup>2</sup>. As a result, the study area was entirely stable but unstable, that is, factor of safety less than 1.0 dominantly at the slopes near Keumsil, Daejangri, Keumsungmyun and Sojugol, Mt. Dongsan, Juksongmyun by the natural slope stability analysis. Assuming the cutting slope showing the same direction as natural slope and the slope of 63 degree, the stability map was made. It was concluded that economical, immediate, and quantitative analysis of factors of safety for a regional area could be conducted through GIS integrated with a computer program of the limit equilibrium.

### 서 론

사면의 안정성을 평가하는 방법은 크게 정량적인 방법과 정성적인 방법으로 나누인다. 이 중 정량적인 방법은 사면의 불안정성에 대하여 철저하게 이해한 것을 바탕으로 수식화하여 확률이나 안전율로서 평가를 하게 된다. 이 방법은 사면의 불안정성을 철저하게 이해해야 한다는 어려움에도 불구하고 수식과 수치에 의한 결과와 같이 객관성이 확보되므로 과학적인 방법으로서 더 큰 의미가 있다 하겠다. 국내 논문 중 GIS를 이용하여 광역적인 사면 안정성을 평가할 때에 안전율의 개념을 사용한 것은 극히 드물다. 본 연구에서는

토층의 심도가 낮고 비교적 토층물질의 사태보다는 암반사면의 절리를 따라 압체가 붕괴되는 형태의 사태가 일어날 가능성이 높은 지역에 대하여, 지질공학적 접근을 통해 자연 암반사면 안정성에 대한 정량적 평가를 실시하였다. 또한 건설부지의 선정이나 산악도로의 경로선정 등에서 요구되는 광역적이며 개략적인 가상 절취 암반사면의 안정성을 평가하기 위하여 공학적으로 요구되는 안전율의 값을 사용하였으며 이로써 경제적이고 정량적인 광역적 암반사면 평가의 한 방법을 제시하였다.

특히 본 연구에서는 지질공학적 자료들로부터 암반사면의 정량적인 안전율을 구하기 위하여 한계평형식을 프로그래밍하여 사용하였다. 또한 효과적인 공간자료의 처리를 위하여 지구정보시스템 (GIS, Geoscientific Information System)을 사용하였다. 지질공학적 모

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

수들은 기존 실험들에 의한 자료와 야외조사를 토대로 얻었으며, 체계적인 데이터베이스를 구축한 후 광역적인 불안정 암반사면의 분포를 분석함으로써 잠재적으로 발생가능한 암반사면 붕괴의 정량적 예측모형을 개발하였다.

본 연구 지역은 다양한 암상과 복잡한 지질구조를 나타내는 옥천대 북동부에 위치한 충북 제천시와 단양군의 일부를 포함하는 충주호 동부 금수산일대지역의 약 135 km<sup>2</sup> 지역이다. 전체적인 연구의 흐름 내용은 Fig. 1과 같다.

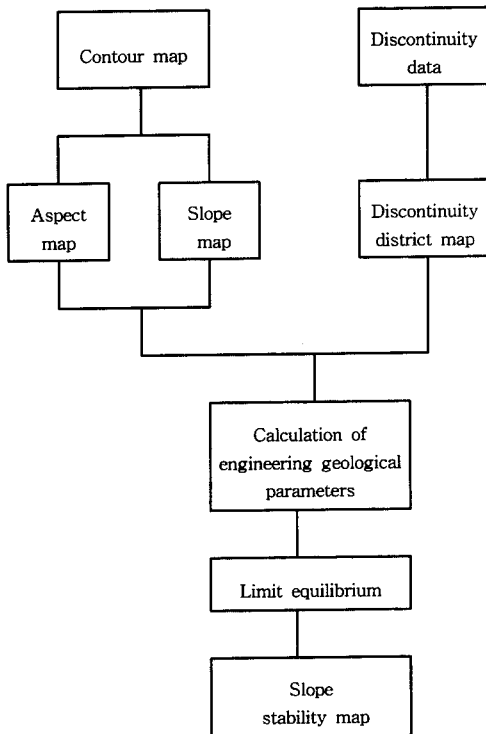
**기본도 작성**

본 연구지역의 사면방위도 (aspect map)와 사면경사도 (slope map)를 작성하기 위하여, 먼저 제천, 영월, 덕산, 단양 지역에 대한 지형도 (1:50,000)로부터 지형등고가 디지털타이저로 입력되었다. 이렇게 구축된 선형태의 등고자료를 지구정보시스템의 기능을 사용하여 TIN형태로 변환하고 다시 이를 자료층화 함으로써, 약 39,000 여개의 단위사면에 대하여 사면의 방위와 사면

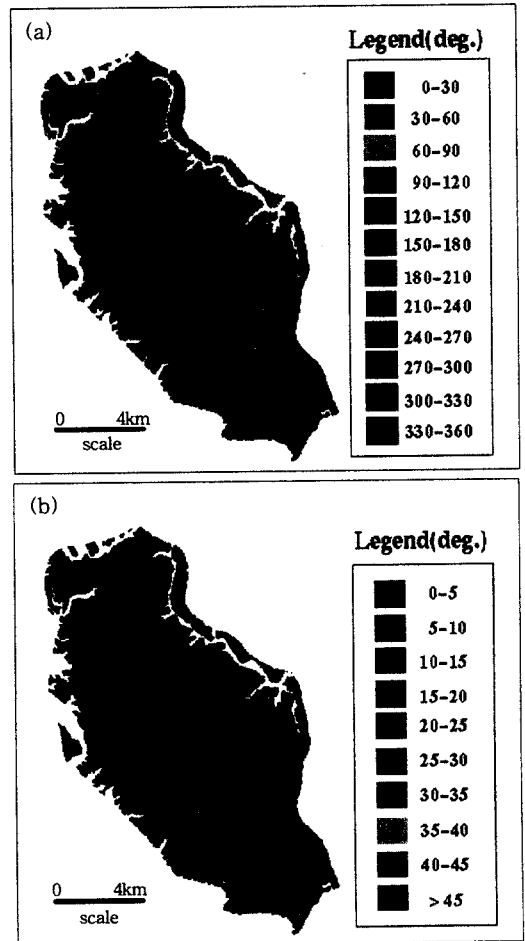
의 경사를 가지는 자료층이 작성되었다 (Fig. 2). 또한 본 연구지역의 암종분포를 수치지도화하기 위하여 충주, 황강리, 단양 지역의 1:50,000지질도를 디지털타이저하여 수치지도의 형태로 구축하였으며 속성자료로는 연구지역내의 지질을 수치의 값으로 입력하였다. Fig. 3은 이렇게 작성된 본 지역의 지질도이다.

**지질공학 자료의 분포**

야외로부터 조사된 지질공학적 모수들이 조사 지점과 함께 하나의 자료층으로 구축되었다. Fig. 4는 지질경계와 중첩하여 167개의 조사지점을 보여주고 있다. Fig. 5는 지질별로 추출되어진 절리의 방향성 자료를 스테레오 투영한 모습이다. 백악기에 관입한 불



**Fig. 1.** Flow chart of rock slope stability analysis used in this study.



**Fig. 2.** Orientation of natural slope (a) Aspect map, (b) Slope map.

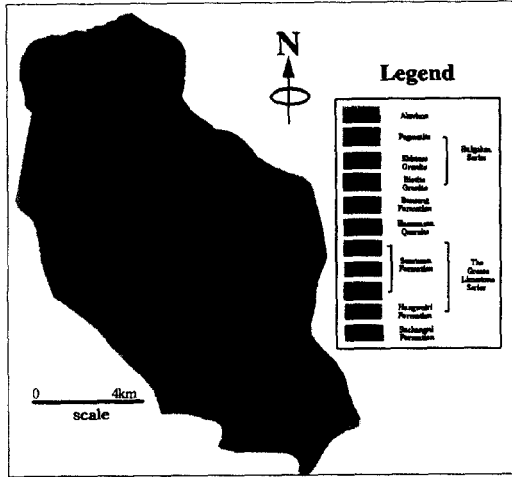


Fig. 3. Geological map.

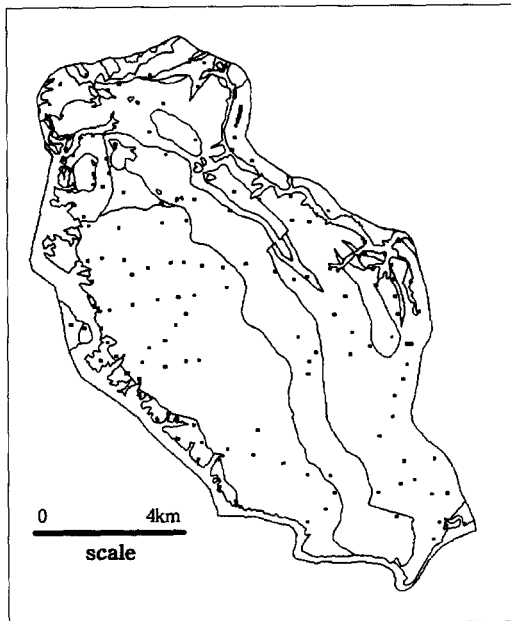


Fig. 4. Geological boundary and sites of sampling for joints

국사통 화강암의 스테레오 투영 (Fig. 5(c), (f))에서는 남북방향과 동서방향의 주상절리와 비교적 평평하게 발달한 층상절리들을 볼 수 있다. 반면에 육천대에 속하여 심한 구조운동을 받았을 것으로 예상되어지는 대석회암통 (Fig. 5(b)), 금수산 규암 및 기타 지질 (Fig. 5(d))과 서창리층 (Fig. 5(e))등의 스테레오 투영에서는 방향성의 분포가 비교적 복잡하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

**Kriging method**

크리깅은 2차원적으로 산재되어 있는 점자료들로부터 추정된 표면을 발생시키는 지구통계학적 방법이다. 크리깅을 하기 위해서는 우선적으로 점자료들의 공간적인 변화를 정량화시켜야 하는데 이 때 사용하는 지구통계학적 방법이 semivariogram이다. 이 semivariogram은 입력되는 점자료들로부터 계산한 sample semivariogram에 의해서 추정된다. lag라고 명명한 h의 거리에 대한 sample semivariogram 의 값은 h 만큼 떨어진 sample point 들 사이의 z 값에 대한 차이의 제곱값이다 (식 1).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2 \quad (1)$$

- $\gamma(h)$  : semivariogram to the distance h
- h : the distance in the assumed direction
- Z(X<sub>i</sub>) : the sample value at point X<sub>i</sub>
- Z(X<sub>i</sub>+h) : the sample value at X<sub>i</sub>+h
- N(h) : the number of sample pairs separated by distance h in the same distance

Semivariogram은 이론적인 함수를 sample semivariogram 에 적합시키므로써 모델링할 수 있다. 본 연구에서는 ARC/INFO GIS을 이용하여 sample semivariogram 과 그것에 적합된 모델을 구하였다.

크리깅은 두 가지 유형의 표면 estimator 를 제공하는데 그것은 Ordinary Kriging(OK)과 Universal Kriging(UK)이다. OK는 spherical, circular, exponential, Gaussian, linear 방법에 의해서 표현되는데 이러한 방법들은 sample semivariogram에 대한 모델링의 종류들이다. OK는 z 값들의 변화가 구조적인 성분 (drift)이 하나도 없다고 가정한다. UK는 자료의 z 값들상의 공간적인 변화에서 local trend가 있을 것으로 예상될 때 사용한다. 본 연구에서는 크리깅의 두 가지 유형 중에서 전자인 OK법을 이용하였다. 한편, 본 시스템에서 이용한 variogram 적합 방법은 비선형 최소자승법인 Levenberg-Marquardt 방법 (Press et al., 1986) 이다.

Fig. 6은 지질공학적 모수들에 대한 kriging 보간을 실시한 과정에 대한 흐름도이다. Fig. 7~Fig. 9는 각각의 지질공학적 모수들에 대한 kriging 보간 결과와 공간적인 변화 양상을 보여주는 semivariogram 들이고 Table 1은 semivariogram의 model parameter 값들이다.

전체 parameter 의 semivariogram에 대한 모델로서

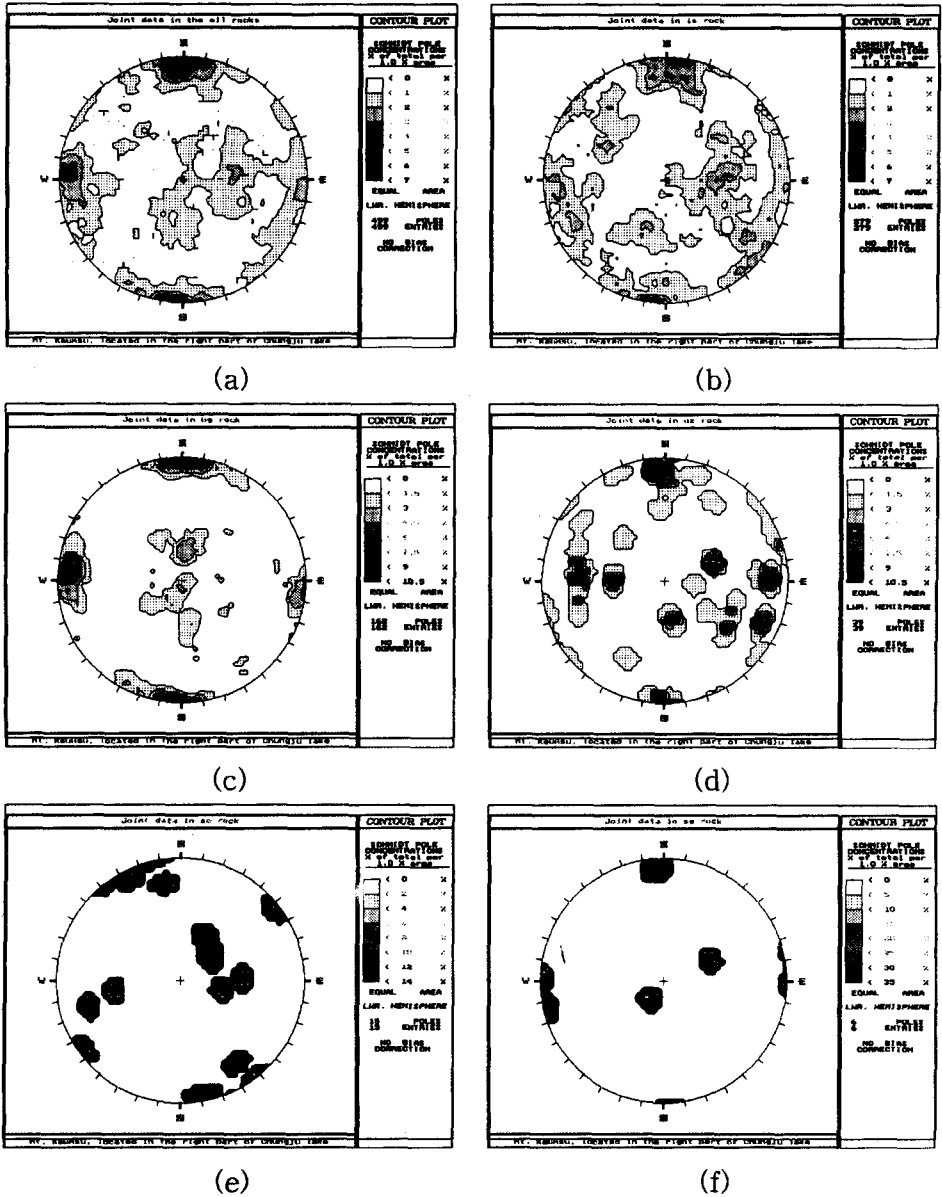


Fig. 5. Stereonets of discontinuity orientation. (a) Total site, (b) The great limestone series, (c) Biotite granite, (d) Keumsusan quartzite, (e) Suchangni formation, and (f) Schistose granite.

는 일반적으로 지질학적 대상을 잘 설명하여주는 것으로 알려진 구형 모델 (spherical model)을 선택하였다. 그 영향반경  $a$ 의 평균값은 4619.2844 m로서 이 값은 연구지역에 산재해 있는 절리들이 상관성을 가지는 거리의 평균 범위를 나타낸다.  $j_1, j_2, j_3$ 는 현장에서 육안에 의하여 판별한 것으로서 방향에 따른 빈도수가 큰 순으로 결정하였다. 결과에서 보듯이 각각의 para-

meter 에 대한  $j_1, j_2, j_3$ 의 semivariogram이 비슷한 양상으로 나타나고 있으며 이에 따른 kriging 보간의 결과도 비슷한 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 kriging 보간법은 자료의 공간적인 변화를 나타내는 semivariogram의 결과에 따라 결정됨을 의미할 뿐만 아니라 육안에 의한 절리군의 판별과는 독립적임을 의미한다. 즉, 각 절리군들의 수가 통계적으로 의미를

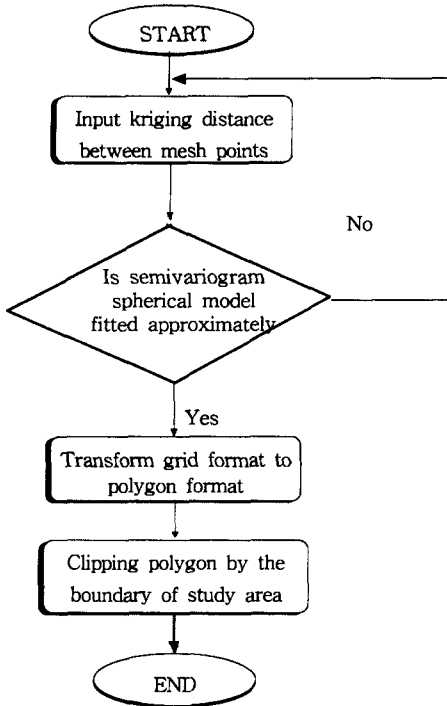


Fig. 6. Flow chart of kriging interpolation.

가질 수 있는 만큼 충분하게 되면 절리군의 판별 결과에 상관없이 parameter에 따라 같은 양상의 semivariogram 결과가 나타나게 된다.

한편, 모델 parameter 중 nugget은 구형 모델이 원점을 지나는 이상적인 모델에서 벗어난 것으로서 y 절편값인데 이것은 sampling interval보다 작은 거리 안에서 자료값들이 erratic함을 의미한다 (Davis, 1986). nugget effect를 비교적 크게 보이는 자료들은 절리의 dip direction이며 nugget effect를 보이지 않는 자료들은 dip과 water depth 그리고 overturn이다.

**암반사면 안정 프로그램**

암반사면의 안정성을 평가하기 위해서는 사면구성 물질의 특성, 자연사면의 상태, 절리면들의 상태, 지하수 (간극수)의 상태 등 많은 자료들을 필요로 한다. 또한 이러한 자료들이 암반사면의 안정에 미치는 영향을 검토하기 위하여서는 형성 가능한 암괴의 형태와 암괴에 작용하는 힘들을 계산하여 붕괴조건을 만족하는가를 검토하고, 불안정하다면 어느정도나 불안정한 것인지 계산해 내는 매우 복잡한 연산을 필요로 한다. 특히 본 연구와 같이 넓은 지역에 대한 광역적인 평가

를 위하여서는 수많은 반복계산을 필요로 한다. 따라서 본연구에서는 C++ 프로그래밍 언어를 사용한 암반사면안정성 평가프로그램을 개발하여 사용하였다. 개발된 프로그램의 전체적인 흐름도는 Fig. 11과 같다. 본 프로그램은 단위 사면별 모수들을 입력받고, 이러한 모수들을 지질공학적 경험식들로 전처리 (pre-process)한 후 형성가능한 암괴의 기하학적 형태를 분석하고, 이들에 작용하는 힘들을 계산함으로써 안전율을 계산하는 과정들을 반복하게 된다.

**입력된 모수들**

암반사면안정 분석 프로그램에서 필요로 하는 정보를 계산하기 위하여 지구정보시스템 자료층으로서 구축되어 입력되는 모수들은 Table 2와 같다.

본 연구에서는 경우에 의한 간극수압을 절리면이 가지는 최대 간극수압으로 가정하였다. 이러한 가정의 이유는 상대적으로 불안정한 상태 하에서의 암반사면안정도를 구하기 위해서이며, 방재종합대책 중장기계획 보고서 (건설교통부, 1988)에 따르면 실제로 우리나라의 경우 1977년에서 1987년까지 11년간의 산사태중 97%이상이 우기인 7, 8, 9월에 발생한 것으로 보고되어 있다.

**모수의 전처리**

하나의 단위사면에 대한 자료가 입력되면 프로그램은 먼저 이러한 자료들로부터 안전율의 계산에 필요한 이차적인 모수들을 계산하게 된다. 이러한 이차적 모수들로는 암종과 관련된 기본마찰각과 단위질량 그리고 절리면의 상태와 관련된 잔류마찰각, 절리조도계수, 절리압축강도 등이 있다.

**기본마찰각과 단위질량**

입력되어진 암상에 따라 프로그램내에 가진 자료에 의하여 단위질량과 기본마찰각이 정해진다. 이때의 암상에 따른 기본마찰각은 Barton and Choubey (1977)의 연구결과를 따랐으며, 단위질량은 Touloukian 외 (1989)를 사용하였다. 이때 기본마찰각의 기본값 (default value)는 30°이며, 단위질량의 기본값은 2.67 ton/m<sup>3</sup>을 사용하였다.

**잔류마찰각, 절리조도계수, 절리압축강도**

이상의 요소들에 대하여서는 다음의 세개의 경험식,

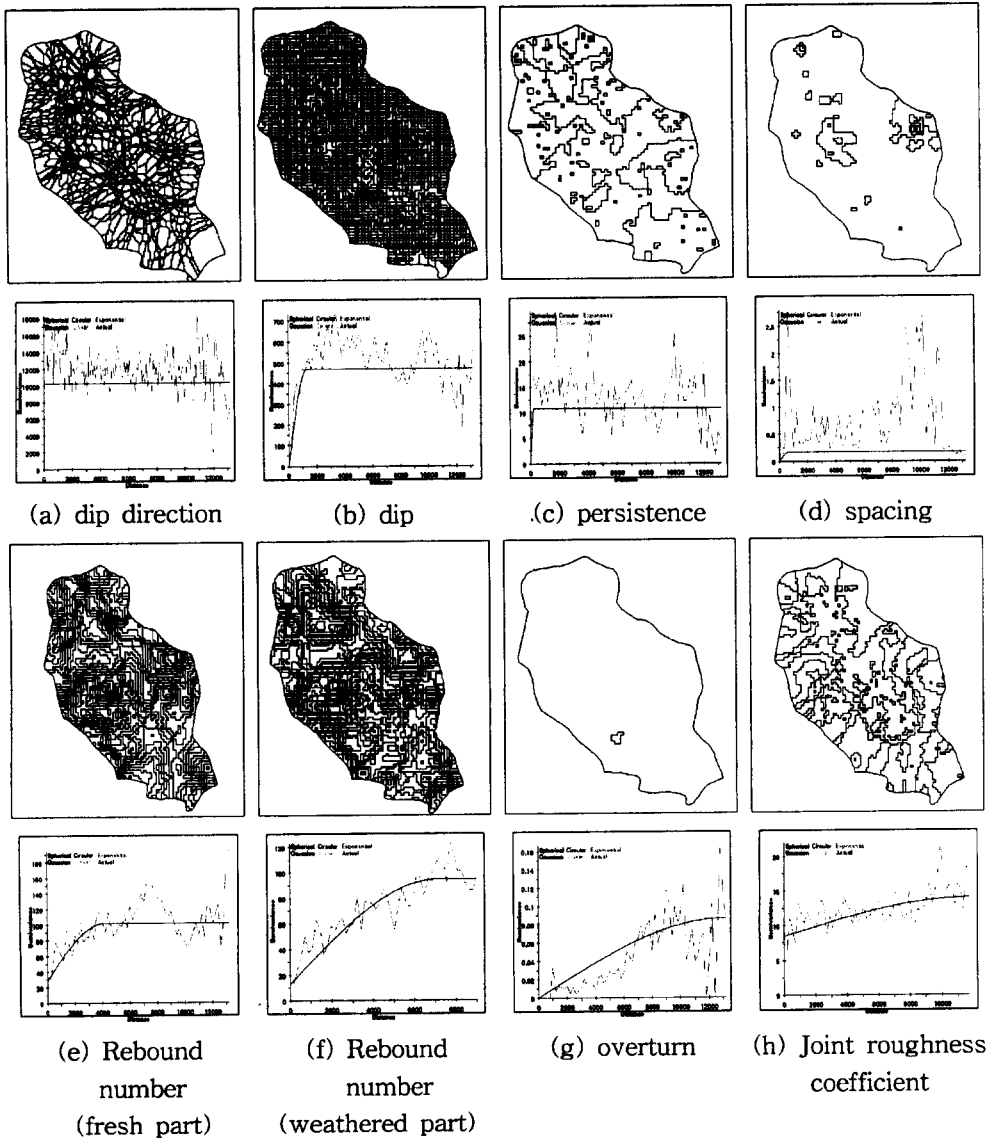


Fig. 7. Results of kriging interpolation and its semivariogram for joint set 1.

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)$$

$$JRC_n = JRC_0 \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.02 \cdot JRC_0}$$

$$JCS_n = JCS_0 \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.03 \cdot JRC_0}$$

- $L_n$  : 자연 상태에서의 절리의 실제 크기
- $L_0$  : 시료의 크기
- $JRC_0$  : 실험실에서 계산된 절리조도계수

- $JCS_0$  : 실험실에서 계산된 절리압축강도
- $JRC_n$  : 실제 야외에서의 절리조도계수
- $JCS_n$  : 실제 야외에서의 절리압축강도
- $\phi_r$  : 풍화된 절리면의 잔류마찰각
- $\phi_b$  : 신선한 암반의 기본 마찰각
- $r$  : 풍화된 절리면의 반발계수
- $R$  : 신선한 절리면의 반발계수

를 사용하여 안전을 계산에 필요한 값들을 각각 계산하였다.

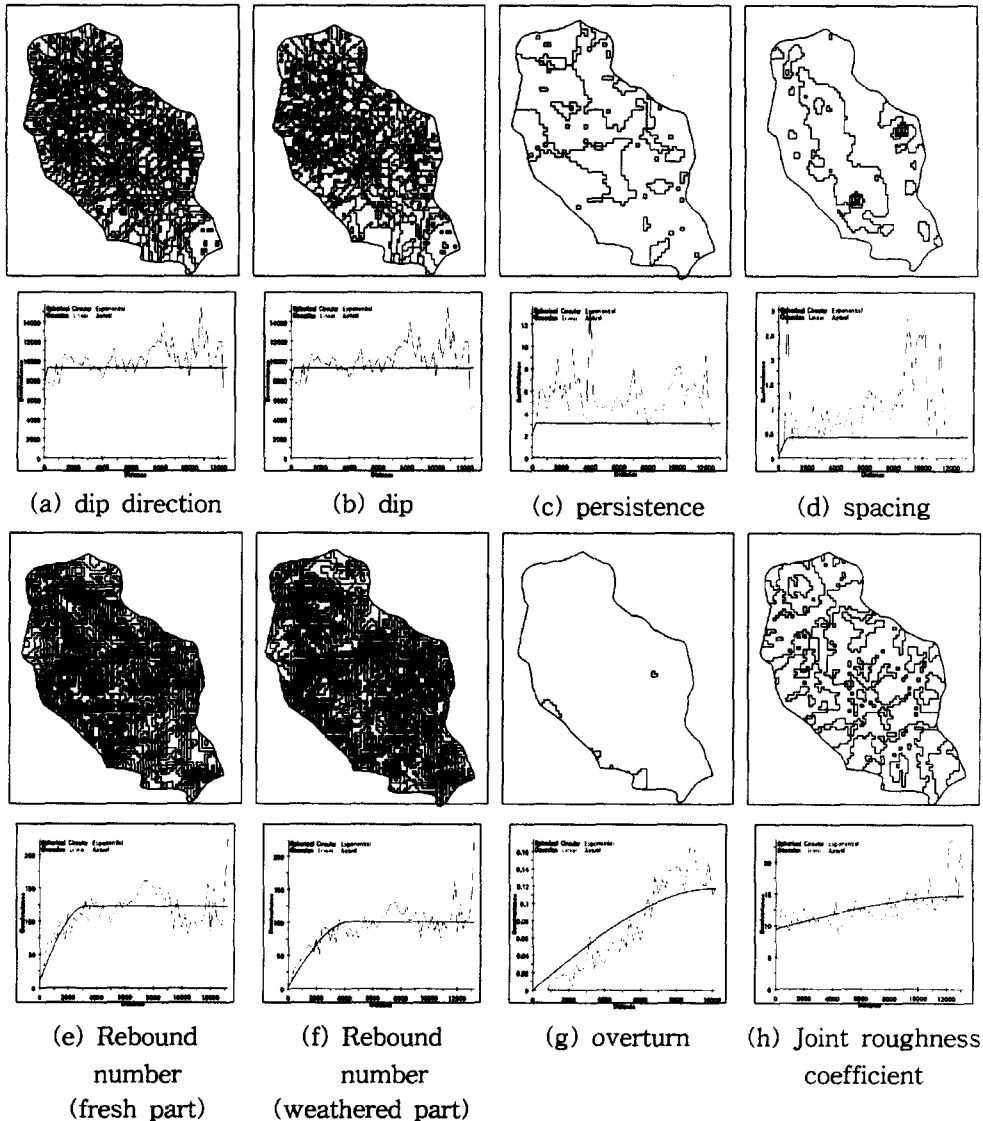


Fig. 8. Results of kriging interpolation and its semvariogram for joint set 2.

이때  $JCS_0$ 는 풍화된 면에 대한 Schmidt hammer 반발계수와 타격각도의 함수이다. 이를 계산하기 위하여 야외 조사시 반발계수를 측정하기 위하여 사용하였던 L-type Schmidts hammer 의 환산표를 3원 3차 방정식으로 적합 (fitting)하여, 아래와 같은 방정식을 구하여 사용함으로써 절리압축강도를 구하였다.

$$JRC_0 = -0.00005r^3 + 0.00002r^2\alpha + 0.01078r^2 - 0.00090\alpha - 0.00020\alpha^2$$

$$+1.10065r - 0.09598\alpha - 8.41941$$

여기서  $r$ 은 반발계수,  $\alpha$ 는 타격각도이다. 위의 식은 0.022의 평균제곱오차 (mean square error)를 가진다. 이 값은 환산표 상의 분산값에 비하여 매우 작은 값이다. 따라서 적용에는 무리가 없을 것으로 판단하였다. 이중 타격각도는 프로그램내에서 절리면의 경사와 타격면의 역전여부를 사용하여, 역전시에는 (90-절리면의 경사), 그렇지 않을 시에는 (절리면의 경사-90)로 계산

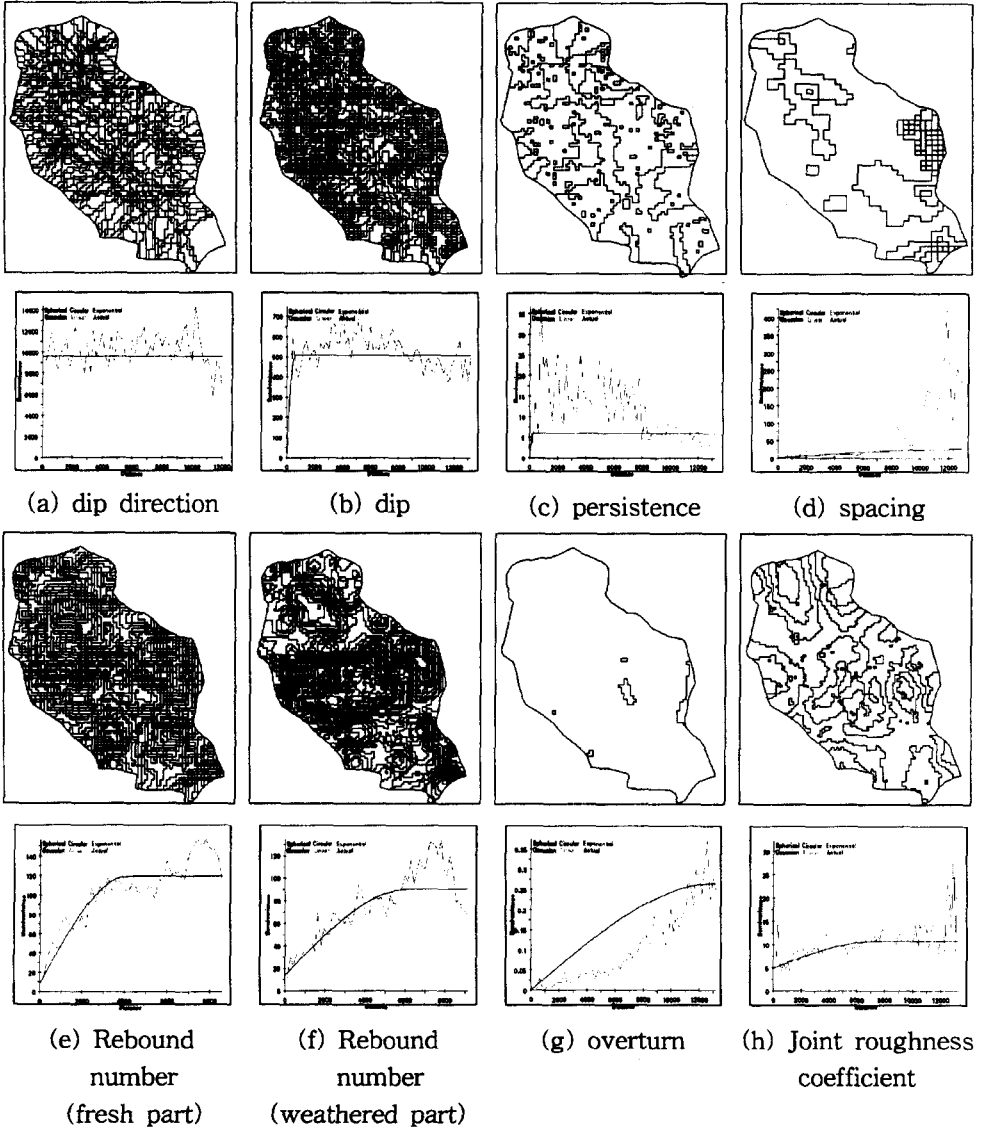


Fig. 9. Results of kriging interpolation and its semvariogram for joint set 3.

되었다.

기하학적 형태와 안전율의 계산

붕괴가 예상되는 암괴의 기하학적 형태 및 안전율 계산을 위한 전체적인 흐름은 Hoek와 Bray (1981)를 따랐다. 이 계산에서는 Fig. 12 (a)와 같이 5개의 평면의 방향성을 사용하며, 이러한 면들이 만나서 이루어지는 암괴의 기하학적 형태를 분석하기 위하여 Fig. 12 (b)와 같은 면벡터와 선벡터들을 사용한다. 이러한 벡터들의

계산에 의하여 암괴의 기하학적 형상이 계산되어진다.

암괴의 기하학적 형상이 결정되면 이 암괴가 파괴조건을 만족하는가를 검토하고, 파괴면 및 암괴에 작용하는 여러 가지 힘이 벡터의 요소로 계산되어진다. 이때 각 면에 대한 수직응력의 크기가 계산되어지면 경험식

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left\{ JRC \cdot \log \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right\}$$

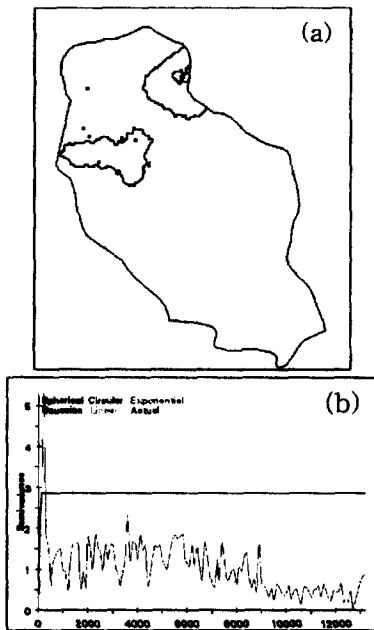
를 사용하여 전단강도 및 전단저항력을 산출하게 된다. 이렇게 계산되어진 값들로부터 사면의 붕괴조건을



**Table 1.** Model parameters of semivariogram.

Joint parameter	Model parameter distance (d; m)	range (a; m)	sill (s)	nugget (c <sub>0</sub> )	difference (s-c <sub>0</sub> )
j1-dip direction	100	100	10269.811	10269.801	0.010
j1-dip	200	1322.088	471.159	0	471.159
j1-spacing	200	635.413	0.170	0	0.170
j1-persistence	200	200	10.819	0	10.819
j1-rebound no. (fresh part)	200	4074.181	101.574	28.156	73.418
j1-rebound no. (weathered)	180	7127.764	94.564	12.669	81.895
j1-joint roughness coeff.	180	11700	14.038	8.426	5.613
j1-overtum	200	13200	0.087	0	0.087
j2-dip direction	200	200	9258.183	7924.340	1333.842
j2-dip	200	200	214.887	134.332	80.554
j2-spacing	200	784.385	0.419	0	0.419
j2-persistence	250	250	3.101	2.118	0.983
j2-rebound no. (fresh part)	200	3216.152	122.217	11.328	110.890
j2-rebound no. (weathered)	200	4297.229	100.549	97.684	2.865
j2-joint roughness coeff.	200	13200	14.728	9.379	5.349
j2-overtum	200	10200	0.117	0	0.117
j3-dip direction	200	200	9575.408	9560.520	14.889
j3-dip	200	519.413	508.207	0	508.207
j3-spacing	350	12950	25.752	0.389	25.363
j3-persistence	200	200	5.934	0	5.934
j3-rebound no. (fresh part)	200	4112.774	119.061	7.750	111.311
j3-rebound no. (weathered)	150	6166.664	90.203	13.421	76.782
j3-joint roughness coeff.	150	7326.049	10.701	4.864	5.837
j3-overtum	200	13200	0.265	0	0.265
water depth	100	100	2.863	0	2.863
average	194.4	4619.2844	1240.5926	1123.407	117.1856

\*j1 : joint set 1, j2 : joint set 2, j3 : joint set 3, d : distance between lattice mesh points, m : meter



**Fig. 10.** Kriging interpolation for (a) the water depth and (b) its semivariogram.

검토하고 붕괴가 가능한 사면에 대하여는 평면파괴와 쉐기파괴 중에서 각각의 경우에 맞는 안전율을 구하도록 프로그래밍하였다. 이러한 계산은 연구 지역에 산재해 있는 모든 사면의 안전율을 구할 때까지 반복된다.

### 금수산 일대의 사면안정성 분석

이상에서 거론되어진 방법들을 사용하여 금수산일대 지역의 사면안정성분석을 실시하였다. 이를 위하여 지질도와 지형도를 수치지도화하여 입력하였으며, 야외조사에서는 총 167개의 지역으로부터 불연속면에 대한 자료들이 수집, 입력되었다. 이상의 자료층을 지구정보시스템을 사용하여 가공함으로써 암반사면안정에 필요한 자료층을 만들었다. 또한 지구정보시스템을 이용하여 생성된 단위 사면의 갯수는 약 39,000여개이며 불연속면 자료에 대한 분포를 알기 위하여 사용한 kriging 분석 결과와 이들 단위 사면들을 GIS 내에서 중첩 (overlay)한 결과 총 162,352개의 사면들이 새롭게 생성되었다. 각 사면에 할당된 지질공학적 모수들을 프로그램으로 처리함으로써 자연사

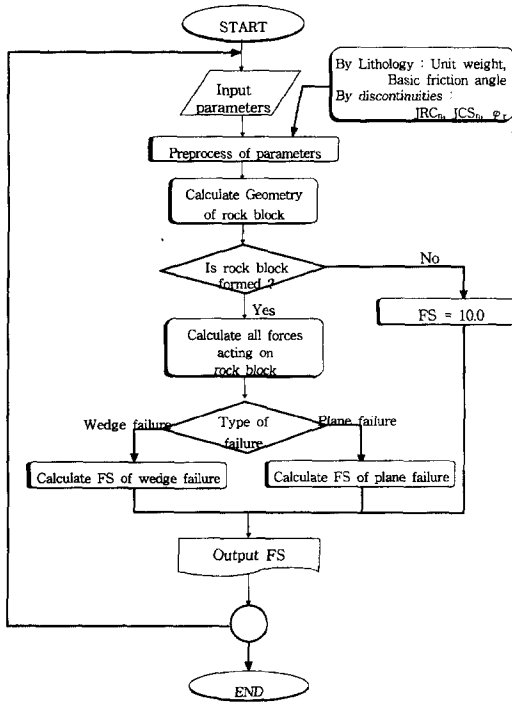


Fig. 11. Flowchart of rock slope stability analysis program.

면 상태에서의 안정성도와 가상의 절취사면에서의 안정성도를 구하였다.

자연사면 안정성 분석

본 연구지역은 대체로 암반의 노출이 흔한 산악지형이며 야외조사를 통해 연구지역 전역에 걸쳐 173개소

의 절취사면에서 얻은 토양심도는 최대가 2.5 m, 평균 약 0.503 m로 비교적 작게 나타났다. 지역내에 비교적 토층의 심도가 깊은 지역은 층적층으로서 사면경사가 5° 미만의 지역으로 붕괴위험이 적다. 따라서 이러한 지역은 연구대상에서 제외되었다. 자연사면의 안정성 분석을 위하여 상부사면을 사면과 동일한 방향으로 설정하였으며, 이때 계산되어진 안전율을 도식하여본 결과는 Fig. 13과 같다. 자연사면 안정성 분석에 의한 결과 본 지역은 전반적으로 안정한 지역인 것으로 평가되었으나 체천시 금성면 대장리에 있는 금실 지역과 단양군 적성면 상원곡리에 위치한 소주골 및 체천시 청풍면과 단양군 적성면의 경계에 있는 동산 지역의 사면들에서 매우 작은 면적으로 안전율이 1 보다 작게 나타났다. 안전율이 1보다 작은 불안정한 사면들은 총 9개의 단위사면들로 나타났으며 그 면적은 총 4,562 m<sup>2</sup>으로서 전체 면적 121,836,849 m<sup>2</sup>에 대하여 0.000037%에 불과하다.

절취사면 안정성 분석

가상의 절취사면에 대한 안전율을 구한다는 것은 예상되는 개발의 입지 선정 등에 매우 유용하게 사용되어질 수 있다. 본 연구에서는 기존의 자연사면과 동일한 방위를 가지며 그 경사가 약 63°인 가상의 절취사면을 가정하였다. 산악지역을 개발하는데 있어서 많은 경우에 자연사면과 같은 방향의 절취를 하게 된다. 예를 들어 도로의 건설에 있어서 국도의 경우 일반적으로 최대 8°미만의 경사로 개발되어지는 것이 일반적이며, 이를 위하여 도로 옆의 절취사면은 자연

Table 2. Input parameters for rock slope stability analysis.

Classification	Parameters	Range	Remark	Reference	
Lithology	Distribution	-	-	Geologic map	
Geography	Aspect	0°~360°	-	-	
	Slope	0°~48°	-	-	
Factors of discontinuities	Distribution	-	-	Field work	
	Orientation	Dipdir.	0°~360°	-	"
		Dip	0°~90°	-	"
	Persistence	0.9 m~36 m	Mean : 5.96 m	"	
	JRC	0~20	Unitless	"	
Rebound no.	Fresh : 14~62 Weathered. : 5~60	Mean : 36.6 Mean : 24.3	"		
Ground water	Unit weight	1.0	Unit : ton/m <sup>3</sup>	-	
	Pore pressure	-	Assume extreme condition	-	

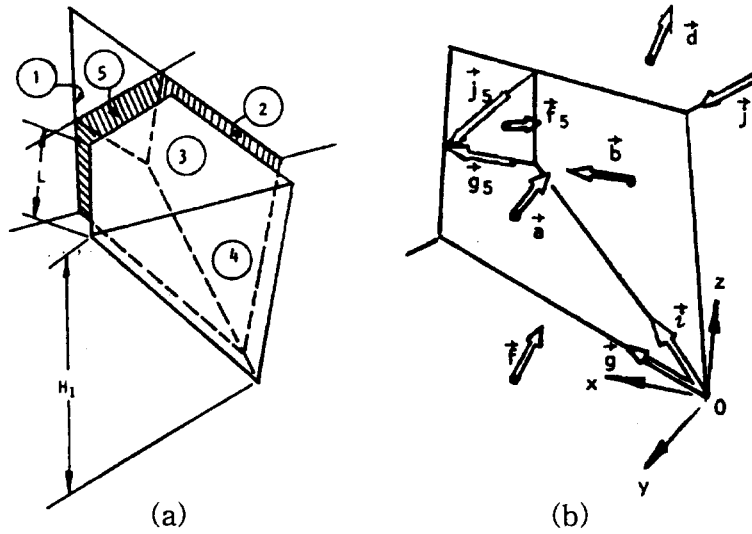


Fig. 12. Geometry of wedge failure problem. (a) Plane numbers (b) Geometrical vectors.

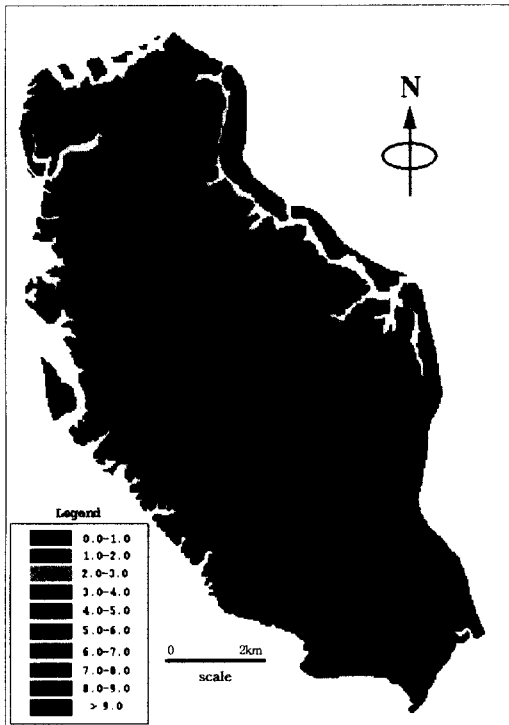


Fig. 13. Natural slope stability map.

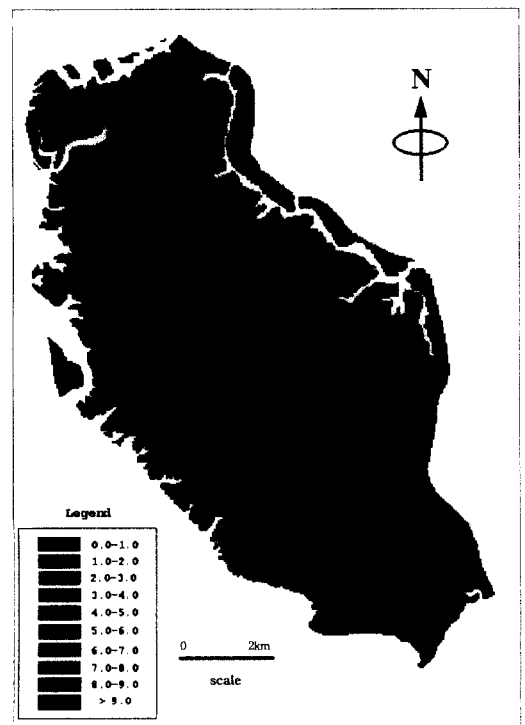


Fig. 14. Cutting slope stability map.

사면에 거의 평행하게 절취되어진다. 본 연구에서 적용한 약 63°의 절취사면 경사는 경암에 대한 시공시 흔히 요구되어지는 구배인 1:0.5 구배를 사용한 것이다. 이렇게 하여 계산되어진 안전율을 도식하여 본

결과는 Fig. 14 와 같다. 자연사면에 비하여 상대적으로 매우 넓은 지역이 불안정하게 나타나고 있으며 그 분포도 전체 지역에 산재하여 나타나고 있다. 이러한 결과는 개발의 기초자료 및 입지선정의 보조자

료로 사용되어질 수 있다.

## 토의 및 결론

본 연구에서는 토층의 심도가 낮고 비교적 토층물질의 사태보다는 암반사면의 절리를 따라 암체가 붕괴되는 형태의 사태가 일어날 가능성이 높은 지역에 대하여 연구가 실시되었다. 지질공학적 경험식들과 지구정보시스템을 사용하여 자연암반사면 및 가상절취사면에 대한 안전율을 구함으로써 사면안정성에 대한 정량적 평가를 실시하여 보았다. 이러한 연구방법은 개발예상 지역에서의 건설부지 선정이나 산악도로의 경로선정등에서 사용되어질 수 있으며, 개발계획의 기초자료로 요구되는 광역적이며 개략적인 암반사면의 안정성을 공학적으로 요구되는 안전율의 값으로 구할 수 있도록 하므로써 경제적이고 정량적인 광역적 암반사면 평가의 한 방법으로 사용될 수 있다. 특히 본 연구에서는 지질공학적 자료들을 계산하여 암반사면의 정량적인 안전율을 구하기 위하여 한계평형식을 사용하며, 비교적 정확한 사면붕괴예측을 위하여 몇가지의 경험식들을 사용하였다.

그러나 본 연구에서는 광역적인 지역에 대하여 개략적이며 경제적인 조사방법을 제시한 것으로서 입시선정등에 응용될 수 있으나, 시공기로 선정된 국부적인 지역에 대하여는 추후에 좀 더 정밀한 지질공학적인 조사가 요구된다. 본 연구에서는 암반사면에 대한 프로그램을 사용하여서 안전율을 계산하였다. GIS 와 프로그램의 통합 (integration) 형식에는 크게 세 가지의 형식이 있는데 그것은 완전통합, 부분적 통합, 임시적 통합이다. 본 연구의 통합형식은 임시적 통합에 속한다. 이는 완전통합이나 부분적 통합에 비하여 상대적으로 손작업의 양이 늘어남을 의미한다. 즉, 자료의 입출력을 위하여 GIS와 프로그램 사이에서 importing 과 exporting 절차를 거쳐야 한다. 이는 번거로운 뿐만 아니라 작업의 속도 또한 결정적으로 떨어뜨리게 된다. 그러므로 GIS내의 script 명령어를 이용하여서

완전통합 방식을 취하는 것이 바람직하다고 할 수 있겠다. 또한 본 연구에서는 지구통계학적인 방법을 사용하여 지질공학적 모수들의 공간적인 분포를 추정하였다. 이것은 GIS 시스템 내에서 탑재되어 있으므로 편리하게 응용할 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 자료를 통계적으로 상세하게 분석하지는 못하였고 다만 자료들이 공간적으로 stationary 하다는 가정 하에 연구를 실시하였다. 차후의 연구에서는 자료들의 stationarity 를 더 자세히 연구한 후 분포성을 파악하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구의 결과로 자연상태에서의 사면은 전반적으로 안정한 지역으로 평가되었으며 절취사면의 경우는 자연사면과 비교하여볼 때 상대적으로 매우 넓은 지역이 불안정하게 나타나고 있으며, 그 분포도 전체 지역에 산재하여 나타나고 있다.

## 사 사

본 연구는 1997년도 교육부 기초과학 육성연구비 (과제번호 BSRI-97-5415) 의 지원에 의하여 이루어졌다.

## 참고문헌

- 건설교통부 (1988) 방재종합대책 중장기계획 보고서.
- 한국지질도 (충주, 황강리, 단양) (1991) 한국자원연구소.
- ARC/INFO manual, ESRI Inc.
- Barton, N. and Choubey, V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mech. & Rock Eng., Vol. 10, pp.1-54.
- Davis J.C. (1986) Statistics and data analysis in geology second edition, John Wiley & Sons, pp.239-248, 403-405
- Hoek, E. and Bray, W. J. (1981) Rock slope Engineering, Institution of Engineers.
- Toloukian, Y. S. et al. (1989) Physical properties of rocks and minerals, Hemisphere publishing corporation, New york, pp. 227-230.
- Press W.H. et al. (1986) Numerical Recipes in C, New York, Cambridge University Press.

1999년 12월 8일 원고접수, 2000년 2월 12일 게재승인.