

## 사면 안정 분석을 위한 정면적법과 선조사법의 비교연구

정상원 · 최병렬\*

충북대학교 사범대학 지구과학교육학과

### Comparative Study of Square-Inventory Method with Scanline Survey in Slope Stability Analysis

Sang-Won Cheong and Byoung-Ryol Choi\*

Department of Earth Science Education, Chungbuk National University

사면의 안정성 분석과 관련하여 지질학적 특성과 지질공학적 특성을 각각 정면적법과 선조사법을 사용하여 선정된 세 사면에 대하여 비교 분석하였다. 분석한 사면의 파괴유형의 결과와 실제 노두 사면에서 발생한 파괴양상과 비교하여 사면 안정성 분석의 방법상 어떤 방법이 더 잘 적용될 수 있는 지 판단한다. 불연속면의 방향성, 확률밀도분포와 간격, 경사 방향과 빈도수 및 연장성과 빈도수에 관하여 비교분석한 결과, 각 사면마다 대체로 서로 유사하게 분석되었다. 하지만 방향성 분석에서 사면 2에서는 서로 상이한 결과를 얻었으며, 이는 사면 2에 분포하는 절리군의 방향성은 절리의 길이와 빈도수에서 서로 다르며 선조사법을 이용하여 측정하였을 때 서로 다른 방향성을 보여주는 새로운 절리군의 출현을 의미한다. 절리의 확률밀도분포와 간격은 사면 3에서 높게 나타나며, 이는 사면 3을 구성하는 사질의 암석과 소습곡구조의 발달과 관련이 있는 것으로 사료된다. 선정된 세 사면의 안정성분석에서 정면적법과 선조사법의 비교 분석결과와 그리고 실제노두에서 발생한 사면파괴 양상과의 결과를 비교하였을 때 정면적법이 연구지역의 절취사면의 안정성 분석에서 더 세밀한 파괴유형을 예측할 수 있었으며 선조사법보다 더 유효한 방법으로 분석되었다.

**주요어** : 사면의 안정성, 정면적법, 선조사법, 비교분석

In relation to slope stability analysis, geologic characteristics and engineering properties of the discontinuities in three slopes selected are compared and analyzed by both square-inventory method and scanline survey. The aim of the study is in evaluating which method is applied better in slope stability analysis by comparing results of the two methods with those of direct observation on outcrop of slope failures generated. In each slope, results of comparative analysis among geologic and engineering properties are analyzed similarly one another. However, results of orientation analysis in slope 2 are different each other, which indicates orientation of joints in slope 2 depends on persistency and frequency of each joint and also indicates appearance of new joint set with different orientation. Probability density distribution and spacing in slope 3 are high in comparison to those in slope 2 and 3. The reasons are that distribution of psammitic rocks and development of minor folds in slope 3 unlike slope 2 and 3 are closely associated with development of joints. The research data indicate that the square-inventory method predicts more precise failure aspects and is more effective way than scanline survey in analyzing slope stability of the study area.

**Key words** : slope stability, square-inventory method, scanline survey, comparative analysis

## 서 론

절취 사면의 안정성은 주로 사면의 형태와 여러 지질학적 조건 및 공학적 특성에 크게 좌우되며 이에 따른

보강과 보호대책 역시 그 지역의 지질구조 및 절리의 특성 등 지질학적 요인을 고려해야한다. 사면의 안정성 분석을 위해 여러 가지 방법이 고안되었으며 그 중 절리의 특성을 스테레오 투영에 응용한 운동학적 방법(Hoek and

\*Corresponding author: choibr@chungbuk.ac.kr

Bray, 1981; Wyllie and Mah, 2004; Hoek, 2007)과 수치해석 및 한계평형 해석법이 널리 사용되고 있다. 이번 연구는 운동학적 방법을 이용하여 연구지역 절취사면의 안정성 분석을 위하여 정면적법(최병렬과 정상원, 2008; 정상원과 최병렬, 2008)과 선조사법을 사용하여 평가하였으며 상기한 두 방법을 사면의 안정성 분석에 관하여 서로 비교 분석하였다.

이의 연구를 위하여 충북 보은군 내북면 창리 남서지역과 회북면 증북부 지역을 선정하여 조사하였으며 연구지역의 북동쪽 국도 19번과 남서쪽 국도 25번 도로 사이의 지방도 571번과 575번이 대체로 북북동-남남서 방향으로 가로 지르는 지역에 해당된다. 이 지역의 사면은 도로의 굴곡이 매우 심하며 사면을 포함한 지층의 방향성 또한 심한 변화를 보여주기 때문에 절취사면과 지층 및 절리의 방향성 등 지질학적 및 공학적 요인에 의하여 여러 종류의 사면파괴 양상을 잘 보여준다.

사면파괴 양상 및 안정성 분석과 관련하여 최병렬(1998; 2000; 2001)은 절리계의 응용지질학적 분석, 보은지역의 지형분석 및 암석의 탄성과 탐사파 이방성의 연구에 대한 연구를 하였으며, 정상원과 최병렬(2008)은 피만령 부근의 절취사면에 대한 사면의 불안정성 요인에 대한 연구를 한 바 있다. 그 외 지질공학적 및 GIS를 이용한 사면안정에 관한 다수의 연구가 연구지역 및 주변지역에서 이루어졌다(이지수 외, 2001; 이연희 외, 2003; 김경수 외, 2004; 최재원 외, 2004; 최병렬과 정상원, 2008). 장보완 외(2008)는 전체 사면의 안정성 평가의 오류를 해결하고자 정면적법과 매우 유사한 방법인 셀 단위 평가방법을 제안하여 셀 별로 독립적인 조사와 안정성 분석을 수행한 후 사면의 위치별 특성과 안정성의 변화를 시각적으로 표현할 수 있는 방법을 제시한 바 있다.

이러한 연구 결과를 토대로 연구지역의 사면파괴 양상의 분석을 위하여 정면적법과 선조사법을 이용하여 비교 분석하였으며 정면적법은 면적조사법의 일종으로 분석방법은 분석 지점의 특정 영역을 정사각형이나 직사각형으로 설정하여 그 영역 내의 불연속면의 특성을 측정하는 방법이다(최병렬과 정상원, 2008). 그러므로 기존의 면적조사법이나 선조사법(Priest, 1993; Davis and Reynolds, 1996)을 이용하는 경우 넓은 면적을 조사하거나 또는 긴 지역을 조사하는 데 불필요한 시간을 줄일 수 있다. 또한 사면의 경사가 급한 곳이나 너무 높은 사면을 갖는 곳 등 지형적 영향으로 불연속면의 특성을 측정할 수 없는 곳에서 매우 유용하게 사용할 수 있기 때문에 기존의 사용하던 방법의 단점을 보완할 수 있다. 연구지역의

사면은 급경사로 구성되며 또한 지층의 방향성이 사면의 방향성과 대체로 일치하므로 기존의 면적조사법을 사용하여 측정할 수 없으며 따라서 선조사법을 사용하여 정면적법의 절리특성 결과와 비교하여 사면의 안정성 분석을 시도하였다.

## 연구 방법

연구지역은 한국의 지체구조상 옥천습곡대로 알려져 있으며 이 지역을 따라 정밀 지질조사를 실시하여 지층과 암석의 분포 및 지질구조의 발달을 파악하였다. 지방도 571번과 575번을 따라 사면의 안정성 연구를 위하여 사면 발달이 양호한 3 지점을 선정하였으며(Fig. 1) 정면적법과 선조사법을 이용하여 각각 불연속면의 방향성, 길이, 연장성, 절리의 표면 거칠기 등 공학적 특성을 분석하여 여러 종류의 사면파괴유형을 연구하였다. 특히 층리(또는 편리)구조나 벽개구조 등의 다른 불연속면이 존재할 경우 절리구조와의 상호관계에 따라 그리고 습곡구조의 발달 양상에 따라 사면의 안정성이 달라지는 현상을 분석하였다.

정면적법의 연구에 있어 각 사면 당 측정된 면적은 1m×1m의 정사각형 지역이며 특정 사면의 안정 분석에서 그 사면의 물리적 성질을 대표할 수 있는 지역의 사면을 선정하였다. 한편 선조사법을 이용하여 측정된 길이는 사면 1의 경우 2,682m, 사면 2는 2,580m 및 사면 3에서는 1,850m이며 정면적법을 이용한 지역의 사면을 포함하여 상기한 지질학적 및 공학적 특성을 서로 비교분석하였다(Fig. 2).

연구지역 각 사면의 파괴 유형을 예측하기 위하여 평사투영법에 응용한 요인 중 지질학적 특성에는 층리, 벽개 및 습곡구조의 유무 등이 있으며 또한 지질공학적 특성에는 불연속면의 방향성, 연장성, 빈도수, 간격 및 절리밀도 등을 야외지질조사에서 측정하였다.

야외지질조사에서 측정된 면구조의 자료는 DIPS 5.0을 이용하여 스테레오 투영망에 투영하였으며, 그 결과 최대 집중군의 방향을 추출하여 정면적법과 선조사법에 적용하여 각 사면의 안정성 분석에 이용하였다.

## 연구지역의 지질개요

연구지역의 지층은 충서상 하부로부터 미동산층, 윤교리층, 화전리층, 구룡산층, 이원리층, 문주리층 및 황강리층으로 구성된다. 각 지층의 지질학적 형성시기는 미동산층과 윤교리층은 고생대 캄브리아기이며 그 외 상위의

지층은 후기 오르도비스기에 형성된 지층으로 알려져 있다 (이종혁 외, 미원도폭, 1980). 상기한 모든 지층은 옥천 누층군에 속하며 미약한 변성작용을 받은 변성퇴적암류로 구성된다. 옥천누층군의 지층이 형성된 후 연구지역의 북서(청주화강암)와 남동지역(보은화강암)에 중생대 쥐라기의 대보화강암의 관입이 있었다.

따라서 대보화강암을 제외한 연구지역에 나타나는 변성 퇴적암류는 매우 다양하게 구성되어 있다: 석영편암 및 규암 등의 사질기원; 흑색 점판암, 사질 세일 및 천매암 등의 이질기원; 석회질 세일과 호상 석회암 등의 석회질 기원의 암석(Fig. 1). 주로 사질기원의 석영편암 및 규암으로 구성된 미동산층을 제외한 대부분의 지층은 이질 기원의 흑색 점판암, 세일과 천매암으로 구성되지만 일부 미약한 변성작용을 받은 회백색 결정질 석회암과 박층의 사질암이 협재하며 일부 구룡산층에서는 탄질 세일이 천매암에 박층으로 협재하기도 한다.

### 사면의 지질특성 및 지질구조

사면을 구성하는 지층과 암석은 사면 1의 경우 연구 지역의 최상위 지층으로 문주리층에 해당된다. 문주리층은

흑색에서 암회색을 띠고 극세립질의 이질 천매암으로 구성된다. 또한 층리(또는 편리)가 매우 발달되어 있으며 지층의 표면이 매우 미끄럽다. 층리구조를 따라 풍화가 많이 진행되어 얇은 박편으로 쪼개져 있다. 미약한 벽개 구조가 관찰되나 암석 표면에 풍화가 심하게 진행되어 측정할 수 없었다. 사면 2 지역은 구룡산층에 해당되며 주로 암회색의 천매암으로 구성되나 사질의 점판암 또는 연갈색의 규암이 협재한다. 구룡산층은 일정한 방향의 층리(또는 편리)구조가 발달하였으며 층리를 약 30°로 절단하는 파랑벽개가 잘 발달된다. 사면 3 지역은 화진 리층에 속하며 암회색의 사질 천매암과 점판암으로 구성된다. 층리구조의 발달이 매우 우세하며 이를 고각도로 절단하는 파랑벽개 또는 불연속 벽개(fracture cleavage)가 조밀하게 발달된다.

지형상 사면 1 지역은 남서남 방향으로 보청천이 지방도 575번의 우측 계곡을 따라 흐르며 사면 2와 3은 각각 흑천과 회인천이 지방도 571번의 우측 계곡을 따라 흐르며 보은군 내북면과 회북면의 경계를 기점으로 흑천은 북동 방향으로 흐르며 북동지역의 달천과 합류하여 남한강의 상류와 합류한다(건설교통부, 한국수자원공사, 2002). 그리고 회인천은 남서 방향으로 흐르며 보청천과 회인천은 대청호로 집수된다(see Fig. 1).

연구지역의 지층은 광역적으로 북동-남서 방향을 보여 주며 동일한 지층이 여러 차례 반복되어 나타난다. 연구 지역에서의 운교리층은 4차례 반복하여 나타내며 구룡산층은 3차례 반복적으로 분포하는데 이는 광역적 습곡 작용에 기인한다(see Fig. 1). 일반적인 광역적 습곡축면의 경사와 경사방향은 각각 30-55°와 300-315°이지만 습곡축면의 경사방향이 120-160°의 범위로 광역적 습곡축면과 반대로 나타나기도 한다. 지역적으로 소규모 습곡 구조가 발달하기도 하며 이 때 습곡축면의 방향성은 여러 방향으로 산재하게 된다. 광역적으로 지층의 방향성이 지형상 산계와 수계의 방향성과 매우 잘 일치한다는 사실은 지질구조의 방향성이 연구지역 지형의 형성에 영향을 끼쳤음을 지시한다.

지질구조와 관련하여 사면 1의 문주리층은 노두상에서 습곡구조를 보여주지 않으며 단지 일정한 방향의 층리 구조가 매우 잘 발달되어 있다. 하지만 광역적으로 판단할 때 사면 1의 위치는 향사 습곡구조의 왼쪽 날개부로 사료된다. 사면 2의 구룡산층 역시 노두상에서 습곡구조의 발달은 없으며 광역습곡작용에 기인되어 형성된 주향에 평행하거나 수직인 절리군(strike-parallel or perpendicular joint set)이 잘 발달되며 일부 췌기형 절리군(wedge joint

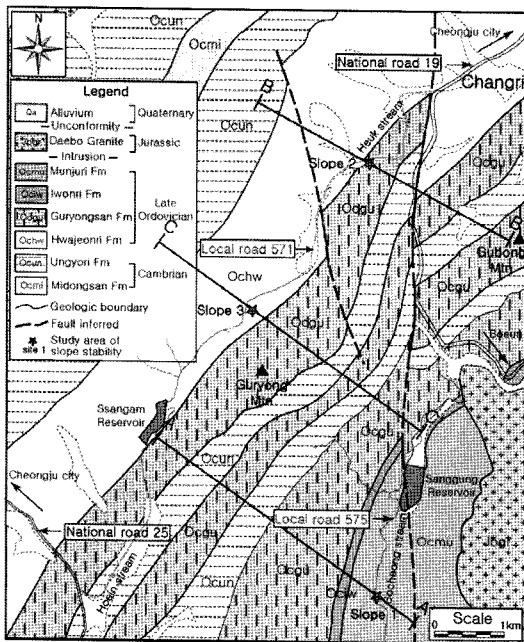


Fig. 1. Geologic map of the study area, Boeun-Gun, Chungbuk (modified from the geologic map of Miweon sheet)(Lee, et al., 1980; Choi and Cheong, 2008). Lines of A-A', B-B' and C-C' indicate cross sections of each area(see Fig. 3).



Fig. 2. Panoramic view of outcrops showing joint pattern and bedding plane in three slopes. (A) Slope 1, (B) Slope 2 and (C) Slope 3.

Table 1. Summary of geologic properties measured in three slopes.

| Slope No. | Bedding or schistosity (dip/dip dir)* | Cleavage (dip/dip dir)* | Rock type                       | Geologic structure               | Name of Formation |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Slope 1   | 32°/299°                              | -                       | Fine grained shale and phyllite | Left limb of regional syncline   | Munjuri Fm        |
| Slope 2   | 45°/150°                              | 62°/120°                | Phyllite and mica-schist        | Left limb of regional syncline   | Guryongsan Fm     |
| Slope 3   | 55°/160°                              | 80°/143°                | Slate, shale and phyllite       | Right limb of regional anticline | Hwajeonri Fm      |

(dip/dip dir)\* above indicates dip and dip direction of plane structures.

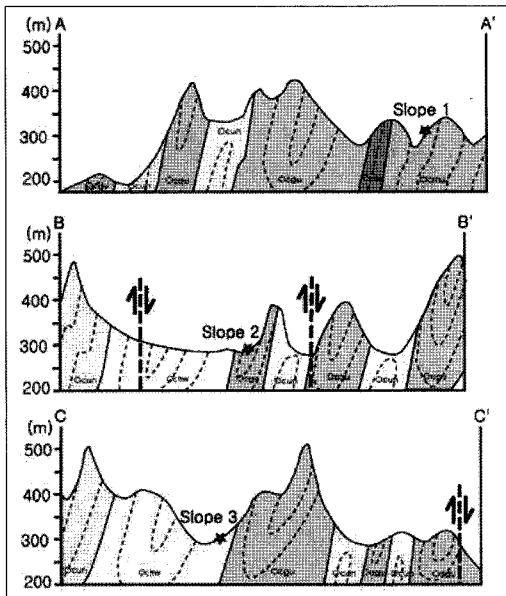


Fig. 3. Cross section indicating locality of slope sites in fold structures formed by regional deformation in the study area, 5x vertical exaggeration(see geologic map in Fig. 1) (modified from Choi and Cheong, 2008).

sect)으로 형성된다. 광역습곡작용에 기인한 사면 2의 위

치는 향사습곡구조의 왼쪽 날개부에 해당된다. 사면 3은 화전리층으로 소습곡구조의 발달이 있으며 주향에 수직인 절리군과 췌기형 절리군의 발달이 우세하다. 사면 3은 광역적 향사습곡구조의 오른쪽 날개부에 위치한다(Fig. 3).

Table 1은 사면의 안정성분석을 위하여 각 사면에서 측정된 지층 및 벽개의 방향성, 암상과 광역 습곡구조에서 각 사면의 위치 등 지질학적 특성을 나타내며 평사투영법을 이용한 사면의 안정성분석에 기초자료로 사용하였다. 사면 1, 2 및 3에서 측정된 층리(또는 편리)의 경사각과 경사방향은 각각 32°/299°, 45°/150° 및 55°/160°이며 벽개면의 방향성(경사각과 경사방향)은 사면 1의 경우 미약하여 측정할 수 없었으나 사면 2와 3에서는 각각 62°/120°과 80°/143°로 측정되었다.

### 조사 자료 획득 및 비교분석

사면의 안정성분석을 위하여 야외조사에서 측정된 자료는 절리의 방향성, 절리간격과 빈도수, 경사방향과 빈도수, 절리길이와 빈도수, 절리의 표면거칠기 및 절리밀도 등이 있으며 이들 자료를 각각 정면적법과 선조사법으로 구분하여 서로 비교하였다(Table 2). 노두 사면에서 측정된 각 사면의 방향성(경사각과 경사방향)은 각각 60°/280°,

**Table 2.** Engineering properties measured and/or calculated in each set of joints for slope stability(values of friction angles are calculated on the basis of JRC measured in each joint plane).

| Slope No. | Slope orientation (dip/dip dir)* | Area or line measured |             | JRC* |      | Friction angle(°) |      | Joint density            |                 |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|-------------|------|------|-------------------|------|--------------------------|-----------------|
|           |                                  | SIM* (area)           | SLS* (line) | SIM* | SLS* | SIM*              | SLS* | SIM* (m/m <sup>2</sup> ) | SLS* (number/m) |
| Slope 1   | 60°/280°                         | 1.0 × 1.0 m           | 2,682 m     | 6.0  | 6.1  | 34.0              | 34.4 | 14.5                     | 4.1 /m          |
| Slope 2   | 65°/355°                         | 1.0 × 1.0 m           | 2,580 m     | 4.0  | 5.4  | 33.0              | 33.7 | 11.1                     | 5.7 /m          |
| Slope 3   | 65°/000°                         | 1.0 × 1.0 m           | 1,850 m     | 5.0  | 6.7  | 33.0              | 35.1 | 15.1                     | 5.9 /m          |

JRC\* above indicates Joint Roughness Coefficient of each joint set. SIM\* and SLS\* above indicate Square inventory Method and Scanline Survey, respectively.

65°/355° 및 65°/000°이며 정면적법과 선조사법에 응용한 각각의 면적과 길이는 Table 2에 나타난다.

**절리 방향성분석**

사면의 안정성 분석에서 절리군의 방향성은 사면의 안정성에 중대한 영향을 끼치는 요인 중의 하나이다. 절리군의 방향성 분석은 정면적법과 선조사법에서 각각 절리의 빈도수만을 고려한 방법(unweighted)과 또한 방향성의 정확도를 높이기 위하여 각 절리의 길이에 대한 가중치(weighted)를 부여하여 서로 비교 분석하였다.

정면적법으로 분석한 절리의 방향성은 길이에 대한 가중치를 부여하지 않은 경우와 부여한 경우 모두에서 2-3조의 최대집중군의 방향성을 보여주는 절리군이 우세하게 나타나며 각 사면의 절리군의 방향성 역시 매우 유사한

결과를 얻었다(Figs. 4 and Table 3). 정면적법을 사용하여 측정된 절리군의 방향성은 각 사면마다 일정하며 따라서 각 사면에 나타난 절리군의 방향성은 연장성과 빈도수에서 일치함을 보여준다.

선조사법으로 분석한 경우 3-4조의 최대집중군의 방향성을 보여주는 절리군이 우세하게 나타난다. 절리군의 방향성은 가중치를 부여하지 않은 경우와 부여한 경우 분석된 3-4조의 절리군 중 2-3조 절리군의 방향성은 서로 유사하나 나머지 1-2조의 방향성은 서로 다른 것으로 분석되었다(Fig. 4 and Table 3). 서로 다른 1-2조 절리군의 방향성은 절리의 길이와 빈도수에서 서로 다르다는 것을 의미한다. 하지만 정면적법과 선조사법으로 각각 비교 분석한 결과 각 절리군의 방향성은 최소 2조의 절리군의 방향성이 서로 일치하거나 매우 유사한 방향성의 절리

**Table 3.** Comparison of joint orientation data between Square-Inventory Method and Scanline Survey.

| Slope No. | Square-Inventory Method |          |          |          | Scanline Survey |          |          |          |
|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|
|           | Unweighted              |          | Weighted |          | Unweighted      |          | Weighted |          |
| Slope 1   | 빈도수                     | 41       | 빈도수      | 1448     | 빈도수             | 110      | 빈도수      | 8650     |
|           | J1                      | 70°/098° | J1       | 71°/098° | J1              | 74°/282° | J1       | 79°/031° |
|           | J2                      | 65°/211° | J2       | 65°/211° | J2              | 79°/031° | J2       | 81°/038° |
|           | J3                      | -        | J3       | -        | J3              | 75°/214° | J3       | 79°/100° |
|           | J4                      | -        | J4       | -        | J4              | 81°/296° | J4       | -        |
| Slope 2   | 빈도수                     | 31       | 빈도수      | 1111     | 빈도수             | 146      | 빈도수      | 8007     |
|           | J1                      | 65°/199° | J1       | 61°/201° | J1              | 88°/069° | J1       | 89°/253° |
|           | J2                      | 74°/241° | J2       | 72°/242° | J2              | 88°/325° | J2       | 37°/340° |
|           | J3                      | 63°/135° | J3       | 64°/135° | J3              | 38°/339° | J3       | 88°/327° |
|           | J4                      | -        | J4       | -        | J4              | -        | J4       | 57°/023° |
| Slope 3   | 빈도수                     | 37       | 빈도수      | 1499     | 빈도수             | 110      | 빈도수      | 4489     |
|           | J1                      | 52°/268° | J1       | 52°/268° | J1              | 79°/228° | J1       | 79°/226° |
|           | J2                      | 78°/237° | J2       | 90°/141° | J2              | 74°/334° | J2       | 77°/020° |
|           | J3                      | 89°/242° | J3       | 76°/237° | J3              | 78°/192° | J3       | 53°/086° |
|           | J4                      | -        | J4       | -        | J4              | -        | J4       | 62°/338° |

Numbers above indicates dip and dip direction.

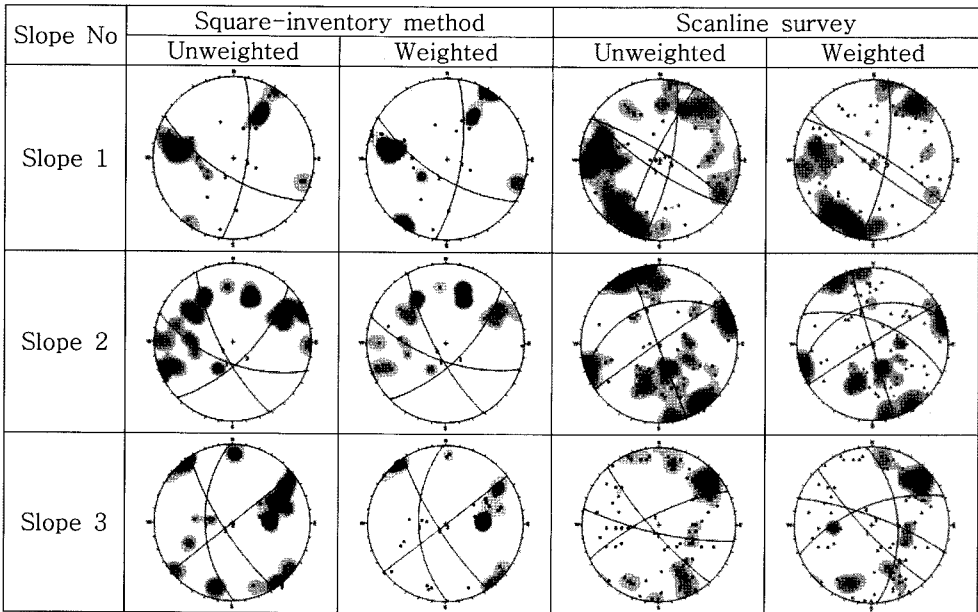


Fig. 4. Comparison of unweighted plot, i.e. considered only in numbers of joints with weighted plot in length of each joint in orientation data of joints.

균이 분포함을 나타내며, 그 방향성에서 절리의 연장성이 우세할 뿐만 아니라 절리의 빈도수에서도 우세하게 나타난다는 것을 의미한다. 그러나 선조사법으로 측정된 절리군의 방향성은 정면적법으로 측정하여 분석한 최대 집중군의 절리군 개수가 같거나 1 또는 2조의 절리군이 추가적으로 분포하고 있는 것으로 분석되었으며 이는 야외에서 선조사법으로 측정된 절리의 총 빈도수가 정면적법으로 측정된 절리의 총 빈도수보다 많기 때문이다.

**절리간격과 빈도수**

불연속면의 간격은 불연속면의 빈도수의 역수로 표현할

수 있으며 암반분류의 기준으로 널리 사용된다(Priest, 1993). 절리간격과 빈도수의 분석은 면적조사법인 정면적법을 이용한 경우는 측정할 수 있는 면적(1m × 1m)이 작고 또한 절리간격을 측정할 수 길이가 너무 짧기 때문에 정확한 통계분석이 어려우나 선조사법의 경우 각 사면(사면 1:2,682 m; 사면 2:2,580 m 및 사면 3:1,850 m)마다 절리간격과 빈도수의 관계를 막대그래프로 표현하였다(Fig. 5). 모든 사면에서 음의 지수 형태로 나타나며 확률밀도분포는 사면 1, 2, 3에서 각각 4.1, 5.7 및 5.9/m 이다(Table 2). 따라서 사면 3의 절리밀도는 사면 1과 2보다 높은 값을 보여주며 이는 사면 3을 구성하는 사질의

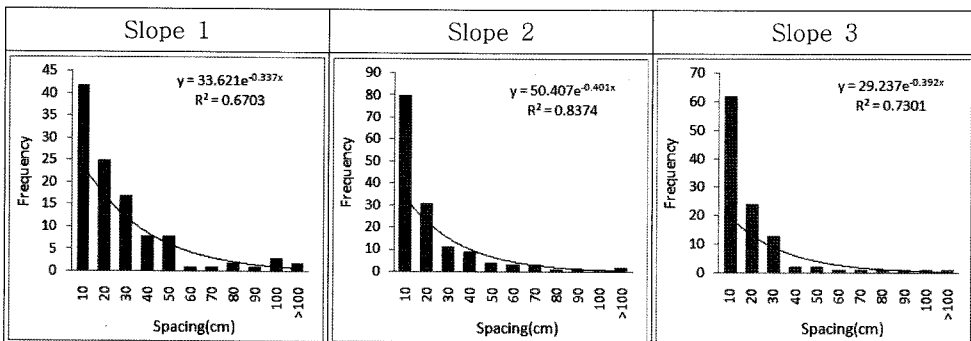


Fig. 5. Histogram showing relationship between frequency and spacing(cm) measured by scanline survey in three slopes.

암석 그리고 소습곡구조의 발달과 관련이 있는 것으로 판단된다. 정면적법으로 측정된 절리의 밀도는 선조사법으로 측정된 절리밀도와 비교는 할 수 없으나 사면 1, 2, 3에서 절리밀도는 각각 14.5, 11.1 및 15.1 (m/m<sup>2</sup>)로 조사되었으며 사면 3의 절리밀도가 상대적으로 높게 나타난다(Table 2).

**경사방향과 빈도수**

경사방향에 따른 절리의 빈도수의 관계는 사면 안정성 분석에서 절취사면의 방향성에 기인하여 사면 파괴의 유형을 추론하는 요인 중의 하나이다. 사면 1은 정면적법과 선조사법으로 각각 분석한 결과 최대 빈도수에서 모두 45-135°와 225°의 경사방향향이 우세하게 나타난다. 사면 2

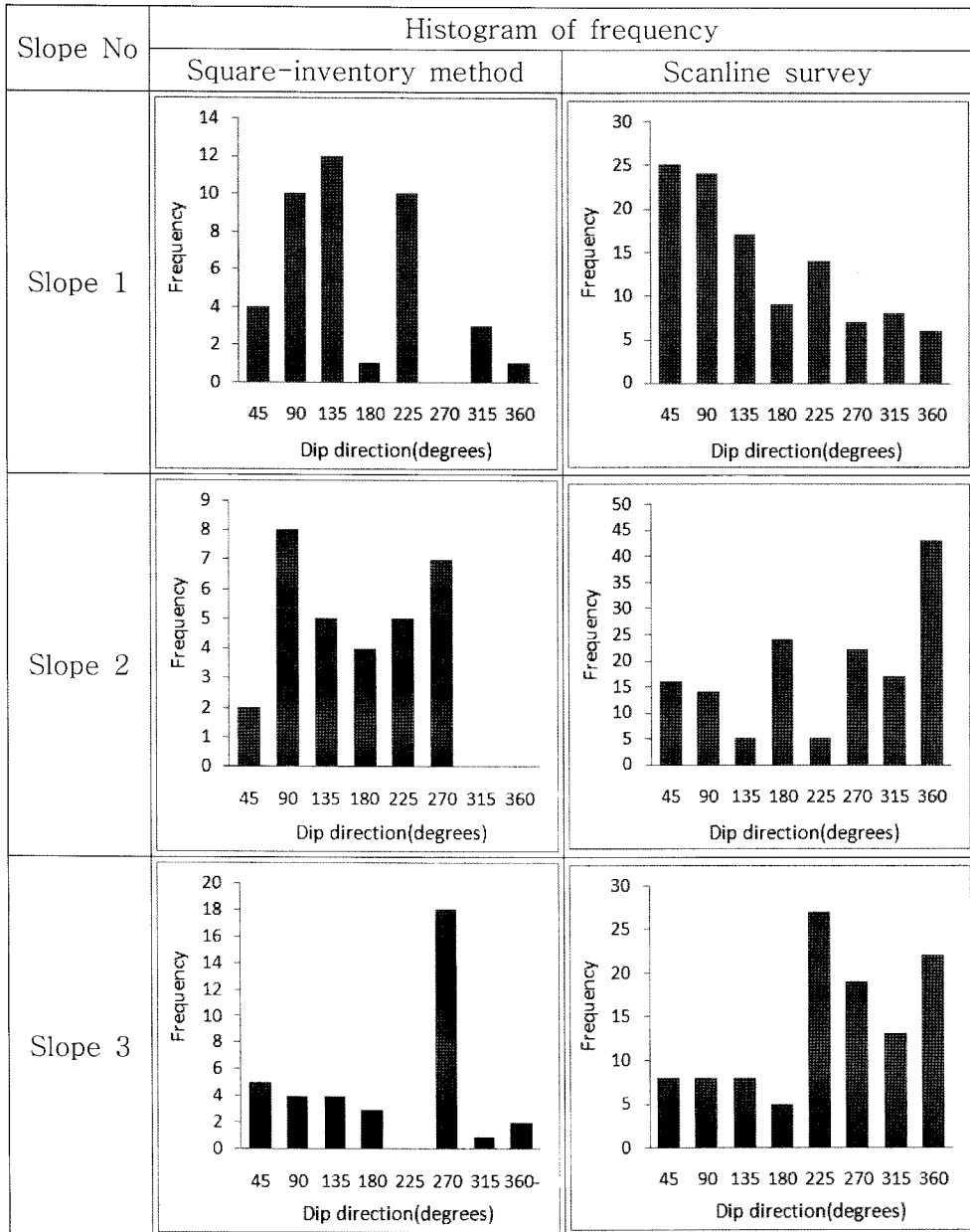


Fig. 6. Histogram showing relationship between frequency and dip direction in both square-inventory method and scanline survey in three slopes.

에서는 정면적법의 경우 경사방향이 90-135°와 225-270°의 방향에서 우세하게 나타나지만 선조사법에서는 180°와 360°의 경사방향의 절리가 우세하게 나타난다. 이는 사면 2의 경사 방향성이 360°인 점과 비교하여 평면파괴나 전도파괴의 가능성을 암시한다. 사면 3은 최대 빈도수에서

정면적법의 경우 경사방향이 270°에서 유일하게 우세하게 나타나며 선조사법의 경우에는 225-270°와 360°의 경사방향을 갖는 절리군이 우세하게 분포한다(Fig. 6). 사면 3의 경우에는 두 조사방법의 결과에 큰 차이점이 없다. 사면 2의 경우에서만 경사방향과 빈도수의 분석 결과에서

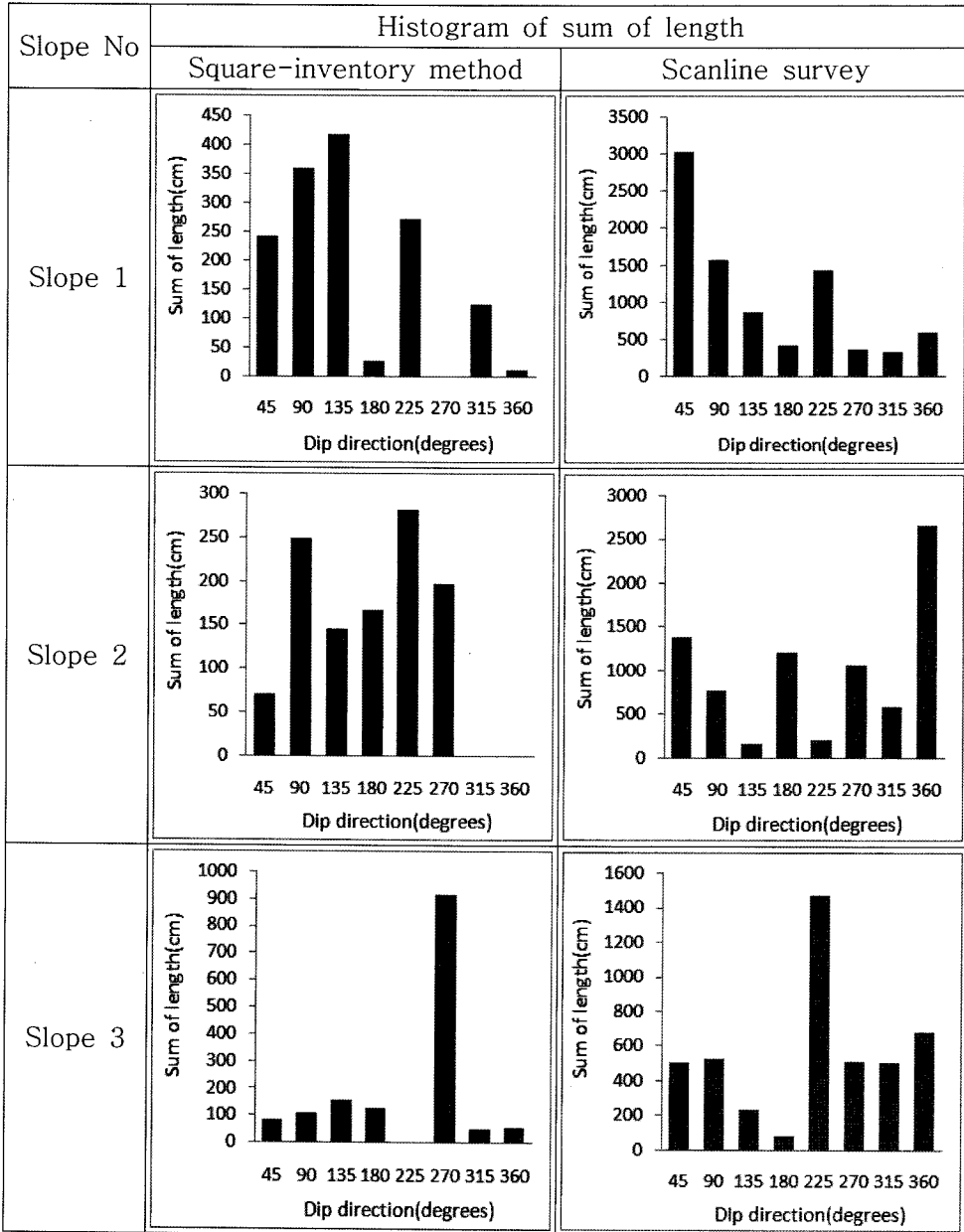


Fig. 7. Histogram showing relationship between frequency and sum of length(cm) with the same orientation in both square-inventory method and scanline survey in three slopes.



정면적법과 선조사법의 분석결과가 서로 상이하게 나타났으며 이는 각 절리의 빈도수와 연장길이에 대한 통계분석상의 차이 및 서로 다른 방향성을 보여주는 새로운 절리군의 출현 등에 기인한다.

### 경사방향과 절리길이

경사방향과 절리길이의 상관관계는 경사방향과 빈도수와 관련성은 있으나 반드시 서로 일치하지는 않는다. 즉 그 방향성에 대한 절리길이에 대한 기중치와 유사한 개념이지만 이번 연구에서는 경사 방향과 유사한 방향성을 갖는 절리길이의 합과의 분석결과는 경사방향과 절리의 빈도수의 관계 분석과 매우 유사한 결과를 보여준다. 각 사면마다 정면적법과 선조사법의 비교 분석 결과는 유사한 방향성을 갖는 절리길이의 합과 그 경사 방향에서의 최대 빈도수에서는 큰 차이점을 나타내지 않는다(Fig. 7). 하지만 이번 조사에서 경사방향과 빈도수 그리고 경사방향과 절리길이와의 관계 그래프(Figs. 6 and 7)에서 경사방향의 간격을 45°로 하여 분석하였기 때문에 상기한 두 결과는 매우 유사하더라도 절리 방향성 분석 결과와는 상이한 결과를 초래할 수 있다. 경사방향과 빈도수 및 절리길이와 빈도수의 상관관계 분석을 위하여 간격을 더 세분하면 더 정확한 자료를 얻을 수 있지만 정면적법의 경우에 측정된 절리의 빈도수가 적기 때문에 이러한 경우 두 방법을 통계상 비교하기 어렵다.

### 사면안정 비교분석 결과

앞서 설명한 각 사면의 지질학적 및 공학적 특성(Tables 1, 2 and 3)을 사용하여 평사투영법으로 각 사면의 특성을 각각 정면적법과 선조사법에 적용하여 각 사면에 발생할 수 있는 파괴유형을 예측하고 그 결과를 실제 노두상에서 관찰한 사면파괴 결과와 비교하였다(Fig. 8 and Table 4).

사면 1에서의 사면파괴유형 분석결과는 정면적법에서 절리군 1과 2가 서로 교차하여 켜기형 파괴가 발생할 것으로 예측되었으나 선조사법에서의 결과에서는 어떠한 파괴유형도 예측되지 않았다(Fig. 8). 하지만 사면의 노두 관찰에서 평면파괴와 켜기파괴 유형이 관찰되었다.

사면 2의 사면파괴유형 분석결과는 정면적법에서 층리구조와 벽개구조 및 절리군 J2의 교차에 의하여 켜기 파괴가 그리고 층리구조와 절리군 J1의 교차에 의하여 평면파괴가 일어날 수 있는 것으로 분석되었다. 선조사법에서의 분석결과에서는 층리구조와 절리군 J1의 교차에 의하여 또한 층리구조와 벽개구조의 교차에 의하여 켜기

파괴가 발생할 수 있는 것으로 분석되었으며(Fig. 8) 실제 노두사면에서 심한 평면파괴가 발생하였음을 관찰하였다.

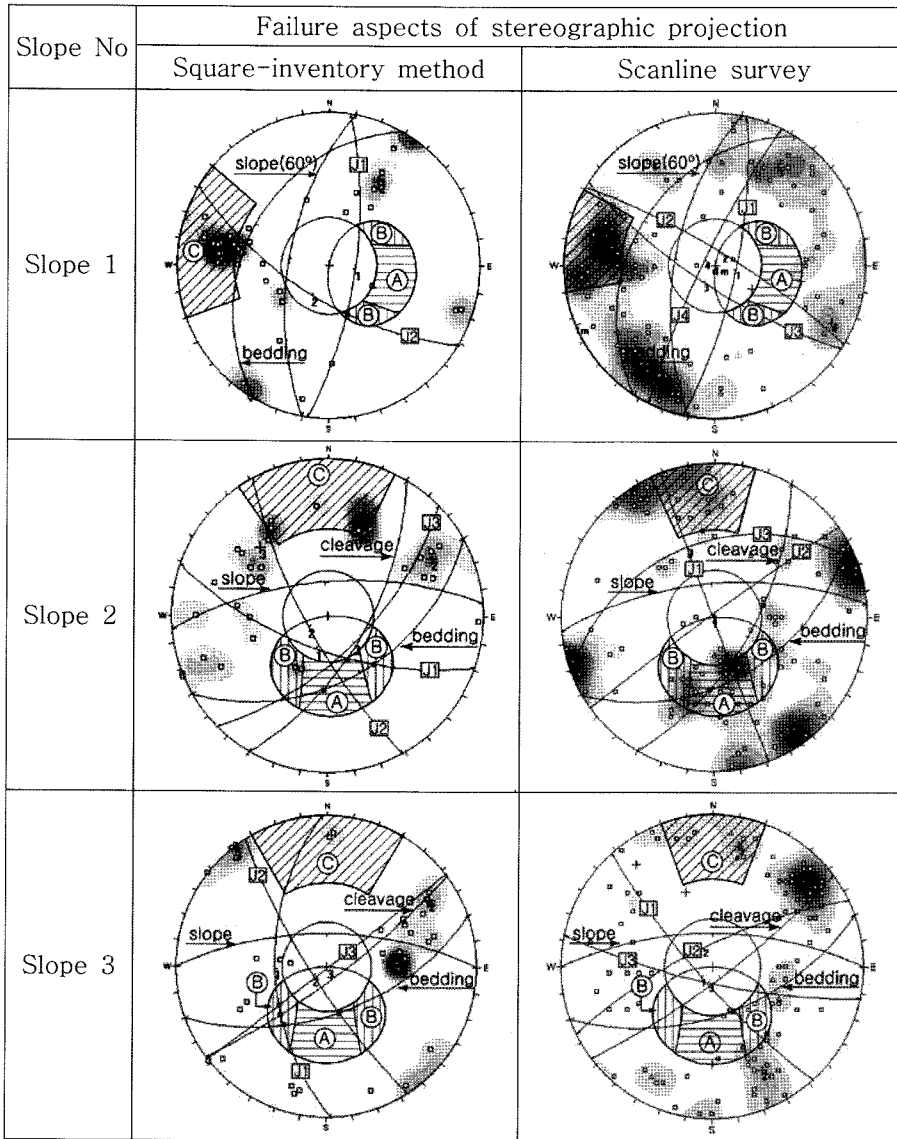
사면 3에서 정면적법의 분석결과는 층리구조와 절리군 J1의 교차에 의하여 그리고 절리군 J1과 J2 및 벽개구조의 교차로 평면파괴가 발생할 확률이 매우 높으며 또한 층리구조와 절리군 J2의 교차로 켜기 파괴가 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 선조사법의 분석결과에서는 층리구조와 절리군 J1의 교차로 켜기파괴의 유형이 발생할 수 있는 것으로 판명되었다(Fig. 8). 사면 3의 노두관찰에서는 평면, 켜기 및 전도파괴 유형 모두가 관찰되었다.

정면적법과 선조사법을 이용한 절취사면의 안정성 비교분석결과 사면 2와 사면 3의 파괴유형분석에서는 두 조사방법의 결과가 실제 노두 사면의 파괴유형과 일치하는 결과를 얻었으나 정면적법을 이용하여 분석한 결과가 선조사법을 이용한 결과보다 더 세밀한 파괴유형을 예측할 수 있었다. 또한 사면 1의 경우 정면적법의 분석결과에서는 켜기파괴의 발생 가능성을 예측할 수 있었으나 선조사법의 분석결과에서는 어떠한 파괴유형도 보여주지 못하였다.

### 결 론

도로 절취사면의 안정성분석을 위하여 충북 보은군 내 북면과 회북면 지역의 도로 사면을 3곳 선정하여 각 사면마다 정밀지질조사를 실시하여 층리, 벽개 및 습곡구조 등 지질학적 특성과 불연속면의 방향성, 연장성, 빈도수, 간격 및 절리밀도 등 지질공학적 특성을 측정하였으며 정면적법과 선조사법을 사용하여 각각의 특성을 비교하여 분석하였다. 이 지역의 사면은 도로의 굴곡이 심하며 사면의 방향성에 따라 지층의 방향성이 심한 변화를 보여주기 때문에 절취사면과 지층 및 불연속면의 방향성 등 지질학적 및 공학적 요인에 의하여 여러 종류의 사면파괴 양상을 잘 보여준다.

각 사면의 불연속면 특성에 대한 비교분석 결과 불연속면의 방향성은 각 사면마다 2-4조의 절리군이 우세하게 분포하며 각 절리군은 사면 1과 3에서는 정면적법과 선조사법의 방향성 분석에서 서로 매우 유사하게 나타났으나 사면 2에서는 서로 상이한 결과를 얻었다. 이는 사면 2에 분포하는 절리군의 방향성은 절리의 길이와 빈도수에서 서로 다르며 그리고 서로 다른 방향성을 보여주는 새로운 절리군의 출현을 의미한다. 절리의 확률밀도분포와 간격은 사면 3에서 높게 나타나며 이는 사면 3을 구성하는 사질의 암석 그리고 습곡구조의 발달과 관련이 있는 것으로 판단된다. 경사방향에 따른 절리의 빈도수와 또한



**Fig. 8.** Comparison of failure aspects analyzed by Square-inventory method and Scan line survey in three slope surfaces(region (A): wedge failure; region (A) + (B): plane failure; region (C): toppling failure). See Tables 1 and 2 for orientations of the slope, bedding plane, cleavage and joint set(Results analyzed by square-inventory method are modified from Choi and Cheong, 2008).

연장성과 빈도수와의 관계는 두 방법에서 서로 매우 유사한 결과를 얻었으며 이는 각 절리의 경사방향에 따른 절리의 연장성과 빈도수에서 서로 일치함을 의미한다.

연구지역의 세 사면에 대하여 평사투영법을 이용한 절취사면의 안정성분석에서 정면적법과 선조사법의 비교 분석결과와 그리고 실제노두에서 발생한 사면파괴 양상과의 결과와 비교하였을 때 정면적법이 연구지역

의 절취사면의 안정성 분석에는 더 세밀한 파괴유형을 예측할 수 있었으며 선조사법보다 더 유효한 방법으로 판단된다. 이와 같이 정면적법은 면적조사 방법의 한 종류로서 일정한 면적 안에 분포하는 지질학적 및 공학적 제반 특성을 조사하는 반면, 면적이 아닌 선의 개념으로 조사하는 선조사법보다 면적으로 대표되는 사면의 특성을 더 잘 반영한다고 볼 수 있다.

**Table 4.** Comparison of failure types between Square-inventory method and Scanline survey.

| Slope No. | Types of failure |                 | Results of outcrop observation | Comparison and remarks   |
|-----------|------------------|-----------------|--------------------------------|--|
| Slope 1   | SIM*             | Wedge           | Plane and wedge                | 1. Plane failure due to bedding fissility and joints.<br>2. Possible toppling failure related to range of daylight envelope. |
|           | SLS*             | No failure      |                                | 1. Plane failure due to bedding fissility and joints.<br>2. Possible toppling failure related to range of daylight envelope. |
| Slope 2   | SIM*             | Plane and wedge | Plane                          | 1. High possibility of plane failure in both methods.<br>2. Possible wedge failure in SIM*                                   |
|           | SLS*             | Plane           |                                | 1. High possibility of plane failure in both methods.<br>2. Possible wedge failure in SIM*                                   |
| Slope 3   | SIM*             | Plane and wedge | Plane, wedge and toppling      | 1. High possibility of plane and wedge failures.<br>2. Toppling failure occurred .   |
|           | SLS*             | Plane           |                                | 1. High possibility of plane and wedge failures.<br>2. Toppling failure occurred .   |

SIM\* and SLS\* indicate Square-Inventory Method and Scanline Survey, respectively.

사 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힌다. 본 연구를 위해 야외지질조사와 컴퓨터 프로그램의 도표화 작업을 도와준 충북대학교 사범대학 지구과학교육과 대학원생에게 감사드린다.

참 고 문 헌

건설교통부, 한국수자원공사, 2002, 우리가람 길라잡이, 1:100,000, 343p.  
 김경수, 김원영, 채병곤, 조용찬, 2000 강우에 의한 산사태의 지질공학적 특성 - 충청북도 보은 지역, 지질공학회, 10(2), 163-174.  
 이종혁, 이민성, 박봉순, 1980, 한국지질도, 미원도폭, 1:50,000, 자원개발연구소, 29p.  
 이지수, 박희진, 민경덕, 구호본, 2001, 불연속면의 특성을 고려한 보은지역 암반사면 안정성 해석, 자원환경지질, v. 34, 601-615.  
 장보안, 풍보현, 장현식, 2008, 셀 단위 평가법을 이용한 암반사면 안정성 평가, 대한지질공학회 학술발표회 논문집, No. 6-7, 11-19.  
 정상원, 최병렬, 2008, 지질구조에 의한 사면의 불안정성에 관한 연구: 충북 피만령 부근, 대한지질공학회, 18(4), 459-470.  
 최병렬, 1998, 지하수 유로조사를 위한 질리계의 응용지질학적 분석, 대한지질공학회, 8(2), 131-143.  
 최병렬, 2000, 보은지역의 지형분석, 충북대학교 과학교육연구소, 49-55.  
 최병렬, 2001, 탄성파를 이용한 보은지역 암석의 공학적 성질과 이방성에 관한 연구, 대한지질공학회, 11(2), 215-227.  
 최병렬, 정상원, 2008, 정면적법을 이용한 불연속면의 특성화 및 사면안정해석: 충북 보은군 내북면 창리 지역, 암반공학회지 터널과 지하공간, 18(1), 20-32.

최재원, 이사로, 민경덕, 우익, 2004, 지리정보시스템(GIS) 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성도 작성 및 검증, 자원환경지질, 37, 207-223.  
 Davis, G. H. and Reynolds, S. J., 1996, Structural geology of rocks and regions, John Wiley & Sons, Inc., 776p.  
 Hoek, E., 2007, Practical Rock Engineering, Evert Hoek's Consulting Engineering Inc., 2007 ed., 326p.  
 Hoek, E. and Bray, J. W., 1981, Rock slope engineering, 3rd ed. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 402p.  
 Priest, S. D., 1993, Discontinuity analysis for rock engineering, 1st ed. Chapman and Hall, 473p.  
 Wyllie, D. C. and Mah, C. W., 2004, Rock Slope and Engineering, Civil and Mining, 4th ed., Spon Press, 431p.

2009년 3월 25일 원고접수, 2009년 6월 15일 게재승인

정상원

충북대학교 사범대학 지구과학교육학과  
 361-763 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)  
 TEL: 011-9844-1265  
 Fax: 043-271-0526  
 e-mail: cheong1@dreamwiz.com

최병렬

충북대학교 사범대학 지구과학교육학과  
 361-763 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)  
 TEL: 043-261-2735  
 Fax: 043-271-0526  
 e-mail: choibr@cbu.ac.kr