

## 입체 디지털 영상처리에 의한 암반사면의 불연속면에 대한 3차원 정보 추출

이동천<sup>1\*</sup> · 우 익<sup>1</sup> · 최진옥<sup>1</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 지구정보공학과

### Three-Dimensional Information Extraction of Discontinuity on Rock Slope by Processing Stereo Digital Images

Dong-Cheon Lee<sup>1\*</sup>, Ik Woo<sup>1</sup> and Jin Ok Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geoinformation Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

This study describes image-based approach for efficient and objective evaluation method of the rock slope stability. Three-dimensional rock slope model was reconstructed by processing stereo digital images. The model provided fundamental information for geospatial analysis of the rock slope. Methods to extract three-dimensional information about discontinuity on the rock slope and to estimate roughness of the rock surfaces were suggested. The results show that stereo digital images have potential to provide information for both quantitative and qualitative analysis of rock slope. In addition, visualization of the results increases efficiency and benefit in evaluating rock slope stability.

**Key words** : digital photogrammetry, DTM, rock discontinuity, surface roughness, aspect and slope analysis

영상을 기반으로 한 불연속면의 방향성 측정 및 거칠기 평가에 대한 효율적이고 객관적인 기법의 적용 가능성을 제시하는데 본 연구의 목적이 있다. 현장조사 및 계측을 통한 암반사면 안정성 평가의 한계를 보완하기 위해 디지털 영상으로부터 3차원 수치 암반사면모델을 생성하여 암반사면에 대한 지형 공간적 분석을 위한 기초 정보를 도출하였다. 또한, 암반사면 내에 분포한 불연속선을 3차원적으로 추출하여 불연속면의 집중 방향성을 분석하고, 암반표면의 거칠기를 정량화할 수 있는 방법을 제시하였다. 연구결과 입체 디지털 영상으로부터 암반사면에 대한 다양한 정량적 분석이 가능한 정보를 효과적으로 추출할 수 있었으며, 이를 시각화하여 안정성 평가의 효율성과 편의성을 향상 시킬 수 있었다.

**주요어** : 수치사진측량, 수치지형모델, 암반 불연속면, 거칠기, 방향성 분석

## 1. 서 론

암반사면에서의 낙석, 사면붕괴 및 산사태는 우리나라에서 발생하고 있는 지질재해중의 하나로 매년 심각한 피해를 유발하고 있다. 특히 산악지역의 도로 및 철도변에 개설되는 암반을 절취하여 건설되는 경우가 많으므로 이런 재해 위험에 노출되어 있으며 이로 인한 재산 및 인명 피해의 가능성이 높다. 그러므로 암반사면에 대한 안전도 평가를 위한 효율적이고 체계적인 방법의 개발과 시스템 구축이 요구되고 있다. 암반

사면의 안정성 조사 및 분석을 위한 자료를 수집하기 위해 다양한 방법을 사용하고 있지만, 암반사면에 대한 자료 수집은 현장에서 직접적인 조사가 수행되므로 대상지역 전체에 대한 측정이 용이하지 않으며 또한 현장 조사 및 측정 시 안전사고 등의 위험이 동반될 수 있다. 이로 인하여 조사 기간의 장기화, 비용의 증가 및 접근성 등 현장조사의 문제점 및 자료수집의 한계점으로 제시되어 왔다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 사진측량기법을 암반사면의 불연속면에 대한 정보추출과 분석에 적용하

\*Corresponding author: dleec@sejong.ac.kr

면 현장에서 직접 측정을 하지 않고 촬영된 영상으로부터 광범위한 지역에 대한 암반사면의 변위특성 및 변위량을 정량화 할 수 있는 장점이 있다(한중근 등, 2001; 2003). 또한 다중시기 영상을 사용하면 시간에 따른 암반의 변화와 움직임의 탐지가 가능하다(Corthesy and Leite, 2003). 정밀한 3차원 공간정보를 추출하기 위해서는 측정용 사진기로부터 입체영상을 촬영하고 정밀 스캐너를 이용하여 디지털 영상으로 변환하여 다양한 디지털 영상처리 기법을 적용하여 다양한 정보를 추출할 수 있다. 또한 디지털 영상을 이용하는 사진측량 기법으로 암반사면에 대한 공간특성 정보를 나타내는 수치지형모델(DTM)을 생성하고 이를 기반으로 기하학적 및 지질학적 특성 정보를 효율적으로 추출할 수 있다. 디지털 영상처리기법을 적용하여 절리면 및 층리 등과 같은 암반불연속면 등에 대한 지질학적 정보를 추출하고, 3차원 공간정보와 함께 유용한 속성정보를 구축하여 장기적이고 반복적인 측정을 통한 변화를 분석하고 안정성 평가의 자료로 활용할 수 있다. 특히 디지털 영상을 기반으로 하는 수치사진측량에 의한 계측의 장점은 데이터의 균일성, 데이터의 재사용성, 자료처리의 자동화, 현장에 대한 영구적 영상 자료보존 및 관리의 용이성, 다양한 형태의 결과물의 제작 및 시각화에 의한 분석의 효율성 등이다(Schenk, 1999).

본 연구는 현장조사의 단점 및 제한성을 보완하고자 입체 디지털 영상을 기반으로 한 수치사진측량 기법을 이용하여 암반사면에 대한 다양한 특성 정보의 추출과 분석을 위한 효과적인 데이터 취득방법 및 자료처리 방법을 제시하고, 추출된 정보의 시각화와 객관적 분석과 평가의 효율성을 향상시키는데 목적이 있다.

## 2. 사진측량에 의한 3차원 공간정보 생성

사진측량에 의한 3차원 공간정보는 중복하여 촬영한 입체영상의 좌우영상에서 좌표를 측정하고 지상에서 관측한 기준점 좌표를 이용하여 좌표변환을 수행하여 얻게 된다. 영상 촬영시 만족해야 될 조건은 지상의 임의의 점  $P(X_p, Y_p, Z_p)$ 과 이에 대응하는 사진상의 점  $p(x, y, -f)$  및 사진기의 투영 중심점  $O(X_o, Y_o, Z_o)$ 이 동일직선 상에 있어야 하며, 이를 공선조건이라고 한다(Fig. 1).

공선조건으로부터 사진기 투영중심과 P의 사진 상의 점 및 대상물 사이에는 다음과 같은 식(1)과 (2)가 성립한다(Cooper and Robson, 2001).

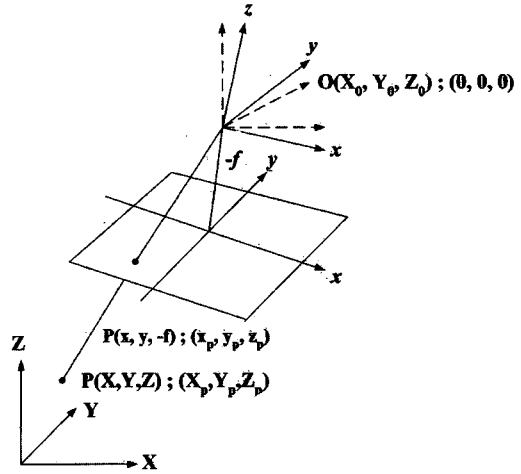


Fig. 1. Collinearity condition.

$$F_x(X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa, X_o, Y_o, Z_o, x_p, f)$$

$$x = x_p - f \frac{r_{11}(X_p - X_o) + r_{12}(Y_p - Y_o) + r_{13}(Z_p - Z_o)}{r_{31}(X_p - X_o) + r_{32}(Y_p - Y_o) + r_{33}(Z_p - Z_o)} = x_p - f \frac{N_x}{D} \quad (1)$$

$$F_y(X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa, X_o, Y_o, Z_o, x_p, f)$$

$$y = y_p - f \frac{r_{21}(X_p - X_o) + r_{22}(Y_p - Y_o) + r_{23}(Z_p - Z_o)}{r_{31}(X_p - X_o) + r_{32}(Y_p - Y_o) + r_{33}(Z_p - Z_o)} = y_p - f \frac{N_y}{D} \quad (2)$$

여기서  $x, y$ : 영상좌표,  $r_{ii}$ : 사진기의 회전행렬 요소,  $f$ : 카메라의 초점거리,  $X_o, Y_o, Z_o$ : 카메라 투영중심의 공간좌표, : 대상점의 공간좌표

$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos\phi \cos\kappa \\ r_{12} &= \sin\omega \sin\phi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa \\ r_{13} &= -\cos\omega \sin\phi \sin\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\ r_{21} &= -\cos\phi \sin\kappa \\ r_{22} &= -\sin\omega \sin\phi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa \\ r_{23} &= \cos\omega \sin\phi \sin\kappa + \sin\omega \cos\kappa \\ r_{31} &= \sin\phi \\ r_{32} &= -\sin\omega \cos\phi \\ r_{33} &= \cos\omega \cos\phi \end{aligned}$$

Fig 2와 같이 입체사진에서 촬영된 각 점에 대한 실제 공간에서의 3차원 좌표는 식(3)으로 계산된다.

$$\left( r_{11} - \frac{x_1}{f} r_{31} \right) \left( r_{12} - \frac{x_1}{f} r_{32} \right) Y + \left( r_{13} + \frac{x_1}{f} r_{33} \right) Z + \left\{ \left( \frac{x_1}{f} r_{31} - r_{11} \right) X_{o1} + \left( \frac{x_1}{f} r_{32} - r_{12} \right) Y_{o1} + \left( \frac{x_1}{f} r_{33} - r_{13} \right) Z_{o1} \right\} = 0$$

$$\begin{aligned} & \left(r_{21} - \frac{y_1}{f} r_{31}\right) \left(r_{22} - \frac{y_1}{f} r_{32}\right) Y + \left(r_{23} + \frac{y_1}{f} r_{33}\right) Z + \\ & \left\{ \left(\frac{y_1}{f} r_{31} - r_{21}\right) X_{01} + \left(\frac{y_1}{f} r_{32} - r_{22}\right) Y_{01} + \left(\frac{y_1}{f} r_{33} - r_{23}\right) Z_{01} \right\} = 0 \\ & \left(r'_{11} - \frac{x_2}{f} r'_{31}\right) \left(r'_{12} - \frac{x_2}{f} r'_{32}\right) Y + \left(r'_{13} + \frac{x_2}{f} r'_{33}\right) Z + \\ & \left\{ \left(\frac{x_2}{f} r'_{31} - r'_{11}\right) X_{01} + \left(\frac{x_2}{f} r'_{32} - r'_{12}\right) Y_{01} + \left(\frac{x_2}{f} r'_{33} - r'_{13}\right) Z_{01} \right\} = 0 \\ & \left(r'_{21} - \frac{y_2}{f} r'_{31}\right) \left(r'_{22} - \frac{y_2}{f} r'_{32}\right) Y + \left(r'_{23} + \frac{y_2}{f} r'_{33}\right) Z + \\ & \left\{ \left(\frac{y_2}{f} r'_{31} - r'_{21}\right) X_{01} + \left(\frac{y_2}{f} r'_{32} - r'_{22}\right) Y_{01} + \left(\frac{y_2}{f} r'_{33} - r'_{23}\right) Z_{01} \right\} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $x_1, y_1, x_2, y_2$ : 좌우 사진에서의 사진좌표,  $X, Y, Z$ : 지상좌표.

사진 상에서 중복 촬영된 지역에 대하여 3차원 좌표를 계산결과 생성된 데이터로부터 DTM을 구축할 수 있다. DTM은 대상지역에 대한 기록 및 형태 등 3차원 기하학적 정보를 원하는 위치(view point)에서 시각적으로 제공할 수 있으므로 암반사면에 대한 다양한 공간분석이 가능하다.

### 3. 암반사면의 불연속면 분석 및 거칠기 측정

암반사면 내에 분포하고 있는 암반불연속면은 그 특성에 따라 사면의 안정성에 많은 영향을 미치고 있다. 암반불연속면은 경사방향 및 경사로 표시되는 방향성과 발생빈도, 연속성, 연장성 및 불연속면의 공학적 특성으로 표현될 수 있다. 암반사면의 방향에 따른 불연속면의 방향성 및 기하학적인 특성은 암반거동의 운동학적 거동 및 거동 가능한 압력의 크기를 결정하는 중요한 요소이다. 암반사면에 존재하는 불연속면의 대표적 경사방향은 식(4)와 같이 계산되며, 기준인 북(North)을  $0^\circ$ 로 정하고 시계방향으로  $0^\circ \sim 360^\circ$ 로 표시한다.

$$A = 180^\circ + \tan^{-1}(b/a) \quad (4)$$

여기서,  $a, b$ 는 식(3)에서 나타난 지상좌표  $X$  및  $Y$  방향으로의 불연속면 기울기.

암반사면의 안정성을 효과적으로 분석하기 위하여 측정된 불연속면들을 평사투영(stereographic projection)을 이용하여 불연속면의 방향성 분포를 해석하는 기법이 주로 사용된다. 또한, 암반사면의 안정성은 불연속면의 방향성뿐만 아니라 불연속면의 공학적 특성에 의해서도 영향을 많이 받는다. Barton and Choubey

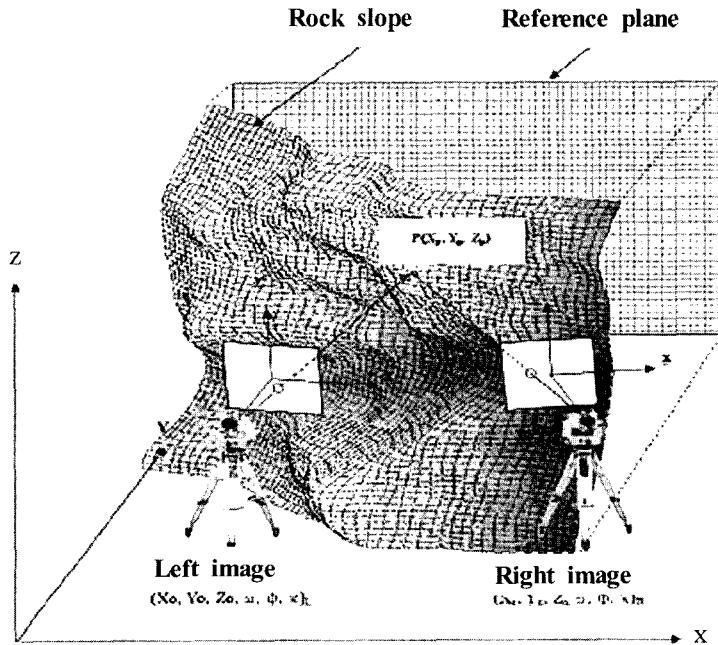


Fig. 2. Stereo imaging to obtain 3D spatial information.

(1977)는 수많은 실험을 통하여 불연속면에 작용하는 수직응력( $\sigma_n$ )에 따른 불연속면의 일축압축강도(JCS)와 거칠기 계수(JRC) 그리고 잔류마찰각( $\mu$ )으로부터 불연속면의 전단강도를 산출하는 경험식을 제시하였다(식(5)).

$$\tau = \sigma_n \tan\left(\phi_r + JRC \log_{10} \frac{JCS}{\sigma_n}\right) \quad (5)$$

식(5)에 나타난 바와 같이 불연속면의 전단강도는 불연속면의 거칠기에 많은 영향을 받는다. 불연속면의 거칠기는 Barton and Choubey(1977)가 실험적인 방법에 의하여 0~20의 값을 지닌 거칠기계수(JRC)로 분류하였다(Fig. 3). 그러나, 현장조사를 통해 절리면의 거칠기를 관측하는 경우, 그림에서 제시한 거칠기 단면과 현장의 불연속면과의 육안비교에 의하여 실제 어느 것에 부합되는지를 결정하는데, 이는 주관적 판단으로 인한 개인간의 오차도 발생할 수 있다(김교원, 2001).

정량적인 JRC 값은 Fig. 3의 단면들을 디지털이저한 결과를 여러 방법에 의하여 분석한 후 이 결과를 현장 불연속면에 적용하여 구할 수 있다(Kulatilake *et al.* 1995, Yu *et al.* 1991, Hingston & Jermy 1998, Lee *et al.* 1990, Wu & Ali 1978, Tse & Cruden 1979, Hsiung *et al.* 1988). 그 중에서 식(6)에 나타난 바와 같이 비교적 사용하기 편리한 표준편차를 이용한 통계적인 접근(Yu *et al.* 1991)으로 JRC 계수를 Sample interval에 따라 정량적으로 구할 수 있으며,

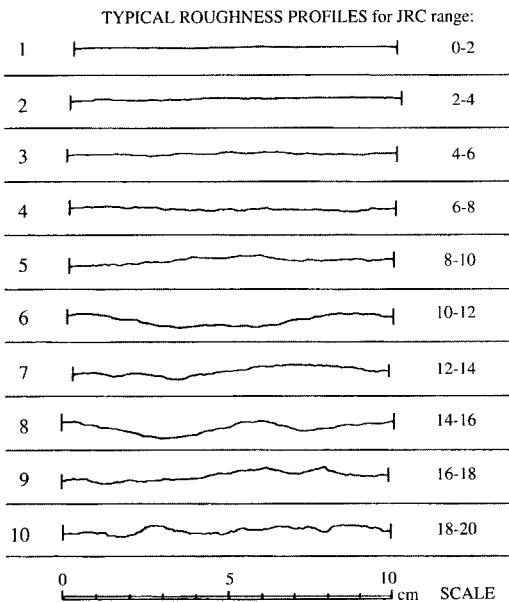


Fig. 3. Ranges of JRC value for rock surface roughness (Barton and Choubey, 1977).

본 연구에서는 불연속면의 단면좌표의 Sampling interval이 1mm인 경우일 때의 JRC 계수를 구하였다.

$$JRC = 95.07\sqrt{RL_1} - 3.28 \quad \text{Sampling Interval} = 0.5 \text{ mm}$$

$$JRC = 95.23\sqrt{RL_1} - 2.62 \quad \text{Sampling Interval} = 1 \text{ mm}$$

$$RL_1 = \frac{\sum((x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2)^{1/2}}{L} - 1 \quad (6)$$

여기서 L: 대상 불연속면의 길이,  $x_i$ : 길이 방향의 sampling point,  $y_i$ :  $x_i$ 에 상응하는 수직높이.

암반표면의 거칠기는 2차원이 아닌 3차원적으로 측정되어야 의미가 있으며, 이는 입체사진을 이용한 사진측량기법을 이용하여 효율적으로 수행할 수 있다. 입체사진을 이용하여 설정한 기준면에 대한 단위면적 당 x와 y 방향으로 일정 간격으로 측정된 암반표면의 기록을 나타내는 z 좌표값을 측정함으로써 거칠기를 3차원적으로 정량화 할 수 있다. 본 연구에서는 북쪽을 직교좌표의 X방향으로 설정하였다. 사진측량 기법으로 암반표면의 3차원 거칠기를 측정하기 위해 필요한 기준면은 다음과 같은 평면 방정식으로 계산된다.

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-z_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & z_3-z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

$$aX + bY + cZ + d = 0 \quad (8)$$

$$Z_n = \frac{ax_i + by_i + cz_i + d}{a^2 + b^2 + c^2} \quad (9)$$

여기서 (x, y, z): 실제 지상좌표값, ( $x_1, y_1, z_1$ ), ( $x_2, y_2, z_2$ ), ( $x_3, y_3, z_3$ ): 평면의 꼭지점 좌표, a, b, c, d: 평면방정식의 계수,  $Z_n$ : 법선방향의 높이값,  $x_i, y_i, z_i$ : 사진 상에서 측정된 3차원 좌표.

### 4. 연구대상 지역 및 자료처리

#### 4.1. 자료획득

연구대상 암반사면은 경북 울진군 서면 광회리 국도 36호선을 따라 대략 위도 36°55'43.3", 경도 129°08'42.4"에 위치하고 있으며, 화강암과 유사한 암상을 보이는 약한 엽리를 보이고 있고 변성광물을 함유하고 있는 화강편마암으로 구성되어있다(Fig. 4). 영상획득을 위해 사용한 사진기는 Rollei 6008 Metric Camera 이었으며, 촬영된 필름을 고정밀 스캐너를 이용하여 디지털 영상으로 변환하였다. 지상사진의 각 축(X, Z, Y)

이 일반적인 항공사진의 각 축(X, Y, Z)과 다른 관계로 도화 시 축을(X, Z, Y)로 재 설정한 후 수행하였다. 입체 영상을 사진측정학적 처리하기 위한 지상의 기준점(GCP)은 종합측량 장비인 total station을 사용하여 정밀하게 획득하였다.

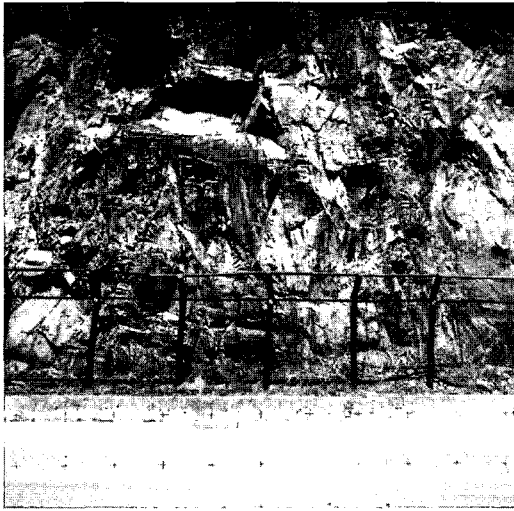


Fig. 4. Rock slope in study site.

### 4.2. 3차원 암반사면모델 생성

획득한 디지털 영상은 디지털 사진측량 시스템인 Intergraph의 ImageStation 및 DAT/EM의 Summit Evolution으로 처리하여 격자간격을 2.5cm로 설정하여 암반사면에 대한 3차원 수치모델을 생성하였다(Fig. 5). 3차원 수치 암반사면모델은 디지털 영상매칭 기법에 의해 자동으로 생성하였으며, 또한 정확한 암반 거칠기 측정을 위해 수동으로도 측정하여 결과를 비교하였다. 자동으로 생성된 모델은 영상매칭 과정에서 발생할 수 있는 과대오차를 감소시키기 위해 중앙값 연산자(median filter)를 적용하였다. Fig. 6은 암반사면모델에 대한 경사방향과 경사의 분포를 시각적으로 나타내고 있다.

### 4.3. 영상으로부터 암반사면의 불연속선 추출

암반사면에 존재하는 불연속선을 다양한 디지털 영상 처리 알고리즘(Pratt, 2001; Russ, 2002)을 이용하여 자동으로 추출하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있지만, 자동으로 원하는 불연속면을 정확하게 추출하는 것은 거의 불가능하다. Fig. 7는 연구대상 암반사면 영상에서 자동으로 추출한 불연속선의 예를 보여주고 있다. 암반사면의 정확한 불연속선은 수치사진측량용 입체도화기

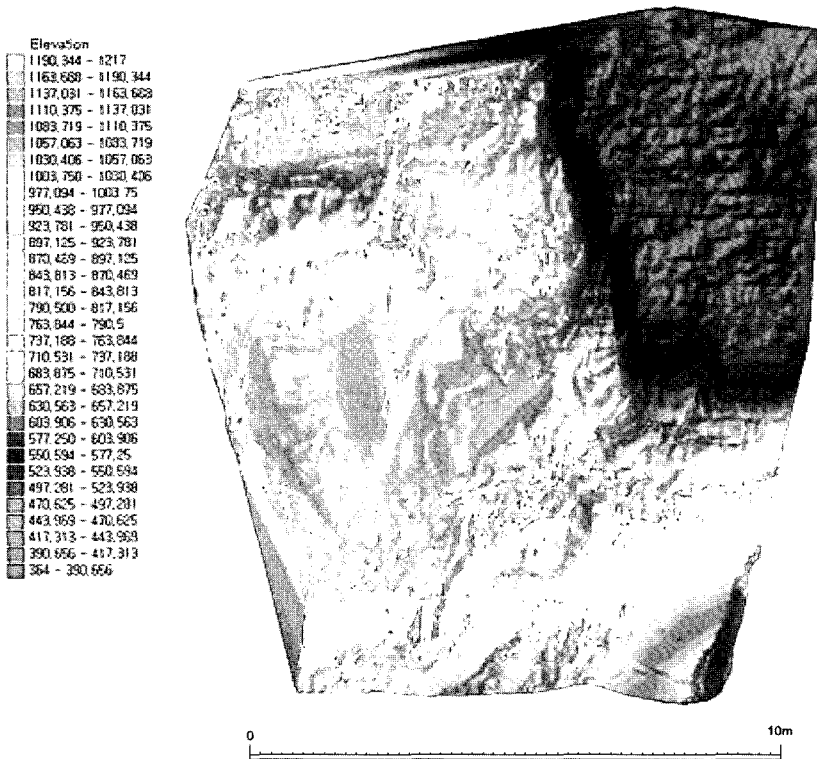
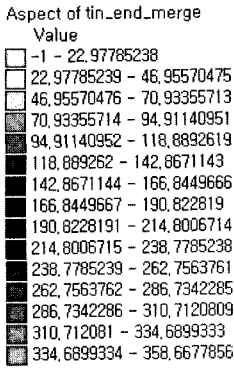
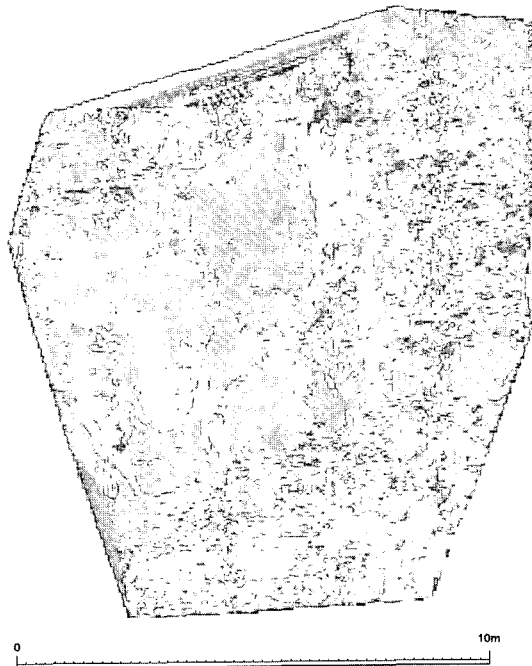
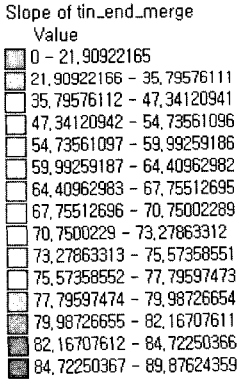


Fig. 5. Reconstruction of 3-dimensional rock slope model.



(a) Dip direction



(b) Dip

Fig. 6. Dip direction and dip of 3D rock slope model.

(digital photogrammetric system)를 이용하여 입체 시각적 수동방식에 의한 디지털라이징하여 3차원적으로

추출하였다. 즉 불연속선의 시작점과 끝점에 대한 3차원 좌표를 획득하여 공간상의 3차원 직선으로 도화하



(a) Discontinuity extraction by gradient method.



(b) Discontinuity extraction after anisotropic diffusion.

Fig. 7. Examples of automatic extraction of discontinuity on rock slope.



Fig. 8. 3D digitizing of discontinuity on rock slope.

여 백터화 하였다(Fig. 8).

### 5. 실험적 결과

암반사면의 입체영상에서 영상상으로 분별이 가능한 절리면들을 선정하여 이들 절리면을 정의하는 점들을

Table 1. Dip direction and dip of discontinuity on rock slope (unit: degree).

Discontinuity	Dip direction	Dip
1	49.80	78.54
2	171.15	74.33
3	171.04	82.55
4	8.31	83.95
5	145.72	76.86
6	167.50	80.47
7	148.55	62.98
8	2.03	88.06

Table 2. Surface roughness represented by standard deviation (unit: cm).

(a) Discontinuity surface A

Profile	Automatic	3×3 median	5×5 median	Manual
1	2.080	1.952	1.833	1.939
2	1.718	1.732	1.720	2.739
3	2.097	2.032	1.951	3.285
4	1.026	1.045	1.102	3.829
5	3.272	2.841	2.457	4.346
6	1.777	1.696	1.520	5.255
3D	2.530	2.480	2.401	2.401

(b) Discontinuity surface B-1

Profile	Automatic	3×3 median	5×5 median	Manual
1	0.674	0.674	0.572	1.031
2	1.510	1.252	1.092	2.030
3	0.929	0.865	0.802	0.911
4	0.523	0.523	0.473	0.523
5	0.951	0.775	0.631	1.511
6	0.924	0.855	0.819	0.924
3D	1.532	1.504	1.497	2.044

(c) Discontinuity surface B-2

Profile	Automatic	3×3 median	5×5 median	Manual
1	1.355	1.313	1.257	2.067
2	2.109	2.080	2.054	2.298
3	2.341	2.341	2.327	1.588
4	1.149	1.149	1.191	1.143
5	0.549	0.626	0.628	0.923
6	0.658	0.658	0.624	0.613
3D	2.251	1.905	1.852	1.836

입체영상에서 3차원적으로 측정하여 평면을 결정하는 계수를 산출하였다. 평면방정식을 이용하여 각 절리면의 주향방향과 경사를 구한 후 평사투영법을 통해 암

반사면을 구성하고 있는 절리들의 방향성을 구하였다 (Kim 등, 2000). Table 1은 선정된 불연속면에서 추출한 경사방향 및 경사값이고, Fig. 9는 이를 평사투영한

그림이다. Fig. 10은 각 절리군에 해당하는 절리면의 단면을 나타낸 것으로, 동일 절리군에서 단 하나의 절리면만 측정이 가능한 경우(Fig. 10 A)와 두 개의 절

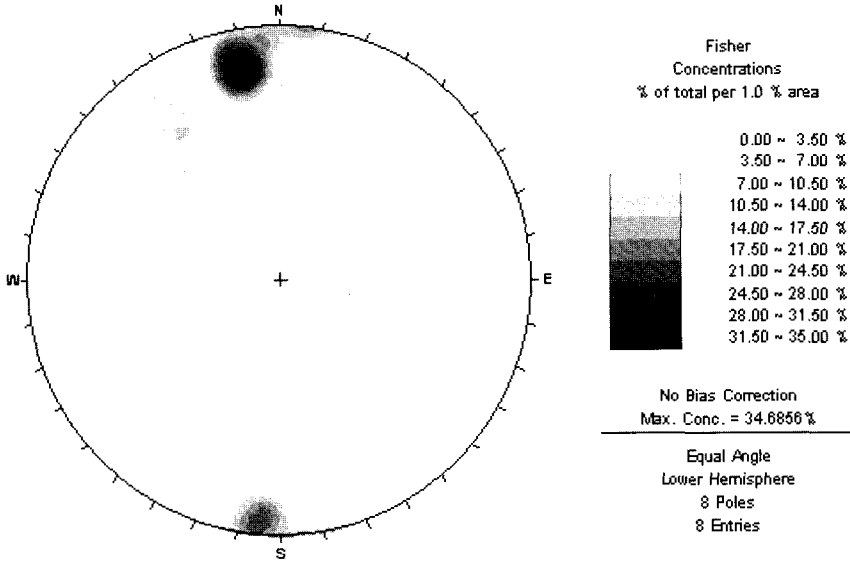
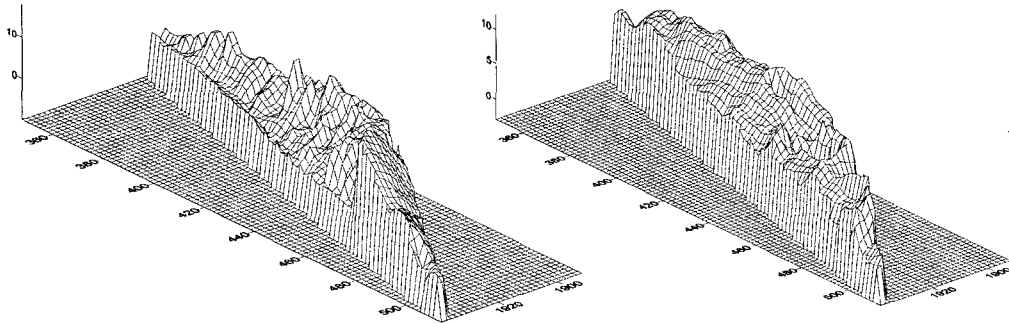
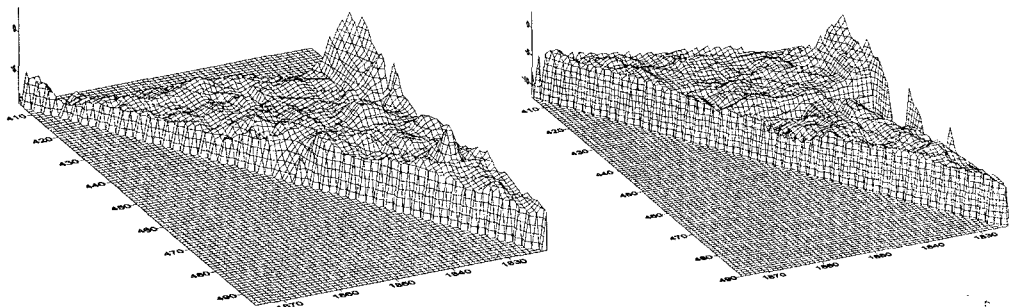


Fig. 9. Stereographic projection dip direction and dip of discontinuities in rock slope.



(a) Discontinuity surface (A) (unit: cm)



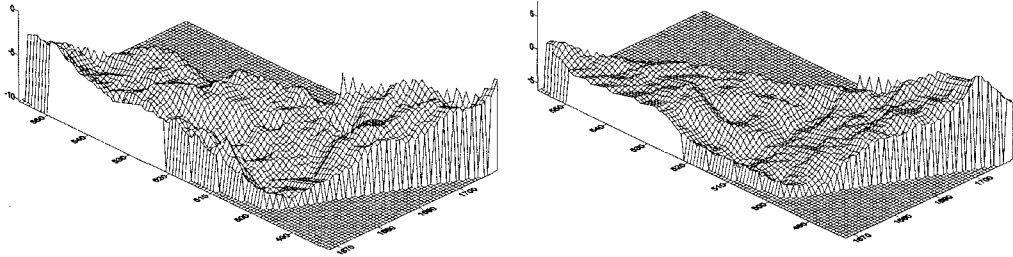
(b) Discontinuity surface (B-1) (unit: cm)

Fig. 10. 3D discontinuity rock surface models for roughness measurement. (Left : automatically generated surface, Right : manually generated surface)



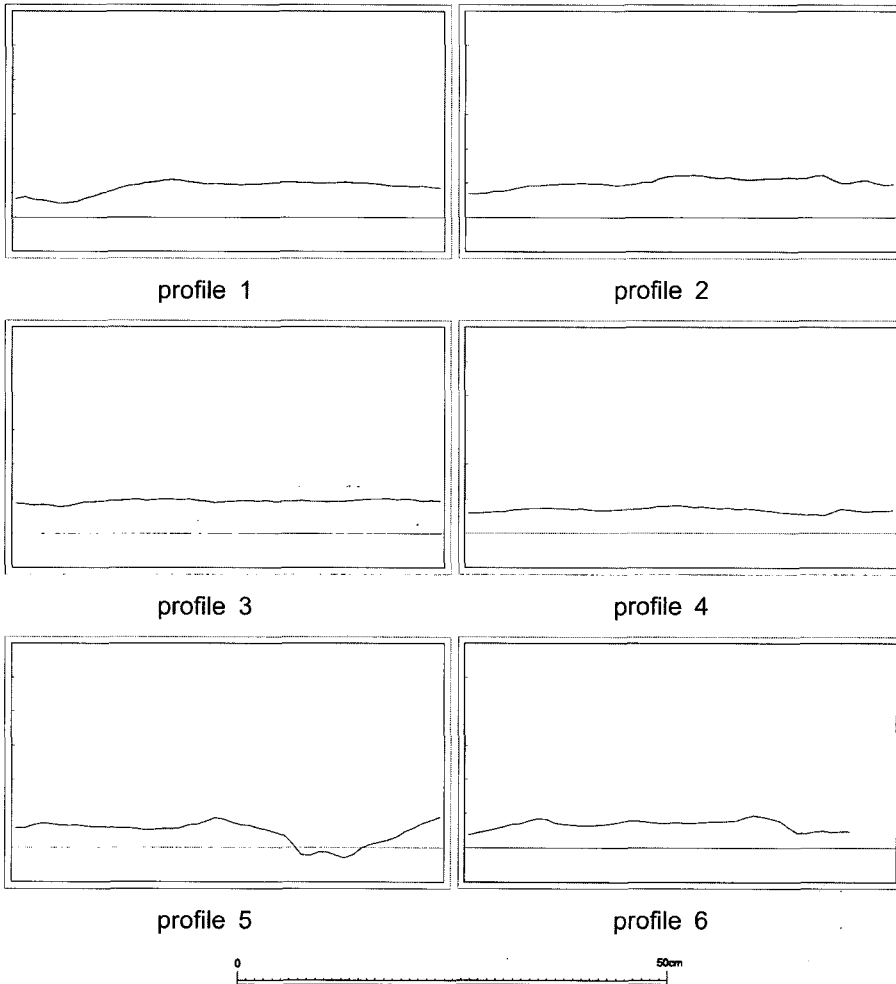
리면이 측정 가능한 경우(Fig. 10 B-1, B-2)를 비교하여 각각의 절리군에서 나타나는 차이점과 동일 절리군에서 나타나는 유사성을 알아보았다. 또한 표면의 거

칠기를 계산하기 위하여 각 절리면의 절리방향을 나타내는 평면을 기준으로 한 3차원 좌표값을 구하였다(Lee 등, 2003; Unal 등, 2003). 또한 자동매칭에 의



(c) Discontinuity surface B-2 (unit: cm)

Fig. 10. Continued.



(a) Discontinuity surface A

Fig. 11. Profiles of the discontinuity surfaces.

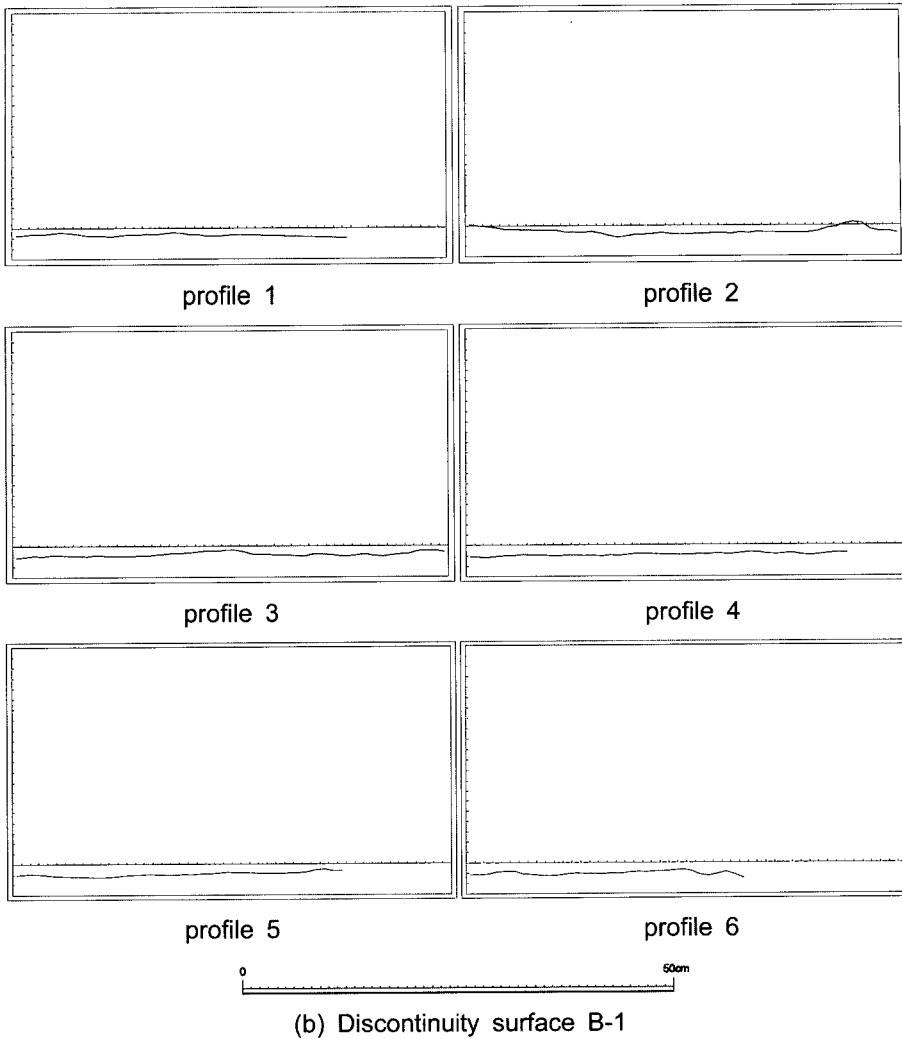


Fig. 11. Continued.

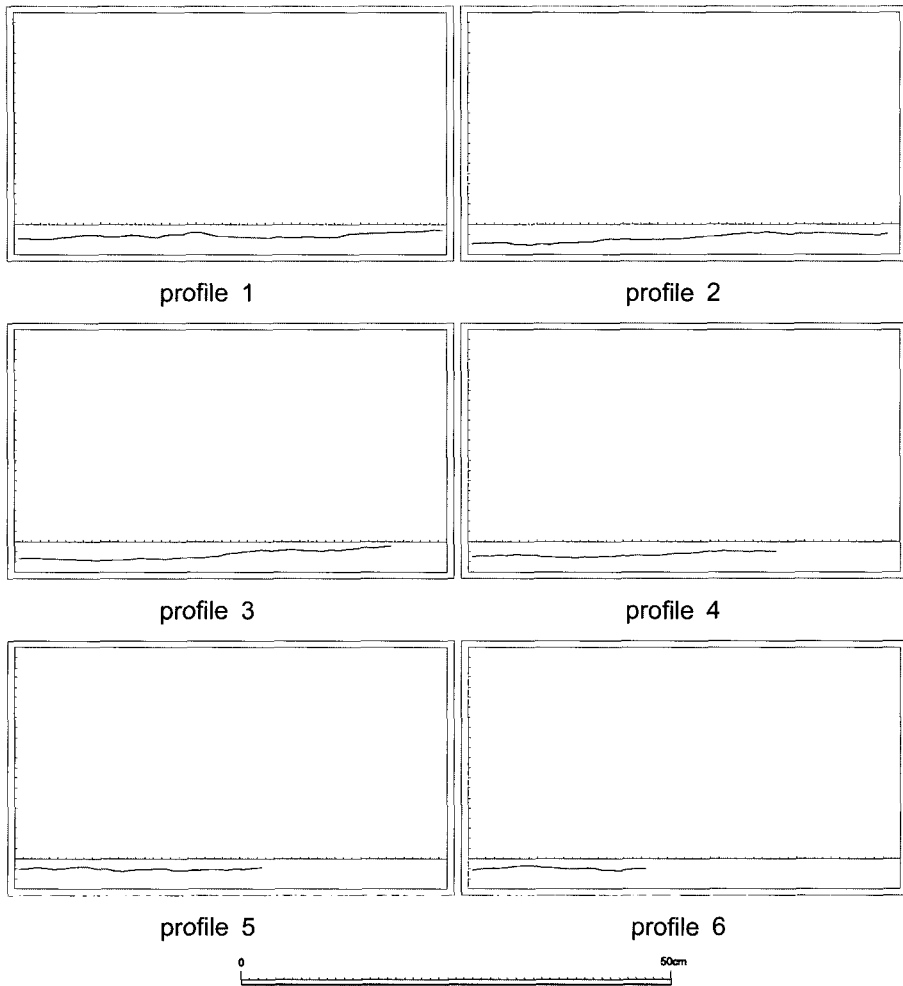
해 생성된 3차원 암반표면모델의 과대오차를 제거하기 위해서 중앙값 필터를 적용한 결과와 비교하였다 (Table 2). 중앙값 필터(Median filter)는 영상에서 하나의 픽셀을 기준으로 window 크기만큼 주위 픽셀의 중앙값으로 대체하는 역할을 하는 것으로서 오차를 제거하는데 효과적이다.

Table 2는 각 각의 절리군에서 5cm 간격으로 추출한 단면의 기복(Fig. 11)에 대한 표준편차를 자동으로 생성된 표면모델, 3×3 및 5×5 median filter 적용 후, 수동으로 생성된 표면모델에 대한 표면 거칠기 결과를 나타내고 있다. 표에서 3D는 절리면의 면적을 기준으로 3차원적으로 산출한 표준편차를 나타낸다.

## 6. 결 론

본 연구는 기존의 현장조사 방법의 한계를 보완하기 위해서 현장을 촬영한 영상을 이용하여 암반사면의 특성정보를 효율적이고 객관적으로 획득하고 안정성 분석이 용이하도록 시각화 및 정량화 할 수 있는 방법을 제시하는데 의의가 있으며 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

붕괴 가능성이 많은 암반사면에서 대한 안정도 평가를 입체 디지털 영상을 이용한 사진측량 기법에 의하여 암반사면에 대한 3차원 공간정보를 획득하여 수치 암반사면모델을 생성하였다. 수치사진측량 기법을 이용하면 암반사면에 대한 효율적인 자료처리와 안정도 평



(c) Discontinuity surface B-2

Fig. 11. Continued

가를 위한 객관적인 정량화가 가능하다. 또한 자동으로 생성된 암반사면모델은 수학적으로 계산되어 실제 암반사면과 상대적인 차이로 인한 오차가 포함될 수 있으므로 중앙값 필터를 적용하여 profile 전체에 대한 거칠기 표준오차의 약 0.03cm 정도 오차를 감소시킬 수 있었다. 생성된 3차원 암반사면모델에서 각 격자점을 기준으로 지형적인 방향성과 경사도를 시각화하였다. 또한 암반사면의 안정성을 분석하기 위해 필요한 불연속면의 경사방향과 경사 정보를 입체영상으로부터 3차원적으로 획득하였고, 이를 통한 시각적 분석을 위해 도식화하였다. 또한 분석하고자 하는 불연속면에 대한 거칠기를 정량적으로 산정하였다. 기존의 1차원적인 방법은 거칠기 방향에 대하여 제한적이었으나 3차원적인

방법은 모든 방향에 대해 다양한 추출이 가능하였다.

영상에 의한 자료처리는 반복 관측에 의한 신뢰성 향상, 객관성 확보, 시간 및 경비절감 등의 효과를 기대할 수 있으며, 암반사면에 대한 정보를 정량적으로 디지털화 할 수 있으며, 향후 지속적인 영상 획득을 통하여 암반 거동에 대한 변화탐지를 분석하여 암반붕괴에 대한 예측이 가능하다고 판단된다.

## 사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실(과제번호: M1-0302-00-0063)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드린다.

## 참고문헌

- 김교원 (2001) 암반불연속면의 지질공학적 특성 및 조사상의 문제. KGS Fall '01 National Conference, October 20, Seoul, Korea, p.185-198.
- 시설안전기술공단 (2003) 수치사진 측량과 GIS를 이용한 시설물 기초지반의 불연속면 조사 분석 시스템 개발 연구보고서. 건설교통부 시설안전기술공단, 247p.
- 한국지반공학회 (2000) 토목기술자를 위한 암반공학. 구미서관, 678p.
- 한중근, 배상호, 오다영 (2001) 사면의 지표변위계측을 위한 사진측량기법의 적용. 한국환경복원녹화기술학회, v. 5, p.10-18.
- 한중근, 송영석 (2003) 사면안정해석을 위한 사진측량을 이용한 사면변위계측시스템. 한국지반공학회논문집, 19권, p.23-32.
- Barton N and Choubey V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, v. 10, p.1-54.
- Cooper, M.A. and Robson, S. (2001) Theory of close range photogrammetry. In Atkinson, K.B.(ed.) *Close range photogrammetry and machine vision*. Whittles Publishing, UK, p.9-51.
- Corthesy, R. and Leite, M.H. (2003) Digital imaging for rock slope movement detection. *Proceedings of 39th U.S. Rock mechanics Symposium, Soil and Rock America 2003, July 22-25, Boston. U.S.A.*
- Kim, H., Koh, Y. (2000) A study on the stability of rock slope failure in road. *Journal of Science Education, Chonnam National University*, v. 23, p.127-134.
- Lee, H., Ahn, K. Park, B. and Kim, Y. (2003) Precision of digital photogrammetry for the roughness measurement of rock surfaces. *Korean Journal of Geomatics*, v. 3, p.43-51.
- Kemeny, J. and Post, R. (2003) Estimating three-dimensional rock discontinuity orientation from digital image of fracture traces. *Computers & Geosciences*, 29, p.65-77.
- Pratt, W.K. (2001) *Digital Image Processing*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 735p.
- Russ, J.C. (2002) *The Image Processing Handbook*, 4th ed. CRC Press, New York, 732p.
- Schenk, T. (1999) *Digital photogrammetry*. TerraScience, Ohio, 422p.
- Unal, M., Yakar, M. and Yildiz, F. (2003) Discontinuity Surface Roughness Measurement Techniques and The Evaluation of Digital Photogrammetric Method, 20th ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, Commission 3, v. 35, part B3, p.1103-1108.
- Yu, Xianbin and Vayssade, B. (1991) Joint profiles and their roughness parameters. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstract*, v. 28, p.333-336.

---

2005년 4월 26일 원고접수, 2005년 8월 18일 게재승인.