

## 개착면 내부에서의 절리분포 예측을 통한 사면 해석

조태진<sup>1)\*</sup>, 이창섭<sup>2)</sup>, 정진호<sup>3)</sup>

### An Analysis of Cut-slope Based on the Prediction of Joint Distribution inside the Cut-face

Taechin Cho, Chang-Sup Lee and Jin-Ho Chung

**Abstract** An algebraic algorithm for predicting the joint trace distribution on the cut-face of rock slope based on the orientations and the locations of joints investigated in the borehole has been developed. Joint trace prediction is manipulated by utilizing the three dimensional plane equations of both joint planes and projection face, and the extent of trace within the projection area is calculated by considering the persistence of each joint plane. Joint trace prediction method is efficiently applied for analyzing the stability and the adequacy of support design of Gimhae Naesam cut-slope, which is structurally unstable due to slumping. Structural characteristics of rock mass is investigated by performing DOM drilling and the potential rock mass sliding inside slope face is analyzed by examining the orientations of joint planes which can induce the slope failure. Also, the efficiency of anchor support design is evaluated by considering the joint trace distribution on the anchor installation area and its sliding potential.

**KeyWords** Joint trace, Plane equation, Persistence, Slumping, DOM drilling, Anchor

**초 록** 시추공에서 관찰된 절리면의 방향성과 위치자료를 이용하여 개착면에서의 trace 분포를 예측하는 대수학적 기법을 개발하였다. 절리 trace 예측은 절리면과 투영면의 3차원 평면식을 활용하여 대수학적으로 수행되며, 개별 불연속면의 영속성을 고려하여 투영 영역 내에서 trace가 표출되는 범위가 산정된다. 절리 예측기법을 활용하여 슬러핑 현상에 의해 구조적으로 불안정한 김해 내삼사면의 안정성 및 보강 계획의 적정성을 분석하였다. DOM 시추작업을 수행하여 암반구조 특성을 조사하였으며, 사면 파괴를 유발시킬 수 있는 절리들을 추출하여 심도별 지반거동 특성을 분석하였다. 또한, 사면보강을 위하여 계획된 앵커 정착부에서의 절리분포 및 거동양상을 분석하고 앵커 보강의 효율성을 고찰하였다.

**핵심어** 절리 트레이스, 평면식, 영속성, 슬러핑, DOM 시추, 앵커

## 1. 서 론

개착 사면의 안정성 확보는 국토개발의 원활한 추진과 개착 지역의 효율적 이용을 위하여 절대적으로 요구되며, 안정성 해석은 개착 지역에 분포된 불연속면들의 역학적 특성과 분포양상을 조사하여 수행되어져 왔다. 현장 암반에 분포된 불연속면들은 공학적 측면에서 절리로 대표되며, 절리들의 전단 강도 측정방법은 Barton et al.(1985)와 Ladanyi and Archambault(1970) 등에 의하여 심도 있게 연구되었다. 개착 사면의 파괴양상

을 결정짓는 대표적인 절리군 방향성은 개별 절리들의 방향성 측정자료에 대해 통계적 기법(Fisher, 1953; Mahtab and Yegulalp, 1982) 및 반구투영기법(Priest, 1985)을 적용하여 분석된다. 그러나, 대표 절리군 방향을 활용하는 사면해석은 절리분포 속성 중에서 방향성만을 고려하는 정성적인 결과만을 도출하는 한계성을 지니고 있다. 개착사면의 파괴유발 요인 및 안정성에 대한 정밀한 분석을 위하여는 사면을 형성하는 암반의 구조적 특성이 분석되어야 한다. 현장 암반의 구조적 특성들은 Woodcock(1977)을 위시한 다수의 연구자들에 의해 다양한 해석기법이 제시되어 왔다. 특히, Read et al.(2003)은 반구투영도 상에 분포된 절리 극점들의 밀집도를 산정하여 정량적인 절리분포패턴인 defect pattern 지수를 산출할 수 있는 기법을 개발하고 사면 개착방향에 대한 상대적인 암반강도 추정방법을 제시하였다. 본 연구에서는 DOM 시추기법(Yoon

<sup>1)</sup> 부경대학교 환경탐사공학과 교수

<sup>2)</sup> (주)동해기초 대표이사

<sup>3)</sup> 부경대학교 건설공학부 교수

\*교신저자(Corresponding Author): chote@pknu.ac.kr

접수일: 2004년 10월 8일

심사 완료일: 2004년 11월 11일

et al., 2003)에 의거하여 산정된 시추공에서의 절리 방향성과 위치를 활용하여 개착면에서의 절리 trace 표출 상태를 예측하고 사면 안정성을 분석할 수 있는 기법을 개발하였다. 개발된 절리 trace 예측기법을 앵커 보강계획이 수립된 김해 내삼사면의 안정성 해석에 활용하였다. 개착면 내부에서의 파괴유발 절리들의 분포를 도출하였으며, 임의의 횡단면을 설정하여 앵커 장착부의 절리분포 상태를 분석하고 보강의 효율성을 고찰하였다.

2. 절리분포 예측

2.1 이론적 배경

시추코어에서 관찰된 절리면을 확장시켜 개착면에 투영시키기 위하여 다음의 가정을 설정하였다. 첫째, 절리면은 반경이 R인 원판이며 절리면의 중심은 시추공 축상에 위치한다. 둘째, 개착면은 평면이며, 외곽 경계는 convex 형태이다. 개착면에 대해 절리면을 투영하여 trace 분포를 예측하기 위하여 Fig. 1에 도시된 바와 같이 3차원 직교 좌표계를 임의의 지점에 설정하고 시추공 축상에 경사방향/경사가  $\alpha_1 / \beta_1$ 인 절리면 좌표( $x_1, y_1, z_1$ )를 설정한다. 동일한 좌표계 원점을 기준으로 개착면 경계부의 점 A-F의 좌표들을 산정하고, 경사방향/경사가  $\alpha_s / \beta_s$ 인 개착면의 평면식을 구성한다.

$$a_s x + b_s y + c_s z = d_s \tag{1}$$

여기서,

$$a_s = \cos \theta_s \cos \beta_s, \quad \theta = 90 - \alpha + 360$$

$$b_s = \sin \theta_s \cos \beta_s,$$

$$c_s = \sin \beta_s,$$

$$d_s = a_s x_A + b_s y_A + c_s z_A$$

동일한 방법으로 절리면의 평면식을 구성한다.

$$a_j x + b_j y + c_j z = d_j \tag{2}$$

개착면과 절리면이 무한 평면일 경우 2개 면이 교차

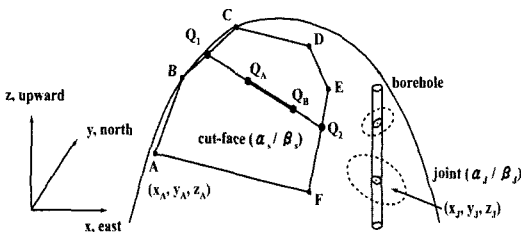


Fig. 1. Joint trace on the cut-face

하여 형성되는 교선의 단위 벡터  $\vec{l}$ 은 아래와 같이 산정된다.

$$\vec{l} = \vec{s} \times \vec{j} \tag{3}$$

여기서,

$$\vec{s} = a_s \hat{x} + b_s \hat{y} + c_s \hat{z}$$

$$\vec{j} = a_j \hat{x} + b_j \hat{y} + c_j \hat{z}$$

$$\vec{l} = \frac{\vec{s} \times \vec{j}}{\|\vec{s} \times \vec{j}\|} = l_1 \hat{x} + l_2 \hat{y} + l_3 \hat{z} \tag{4}$$

교선 상의 임의의 기준 점에 대한 좌표( $x_i, y_i, z_i$ )를 선정하여 교선식을 형성한다.

$$(x_i, y_i, z_i) + a_i(l_1, l_2, l_3) \tag{5}$$

여기서  $a_i$ 은 임의의 상수이다.

식 (5)로 표현된 교선은 무한 개착면 상의 직선을 나타내며, 실제 개착면 범위 내에 위치할 경우 Fig. 1에 도시된 임의의 2개 지점  $Q_1(xQ, yQ, zQ)$ 와  $Q_2(xQ + \Delta xQ, yQ + \Delta yQ, zQ + \Delta zQ)$ 을 연결하는 선분  $\overline{Q_1 Q_2}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$(xQ, yQ, zQ) + \alpha_Q(\Delta xQ, \Delta yQ, \Delta zQ) \quad 0 \leq \alpha_Q \leq 1 \tag{6}$$

절리의 연속성이 무한대인 경우에는 상기한 선분 ( $\overline{Q_1 Q_2}$ )이 개착면에 표출될 절리 트레이스이다. 절리 반경을 R로 설정하여 연속성을 고려할 경우 절리 중심을 기준으로 다음의 거리 공식을 고려해야 한다.

$$(xQ + \alpha_Q \Delta xQ - x_j)^2 + (yQ + \alpha_Q \Delta yQ - y_j)^2 + (zQ + \alpha_Q \Delta zQ - z_j)^2 = R^2 \tag{7}$$

식 (7)을 만족시키는 2개의  $\alpha_Q$  실근이 구해지면  $0 \leq \alpha_Q \leq 1$  조건을 고려하여  $0 \leq \alpha_A \leq \alpha_B \leq 1$  범위에서  $\alpha_A$ 와  $\alpha_B$ 를 산정한다. 결과적으로 절리면의 연속성이 고려된 개착면 상의 절리 트레이스 양단 지점  $Q_A$ 와  $Q_B$ 의 좌표는 아래와 같이 산정된다.

$$\begin{aligned} Q_A(xQ + \alpha_A \Delta xQ, yQ + \alpha_A \Delta yQ, zQ + \alpha_A \Delta zQ) \\ Q_B(xQ + \alpha_B \Delta xQ, yQ + \alpha_B \Delta yQ, zQ + \alpha_B \Delta zQ) \end{aligned} \tag{8}$$

이상의 과정을 시추공에 분포된 전체 절리들에게 적용하여 개착면 상의 절리 트레이스 분포를 예측할 수 있다.

**2.2 활용 예제**

시추코어에서 측정된 절리들의 위치와 방향성에 근거하여 개착면에서의 트레이스 분포를 도출한 후 사면 안정성 해석을 수행하기 위하여 Fig. 2에 도시된 개착 사면 모델을 설정하였다. 경사방향/경사가 120/73.3인 사면이 150 m 연장과 71.8 m 높이로 개착되며, 사면 개착 이전에 2개 시추공에서 코어를 회수하여 시추공 BH-1에서 7개, BH-2에서 9개의 무한 영속성을 갖는 절리가 관찰되는 것을 가정하였다.

개착 예정면 좌측하단에 3차원 직교 좌표계 원점을 설정하여 시추공에서 관찰된 절리들의 중심 좌표를 산정하였다. 개착면의 방향성을 고려하여 식 (1)을 이용하여 평면식을 구성하였으며, 시추공 축 상에 중심이 위치한 원형 절리면의 트레이스를 개착면 상에 투영하였다(Fig. 2). 개착면이 2개 시추공과 교차하게 설정되어 16개 절리들의 트레이스가 모두 개착면에 표출되었다. Fig. 3에 도시된 절리 극점들은 매우 분산되어 있으며, cone angle 15°를 clustering algorithm(Mahtab & Yegulalp, 1982)에 적용하여 군집 상태를 분석한 결과 1개 절리군을 형성하는 것으로 나타났다. 개착면 상에 표출된 절리 트레이스 분포를 활용한 사면 해석을 수행하기 위하여 절리들의 마찰각을 30°로 가정하였을 경우 대표 절리군 방향성을 고려하는 기존의 반구투영해석에서는 사면 안정성이 확보되는 것으로 고찰된다. 그러나, 개별 절리들의 방향성을 고려할 때 2개 절리면의

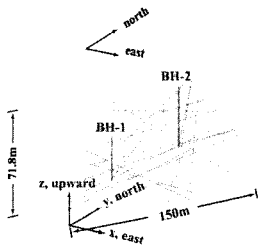


Fig. 2. Diagram of rock slope model

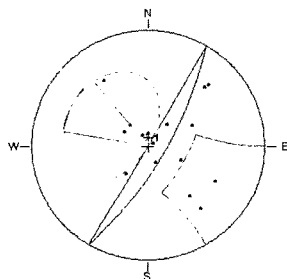


Fig. 3. Pole distribution of joints exposed on the cut-face

극점들은 일반적으로 인지되는 반구투영도 상의 평면 파괴영역 내에, 3개 절리면의 극점들은 전도파괴영역 내에 위치한다. 이들 절리면의 시추공 내에서의 분포를 Fig. 4에 도시하였으며, 개착면에서의 표출 상태를 Fig. 5에 도시하였다.

기존의 사면해석기법을 이용할 때 대표 절리군이 1개 존재하는 경우에는 썩기파괴 해석이 불가능하다. 그러나, 본 연구에서는 절리들의 방향성과 위치를 대수학적으로 고려할 수 있어서 개착면에 표출된 절리 트레이스 분포에 의거하여 썩기블록 해석을 수행할 수 있다. 일차적으로 개착면에 표출된 2개 절리의 교선 벡터를 산정하여 미끄러짐 거동성을 확인하였으며, 이차적으로 제 3의 절리 트레이스와의 교차점이 개착면 내부에 위치하는 지를 판별하여 잠재적 블록의 위치와 규모를 산정하였다. Fig. 6(a)에 개착면 상에서의 블록 위치를 도시하였으며, 사면 내부에서의 블록 규모와 형상을 Fig. 6(b)에 도시하였다.

개착면에 설정된 좌표계 원점을 기준으로 x = 50 m, 100 m, 150 m 지점에 3개의 횡단면을 설정하고 사면 내부에서의 파괴 양상을 고찰하였다(Fig. 7). 횡단면 방향은 개착면의 법선 방향으로 설정되어 있으며 개착 경사도 변화를 고려할 수 있다. 본 연구에서는 사면 하부에서의 경사가 73.3°, 중앙부에서 63.4°, 상부에서는 45°로 변화되는 경우에 대한 횡단면을 형성하였다(Fig. 8). 우선 각 횡단면에서의 절리 트레이스 분포를 산정하

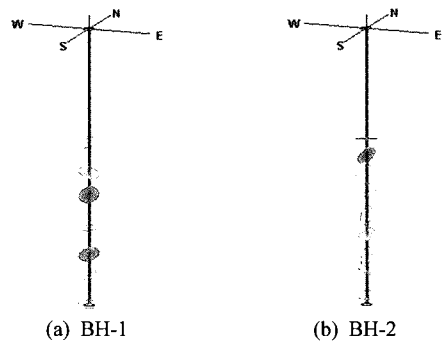


Fig. 4. Joints likely yielding slope failure

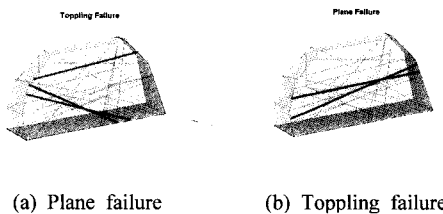


Fig. 5. Joint traces likely yielding slope failure

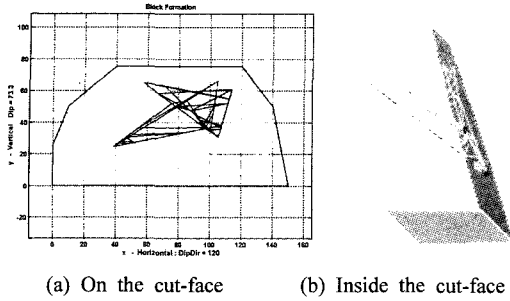


Fig. 6. Formation of potential blocks

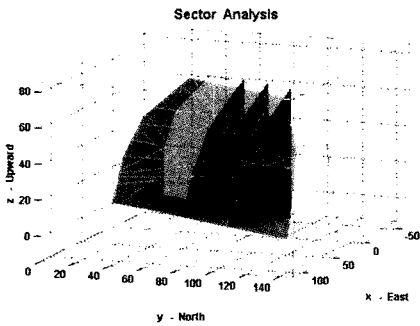


Fig. 7. Cross sections normal to the cut-face

여 도시하였으며, 표출된 절리들의 방향성을 고찰하여 평면 및 전도 파괴를 유발시킬 수 있는 절리 트레이스들을 추출하였다. 또한 잠재적 썩기블록들의 위치 자료를 이용하여 횡단면과 교차되는 썩기블록의 형상을 도출하여 Fig. 8에 도시하였다. 이와 같은 횡단면 해석을 수행하면 대규모 사면에서의 국지적 파괴 양상을 세밀하게 분석할 수 있으며, 기존의 전단면 해석에서는 수행되기 어려운 개착 경사도 변화를 고려할 수 있다. 횡단면 내부에서의 암반 구조 및 사면해석 결과는 보강 및 계층 계획 수립에 대한 기본적인 자료로 활용될 수 있다.

### 3. 사면 해석

#### 3.1 개관

김해 내삼농공단지 사면은 경남 김해시 주촌면 내삼리 산 163번지 일원의 해발고도 331.9 m 산체의 동측에 조성된 절취부이며(Fig. 9), 2002년 우기시 집중호우 기간중 대규모의 산사태가 발생하였다. 사면의 규모는 높이 125 m, 사면 연장 약 240 m이다. 사면 안정성 확보를 위한 보강계획 수립을 위하여 No. 7 기준선(Fig. 10)을 따른 일반 시추작업 및 NSSP-1과 NSSP-2 측선을 기준으로 탄성과 탐사가 수행되었다. 조사결과에 의거하여 잠재적 거동면이 절취면 하부 20 m 지점에 위

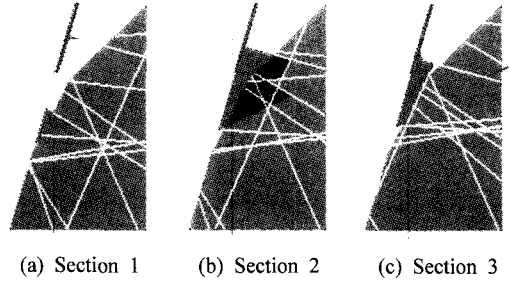


Fig. 8. Joint traces and blocks yielding slope failure

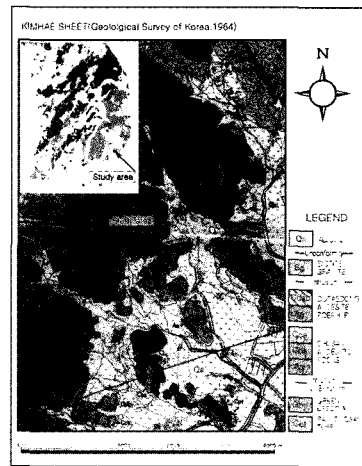


Fig. 9. Geological map of the study area

치하는 것으로 판단되었으며, 사면구배 완화에 병행하여 앵커 설치에 의한 거동 억지책이 가장 효율적인 것으로 제안되었다(부경대, 2004). 앵커 정착부가 위치할 지점은 사면의 주층 암석인 안산암질 응회암 분포지역에 30 m 및 하부의 풍화된 화강암 지역에 20 m 구간이다. 이 부분에 파쇄대가 존재하거나 절리들이 밀집되어 앵커 정착부로 부적당하다면 보강 효과가 매우 저하될 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 10에 도시된 3개 지점에서 DOM 시추작업을 수행하여 No. 7 기준선을 따라 설치 예정인 앵커 정착부의 암반구조 상태와 사면 내부에서의 절리면 거동 양상을 분석하고 보강 계획의 적정성을 고찰하였다.

#### 3.2 지질 및 구조

사면지역 일대에는 중생대 백악기의 화산암복합체인 유천층군에 속하는 팔용산응회암, 녹색각력암, 주산안산암질암, 도대동안산반암이 넓게 분포하며, 불국사관입암체에 속하는 흑운모화강암이 후기에 이를 관입하였다. 사면 개착부는 주산안산암질암 중의 함각력안산

암과 흑운모화강암의 접촉부에 위치한다. 함각력안산암은 안산암질 라필리응회암으로 대표되며, 국지적으로 결정질응회암이나 세립응회암이 분포한다(Fig. 11). 안산암질 라필리응회암은 4 mm-64 mm 크기의 석질편이 포함되어 있으며, 석질편은 동질편인 안산암질암으로 구성되어 있다. 결정질응회암은 장석의 결정이 포함되고 세립응회암은 세립의 석기에 암편이나 결정이 포함되지 않아 외견상 안산암과 유사하다. 흑운모화강암은 조사지역의 우하단부에 소규모 분포하며, 완전풍화작용을 받아 해석 등이 포함되지 않고 완전토사화되어 실트질 모래의 상태로 분포한다. 흑운모화강암과 안산암의 접촉부는 뚜렷하나 접촉부 부근의 안산암내에는 화강암의 돌기(apophysis)가 암맥상으로 발달하기도 한다. 수치지형도로부터 작성된 음영기복도를 분석한 결과 연구지역을 포함하는 산체는 과거 대규모의 slumping 현상이 발생했던 지역으로 추정되었으며(Fig. 12), 현장 조사에 의해 다음과 같은 slumping 현상에 대한 지질학적 증거가 수집되었다. 연구지역에서 풍화암, 연암, 경암이 반복적으로 출현된다. 전반적으로 암반의 파쇄가 현저하며, 절리면은 모두 산화철이나 점토 등으로 충전되거나 피막되어 있으며, 하부로 갈수록 경사가 완만해지는 경향을 나타낸다(Fig. 13). 또한 암반 및 풍화대내에 소규모의 단층활면(Slickenside)이 빈번하게 발달하

며, 완만한 지각도를 보이는 단층면들은 사면이동 방향과 동일한 방향성을 보여준다. 음영기복도 상에서 분석된 선구조들은 N40°-50°E, N30°-35°W 및 N70°-80°W 방향을 가지고 있다. 선구조들의 분포는 slumping에 의한 암체이동 경계를 지시하는 것으로 고찰되었으며, slumping은 남동쪽(S45°E) 방향으로 발생되었던 것으로 판단되었다.

사면 내부 암반의 구조적 특성을 조사하기 위하여 Fig. 10에 도시된 3개 지점에서 DOM 시추작업을 수행하였다. 경사 60°로 시추된 시추공 BH-D에서는 상부 20 m 시추 심도까지 파쇄대 및 코어 미회수 구간이 분포하며, 하부에서는 매우 신선하고 양호한 코어가 회수되었다(Fig. 14). 수직 시추된 시추공 BH-E에서는 전체

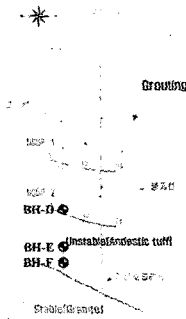
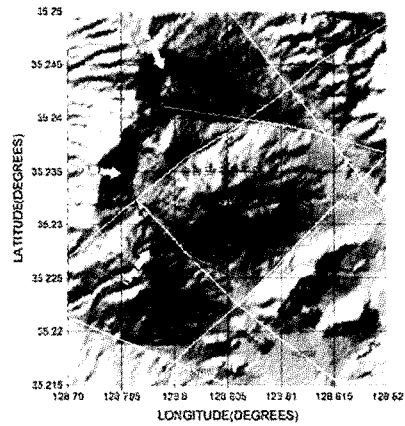
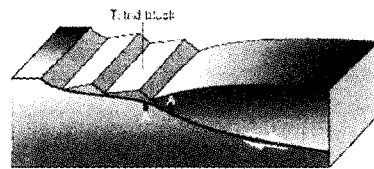


Fig. 10. Layout of Kimhae Naesam rock slope

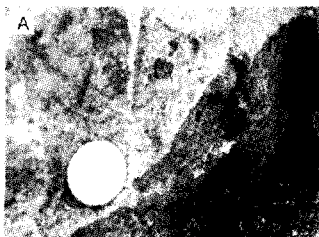


(a) Lineament



(b) Slumping

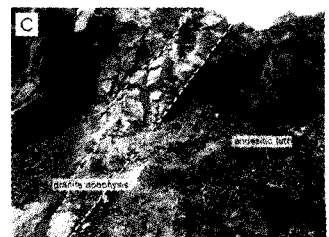
Fig. 12. Structure of Naesam slope



(a) Andesitic lapilli tuff



(b) Biotite granite



(c) Granite apophysis

Fig. 11. Photos of outcrops

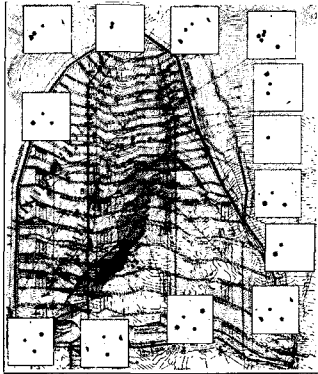


Fig. 13. Joint orientations

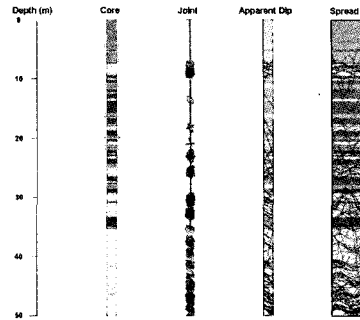


Fig. 15. Joints and borehole image of BH-E

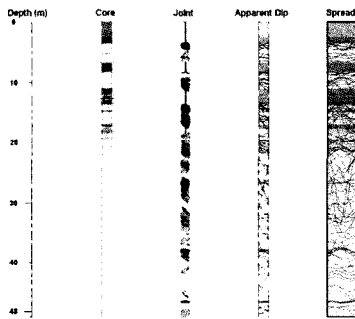


Fig. 14. Joints and borehole image of BH-D

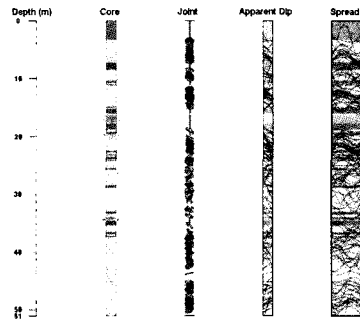


Fig. 16. Joints and borehole image of BH-F

적으로 암반상태가 불량하여 심도 35 m까지 파쇄대가 분포하고, 하부에서의 절리 출현 빈도도 상당히 높다 (Fig. 15). 화강암 관입지역에 인접한 시추공 BH-F에서는 암반상태가 양호하며 시추심도 15-20 m 구간 및 35 m 부근에서만 파쇄대가 분포한다(Fig. 16). 3개 시추공에 분포된 절리면들은 공통적으로 2개의 절리군을 형성하며 대표적인 방향성도 매우 유사하게 나타난다(Fig. 17).

3개 시추공 지역에서의 절리분포 양상이 사면 거동에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Read et al.(2003)이 제시한 defect pattern을 산정하였다. Read et al.(2003)은 반구투영도 상의 극점 밀도분포에 의거한 defect pattern 산정기법을 추천하였으나 본 연구에서는 동일한 극점 투영각 범위를 갖는 100개의 영역을 등면적 투영도 상에 설정하여  $A_{1\%}$  및  $C_{max}$ 를 산정하였다(Fig. 17). Read et al.(2003)의 분류에 의거할 때 시추공 BH-D와 BH-E에서는  $A_{1\%} = 26-31\%$ 로 절리 분포가 moderately regular 양상을 나타내며, BH-E에서의 집중도가  $C_{max} = 11.4\%$ 로 매우 높다. 시추공 BH-F에서는  $A_{1\%} = 39\%$ 로 moderately regular-random 양상을 나타낸다. 전체적으로 불연속면들이 상당 수준 편향되어 분포하며 최대 편향 방향성은 개착사면의 평면파괴에 매우 취약한 것으로 고찰되었다.

### 3.3 사면 안정성

사면의 절취 예정 구배를 고려하여 3개 시추공내에 분포된 불연속면들의 거동양상을 평사투영 이론에 의거하여 분석하였다. 사면 경사각은 최대 절취구배에 해당하는  $30.5^\circ$ 를 적용하였다. 불연속면의 내부 마찰각은 충전물에 팽윤성 점토광물이 존재하지는 않으나, 철산화물 및 방해석 등이 발견되었고 사면 전체가 일차적인 거동 이력을 지닌 점을 고려하여  $20^\circ$ 로 가정하였다. 평사투영법을 이용한 사면해석 결과(Fig. 18)에 의거할 때, 3개 시추공 지역에서 평면파괴를 유발시킬 수 있는 불연속면들이 다수 발견된다. 최상부 시추지점인 시추공 BH-D에서는 시추심도 5 m-20 m 구간에 평면파괴를 유발시킬 수 있는 절리들이 집중적으로 분포하며, 이 구역에서의 코어 회수 상태도 불량하여(Fig. 14) 불안정한 개착면 상태를 나타내고 있다. 시추공 BH-E 및 BH-F는 안산암질 응회암과 화강암의 경계부에 인접하여 위치한다. 시추공 BH-E는 시추심도 10 m까지의 코어 회수 상태가 극히 불량하며(Fig. 15), 하부 심도에 분포하는 불연속면들도 평면파괴를 야기시킬 수 있는 방향성을 보여주고 있어(Fig. 18) 추가적인 사면거동에 대해 매우 취약한 상태인 것으로 분석된다. 시추공 BH-F는 심도 16-20 m 구간에서 매우 불량한 암반 상태를

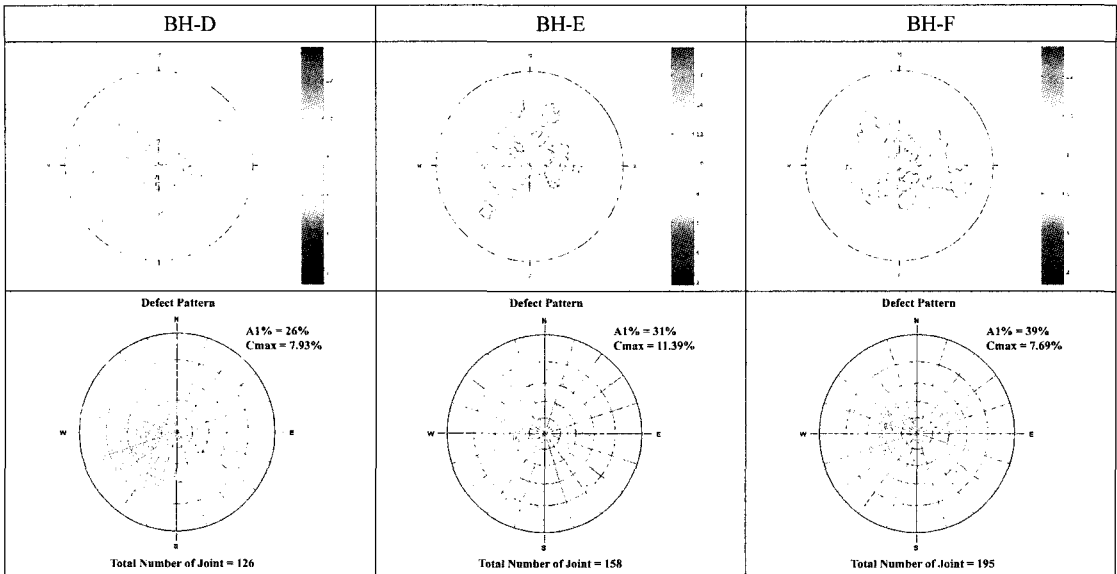


Fig. 17. Joint orientations and defect patterns

나타내며(Fig. 16), 20 m 하부에서는 코어 회수율이 매우 양호하다. Fig. 18에 도시된 평사투영해석 결과에서도 불량한 암반구간인 상부 20 m 심도까지에 분포된 불연속면에 의해서만 평면파괴가 유발될 가능성이 있으며, 하부 심도에서의 사면거동은 매우 제한적일 것으로 해석된다.

앵커 정착부에서의 암반구조 상태를 세밀하게 분석하기 위하여 3개 시추공 지역에서 2 m 간격으로 RQD 분포를 산정하였으며(Fig. 19), 개착 예정면에 대해 법선 방향으로 횡단면을 설정하여 절리 트레이스 분포를 예측하였다(Fig. 20). Fig. 19 및 20에 도시된 결과에 의거할 때 시추공 BH-D에서는 파괴유발 절리들이 상부 20 m 시추심도 내에 국한되어 앵커 장착이 효율적이며, 구간별 RQD도 95% 이상의 매우 양호한 암반상태를 지시한다. 시추공 BH-E에서는 시추코어 상에서 파쇄대가 다수 분포하며, 앵커 정착 지역에 파괴유발 절리들이 위치하고 RQD도 매우 낮다. 시추 심도 20-35 m 구

간에 그라우팅 보강을 추가하여 앵커 정착지역의 지반 개량이 요구되는 것으로 판단된다. 시추공 BH-F 지역은 안산암질 응회암과 풍화 화강암의 경계부이다. 풍화 화강암에서 잔존 절리들이 존재하며, 앵커 정착지역에 국지적으로 RQD가 매우 낮아서 불안정 지역의 지반개량을 위한 추가적인 보강설계가 요망된다.

4. 결 론

현장에서 조사된 절리들의 방향성과 위치 자료를 이용하여 사면 개착면에서의 트레이스 분포를 예측하고 파괴거동 양상을 해석할 수 있는 기법을 개발하였다. 절리 트레이스 분포 예측에는 연속성을 고려할 수 있어 개별 절리면의 속성을 고려한 사면 해석을 수행할 수 있다. 또한, 사면 내에 임의의 횡단면을 설정하여 내부 암반에서의 절리분포 상태와 국지적 안정성 해석도 수행될 수 있다. 개발된 절리 트레이스 예측 기법을 실제

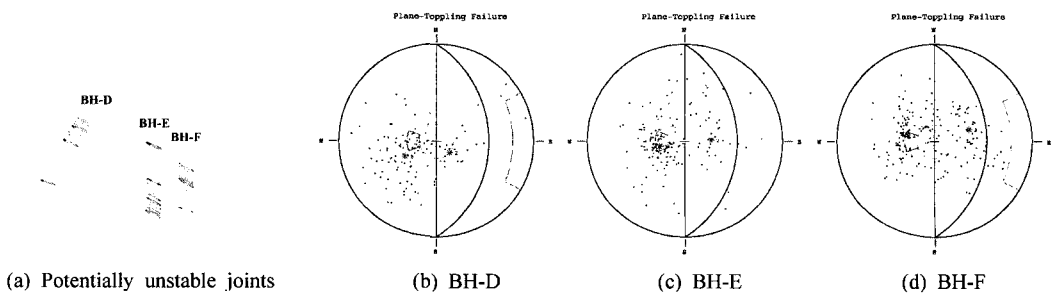


Fig. 18. Results of slope analysis using the stereographic projection method

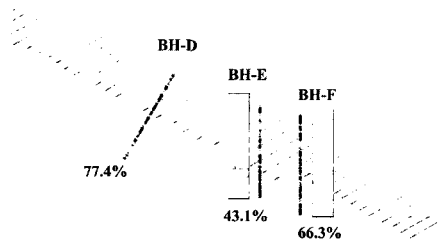


Fig. 19. RQD variations along the borehole axis

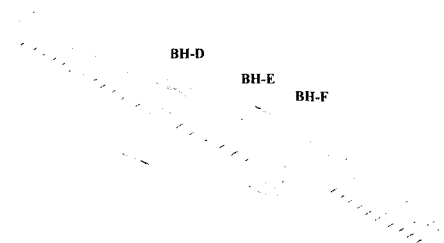


Fig. 20. Joint trace distributions on the anchor installation areas

사면 현장에 적용하여 사면 안정성을 분석하였으며, 앵커 정착부에서의 암반구조 상태를 세부적으로 분석하여 보강계획의 적정성 검토가 가능하였다.

**감사의 말씀**

이 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 자연재해 방재기술개발사업(과제번호: M1-0324-01-0000)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. 부경대학교 산업과학기술연구소, 2004, 내삼농공단지 산사태지역 사면의 안정 검토 및 시공에 관한 연구.
2. Barton, N., Bandis, S. C., and Bakhtar, K. 1985, Strength, deformation and conductivity of rock joints. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 22(3), 121-140.
3. Fisher, R. 1953, Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London*, A217, 295-305.
4. Ladanyi, B. and Archambault, G. 1970, Simulation of shear behavior of a jointed rock mass. *Proc. 11th Symp. Rock Mech.*, AIME, New York, 105-125.
5. Mahtab, M. A. & Yegulalp, T. M. 1982, A rejection criterion for definition of clusters in orientation data. In R. E. Goodman and F. E. Heuze (eds), *In Issues in Rock Mechanics* Proceedings of the 22nd Symposium on Rock Mechanics, Berkeley. American Institute of Mining Metallurgy and Petroleum. Engineers, New York: 116-23.
6. Priest, S. D. 1985, *Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics*, George Allen and Unwin, London.
7. Read, S., Richards, L. and Cook, G., 2003, Rock mass defect patterns and the Hoek-Brown failure criterion, *Proc. 10th Cong. ISRM*, South Africa.
8. Woodcock, N. H., 1977, Specification of fabric shapes using an eigenvalue method, *Bulletin of the Geological Society of America*, 88, 1231-1236.
9. Yoon, K.S., Cho, T.F., You, B.O. & Won, K.S. 2003, A new approach for borehole joint investigation Development of Discontinuity Orientation Measurement drilling system. *Proc. 10th Congress of the ISRM*: 1355-1358.

**조 태 진**

1980년 서울대학교 해양학과 이학사  
 1986년 University of Wisconsin-Madison MS  
 1988년 University of Wisconsin-Madison Ph.D  
 Tel: 051-620-6238  
 E-mail: chotc@pknu.ac.kr  
 현재 부경대학교 환경탐사공학과 교수



**정 진 호**

1983년 인하대학교 토목공학과 공학사  
 1985년 인하대학교 토목공학과 공학석사  
 1983년 인하대학교 토목공학과 공학박사  
 Tel: 051-620-1451  
 E-mail: geojh@pknu.ac.kr  
 현재 부경대학교 건설공학부 교수



**이 창 섭**

1981년 부산대학교 지질학과 이학사  
 1986년 부산대학교 지질학과 이학석사  
 2003년 부경대학교 지구환경공학 박사과정 수료  
 Tel: 011-878-4103  
 E-mail: donglcs@chollian.net  
 현재 (주)동해기초 대표이사

