

Discontinuity Orientation Measurement (DOM) 시추장비 및 코어절리 해석모델 개발

조태진¹⁾, 유병옥²⁾, 원경식³⁾

Development of Discontinuity Orientation Measurement (DOM) Drilling System and Core Joint Analysis Model

Taechin Cho, Byung-Ok You and Kyung-Sik Won

Abstract. Field investigations of the orientations of discontinuity planes inside the borehole for designing the underground rock structures have been depend solely on the borehole image-taking techniques. But, borehole image-taking has to be processed after the completion of drilling operation and also requires the handling of highly expensive apparatus so that practical application is very restricted. In this study Discontinuity Orientation Measurement (DOM) drilling system and discontinuity analysis model RoSA-DOM are developed to acquire the reliable information of rock structure by analyzing the characteristics of joint distribution. DOM drilling system retrieves the rock core on which the reference line of pre-fixed drilling orientation is engraved. Coordinates of three arbitrary points on the joint surface relative to the position of reference line are assessed to determine the orientation of joint plane. The position of joint plane is also allocated by calculating the location of core axis at which joint plane is intersected. Then, the formation of joint set is analyzed by utilizing the clustering algorithm. Total and set spacings are calculated by considering the borehole axis as the scanline. Engineering applicability of in-situ rock mass around the borehole is also estimated by calculating the total and regional RQDs along the borehole axis.

KeyWords: DOM, RoSA-DOM, The reference line, Drilling, Orientation, Joint position, Clustering algorithm, Spacing, RQD

초 록. 암반구조물 설계를 위한 지반조사에서 지하 암반에 분포된 불연속면들의 방향성 파악은 시추공 내부에 대한 영상촬영 기법에 전적으로 의존되어 왔다. 그러나, 공내 영상촬영은 고가의 장비가 요구되며 시추작업 완료 후 측정작업이 추가로 소요되어 극히 제한적으로 수행되고 있다. 본 연구에서는 시추조사시 간편하게 불연속면의 방향을 측정하여 신뢰성 있는 지반정보 자료를 제공할 수 있는 Discontinuity Orientation Measurement (DOM) 시추장비 및 불연속면 분포해석 모델 RoSA-DOM을 개발하였다. DOM 시추 장비에서 기 설정된 방향성을 지시하는 기준선이 표시된 시추 코어가 회수되면 코어 상의 절리 단면에서 측정된 3개 지점의 좌표를 이용하여 절리면의 경사방향 및 경사각을 산정한다. 또한 코어 축이 절리면을 관통하는 지점의 좌표를 산정하여 절리 위치를 설정한다. 절리군 형성은 clustering algorithm을 활용하여 분석한다. 코어 축을 조사선으로 설정하여 전체 절리 간격 및 군 간격을 해석한다. 전체 시추구간 및 특정 구역에서의 RQD를 산정하여 암반의 공학적 활용도 고찰을 위한 기본 자료를 도출한다.

핵심어: DOM, RoSA-DOM, 기준선, 시추, 방향성, 절리 위치, 군집 알고리즘, 간격, RQD

¹⁾부경대학교 환경탐사공학과 교수

²⁾한국도로공사 도로연구소 수석연구원

³⁾지오테크 컨설파트(주) 대표이사

접수일: 2002년 10월 29일

심사 완료일: 2003년 2월 20일

1. 서 론

최근 도로, 터널, 철도 등 대부분의 국가기간시설에 대한 건설공사가 산악지형에서 이루어지게 됨으로서 암반 사면 및 터널에서의 안정성 문제가 더욱 중요하게 대두되고 있다. 암반구조물의 경우 암반 자체의 역학적 특성보다는 암반에 발달되어 있는 불연속면의 분포 양상이 암반구조물의 안정성에 주된 영향을 미치게 된다. 현재 각종 토공 및 구조물 설계를 목적으로 수행되는 지반조사에 있어 시추 조사시 지하 암반에 발달된 불연속면 분포해석은 공내 영상촬영기기인 Borehole Image Processing System (BIPS), Optical Borehole Image (OBI) 및 Acoustic Televiewer (ATV)를 활용하여 수행되고 있으나 (이창영, 2001; 구민호 외, 1999; 송무영 외, 1999; Haller & Porturas, 1998; Raax, 1997; William et al., 1997; Hornby et al., 1992), 시추공 상태 및 장비 해상도 등에 의해 자료 취득이 제약된다. BIPS 및 OBI는 광학적으로 시추공벽을 촬영하는 관계로 공내수가 혼탁하면 해상도가 매우 떨어지는 화상을 얻거나 불연속면을 인식할 수 없는 경우도 발생하며, ATV 경우에는 촬영매체가 초음파를 이용하기 때문에 공내 지하수의 존재성이 장비 활용성을 좌우한다(김중렬, 1995). 또한, 공내 영상촬영의 경우 비용 측면에서 고가인 관계로 극히 제한적으로 시행되어 조사 지역에 대한 불연속면의 방향성 자료의 취득이 제한적으로 이루어져 왔다. 시추 코어에서 불연속면의 방향성을 측정하기 위한 장비는 유전 시추시 기준선을 표시할 수 있는 장비가 개발되어 사용하고 있으나(Zemanek & Caldwell, 1969), 이는 대구경용이며 강도가 약한 연암 정도의 암석에서 사용되고 있고 층리방향 등 기준 방향 자료를 활용하여야 상대적으로 불연속면 방향성을 계산할 수 있어서 특정한 소구간에서만 활용되고 있는 실정이다. 따라서 시추 작업에 병행되어 불연속면의 방향성을 간편하게 측정하고 지하 암반에 분포된 불연속면의 발달 양상 및 공학적 활용성을 용이하게 분석할 수 있는 해석 기법의 개발이 절실하게 요구되고 있는 상태이다.

2. Discontinuity Orientation Measurement (DOM) 시추 시스템

2.1 시추 장비

DOM 시추장비 개발의 가장 핵심적인 요소는 시추코어 상에 기준선(Reference Line)을 그어주는 장치와 기준선의 방향성 측정장치를 고안하는 사항이다. 기준선의 방향을 측정하기 위한 초기 장치로 수압파쇄 시험기

에 사용하는 스웨덴 REFLEX사의 EZ-SHOT을 사용하였으며, 전체적인 시추장비 모식도는 Fig. 1에 도시되어 있다. 본 장치에서는 EZ-SHOT을 사용하기 위하여 자기방지 알미늄 로드와 자기를 방지하기 위한 내관을 사용한 것이 특징이며, 자기에 의한 영향을 받지 않도록 EZ-SHOT를 자기방지 로드 내에 위치시켰다. EZ-SHOT을 장착하기 위한 내관을 로드 중심에 위치시키기 위하여 센트랄라이저(Centralizer)를 장착하는 과정에서 초기 베어링 타입을 사용하였으나 굴진수에 의해 베어링이 쉽게 파손되어 구리 부상방식으로 교체하였다. 부상방식의 센트랄 라이저(Centralizer)에는 네 방향으로 흡을 형성하여 굴진수의 소통을 원활하게 하였다.

EZ-SHOT 방식의 DOM 시추장비는 매 굴진장마다 기준선(Reference Line)의 방위각이 바뀌어 불연속면의 방향성을 자동적으로 산정하기가 불가능하였으며, 코어 리프터 내에 장착된 기준선 팁이 나사방식으로 장착되어 자주 파손되는 현상이 발생하였다. EZ-SHOT 방식의 DOM 시추적용시 드러난 단점을 개선하여 일반적인 시추방법 중 와이어 라인(Wire Line) 형식을 취한 이중관 로드방식의 DOM 시추장비를 개발하였다(Fig. 2 참조). 이중관 로드 방식에서 내관 로드는 시료 채취관(Core Barrel Inner Tube)를 완전하게 고정시키고 외관(Outer Tube)만 회전하도록 하여 시추작업이 종료될 때까지 기준선의 방향성이 동일하게 유지되도록 하였다. 이 장치의 개발에 있어 핵심적인 요소기술은 이중

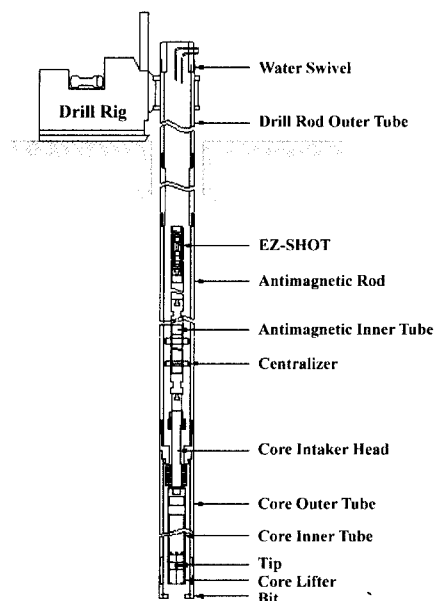


Fig. 1. EZ-SHOT Type DOM drilling system.

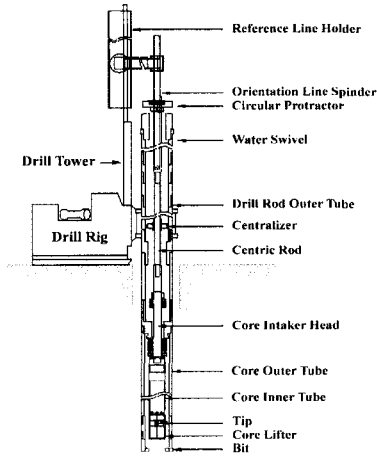


Fig. 2. Double-Tube Type DOM drilling system.

관 로드방식을 이용하여 기준선의 방향을 고정시키는 기술, 이중관 로드방식을 사용하기 위한 시료 채취관의 헤드 고안, 이중관 로드를 사용하기 위한 워터 쉬벨 (Water Swivel)의 고안과 기준선을 그리는 팁의 재질 선택이 핵심적인 요소기술로 사용되었다. 이중관 로드 방식의 DOM 시추장비에서는 매 굴진장에서의 시료 채취관(Core Barrel) 인양시 내관 로드만을 인양하여 코어 시료를 회수한 후 재 굴진할 수 있도록 시료 채취관을 완전히 새롭게 고안하였으며, 매 굴진장(Run)마다 기준선의 방위각이 변화하지 않도록 기준선 고정장치를 고안하여 장착하였다. 기준선 고정장치를 장착하여 현장에서 회수된 시추코어에서는(Fig. 3) 방향성이 일정하게 고정된 기준선이 코어 면에 연속적으로 새겨지는 것이 확인되었다.

2.2 코어절리 방향성 산정

DOM 시추코어에 분포된 절리면의 방향성을 산정하기 위하여 시추 방향성에 의거한 국지 좌표계를 코어 상에 설정하였다(Fig. 4 참조). 국지 좌표계의 원점은 코어 중심축 상에 위치한다. x-축 방향은 코어 축의 법선 상에서 z-축과 직각인 방향이며, y-축 방향은 시추방향이고, z-축 방향은 원형 시추 단면의 최상부 방향을 지시한다. 일차적으로 코어 절리면이 기준선(DOM Line)과 교차하는 지점인 P_{DOM} 에서의 3개 국지 좌표값 (x_{DOM}, y_{DOM}, z_{DOM})을 산정한다. y_{DOM}은 시추코어 상에서 직접 측정되며(Fig. 5 참조), (x_{DOM}, z_{DOM})은 Fig. 4에 도시된 바와 같이 시추작업시 설정된 기준선 회전각 (DOM Angle, δ_{DOM})을 이용하여 산정된다. 이차적으로 절리면내 임의의 2 지점(P₁, P₂)을 선정하고, P_{DOM} 경우



Fig. 3. DOM lines engraved on the core log.

와 동일한 방법을 사용하여 국지좌표값 (x₁, y₁, z₁) 및 (x₂, y₂, z₂) 을 산정한다.

이상에서 산정된 3개 지점의 국지좌표계에서의 위치 좌표를 전체 좌표계에서의 위치좌표로 변환시킨다. DOM 시추방향의 선추향/선경사 = α_D/β_D 이면 국지 좌표계에서 전체좌표계로의 변환은 다음의 변환행렬을 이용하여 수행된다.

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_D & \sin \alpha_D \cos \beta_D & \sin \alpha_D \sin \beta_D \\ -\sin \alpha_D & \cos \alpha_D \cos \beta_D & \cos \alpha_D \sin \beta_D \\ 0 & -\sin \beta_D & \cos \beta_D \end{bmatrix} \quad (1)$$

전체좌표계에서 P_{DOM} 지점의 위치좌표 (X_{DOM}, Y_{DOM}, Z_{DOM})는 다음과 같이 산정된다.

$$\begin{pmatrix} X_{DOM} \\ Y_{DOM} \\ Z_{DOM} \end{pmatrix} = [T] \begin{pmatrix} x_{DOM} \\ y_{DOM} \\ z_{DOM} \end{pmatrix} \quad (2)$$

동일한 방법으로 P₁ 및 P₂ 지점의 전체좌표계에서의 위치 좌표 (X₁, Y₁, Z₁) 및 (X₂, Y₂, Z₂)가 산정되면, P_{DOM}을 기준으로 P₁ 및 P₂ 지점을 연결하는 벡터 \vec{V}_1 과 \vec{V}_2 를 산정한다.

$$\vec{V}_1 = (X_1 - X_{DOM}) \hat{i} + (Y_1 - Y_{DOM}) \hat{j} + (Z_1 - Z_{DOM}) \hat{k} \quad (3)$$

$$\vec{V}_2 = (X_2 - X_{DOM}) \hat{i} + (Y_2 - Y_{DOM}) \hat{j} + (Z_2 - Z_{DOM}) \hat{k} \quad (4)$$

\vec{V}_1 과 \vec{V}_2 는 절리면 상에서 형성된 벡터이다. 따라서, 절리면에 법선 방향인 벡터 \vec{N} 이 \vec{V}_1 과 \vec{V}_2 의 외적으로 산정된 후 단위벡터 \vec{n} 이 형성될 수 있다.

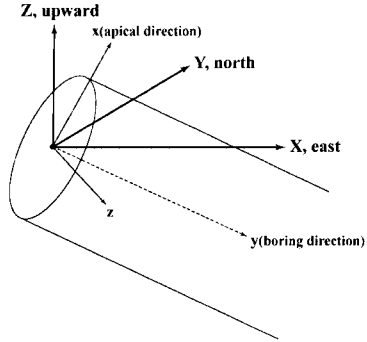


Fig. 4. Global and local coordinate systems on the core log.

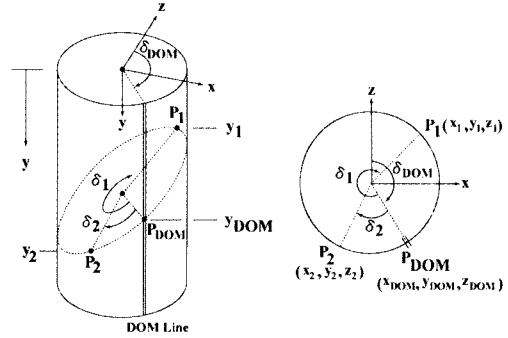


Fig. 5. Measurement of local coordinates for 3 points on the joint plane.

$$\vec{N} = \vec{V}_1 \times \vec{V}_2 \quad (5)$$

$$\vec{n} = \vec{N} / \|\vec{N}\| \quad (6)$$

단위 법선벡터 \vec{n} 의 \hat{k} -성분이 음인 경우에는 전체 성분의 방향을 역전시켜 항상 상부 방향을 지시하도록 조정한다. 절리면에 대한 단위 법선벡터 \vec{n} 의 \hat{i} -, \hat{j} -, \hat{k} -성분 a, b, c는 절리면의 경사방향(α) 및 경사(β)와 다음의 관계를 갖는다.

$$a = \cos \beta \cos \theta, \quad \theta = 90 - \alpha (+360) \quad (7)$$

$$b = \cos \beta \sin \theta$$

$$c = \sin \beta$$

절리면 단위 법선벡터 \vec{n} 의 성분값 a, b, c를 이용하여 절리면의 경사방향 및 경사를 관계식(7)에 의거하여 환산하고, 전체 좌표계에서의 P_{DOM} 위치(X_{DOM} , Y_{DOM} , Z_{DOM})을 활용하여 절리면의 위치 상수 d를 결정하여

평면식을 구성한다.

$$d = a \cdot X_{DOM} + b \cdot Y_{DOM} + c \cdot Z_{DOM} \quad (8)$$

2.3 모의 시추실험

이중관 로드방식을 채용한 DOM 시추장비의 활용성과 절리 방향성 산정의 정확도를 검증하기 위하여 모의 시

Table 1. Results of joint orientation obtained from experimental DOM drilling.

depth (m)	concrete block (dip dir / dip)	DOM core (dip dir / dip)
0.47	215/36	197/37
0.88	059/27	054/25
1.33	114/36	118/26
1.58	320/05	325/07

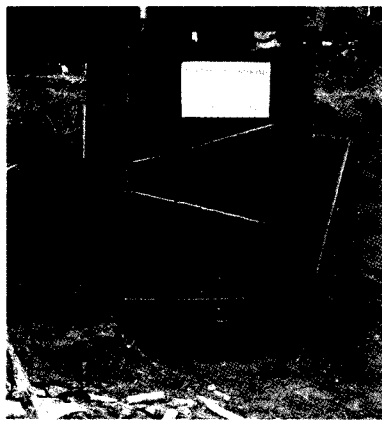
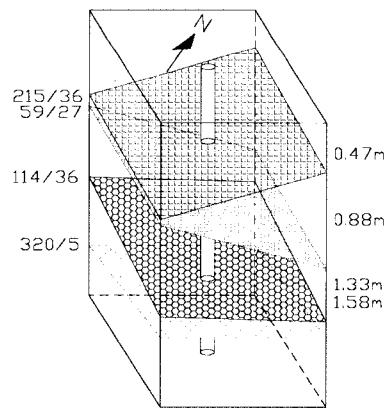


Fig. 6. Concrete block for project DOM drilling project.



추출법을 실시하였다. 가로 1m, 세로 2m, 높이 2m 의 콘크리트 블록을 제작하여 인위적인 방향성을 지닌 절리면을 내부에 형성시킨 후(Fig. 6 참조) DOM 시추작업을 수행하였다. 총 4개의 절리면을 형성시켰으며, DOM 시추 작업에 의해 산정된 절리면의 방향성을 Table 1에 수록하였다. 심도별 절리면 측정 결과가 약간의 오차를 나타내고는 있지만 전반적으로는 실제값에 매우 접근된 방향성을 나타내고 있다. 오차 발생의 주 원인으로는 콘크리트 블록 제작시 혼합된 아스팔트가 절리 절단 및 시추과정에서 사용된 작업 용수의 영향을 크게 받아서 시추코어 상에 형성된 절리면 형상이 약간 변형된 것으로 사료되었다.

2.4 현장 시추실험

변성암 지역

DOM 시추와 시추공 영상촬영(BIPS)에 의해 측정된 불연속면의 방향성 분석결과를 Fig. 7에 도시하였다. BIPS 영상 해석에 의해서 92개의 불연속면이 추출되었으며, 대표 방향성(338/52) 주위의 좁은 영역에서 절리 극점들이 집중되어 있다. DOM 시추코어 관찰에 의해서는 BIPS 영상 해석의 경우보다 증가된 총 102개의 불연속면들이 측정되었다. Fig. 7 a)에 도시된 바와 같

이 대표 방향성(354/58) 주위의 비교적 넓은 영역에 절리 극점들이 분포되어 있으며, 낮은 경사각을 갖는 절리들이 소규모로 군집되어 있는 양상을 보여준다.

변성 퇴적암 지역

DOM 시추에 의해 시추공 영상촬영(BIPS)에 의해서 인식한 절리 수효 118개 보다 3배가 많은 342개의 절리를 인식할 수 있었다. 대표 방향성 해석 결과 Table 2와 같이 DOM 시추와 BIPS에서의 주절리군이 상이한 것으로 나타났다. 한편, DOM 절리 자료 중 주절리군을 형성하는 247개 절리들을 제외한 나머지 절리들을 이용하여 2차적으로 해석된 절리군 방향은 BIPS 절리군 방향과 매우 유사한 현상이 인식되었다.

Table 2. Joint orientations obtained from metamorphic sedimentary rock

	Joint Set	No. Joint
DOM	250/50	342
BIPS	308/21	118
DOM+	301/23	95

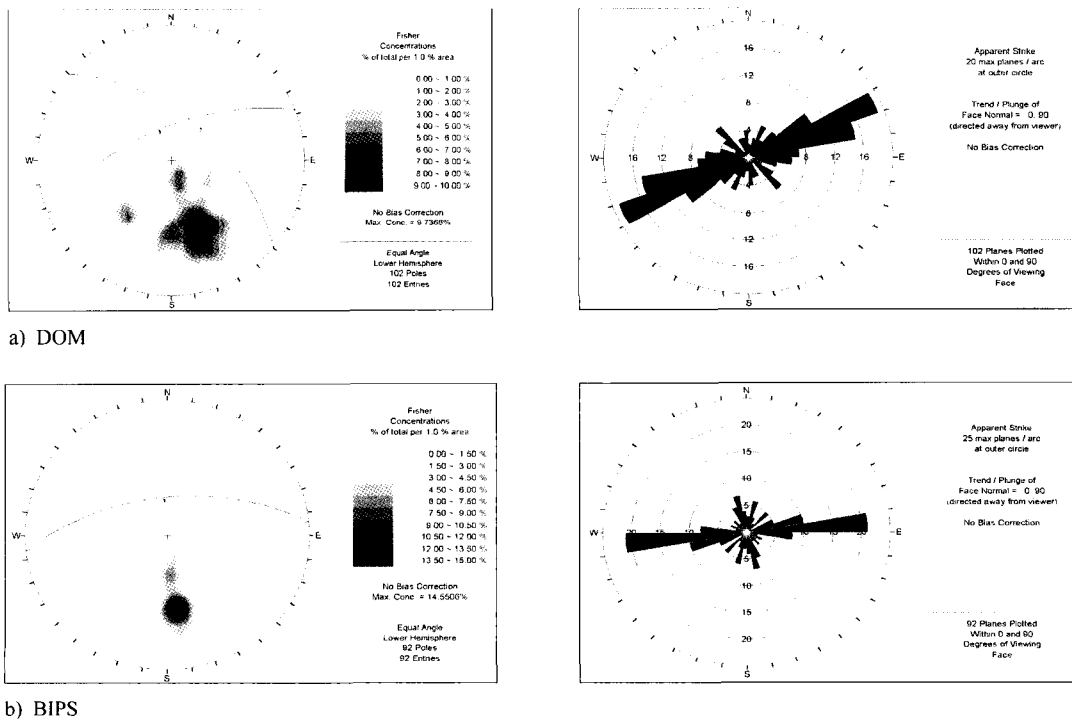


Fig. 7. Joint orientations obtained by using DOM and BIPS in metamorphic rock.

퇴적암 지역

사암(sandstone) 및 셰일(shale) 분포지역에서 DOM 시추 및 BIPS를 이용하여 측정된 불연속면의 방향성을 분석하여 Table 3에 수록하였다. 불연속군은 DOM 시추의 경우 1개군으로, BIPS의 경우 2개의 군으로 나타나고 있으나 BIPS에 의해 측정된 결과에서 나타난 Set 2의 경우는 불연속면의 발달이 미약하였다. 실질적으로 두 방법에 의해 측정된 불연속면 군은 1개로 볼 수 있었으며, 주 불연속군인 Set 1에 대한 방향성은 매우 유사한 결과를 나타내었다.

Table 3. Joint orientations obtained from sedimentary rock.

DOM		BIPS	
Set 1	112/07	Set 1	116/09
		Set 2	090/16

연약한 탄질 지층이 있는 시추공에서 일반 시추방법에 의한 회수율과 이중관 로드 방식의 DOM 시추 경우의 회수율을 비교하였다. 이중관 로드 방식의 DOM을 적용한 시추공에서는 내관의 회전이 방지되어 로드의 휘둘림에 의한 시료 파손이 발생되지 않은 결과로 연약한 탄질층이 100% 회수되었으나(Fig. 8 참조) 기존 시추방법을 사용한 경우는 회수가 전혀 되지 않았다.

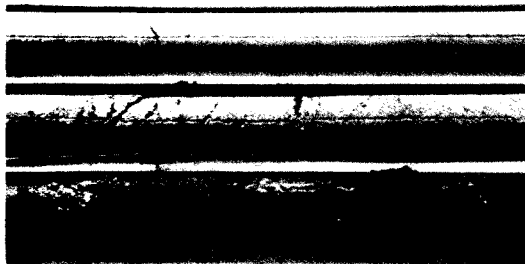


Fig. 8. Core log of coal retrieved by DOM drilling system.

화성암 지역

흑운모 화강암이 분포하는 시험공의 경암층 구간에서 DOM 시추 및 ATV 검층을 수행하였으며, 불연속면 방향성 측정결과를 Table 4에 수록하였다. 두 방법에 의해 측정 분석된 주 불연속면은 3개 군으로 나타나며, 불연속군의 대표 방향성은 좁은 범위 내에서 상대적인 차이를 나타내고 있다.

이상과 같은 상이한 암반 조건에서 DOM 시추 및 시추공 영상장비를 이용하여 수행된 절리면 인식 및 방향성 해석 결과를 상호 비교할 때 DOM 시추에 의해 확인된 불연속면의 수효는 일반적으로 영상기법의 경우

Table 4. Joint orientations obtained from granitic rock

DOM System		A-TV	
Set1	144/64	Set1	149/71
Set2	350/59	Set2	013/64
Set3	093/82	Set3	105/83

보다 우세하였다. 불연속면의 발달상태가 매우 미약하여 가시적인 절리면을 형성하지 못하는 경우에만 영상기법을 활용한 경우보다 작은 수의 불연속면이 인식되었으나 이들 불연속면들의 공학적 중요성은 상대적으로 매우 저하되는 것으로 사료되었다. 또한, 주절리군 형성에 대한 해석에서도 유사한 결과들이 도출되어 DOM 시추 해석기법이 기존의 시추공 영상 기법을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 절리분포 해석 모델

DOM 시추코어에 발달된 절리들은 방향성과 위치 좌표가 산정되어 관계식 (8)에 기술된 평면식이 구성된다. 시추공 내의 한정된 구역에서 측정된 절리면이 주위 암반 영역에 평면적으로 확장된다는 가정하에 절리분포 및 암반구조해석을 절리 평면식을 이용하여 수행할 수 있는 모델 RoSA-DOM을 개발하였다. RoSA-DOM은

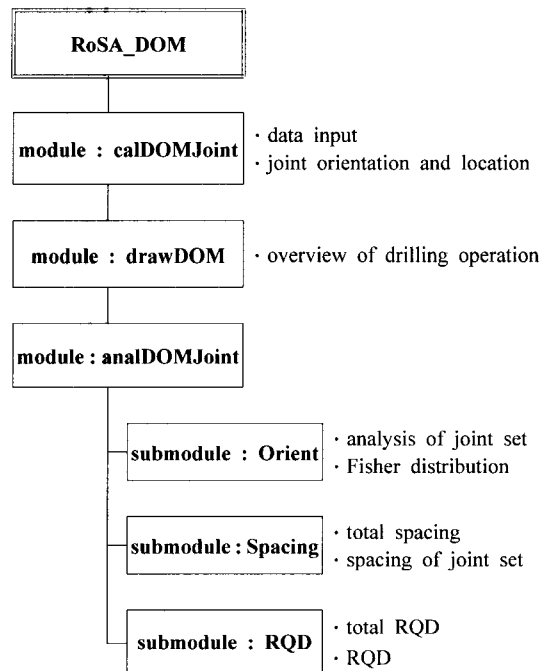


Fig. 9. Flowchart of RoSA_DOM model.

절리자료 입력 및 평면식 구성, DOM 시추현황도 작성 및 절리암반의 구조해석을 독립적으로 수행하는 3개의 module로 구성되어 있다(Fig. 9 참조). DOM 시추코어를 이용한 절리분포 및 암반구조 해석에 대한 모델 RoSA-DOM은 대수학적 이론에 근거하여 정확한 분석을 수행하고 결과에 대한 가시적인 도표를 제공하여 암반의 공학적 활용도 평가에 대한 신뢰성 있는 자료를 도출한다. RoSA-DOM 모델에서 사용된 제반 해석 알고리즘 및 세부적인 해석결과 도출 기능은 부록에 기술되어 있다.

4. 결 론

시추 작업시 회수되는 코어에 기 설정된 방향성을 지시하는 기준선을 새겨서 코어절리의 방향성을 산정할 수 있는 DOM 시추장비를 개발하였다. 또한, 개별 절리들의 평면식을 활용하여 시추공 지역에서의 절리분포 및 구조 특성과 공학적 활용성 평가를 수행하는데 필수적인 자료를 제공하는 전산모델 RoSA-DOM을 완성하였다. 현장에서의 DOM 시추작업 및 예제적 자료를 이용한 RoSA-DOM 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) DOM 시추장비에는 이중관 로드 방식이 채택되어 와이어 라인(Wire Line)방식의 시추작업과 같이 매 굴진장마다 시료만 회수한 후 재굴진을 실시할 수 있었다. 이를 위하여 시료 채취관 및 워터 슈벨(Water Swivel)을 새롭게 고안하였으며, 매 굴진장(Run)마다 기준선의 방위각이 변화하지 않도록 기준선 라인 고정장치를 고안하여 장착하였다.
- 2) 이중관 로드 방식의 DOM 시추에서는 내관만 회수하여 코어를 채취하여 시추작업 능률이 향상되었으며, 점토층 및 탄층과 같은 매우 연약한 암반 구간에서도 코어 회수율이 증가되는 효과를 얻을 수 있었다.
- 3) DOM 시추공에 BIPS 및 ATV 조사를 병행하여 절리 방향성 해석 결과를 비교하였다. 시추공 영상 장비의 해상도에 따라 측정된 절리 수효는 상이하였으나, 절리군의 대표 방향은 유사하게 되었다.
- 4) DOM 시추코어를 이용한 절리자료 해석모델 RoSA-DOM을 개발하여 지반 시추조사시 간편하게 신뢰성 있는 지반정보 제공이 가능하게 되었다.

사 사

본 연구에서 DOM 시추장비 개발은 건설교통부 2001년 건설기술연구개발사업에 의하여 지원되었다.

참고문헌

1. 구민호, 이동우, 원경식, 1999, 시추공텔레뷰어 및 BIPS의 영상 자료 해석을 통한 파쇄매질의 투수율 계산프로그램 개발 및 현장적용성 평가, 대한지질공학회지, 187-205.
2. 김종열, Schepers, 1995, 고분해능 텔레뷰어 검층기법의 기능, 지질공학 5(3), 277-288.
3. 이창영, 2001, 지하 불연속면 및 암상해석을 위한 시추공 영상 분석연구, 충남대학교 석사논문, 80 pp
4. 송무영, 고희재, 유병욱, 정형욱, 1999, BIPS에 의한 붕괴사면 활동성 추정, 한국물리탐사학회, 217-239.
5. Haller, D. & Porturas, F. 1998. How to characterize fractures in reservoirs using borehole and core images: case studies In : Harvey, P.K. & Lovell, M. A. (eds) Core-Log Integration, Geological Society, London, Special Publications, 135, 249-259.
6. Hornby, B.E., S.M. Luthi, and R.a. Plumb, 1992, Comparison of fracture aperture computed from electrical borehole scans and reflected Stoneley waves: an integrated interpretation, The Log Analyst, 33(1), 50-66.
7. Mahtab, M. A. & Yegulalp, T. M. 1982, A rejection criterion for definition of clusters in orientation data. In Issues in Rock Mechanics, Proceedings of the 22nd Symposium on Rock Mechanics, Berkeley. R. E. Goodman and F. E. Heuze (eds), American Institute of Mining Metallurgy and Petroleum. Engineers, New York, 116-23.
8. Raax, 1997, Borehole Image Processing System Information, Sapporo, Japan.
9. Williams, C.G., P.D. Jackson, M.A. Lovell and P.K Harvey, 1997, Assessment and interpretation of electrical borehole images using numerical simulations, The Log Analyst, 38(6), 34-44.
10. Zemanek, J. & Caldwell, R. L., 1969, The Borehole Televue - A new logging concept for fracture location and other types of borehole inspection, J. of Petroleum Technology, June, 762-774.

부 록 : RoSA-DOM 해석 모델

RoSA-DOM 모델은 독립적인 기능을 수행하는 3개의 module로 구성된다.

Module calDOMJoint

DOM 시추 기준선을 중심으로 산정된 3개 지점의 절리면 좌표값을 전체 좌표계에서의 위치 좌표로 변환시켜 절리 방향성을 산정하고 평면식을 구성한다.

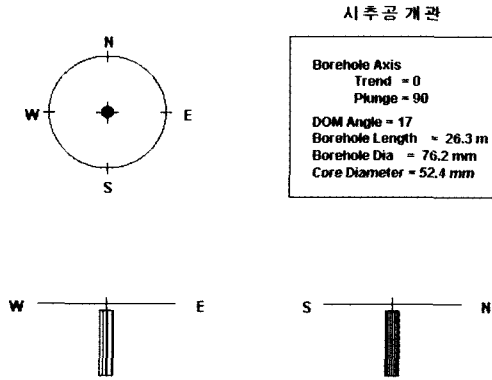


Fig. A1. Overall view of DOM drilling project.

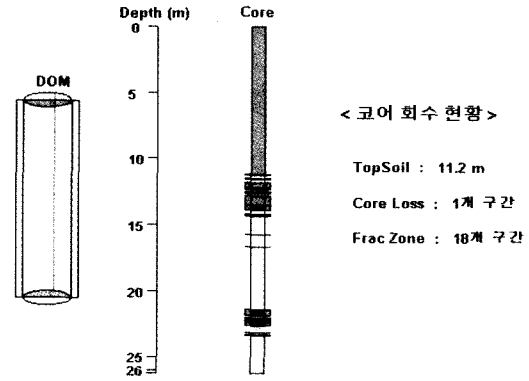


Fig. A2. DOM core retrieval.

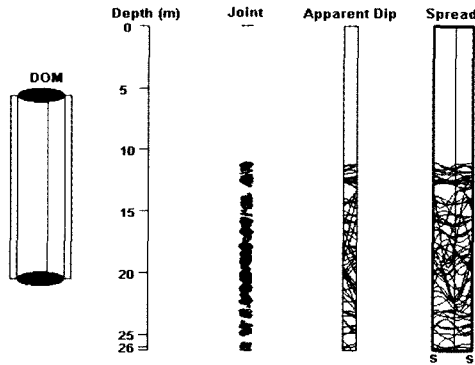


Fig. A3. Apparent view of core log.

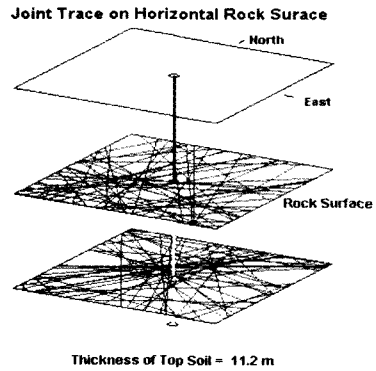


Fig. A4. Joint traces on the horizontal rock surface.

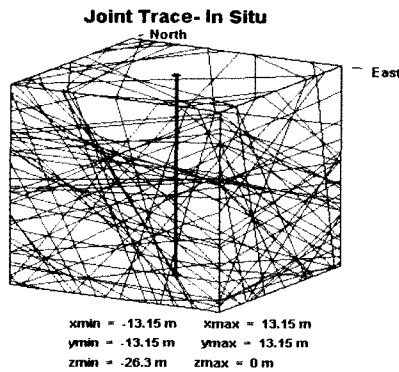


Fig. A5. Joint traces on the cubical rock surface.

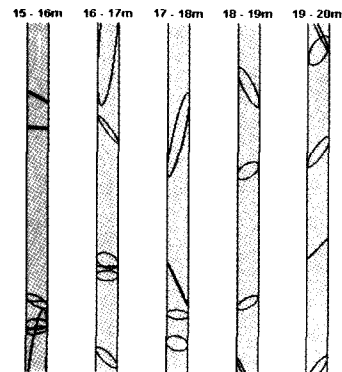


Fig. A6. Simulated core log.

Module drawDOM

DOM 시추작업에 대한 현황도(Fig. A1 and A2), 시추코어에 발달된 절리분포 상태(Fig. A3), 시추공 인근 영역에서의 절리 trace 개착도와 코어 박스 및 시추공

내의 절리 trace (Fig. A4-A7) 등을 제도한다.

Module analDOMJoint

절리분포 및 암반구조 해석을 수행하는 3개의 sub-

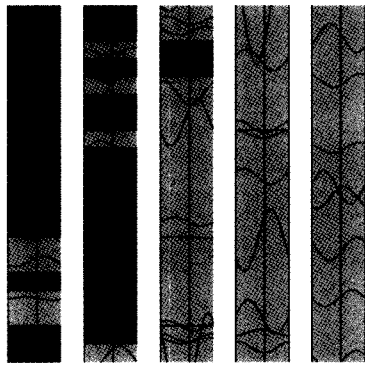


Fig. A7. Spreaded joint traces in the borehole.

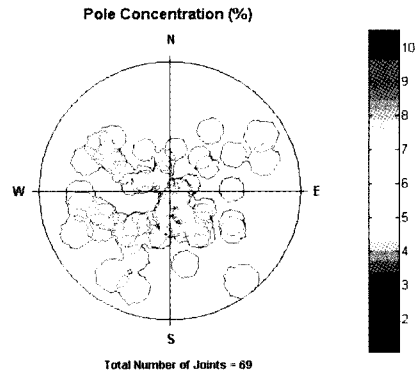


Fig. A8. Contour map of pole concentration.

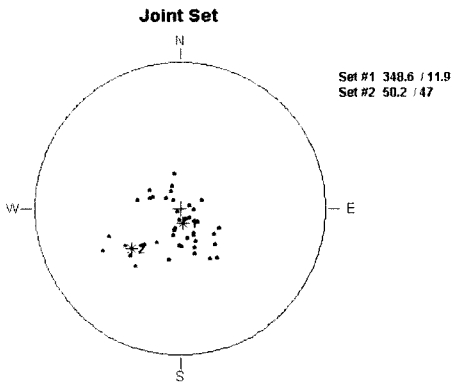


Fig. A9. Pole distribution illustrating the formation of joint set.

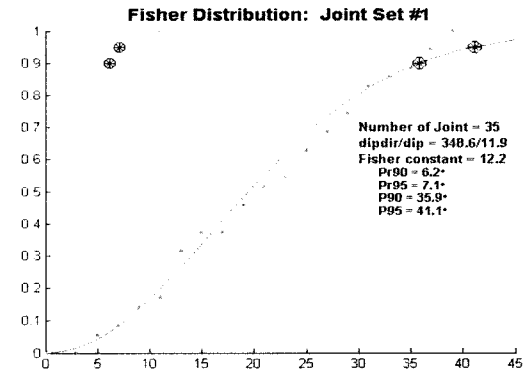


Fig. A10. Fisher distribution of joint set 1.

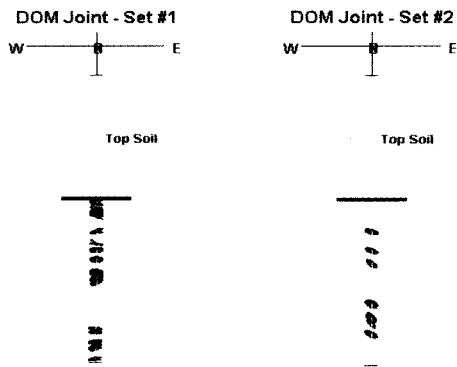


Fig. A11. Core joints - Set 1. Fig. A12. Core joints - Set 2.

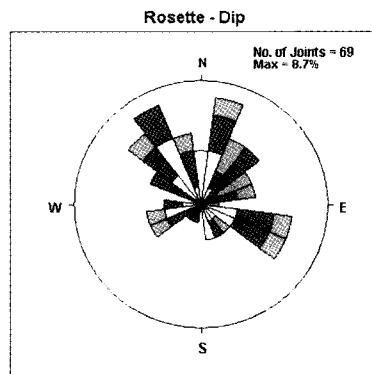


Fig. A13. Rosette diagram of dip direction.

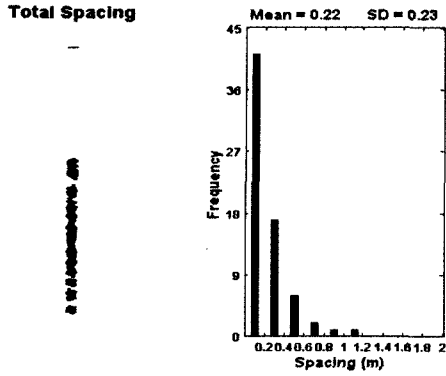


Fig. A14. Total spacing.

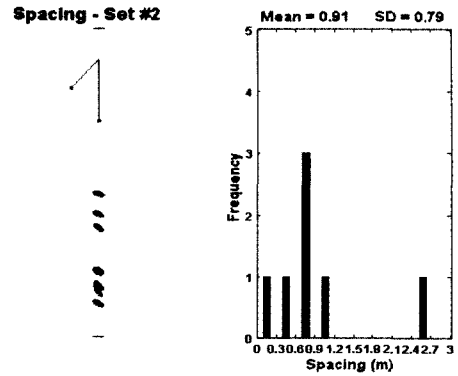


Fig. A15. Spacing of Set 2.

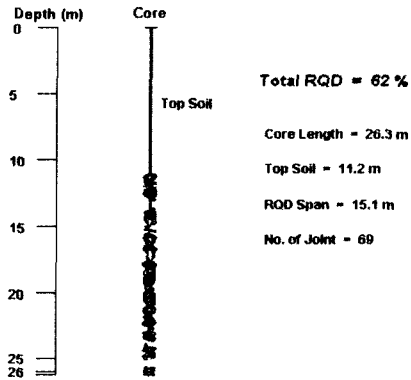


Fig. A16. Total RQD.

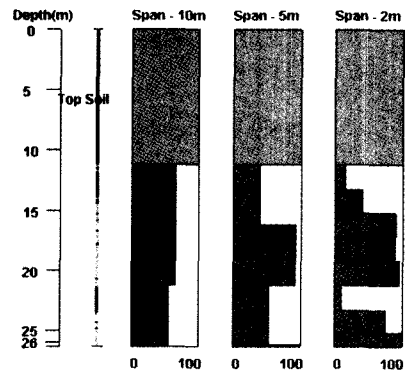


Fig. A17. RQD measured in different span along the borehole axis.

module로 구성되어 있다.

Submodule Orient

절리 방향성 분포(Fig. A8)에 대해 clustering algorithm(Mahtab & Yegulalp, 1982) 을 적용하여 절리 군 형성에 대한 군집 상태를 분석하고(Fig. A9), 각 절리 군에 대해 Fisher 분포 해석(Fig. A10)을 수행한다. 또한 시추공 깊이에 따른 군별 절리 분포를 가시적으로 확인할 수 있는 그래프(Fig. A11-A12)를 제도하며, 경사방향 및 경사에 대한 rosette diagram(Fig. A13)을 제도하여 절리 방향성 분포 해석에 대한 기본자료를 제공한다.

Submodule Spacing

시추공 축을 조사선으로 활용하여 전체 절리들의 간격 분포(Fig. A14)를 산정한다. 절리군을 형성하는 절리들의 간격(Fig. A15)은 시추공 축상에서 산정된 간격을 대표 절리면 방향을 고려하여 보정한 후 분포 양상을 분석한다.

Submodule RQD

시추코어 축을 기준으로 절리분포 위치를 고려하여 전체 구간(Fig. A16) 및 10m, 5m, 2m 코어 간격(Fig. A17)으로 RQD를 산정한다. 시추과정에 발생된 코어 미회수 부분 및 파쇄대 구간도 RQD 산정에 고려된다.

조 태 진



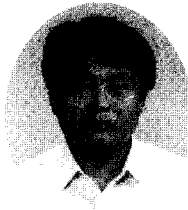
1980년 서울대학교 자원대학 해양학과
이학사
1986년 University of Wisconsin-
Medison 공학석사
1988년 University of Wisconsin-
Medison 공학박사
Tel: 051-620-6238
E-mail: chotc@pknu.ac.kr
부경대학교 환경탐사공학과 교수

유 병 옥



1989년 고려대학교 지질학과 이학사
1991년 한양대학교 대학원 토목공학과
공학석사
1998년 한양대학교 대학원 토목공학과
공학박사
Tel: 02-2230-4957
E-mail: boyou@freeway.co.kr
한국도로공사 도로연구소 수석연구원

원 경 식



1983년 충남대학교 이과대학 지질학과
이학사
1995년 부경대학교 산업대학원 이학석사
1994년 지질 및 지반기술사
Tel: 031-454-2533
E-mail: geoinfo@geoinfo.co.kr
지오텍건설탄트(주) 대표이사