

## 3D-Laser scanner를 이용한 암반 절리의 정밀측정에 관한 연구 이승호, 황영철, 김세현<sup>1)</sup>, 심석래<sup>2)</sup>, 정태영<sup>1)</sup>

### A Study on Precision Measurement of Rock Joint Using 3D-Laser Scanner Seung-Ho Lee, Young-Cheol Hwang, Se-Hyun Kim, Seok-Rae Sim and Tae-Young Jeong

**ABSTRACT.** The existing methods that can be adopted for measuring joints involve either to use borehole or photogrammetry. Due to restricted space, acquisition of data in limited area, and measurement errors, above methods have limitations acquiring the objective and correct results. To get over defects of existing joint measurement methods, joints have been measured using 3D-Laser scanner with accuracy and efficiency. This research aims to investigate an accuracy and applicability of 3D-Laser scanner for measuring rock slope joints. Measurement of rock slope joints has been executed using 3D-Laser scanner & clinometer and then, results from both methods are compared. Results from both methods indicate that they show nearly equal features for joint distributions and numbers of joint information obtained by 3D-Laser scanner are much more than ones measured using clinometer. Therefore, 3D-Laser scanner turns out to be very effective by the fact that it contributes to reduce investigation costs & periods, objectify data from rock slope joints.

**Key words :** 3D-Laser scanner, joint measurement, direction, point datum

**초 목.** 기존 절리측정 방법은 크게 시추공을 이용한 측정방법과 수치사진측량을 이용한 측정방법으로 나눌 수 있다. 그러나 이러한 측정방법은 공간적 제약과 국한된 구간에서의 자료의 획득, 측정시의 오차로 전반적인 절리 자료의 획득에는 한계를 가질 수 밖에 없었으며, 객관적이고 정확한 결과를 얻기엔 무리가 있었다. 이러한 기존 절리측정 방법의 난점을 극복하고 정확도 및 효율성을 극대화 할 수 있는 방안으로 3차원 레이저 스캐너를 이용한 측정방법을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 암반사면을 대상으로 3차원 레이저 스캐너를 이용한 절리측정의 정확성 및 활용 가능성을 연구하였다. 이를 위하여 레이저 스캐너와 클리노미터를 이용하여 대상사면의 절리를 측정하였으며, 이를 비교분석하였다. 레이저 스캐너와 클리노미터로 측정된 절리 분포 및 절리군의 방향성을 비교한 결과, 절리의 분포는 거의 동일하게 투영되었으며, 3차원 스캐너를 이용한 결과에서는 다수 절리의 획득으로 클리노미터로 측정된 부분보다 더 많은 절리 데이터를 얻을 수 있었다. 따라서 암반사면조사 자료의 객관화, 조사기간의 단축, 조사 경비 절감 등의 효과가 있으며, 암반사면의 근접조사가 어려운 경우에도 조사가 가능하고 조사자의 안정성도 확보할 수 있어 절리측정에 매우 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

**핵심어 :** 레이저 스캐너, 절리 분포, 절리군의 방향성, 점데이터군

## 1. 서 론

지반조사시 안정성에 가장 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단되는 절리 및 단층을 대표적인 불연

속면으로 취급하며 이의 조사에 있어서는 현장암반강도와 함께 불연속면의 방향성(Orientation) 및 간격(Spacing)의 측정이 필수적이다.

사면의 절취로 인해 노출된 절취면으로부터 구체적인 절리, 단층 등의 배열을 측정할 수 있으나 이러한 자료를 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 편리한 방안이 마련되지 않아 국한된 구간의 노동

1) 상지대학교  
2) 동아특수건설 (주)  
접수일 : 2004년 9월 13일

와 시추공 정보를 활용하여 방향성을 고려하고 있으며, 따라서 측량기법을 이용한 적절한 측정방법의 개발이 필요한 실정이다.

기존 측정방법의 대안으로 수치사진측량을 이용한 절리측정 기법이 연구되었다. 유복모 등(1983)은 측정된 3차원 좌표를 이용하여 암반 불연속면의 주향과 경사를 원격으로 측정하는데 필요한 기초적인 원리를 제시하였으며, Grade(1992)는 연속사진의 측점을 디지털화하여 연결함으로써 불연속면의 3차원 배열을 측량하여 결과를 제시한 바 있으나, 모두 현장에서 활용할 수 있는 효과적인 방법을 제시하고 있지는 못하다.

최근 레이저 스캐너를 이용한 정밀측정 기법에 관한 연구가 몇몇 이루어지고 있다. 레이저 스캐너는 대절토사면의 접근이 어려운 상황에서도 원거리 측정으로 전체적인 결과를 얻을 수 있으며 레이저 측정 기술의 발달로 인해 정확도를 높일 수 있다는 장점이 있다.

정성혁 등(2003)은 레이저 스캐너와 사진측량을 이용하여 동일한 문화재에 대해 정밀 측정을 실시하여 정확도를 비교하였으며, 정창엽, 박형동(2003)은 동일 암반사면에 대해 레이저 스캐너와 수치사진측량을 이용하여 대상사면 일부구간의 DEM(Digital Elevation Model)을 추출하여 정밀도를 비교 분석하였다. 기존 수치사진측량과 레이저 스캐너의 측정 비교를 통해 거의 근사적인 정확도의 결과 값을 얻을 수 있었다.

그러나 상기 연구결과는 국한적인 일부 구간이나 소규모 구조물에 한정된 것으로 대절토 사면의 절리측정에 적용한 사례가 없었다. 본 연구에서는 동일 사면에 대해 일반적인 절리측정 방법인 클리노미터와 레이저 스캐너를 이용하여 대상사면의 안정성 분석을 위한 절리 데이터를 획득하고 이에 대한 비교분석을 통해 레이저 스캐너의 신뢰성 및 효율성을 검증하고자 한다.

## 2. 3차원 레이저 스캐너

3차원 레이저 스캐너는 리버스 엔지니어링

(Reverse Engineering, 역공학) 분야에서 많이 사용되고 있다. 리버스 엔지니어링이란 도면이 존재하지 않는 대상물로부터 형상이나 색상 정보를 획득, 2D 또는 3D 도면 제작, 모형제작 등을 함으로써 제품 생산 등에 활용하는 일련의 과정을 말한다. 최초 기계산업에서부터 발전되기 시작하였는데 그 후 레이저 스캐너 등 측정장비 발달과 측정 데이터 처리 프로그램의 발전으로 다양한 응용분야가 개발되었다. 선진국의 리버스 엔지니어링 기술은 수년 전부터 본격적으로 문화재 보존 분야에 응용되기 시작하여 1999년 스탠포드 대학 등에서 실시한 미켈란젤로 작품에 대한 3차원 데이터 구축 프로젝트가 수행된 바 있으며, 일본의 도쇼다이지(唐招提寺) 금당에서는 3차원 스캐너를 활용하여 구조의 변형 상태를 정밀하게 시뮬레이션한 사례 등이 있다. 한국에서도 경주 남산의 불상에 대한 3차원 데이터 구축 작업 등이 추진된 바 있다.

3차원 레이저 스캐닝은 현재 많은 분야에서 응용되어 사용되고 있다. 의공학 및 의류분야에서는 사람의 인체를 스캔하여 인체모델링에 적용하고 있으며, 건설분야에서는 시공 분석을 위한 대상물의 3차원 데이터 자료를 이용하여 안정성 및 도면자료 취득 등을 위해 사용하고 있다. 또한 기계 및 플랜트 분야에서 역설계 및 도면자료의 취득, 제품의 정밀측정 분야에 사용되고 있으며, 문화재 복원 및 보존, 유물의 체계적인 관리를 위해 사용되고 있다.

### 2.1 3차원 위치정보 측정

레이저 스캐닝을 통해 3차원 위치정보를 추출하는 방법은 기본적으로 Time-of-Flight 원리를 이용한 방식과 Triangulation 방식으로 나눌 수 있다.

Time-of-Flight 방식은 레이저 주사부, 수신부, 시간측정치로 구성되며, 레이저를 수신한 후, 시간차를 이용하여 거리를 측정한다. 식 (1)에서 C는 빛의 속도이며,  $t_1 - t_0$ 는 laser pulse의 위상차를 말한다.

$$\text{Distance} = C \times \frac{(t_1 - t_0)}{2} \quad (1)$$

Time-of-Flight 방식은 일반적인 측정시 5mm 정

도, 정밀 측정시에는 1mm 정도의 오차가 발생하며, 시간차를 이용하는 특성상 가까운 거리에서 정밀도가 다소 저하되는 특성이 있다.

Triangulation 방식은 레이저를 목표물에 주사한 후 CCD camera를 사용하여 목표물의 레이저 점(laser spot)을 기록한다. 이때 레이저 점의 위치와 내부적으로 기록된 레이저 빔의 주사각도, 레이저 주사부와 CCD camera의 거리(Base)에 의해 기하학적으로 거리를 측정하며 다음 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$Z = \frac{f_0 \times d}{p + f_0 \tan \theta}$$

(2)

$$X = Z \tan \theta \quad (3)$$

여기서, p는 레이저 점의 영상에서의 위치이며, f<sub>0</sub>는 렌즈의 초점거리이며, d는 CCD와 레이저 주사부간의 거리이다.

Triangulation 방식은 매우 정밀한 측량이 가능하며, 약 2m 정도의 가까운 거리에서 1mm 이하의 오차가 나며, 거리가 멀어질수록 CCD에서 목표물의 레이저 점을 감지해야 하기 때문에 정밀도가 떨어지며, 빛이 강한 환경에서 레이저 점의 대비가 떨어지기 때문에 주간보다 야간에 측정하는 경우가 많다.

### 2.2 3차원 스캐닝 기법

스캐닝 기법에는 레이저 주사방식에 따라 Point, Line, Area 단위의 스캐닝 방식이 있다. Point 단위의 스캐닝은 레이저를 이용한 광삼각법 또는 자동 초점(Auto-Focusing)기능을 응용한 1차원 변위센서를 3차원 좌표측정기와 같은 기계적인 구동시스템에 장착하여 3차원 형상을 측정하는 방식이다. 송출부에서 보낸 집속광이 물체에 부딪혀 돌아와서 수광부에 있는 PSD의 착상위치를 이용하여 그 거리를 알아내는 방식이다. 이 기법은 전기적인 간섭을 받지 않기 때문에 내잡음성이 좋으며 레이저의 파장을 짧게 하면 더욱 높은 정확도로 측정할 수 있다. 정확도는 10~20μm 정도이며 측정점 이동을

위한 기구부가 필요하고 측정시간이 과다하게 소요된다는 단점이 있다.

대용량 스캐너는 대단히 신속한 스캐닝을 실시하며 손쉽게 3D 모델을 구축할 수 있다. 예를 들어 높이 3층, 길이 100여미터 되는 건물을 1cm 간격으로 스캐닝한다고 할 때 불과 1~2시간이내에 작업을 끝낼 수 있다.

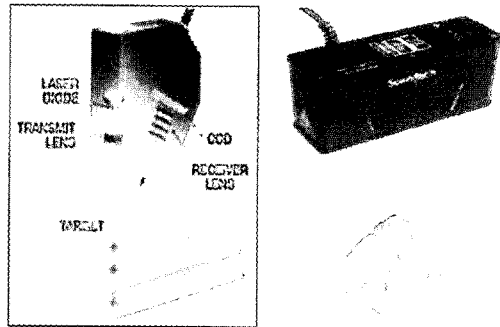


그림 1. Optical Stylus 방식

Line단위의 스캐닝 기법에는 slit-beam을 사용하는 방법이 가장 일반적인데 한 단면씩 측정하여 형상을 재현하는 방식이며 그림 2에서와 같이 슬릿 레이저를 주사하고 렌즈를 통해 CCD에 그 영상을 기록함으로써 측정 데이터를 획득하게 된다. 조밀한 데이터를 얻기 위해서는 슬릿의 미세이동장치가 필요하며 정확도는 80μm~1mm 정도이다. 대상물이 소형일 경우에 적용할 수 있는 방식이다.

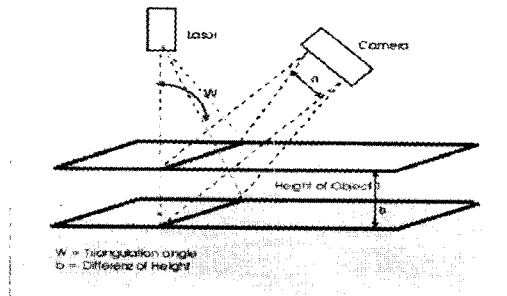


그림 2. Triangulation 방식

Area 단위의 스캐닝기법에는 공간코트화법, 모아레기법, 위상차 측정법(PMP)이 있다. 최근에 역설계나 모델링 기법에서 마이크로미터 단위의 정확도와 신속한 데이터획득으로 각광을 받고 있는 방법은 공간 코트화법이다. 측정대상에 패턴을 투사하고 카메라로 물체에 투영된 패턴을 촬영하고 이를 분석하여 3차원 데이터를 획득하는 시스템이다.

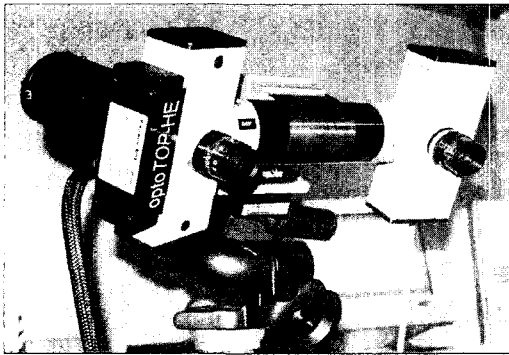


그림 3. 패턴프로젝션 방식

이밖에 영사식 모아레 방법은 일정한 범위의 형상을 한번에 재현하는 방식으로 한 쌍의 같은 피치를 가지는 동일한 직선 격자가 각각 투영격자와 기준격자로 사용된다. 광원에 의해 조명되어진 투영격자는 투영렌즈에 의해 측정 대상물체에 투영되게 되고 투영된 직선형태의 격자는 물체의 높낮이에 따라서 휘어지게 되는데 이 변형된 격자를 결상렌즈에 의해 기준격자 상에 결상된다. 위상측정법은 모아레 방법에서 광학계를 대폭 간소화한 방법으로 고속으로 회전하고 있는 회전다면경에 레이저다이오드를 이용한 슬릿광을 영사하여 측정영역을 스캐닝하는 방법이다.

### 2.3 3차원 영상데이터 추출

3차원 레이저 스캐너를 이용하여 획득된 자료들은 3차원 영상화 프로그램을 이용하여 조사사면에 대한 자료를 필터링하여 현장실사와 거의 동일한 자료를 도출한다.

3차원 영상처리 프로그램은 3차원 스캐너로부터 점군데이터 또는 폴리곤 매수 데이터를 입력받고 이 데이터를 처리하기 위한 많은 운용과정을 갖고 있다. 본 연구에서 사용된 3차원 영상화 프로그램은 3DSD로 기존 리버스 엔지니어링용 프로그램인 Rapidform을 기반으로 하며, 3D 레이저 스캐닝 작업 후 캡처된 점데이터(Point Clouds)를 자동 삼각화, 정렬, 병합하여 폴리곤 모델을 생성함으로써 절리면의 좌표변환 및 좌표값들의 평균값을 가지는 절리면을 구성, 절리데이터를 얻게 된다.

절리데이터의 획득 과정은 다음과 같다. Scan Data를 도복좌표 시스템으로 변환하며 좌표 변환에는 3가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 다른 측정기로 측정한 실 측정 좌표 3점과 Scan data상의 3점을 일치시킴으로 Scan data를 변환시키는 기능 방법이다. 점데이터를 입력한 후, 좌표변환을 실행하면 Scan data 상의 점이 측정점으로 이동하게 된다. 두 번째 방법으로는 주향/경사(strike / dip)는 해당하는 절취면을 구성하는 대표적인 부분의 Scan data를 선택여 Transform을 실행하면 선택한 영역이 입력한 주향/경사(Strike/Dip) 값을 가지도록 변환하는 방법이다. 세 번째 방법은 두 번째 방법과 유사한 방법으로 좌표변환을 하는 것으로, 절취면의 주향/경사(strike/dip)은 동일한 방법으로 입력하나 수평선과 절취면상에 있어야 하는 점을 동시에 입력함으로써 좌표변환이 이루어지는 방법이다. 점군데이터(Point clouds)는 빠르고 깨끗하게 그리고 편리하게 처리된다. 스캐닝 작업도중 불가피하게 발생한 데이터는 점군의 수를 최적화하기 위한 필터링 과정 등, 기타 개선된 방법으로 처리된다.

좌표 변환을 마친 후 불연속면을 정의하고, 정의된 불연속면을 확장하는 확장면을 구성한다. 불연속면의 영역설정은 임의적으로 입력하거나 자동으로 설정할 수 있으며, 확장 및 축소가 가능하며 이 과정에서 절리면에 색상을 정의할 수 있다. 정의된 불연속면을 스테레오네트에 투영하여 추가적으로 필요한 대원, 토플링 영역, Friction cone등을 정의하게 된다.

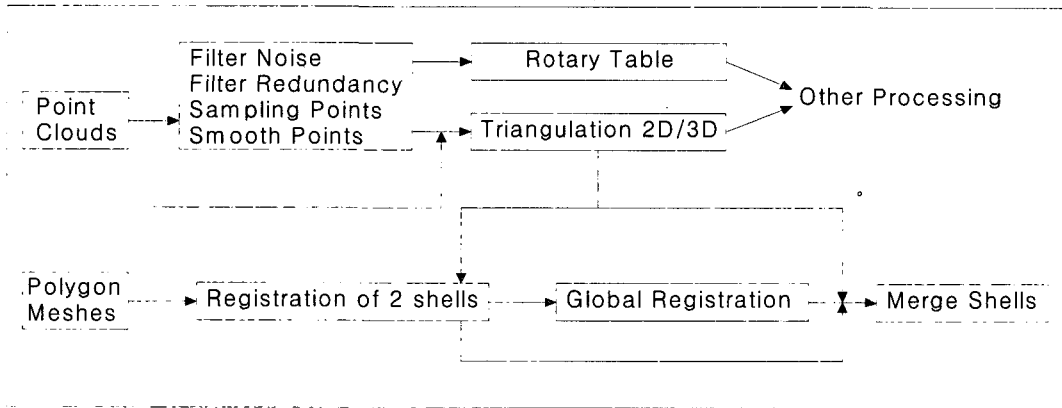
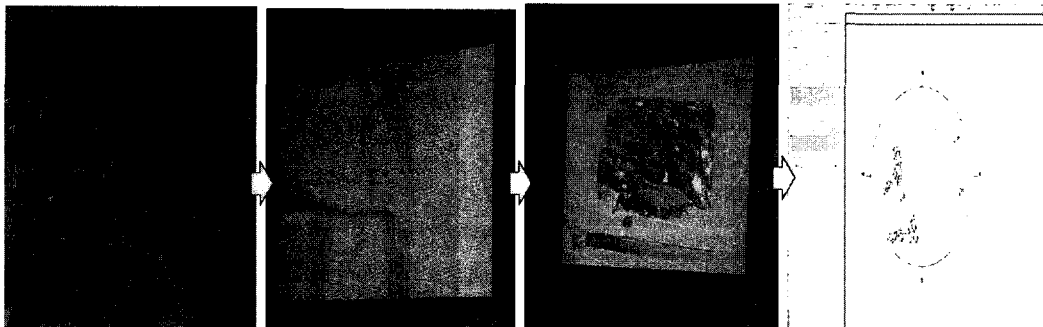


그림 4. 절리데이터 추출과정



노두면에 대한 스캐닝      점데이터 및 삼각망구성      3차원 영상화 및 절리데이터추출      스테레오네트 투영

그림 5. 후처리과정 후 스테레오네트에 투영된 절리데이터

### 3. 현장 절리측정

#### 3.1 실험방법

실험대상은 토석채취에 의해 발생된 절취사면으로 사면의 높이는 최대 130m, 사면의 연장은 100m로 경사방향은 N36W, 경사는 65NE이며, 절취된 절토면의 주경사는 65°~75°로 급경사를 이루고 있다. 사면 높이의 1/3 지점에서 절리틈 사이로 유출수가 관찰되었으며, 중앙부에서 좌측으로 절리발달에 의한 연속적인 소규모 암탈락이 진행되고 있다. 또한 절리의 발달이 뚜렷한 특징을 가지고 있으며, 사면의 경사가 급하여 조사자의 접근이 어려운 상태이다.

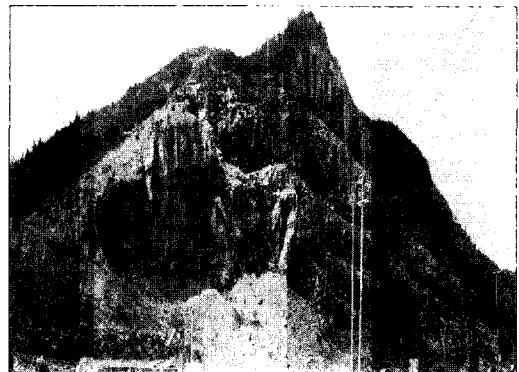


그림 6. 실험 대상사면

본 연구에 사용된 MENSIS사의 레이저 스캐너(GS100)는 Time-of-Flight 방식으로 무 타겟 토달스태이션을 자동화한 측량기법의 일종으로 측량할 범위를 결정하고 측량할 간격을 설정하면 3차원 레이저 스캐너가 초당 3,000 회의 레이저를 주사하여 자동으로 측량을 실행한다. 또한 햇빛이나 그림자에 의한 영향을 거의 받지 않는다. 일반적으로, 전체사면을 30~50mm 범위에서 스캐닝을 실시하며 정밀조사구간에 대해서는 5~10mm 범위 내에서 정밀측정이 가능하다. 레이저의 크기(Spot Size)는 100m를 기준으로 할 때 3.2mm이며 본 연구에서는 50m 거리에서 2구간으로 나누어 절리를 측정하였다.

표 1. Laser scanner 제원

제 원	GS100/MENSI
Scanning Range	100m/150m max
Scanning Speed	3000pts/s
Position Accuracy	3mm/1mm
Angle Accuracy	32μrd/0.0018°
Field of view	360°(H)×60°(V)
Spot Size	8mm/optimal range



그림 7. Laser Scanner System

### 3.2 절리데이터 추출

대상사면을 스캐닝하여 얻어낸 3차원 좌표값을 갖는 점군데이터(Point clouds)를 3DSD프로그램을 이용하여 불필요한 데이터는 삭제(Filtering)하고, 각 위치(View Point)에서 스캐닝한 데이터를 결합하기 위해 상호기준점을 선정(Registration)하여 하나의 구조체(Object)로 형성(Merging)시켰다. 이

과정에서 불필요한 일부 점데이터를 필터링하였으며, 점데이터군을 상호연결(Polygon)하여 삼각망을 구성한 후 면으로 처리한 다음 실제치수를 가지는 입체영상(3D Modeling)으로 재현하였다.

입체영상을 재현한 후, 측정하고자 하는 절리면의 상대좌표값을 절대좌표값으로 변환하여 좌표값들의 평균값을 갖는 평면으로 구성하여 얻고자 하는 절리면의 데이터를 획득할 수 있었다. 이러한 절리 데이터의 획득이 가능한 것은 절리면을 이루는 각각의 점데이터가 3차원 좌표값을 가지고 있기 때문이며, 절리면을 이루는 점군데이터의 평균값을 갖는 면의 형성에 의한 오차는 균일하게 배분되어 결과에 큰 영향을 주지 못한다. 그림 8은 이러한 일련의 절리데이터의 추출과정을 거쳐 얻어진 결과이며, 클리노미터 측정치와 비교·분석하고자 한다.



그림 8

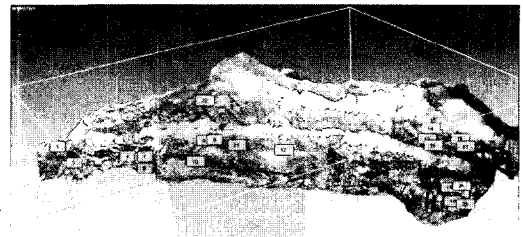


그림 8. 3차원 모델링을 이용한 절리 데이터 획득

## 4. 측정결과 및 고찰

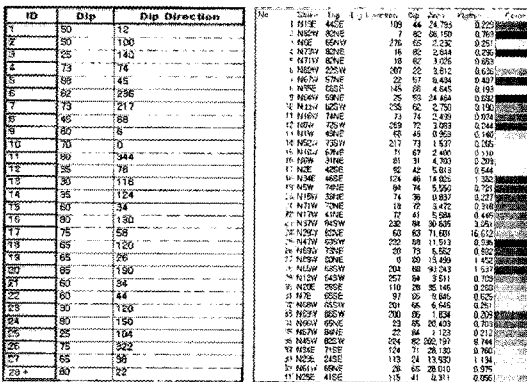
### 4.1 절리 데이터

3차원 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 3차원 좌표값의 정확성을 비교하기 위하여 현장에서 클리노미터를 이용하여 절리를 측정하였다.

연구대상사면의 Cutting Face의 경사방향은 65/054(Dip/Dip Direction)이며, 클리노미터로 측정된 절리 데이터는 그림 9(a)와 같이 총 28개의 절리 데이터를 측정하였으며, 3차원 스캐너를 이용한 절리 데이터는 그림 9(b)와 같이 총 40개로 대표적인 절리만을 선별하여 3차원 영상화 프로그램을 이용하여 추출하였다.

4.2 절리측정 비교

비교는 Contour plot과 Rosette Diagram을 비교하여 절리 분포 및 주절리군의 방향성을 비교하였다. Contour plot의 비교결과 절리의 분포는 거



(a)클리노미터 측정 결과 (b)레이저 스캐너 측정 결과  
그림 9. 절리 데이터

의 동일하게 투영되었으며, 3차원 스캐너를 이용한 결과에서 다수 절리의 획득으로 Clinometer로 측정된 부분보다 더 많은 붕괴 가능성이 내재된 절리들을 발견할 수 있었으며 현장 관측시 예측되는 전도 파괴, 쉼기파괴 및 평면파괴의 양상이 명확하게 표현되어 현장 조사시 여건상 측정할 수 없었던 절리들을 측정할 수 있어 절리 데이터의 신뢰성을 높일 수 있었다.

Rosette Diagram은 측정 자료를 정량적으로 표시하는 방법으로 일반적으로 간격으로 100~360° 방향에 대해 측정량을 원주상으로 표시하여 우세한 불연속면군을 식별할 수 있으며, 빈도가 높은 그룹은 과장되어 표시되고 낮은 빈도의 그룹은 축소되어 표시된다. 입체 투영망으로 비교 결과, 주절리의 방향은 N61°~66°W와 N19°~55°E이며 주 절리군의 경사차가 최대 3°~4°로 우세한 절리군의 방향성이 큰 차이를 보이지 않았으며, 빈도 차이가 발생한 불연속면군은 3차원 스캐너의 절리 데이터의 수가 많기 때문이며, 이로 인해 더 정확한 빈도를 표현할 수 있었다.

3차원 레이저 스캐너를 이용하면 암반사면조사 자료의 객관화, 조사기간의 단축, 조사 경비 절감등의 효과가 있으며, 암반사면의 근접조사가 어려운 경우에도 조사가 가능하고 조사자의 안정성도 확보할 수 있어 절리측정에 매우 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

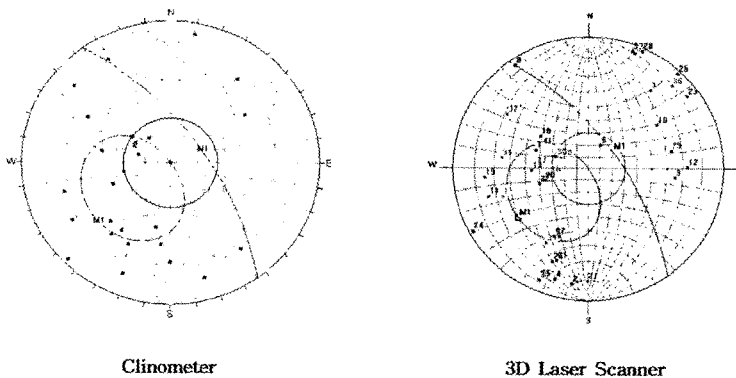


그림 10. Pole Plot

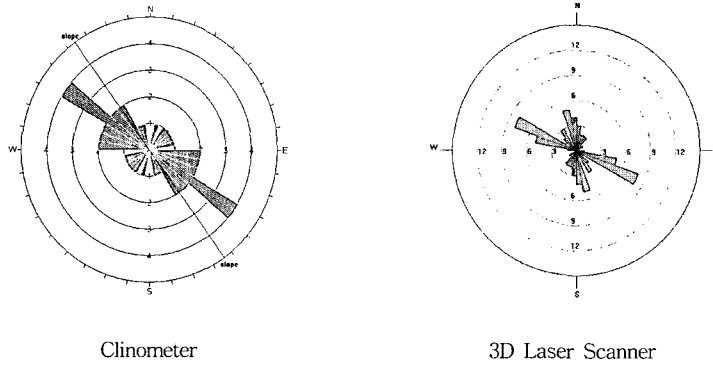


그림 11. Rosette Diagram

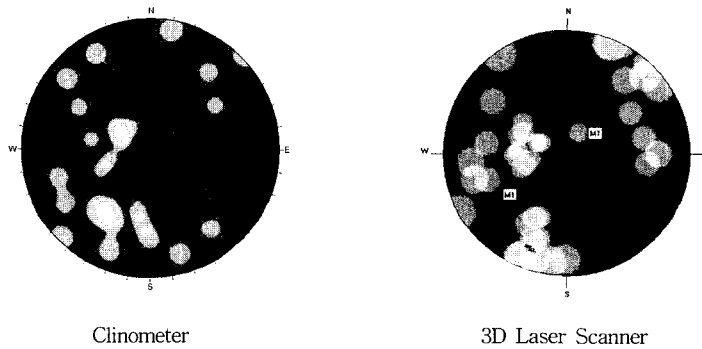


그림 12. Contour Plot

### 5. 결 론

본 연구에서는 대철토암반사면을 대상으로 절리 측정을 위해 3차원 레이저 스캐너를 이용한 절리 측정의 정확성 및 활용 가능성을 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 절리측정은 국한된 구간의 노두와 시추공 정보를 활용하여 방향성을 고려하므로 제한적인 결과만 획득할 수 있다. 최근 레이저 스캐너의 정밀도에 대한 연구가 진행 중이나 이 또한 국한된 일부구간에서 진행되어 현장에 적용할 수 있는 효과적인 방법을 제시하지는 못하였다.
2. 동일한 사면에 대해 레이저 스캐너와 클리노미터를 이용하여 절리 데이터를 획득하고 이를 비교한 결과 절리 측정 결과가 거의 일치하며, 현장 조사시 여건상 측정할 수 없었던 절리들을 원거리에서 측정할 수 있어 절리 데이터의 신뢰성을 높일 수 있었다.
3. 3D 레이저 스캐너를 이용시 암반사면조사 자료의 객관화, 조사시간의 단축, 조사 경비 절감등의 효과가 있으며, 암반사면의 근접조사가 어려운 경우에도 조사가 가능하고 조사자의 안정성도 확보할 수 있어 절리측정에 매우 효과적인 방법임을 알 수 있었다.



4. 3D 레이저 스캐너의 정확성 및 추출된 정보의 객관성의 확보로 기존 절리측정의 단점을 보완할 수 있을 것이며 레이저 스캐닝 체계를 접목하여 보다 다양한 측정방법의 개발 및 보강, 설계 등에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. 김연술, 김형찬, 이희관, 양균의, 홍성균, 2003, 레이저 스캐너를 이용한 측정 및 레지스트레이션 오차감소에 관한 연구, 한국정밀공학회지, Vol. 20, No. 9, pp. 197-204.
2. 박형동, 정창엽, 2003, 3D laser scanning 및 수치사진측량을 이용한 암반사면의 DEM 추출기법, 터널과 지하공간, Vol. 13, No. 3, pp. 207-214.
3. 이재기, 유정흠, 정성혁, 손세원, 2003, 근거리사진측량과 레이저스캐너를 이용한 문화재 정밀측정, 2003 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 493-496.
4. 이상학, 2002, 레이저 스캐너의 정확도 검증과 3차원 수치모형 생성, 석사학위논문, 충북대학교.
5. Hoover, A., 1998, The Space Envelope: A Representation for 3D Scenes, Computer Vision and image Understanding, Vol. 69, No. IV980666.
6. Besl, P. J. and N. D. McKay, 1992, A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Boston, Massachusetts, USA, Vol. 14, No. 2, pp. 12-15.
7. CAD & Graphics, 1999, 리버스엔지니어링 방식의 3차원 스캐닝 솔루션, CAD & Graphics.
8. Hoek, E. and E. T. Brown, 1980, Underground Excavation in Rock, London, England.
9. Hack, R., A. Turner, and S. Slob, 1980, An approach to automate discontinuity measurements of rock faces using laser scanning techniques, EUROCK2002, Runchal, Maderia Island, Portugal, pp. 87-94.
10. Rqu, J. Y. and L. C. Chen, 2001, Semi-Automatic Approach for Building Reconstruction using SLIT-MERGE\_SHAPE Method, Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, pp. 5-9.
11. Lai, J.-Y., W. D. Ueng and C. Y. Yao, 1999, Registration and Data Merging for Multiple Sets of Scan Data, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 54-56.
12. Manandhar, D. and R. Shivasaki, 2000, Prototype Development for Vehicle based Laser Mapping System(VLMS), IAPRS, July, Amsterdam, Vol. 33, part B2, pp. 359-366.
13. Priest, S. D. and J. A. Hudson, 1981, Estimation of discontinuity spacing and trace length using scnaline surveys, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., pp. 183-197.
14. Zhao, H. and R. Shivasak, 2001, Reconstructing Textured CAD Model of Urban Environment Using Vehicle-Borne Laser Scanners and Line Cameras, A International Workshop on Computer Vision System(ICVS), Vancouver, Canada, pp. 284-297.
15. Zwally, H.J., B. Schutz, W. Abdalati, J. Abshire, C. Bentley, A. Brenner, J. Bufton, J. Dezio, D. Hancock, D. Harding, T. Herring, B. Minster, K. Quinn, S. Palm, J. Spinhirne, and R. Thomas, 2002, ICESat's laser measurements of polar ice, atmosphere, ocean, and land, Journal of Geodynamics, Vol. 34, pp. 405-445.