

특수지질에서의 암반구조물에 대한 레이저스캐너를 이용한 조사 적용사례 연구

윤운상, 박정훈, 박성욱, 동승환 (주식회사 넥스지오)
임형규 (한국철도시설공단)
이근병 (유신코퍼레이션)

1. 서론

암반내 분포하는 지질적 요인이 안정성에 큰 영향을 미치는 특수지질에서의 암반구조물의 경우 지질적 특성을 충분히 반영할 수 있도록 정밀히 조사하는 것이 중요하다. 그러나 대부분의 경우 시간, 비용 및 현장 여건상 충분한 양의 조사를 수행하는 것이 어렵다. 이러한 한계를 극복하고자 선진국에서는 3차원 레이저스캐너를 이용한 조사기법을 활발히 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 사면, 터널 등의 암반구조물에 대해 레이저스캐너의 활용사례를 검토함으로써 적용성을 분석하였다.

2. 조사 개요

2.1 레이저스캐너 측정 원리

레이저스캐너의 측정방식은 Triangulation 방식과 TOF방식(Time Of Flight)으로 구분할 수 있으며 본 연구에 사용된 시스템은 후자의 방식에 근거한다. 전자의 경우 삼각측량법에 근거하고 있으며, 후자는 방출된 적외선 레이저펄스가 대상물체에 반사되어 돌아오는 이동시간(travel time)으로부터 거리를 역산하고 대상점 좌표를 인지하는 방식을 측정의 기본이론으로 하고 있다(그림 1).

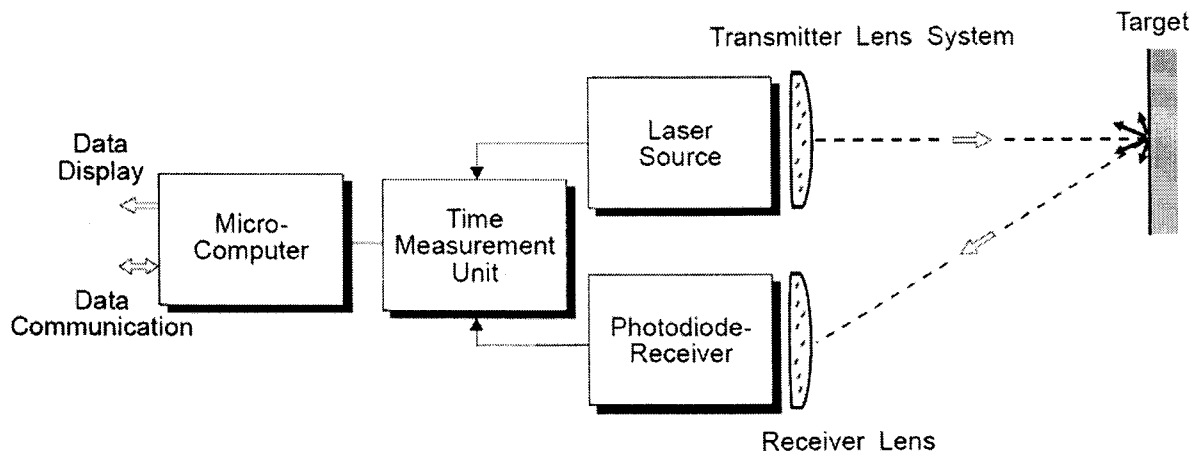


그림 1. TOF방식의 측정 원리

대상구조물의 표면좌표를 얻는 스캐닝 방법은 그림 2와 같이 고속으로 회전하는 반사경을 이용하여 방출각을 조절하여 측정하는 라인스캔(line scan)과 이를 360°회전시키면서 라인스캔을 여러번 반복하는 프레임스캔(frame scan)으로 구성되어진다. 라인스캔시 고속으로 회전하는 반사경에 의해 초당 12,000포인트의 측정이 가능하며 90°의 측정범위를 갖는다. 이때 레이저스캐닝 시스템의 해상도(resolution)는 방출된 레이저펄스의 발사각도를 얼마나 정밀하게 제어하는가에 따라 성능이 좌우된다.

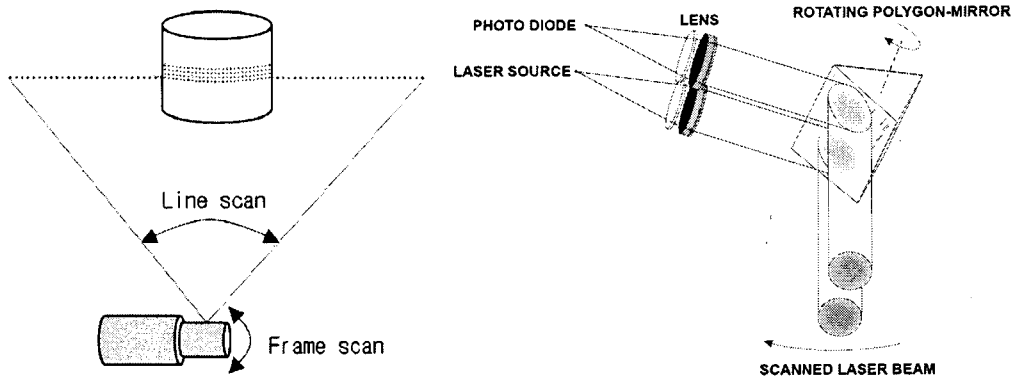


그림 2. 대상 구조물에 대한 3차원 스캐닝 원리

2.2 본 연구에 적용된 시스템 구성

본 시스템은 오스트리아 GEODATA사의 ORTHOS Laserscanner System으로 시스템의 구성요소는 크게 현장부분과 내업부분으로 나눌 수 있다. 현장부분의 하드웨어는 레이저스캐너 및 부속장비로 구성되어 있으며, 소프트웨어 부분은 ORTHOS SCAN이라는 구동소프트웨어로 구성되어 있다. 현장에서 얻어진 자료는 후처리를 위해 이동식 메모리를 통해 데스크톱 컴퓨터로 전송한다(그림3).

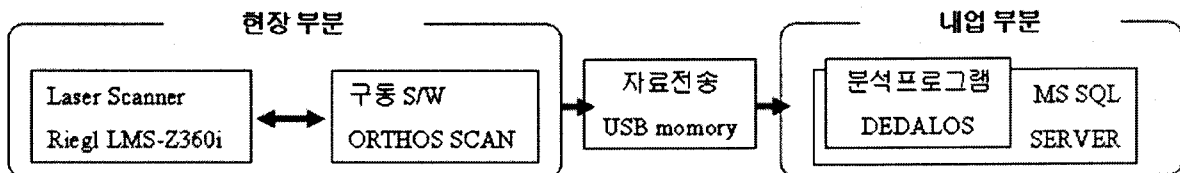


그림 3. 시스템 구성 개략도

하드웨어

현장부분의 하드웨어는 스캐너, 노트북, 전력공급장치, 손수레로 구성된다. 레이저스캐너는 오스트리아의 Riegl사의 LMS-Z360i이며 1~200m 거리의 대상구조물에 대해 초당 12,000 포인트의 자료를 획득할 수 있으며, 자세한 장비사양은 다음 표 1과 같다. 터널 현장의 경우 분진, 진동, 지하수 누수, 습도, 낙석발생 등 정밀장비에 대해서는 열악한 사용조건임을 감안할 때, 레이저스캐너는 야외에서 사용되는 일반 스캐너에 비해 우수한 내구성을 요구한다. 특히 터널에서의 분진, 누수 및 낙석의 위험조건을 고려할 때, 견고한 하우징 및 방수기능은 필수적 요구 사항이다.

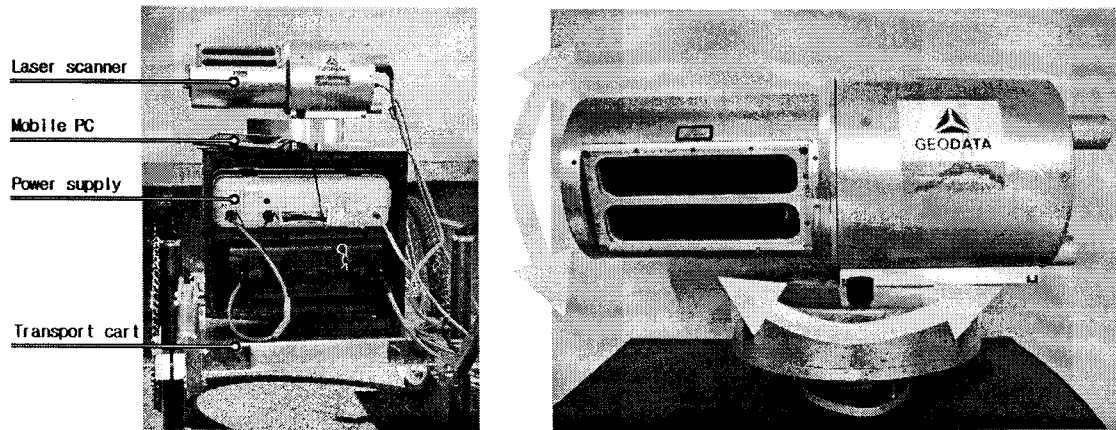


그림 4. 하드웨어 구성

본 하드웨어 시스템의 작업 현장내 이동을 위해 차량 루프캐리어(roof-carrier)나 삼각대에 장착하는 방법, 그림 4와 같이 손수레를 이용하는 방법이 있으며 현장 상황에 따라 적절히 선택하여 운용하면 된다.

표 1. 레이저스캐너 주요 장비사양

항목	사양
모델명 (Model)	LMS-Z360i
해상도 (Measurement resolution)	5 mm
측정범위 (Measurement range)	1 ~ 200 m
레이저안전등급 (Eye safety class)	Laser class 1
측정속도 (Measurement rate)	12,000 pts/sec
연결 (Interface)	Ethernet TCP/IP, 10/100MB/sec
중량 (Weight)	approx. 13 kg
전기제품 외함 보호규격 (IEC-529 Standard)	IP 64(방수 및 방진) 만족

손수레의 경우 측정시 원위치 고정을 위해 스크류식 봉이 바닥을 지지하도록 설계되었으며, 노트북과 스캐너간의 고속 데이터 통신을 위해 TCP/IP 포트(10/100MB)를 사용한다.

소프트웨어

본 시스템의 소프트웨어는 현장에서 스캐너 장비의 운영을 위한 ORTHOS SCAN과 측정된 데이터를 분석하기 위한 DEDALOS로 구성되어 있다. ORTHOS SCAN은 각 프로젝트별 특성에 따라 설정값을 저장하는 configuration, 스캐너 위치를 자동 확인하는 positioning scan과 실제 분석 데이터 취득을 위한 surface scan으로 구성되어 있다. DEDALOS에는 현장에서 얻어진 데이터를 DB로 불러들여 입력된 설계자료와 비교함으로써 각종 분석작업을 수행하게 된다.

2.3 레이저스캐너 측정 과정

스캐닝 작업은 현장설치, positioning scan, fine scan, surface scan으로 구성되어진다. positioning scan은 스캐닝범위에 미리 설치된 4개 이상의 반사타겟(bireflex type)을 이용하여 스캐너 장비의 기계위치를 파악하는 과정이다(그림 5). 이미 좌표측량을 실시한 4개 이상의 타겟으로부터 3차원 3각측량기법(triangulation method)에 의해 기계 중심위치를 역산한다. 현장의 기타 반사물체에 의해 노이즈가 포착될 경우 시스템은 자동으로 타겟진위 여부를 파악하여 위치 인식과정에서 배제하도록 한다. 자동 인식된 타겟에 대해서는 fine scan이라는 정밀스캔을 실시하여 보다 정확한 좌표값을 얻는다.

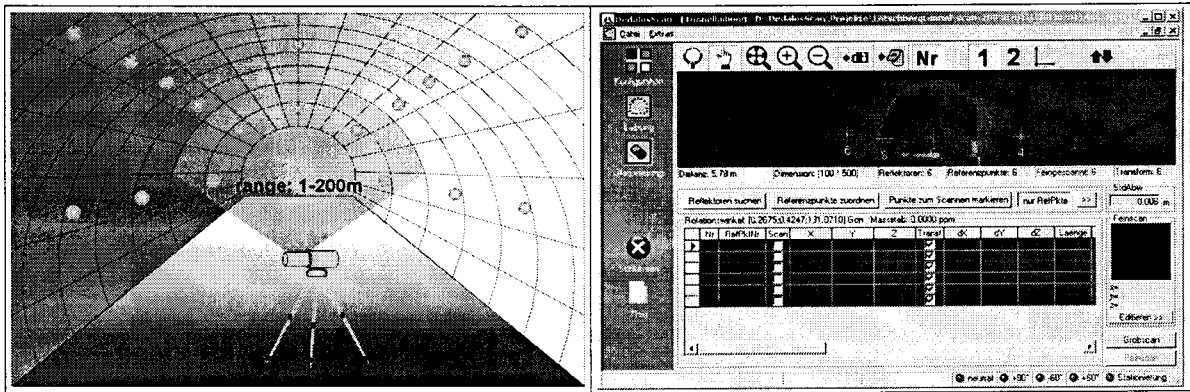


그림 5. 좌:Positioning Scan, 우:결과

positioning scan 후 기계위치가 파악되면 본격적인 자료취득을 위한 surface scan을 실시하여 대상구조물 표면의 3차원 자료를 얻게 된다(그림 6 좌). 이때 대상구조물 표면의 레이저 반사강도(intensity)에 의한 흑백영상(Gray scale image)이 얻어지며, 구조물 표면에 설치된 락볼트, 철재빔 등의 구조물의 경우 주위 콘크리트와 반사강도가 상이하여 육안으로 분포 위치 및 현황을 파악할 수 있다. 콘크리트 내 누수 또한 레이저 조사빔의 산란에 따라 반사강도가 약화되어 쉽게 인식할 수 있다.

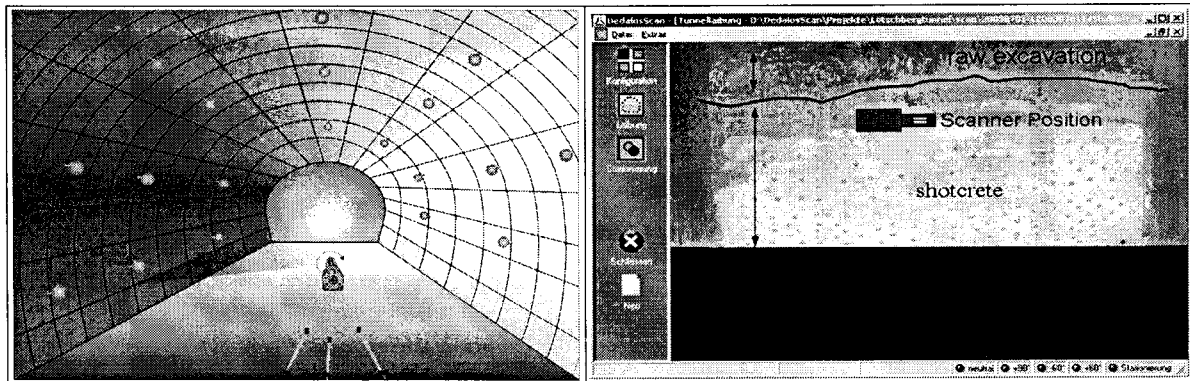


그림 6. 좌:Surface Scan, 우:결과

터널에 레이저스캐너를 운용할 경우 반사강도 영상을 분석하면 암반 노출면과 쇼크리트면, 누수지점, 보강재 분포 등의 분석이 가능하다(그림 6 우).

3. 지하구조물 사례 분석

3.1 여수원유비축기지 용적측량

본 조사 현장은 전남 여수시에 위치한 지하원유비축기지로서 중생대 백악기 유천층군에 속하는 안산암으로 구성되어 있다. 해수면 이하의 치밀한 안산암 지반내에 지하캐번을 건설하고 원유를 비축하는 시설로서 원유저장시 각 저유 수위에 따른 체적을 산정하고자 본 조사를 실시하게 되었다(그림 7).

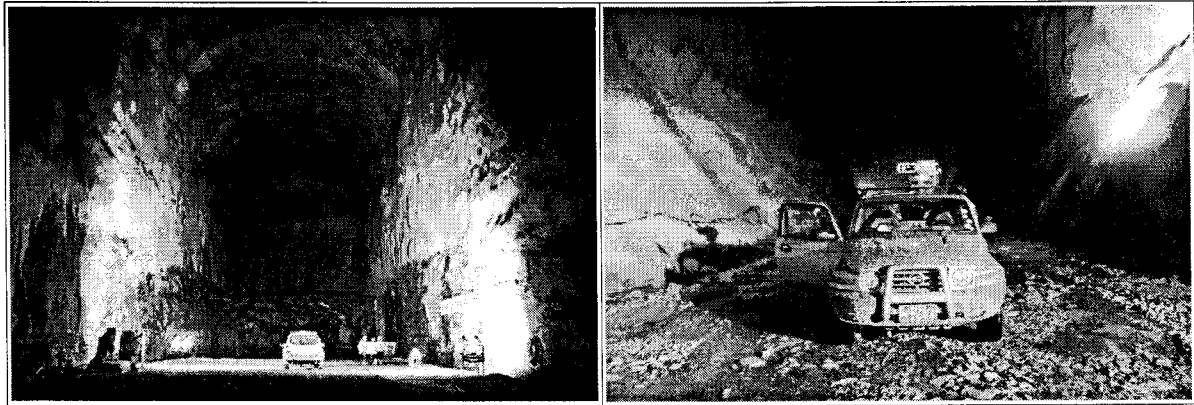


그림 7. 좌:지하원유비축기지 전경, 우:현장 운용전경

지하캐번 1개의 폭은 약 30m, 높이는 60m, 연장 600m에 이르는 대규모 구조물로서 일반 광파기를 이용한 측량 방법에서 발생하는 오차를 극복하고자 3차원 레이저스캐너에 의한 체적측량을 실시하였다. 3주의 조사기간 동안 수백차례의 스캐닝에서 얻어진 점군데이터를 하나의 셸(shell)로 병합(registration)한 후 일정 높이에 따라 단면(slice)을 형성하여 면적을 계산함으로써 각 저유레벨에 따른 체적을 산정하였다(그림 8).

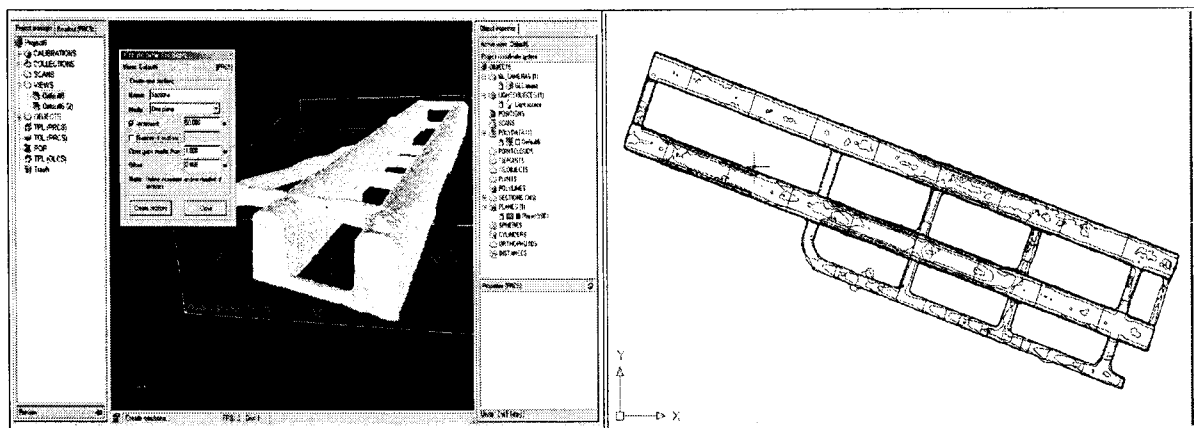


그림 8. 좌:셸 병합, 우:등고라인 형성(slice)

적용성 분석결과 본 현장과 같이 치밀한 안산암으로 구성된 특수지질 지반조건에 건설된 지하구조물에 대해 레이저스캐너를 적용할 경우, 조사기간 3주, 조사인원 5명이라는 최소의 인력과 시간으로도 대규모 시설에 대한 체적, 형상, 치수 등의 각종 지오메트리 분석에 비용절감 효용성이 높은 것으로 나타났다.

3.2 동해 석회석 광산 지질 mapping

본 현장은 삼척시 신기면에 위치하는 석회광산으로 고생대 풍천층의 일부인 석회암으로 구성되어 있다. 현장에 분포하는 단층 및 절리, 엽리의 불연속면과 암상변화에 따른 상세지질 mapping을 실시하기 앞서 레이저스캐너를 이용하여 정밀 basemap을 작성하였다(그림 9). 작성된 정밀 basemap을 활용하여 facemap을 작성함으로써 현장조사 과정에서의 활용성을 평가해 보고자 한다.

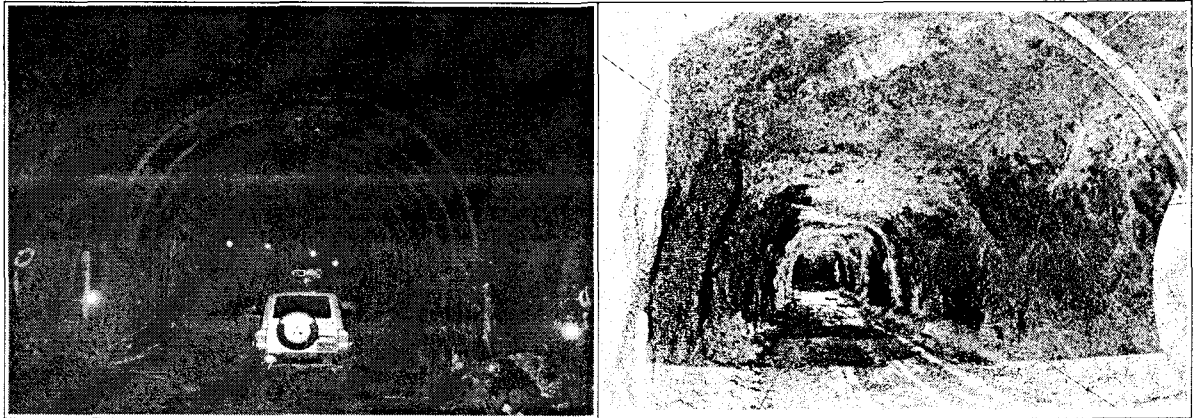


그림 9. 좌:광산내부 전경, 우:점군데이터

조사된 점군데이터로부터 셸(shell)모델을 생성하였으며, 3차원 모델상에서 자유롭게 방향을 돌려가며 입체적인 분석을 실시함으로써 불연속면에 대한 정확한 방향성산정이 가능하다(그림 10 좌). 추출된 불연속면과 셸에 대해서 전개도형식의 평면도를 작성한 후 이를 가지고 현장에서 mapping작업을 실시하여 그림 10 우와 같은 결과를 얻었다. 얻어진 facemap의 경우 각종 지질요소의 기입위치와 크기가 실제 스케일 및 좌표로 반영된 것으로써 보다 정확한 지질조건 분석 및 다음 막장에서의 지질 예측이 가능하다.

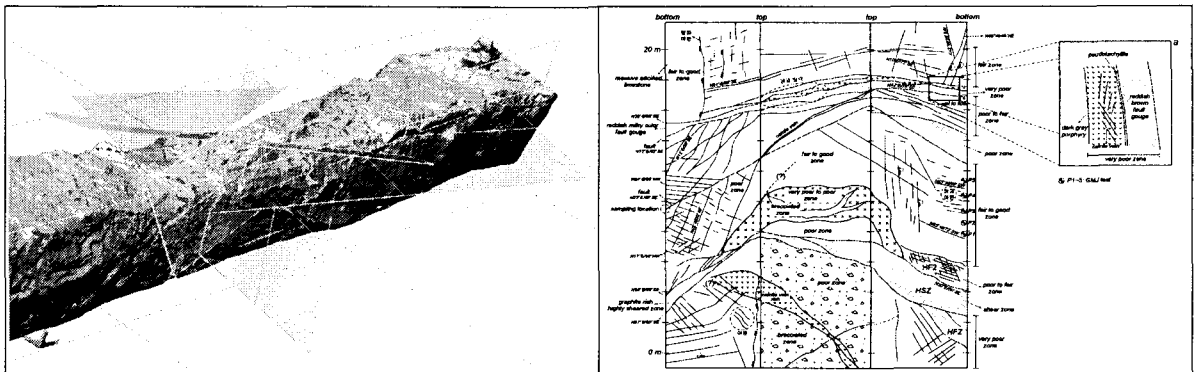


그림 10. 좌:불연속면 방향성 분석, 우:최종 facemap 작성

적용결과 기존 육안조사 방법보다 전체 작업시간은 다소 더 소요되나 현장 mapping 작업시 각종 지질요소의 위치결정에 지체시간이 절감되어 작업능률이 향상되는 것으로 나타났다. 또한 기존 측정기구 접촉에 의한 방식보다 보다 기입대상 지질요소의 전반적인 분포경향을 감안한 정밀측정이 가능하여 조사 효율성이 증가하는 것으로 파악된다.

4. 절토사면 적용사례 분석

4.1 강원도 국도35호선 공사현장 붕괴 절토사면 조사

본 조사대상 절토사면은 강원도 정선군 국도 38호선 신설구간 절토사면으로 높이 46m, 연장 100m 규모를 가진다. 구성암상은 고생대 석회질이암으로 사면 경사방향과 저각으로 교호하는 대규모 단층으로 인해 사면 좌우측부에 각각 평면파괴 및 췌기파괴가 발생되었다. 사면에 분포하는 활동면 및 단층면의 방향성을 조사하고 중앙 이완암괴 제거시 토공량을 산정하기 위해 레이저스캐너를 이용한 조사를 실시하였다(그림11).

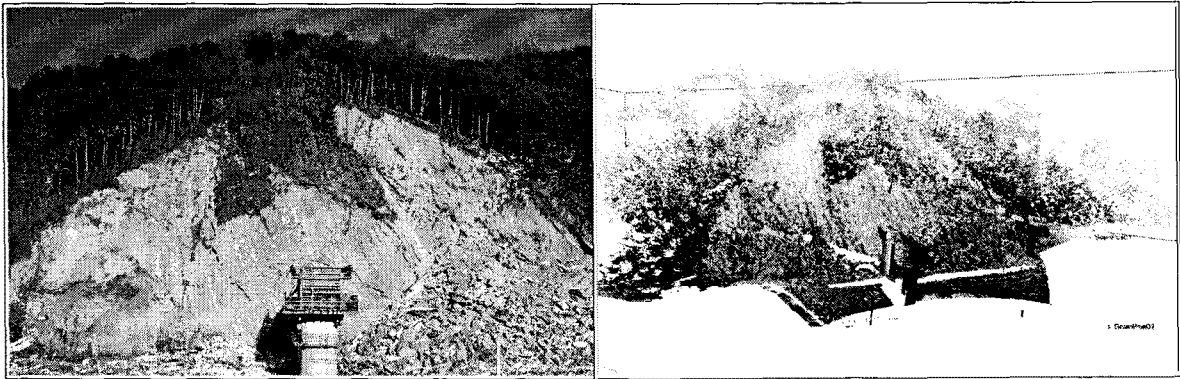


그림 11. 좌:전경사진, 우:점군데이터

조사사면에서는 개략적으로 3개의 단층, 층리면, 층리면과 수직한 두 방향의 절리가 분포하고 있다. 단층면 및 활동면의 경우 추가붕괴에 대한 위험성으로 접근이 불가하였으며 각 불연속면의 전체적인 방향성 분석을 위해서는 레이저스캐너 적용이 효과적이라 판단되었다.

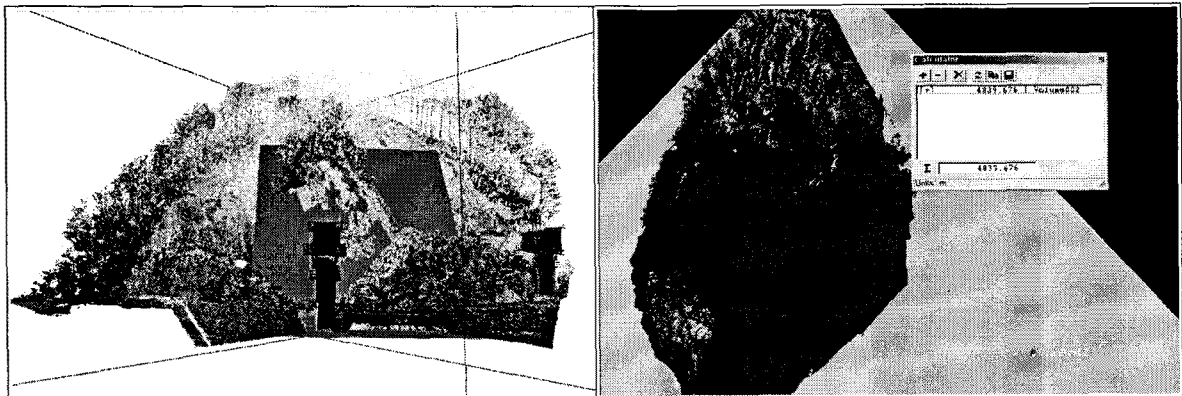


그림 12. 좌:방향성 분석, 우:체적 분석

3조 단층면에 대한 방향성 분석결과 우측부는 57/199, 좌측부는 77/092, 사면 중앙부는 20/223으로 나타났으며 중앙 이완암괴 제거시 토공량은 4,839m³인 것으로 분석되었다. 붕괴사면에 대한 레이저스캐너 적용시 기존 접촉식에 의한 조사보다 조사자의 작업안정성이 우수하며 대규모 지질구조에 대한 정확한 방향성 조사가 가능한 것으로 판단된다(그림12).

4.2 굴포천 방수로 사면 지질조사

본 적용사례는 굴포천 방수로 양안사면 현장으로서 선캠브리아기 편마암류와 변성석회암류 등을 포함 총 6~8개의 암종이 분포한다. 또한 사면양안을 관통하는 수십매의 대규모 주향이동 단층과 황철석에 의한 산성배수가 관찰되는 복잡한 지질조건을 가지고 있다. STA. 364~376 부근에서 사면과 저각으로 교호하는 단층에 의해 대규모 평면 파괴가 발생되었다(그림 13). 붕괴사면 조사시 추가붕괴에 따른 위험성 및 붕괴면(단층면)이 대규모인 관계로 정밀한 단층면 특성조사에 한계가 있어 사면 반대편에서 레이저스캐너에 의한 조사를 실시하였다.

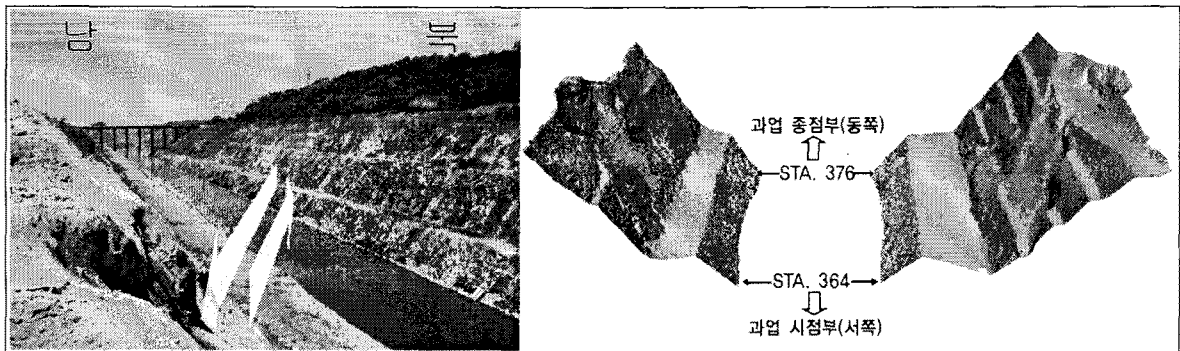


그림 13. 좌:양안사면에 발달하는 단층, 우:점군데이터

단층면에 대해서는 활동방향에 따른 3m 스케일의 거칠기(JRC) 및 단층면의 방향성 분석을 실시하였다. 우선 붕괴 사면에 대한 스캐닝작업으로 쉘(shell)을 형성하였으며 이에 거칠기 측정을 위한 측선 30개와 방향성 분석을 위한 측정점 100개소를 활동면상에 설정하였다(그림 14).

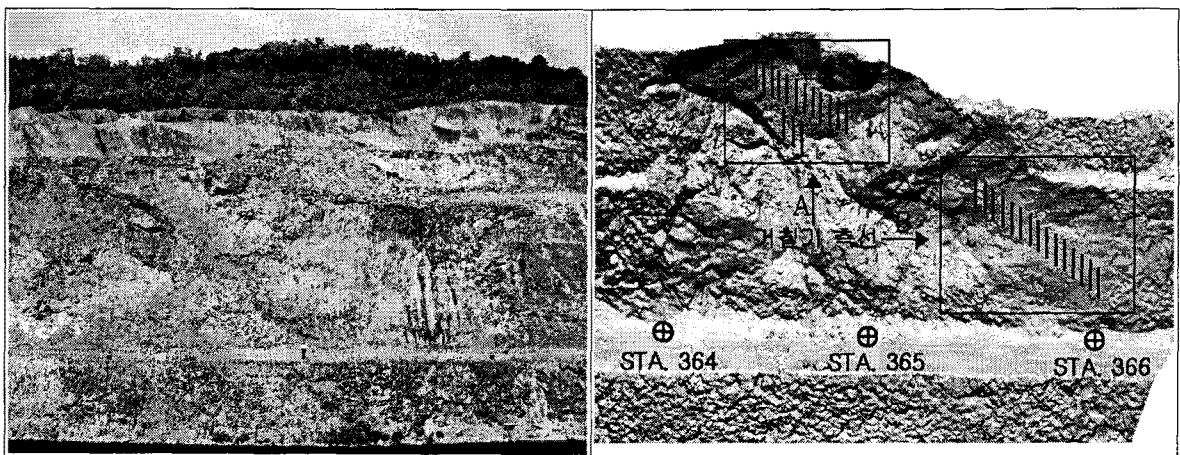


그림 14. 좌:붕괴사면 전경사진, 우:단층면 방향성 및 거칠기 분석

분석결과 단층면의 방향성은 N75W/46SW이며 피셔함수값 k 는 63.2의 특성을 갖는 것으로 분석되었다. 단층면에서의 거칠기 값은 최대값 10.0, 최소값 0.6, 평균 5.42, 표준편차 2.2의 확률특성값을 갖는 것으로 분석되었다. 분석된 방향성 및 거칠기 값은 붕괴사면의 확률론적 안정해석을 위한 강도정수 및 설계입력 자료로 활용하였다(그림 15).

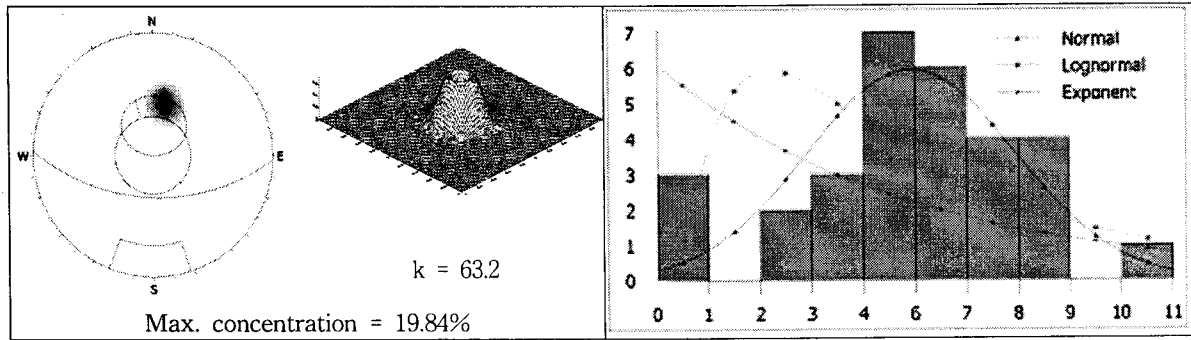


그림 15. 좌:단층면의 방향특성, 우:거칠기(JRC) 분석결과

확률론적 안정해석은 결정론적 안정해석에 비해 우수한 이론적 근거를 가짐에도 불구하고 다량의 조사자료가 필요한 단점을 가지고 있어 실무에서의 활용성이 떨어진다. 그러나 본 조사에서와 같이 레이저스캐너를 활용하면 조사자의 안전성을 확보하면서도 비접촉식에 의해서 다량의 데이터를 신속히 얻어내는데 적용성이 높은 것으로 판단된다.

5. 결론

지하구조물인 원유비축기지 및 석회광과 지상구조물인 방수로 및 도로 절토사면에 대해 레이저스캐너 시스템을 이용한 조사사례로부터 적용성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 레이저스캐너를 이용하여 터널내의 단층, 절리 등의 불연속면에 대해 조사할 경우 기존 인력조사가 가지는 측정방식의 한계에서 탈피하여 분포 위치, 방향성, 불연속면 규모에 대해 정량적인 조사가 가능한 것으로 분석되었다.
- 2) 대규모 붕괴사면에 대한 기존 인력조사 방식에서는 접근위험성 및 조사수량의 한계를 가지고 있으나 레이저스캐너를 이용하면 비접촉식에 의해서도 체적, 방향성에 대한 조사를 안전하고 정확하게 조사할 수 있는 것으로 파악되었다.

참고문헌

1. 박성욱, 윤운상, 노남균(2004), "레이저스캐너와 BB-model을 이용한 확률론적 암반사면안정해석 사례연구", 대한지질학회 추계논문집, 2004.01.29
1. 박정훈, 박성욱, 윤운상(2006), "차세대 철도건설을 위한 3차원터널레이저 스캐닝 적용사례", 한국철도건설공학협회 논문집, 2006년, pp.189~201.
2. 윤운상 외(2005), "레이저 스캐닝을 이용한 단층대 구간 암반사면의 붕괴특성 분석", 2005년 한국지반공학회 사면안정 학술발표회 논문집, pp.87~95.
3. RIEGL(2006), "Datasheet LMS-Z360i", RIEGL, pp.2~5.
4. RIEGL(2005), "System Configuration LMS-Z360i", RIEGL, pp.21~35.
5. GEODATA(2006), "Arbeitsanweisung Tunnelscanner Auswertung", GEODATA, pp.5~10.