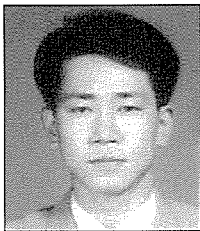


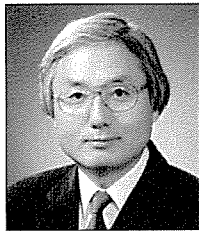
3차원 스캐닝 기법을 활용한 사면 안정성 평가 및 대책



(주)삼보기술단 지반부 차장
서울대학교 박사과정
유영일



(주)삼보기술단 지반부 이사
토질 및 기초기술사
오정배



(주)삼보기술단 지반부 전문이사
토질 및 기초기술사
하광현

1. 서론

암반사면의 안정성은 암반불연속면의 방향성 및 공학적 특성에 좌우된다고 할 수 있다. 하지만, 암반 불연속면 방향성과 절리빈도에 대한 정보를 취득하기가 쉽지 않은 사면이 대부분이다. 이러한 사면에 대해서는 3차원 스캐너를 이용하여 정보를 획득하는 것이 아주 유용하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 석산개발로 인해 노출된 대절취된 암반사면에 대하여 3차원 스캐닝을 통해 획득된 정보를 바탕으로 평사투영법을 이용하여 암반사면의 위험성을 검토한 후 불연속체 해석을 통한 안정성 평가 및 대책 검토를 수행하였다. 또한, 실제 낙석무게의 추정을 통한 낙석안정성 평가 및 대책을 마련하고자 한다.

2. 대상 암반사면의 현황 및 계획

2.1 대상사면의 현황

대상 사면은 00터널 갱구사면으로서 석산 개발중에 있으며 터널축방향과 암반사면방향은 거의 직교하고 있다.

암반사면은 지질학적으로 안산암으로 구성되어 있으며 석산개발이 진행중으로 1:0.5 기울기로 급경사를 이루고

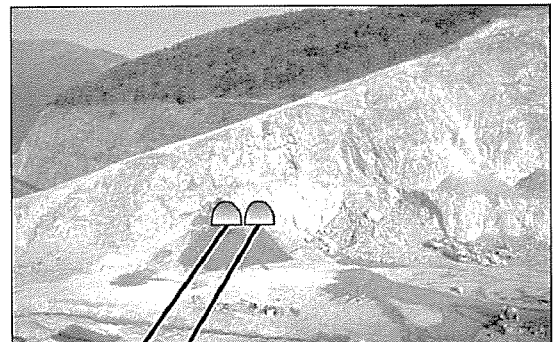


그림 1. 갱구사면 현황

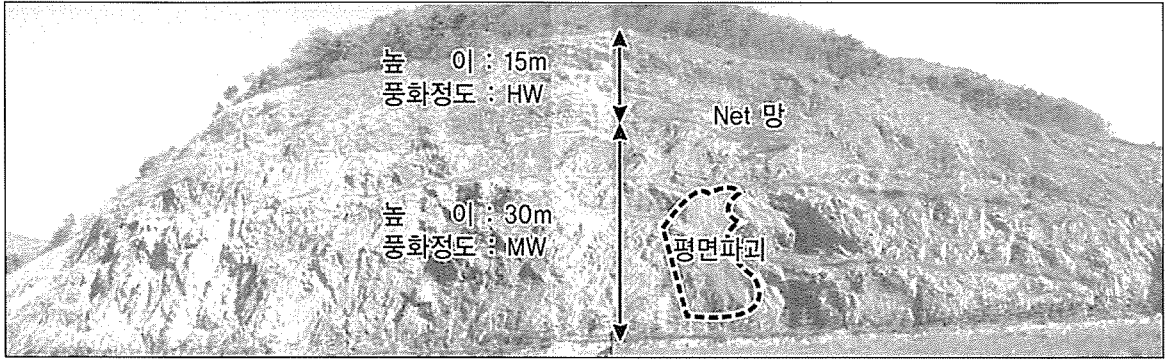


그림 2. 갱구 측면 암반사면 현황

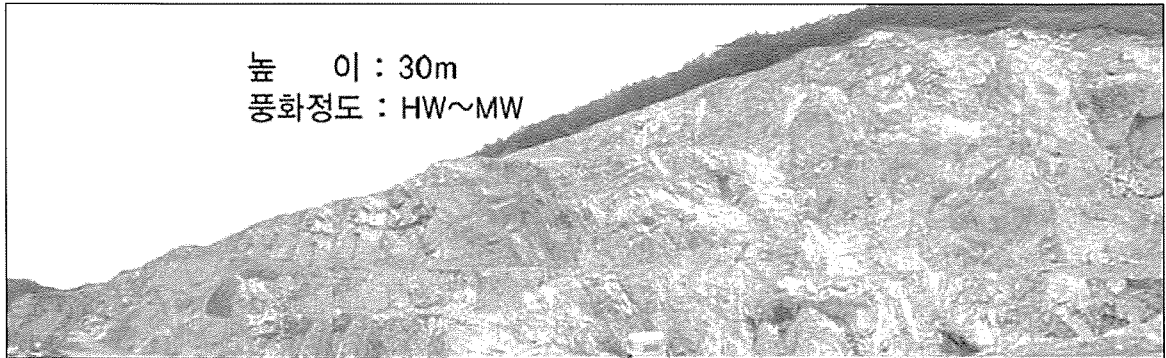


그림 3. 갱구 배면 암반사면 현황

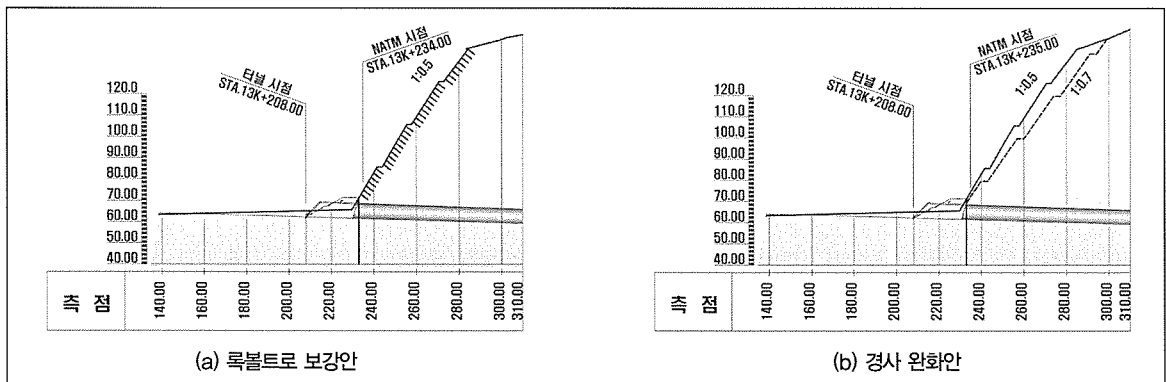


그림 4. OO터널 시점부 갱구계획도

있다. 암반사면의 풍화정도는 MW~HW상태이며 갱구 측면 사면에 평면파괴 흔적이 있으며 갱구 배면사면에는 단층 파쇄대가 존재하고 있다.

2.2 갱구사면 계획

OO터널 갱구배면사면 계획시 석산개발 굴착라인에서 록볼트로 보강하는 안과 경사 완화에 대한 사면안정성 검토를 수행하고자 한다.

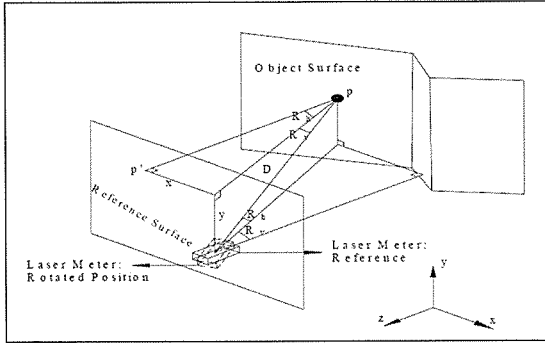


그림 5. 3-D 레이저 스캐닝의 원리

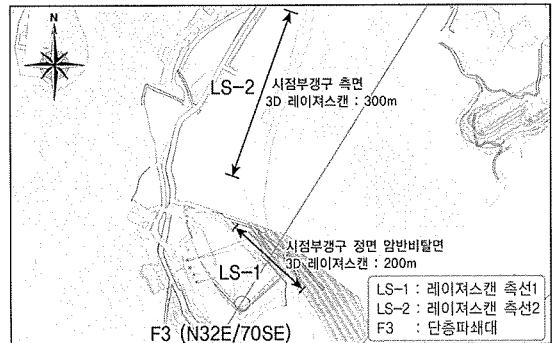


그림 6. 터널 갱구 암반사면에 대한 3-D스캐닝 조사

3. 3-D 스캐닝기법을 이용한 불연속면 방향성 분석

3.1 3-D 스캐닝 원리

3-D 레이저 스캐닝은 측량용 토탈스테이션과 동일한 원리로 작동된다. 즉, 적외선 또는 가시광선 파장대의 레이저를 송신하고 물체에 반사되어 돌아오는 레이저를 수신하여 거리를 측정하고, 거리 측정과 동시에 레이저 빔의 수평, 수직각을 정밀히 측정하여 이를 3차원 좌표로 환산하는 것이다. 기존의 토탈스테이션이 측정하고자 하는 특정한 점을 겨냥하고 측정하는데 반하여, 3D 레이저 스캐닝은 1초당 1,000 포인트 이상의 측정 속도를 가지므로 측정하고자 하는 3차원 영역을 원하는 간격으로 조밀하게 무작위 측정을 한 후, 컴퓨터상에서 원하는 특정점의 좌표를 계산해내는 방식을 취한다. 따라서 레이저 스캐닝은 기존의 방법으로는 할 수 없었던 여러 가지 과업을 효과적으로 수행할 수 있도록 해준다.

레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 결정하고, R_h 와 R_v 각도만큼 수평, 수직으로 회전하여 측정할 점 p치를 결정하는 방법으로써 다음과 같이 삼각함수 계산에 따라 정의할 수 있다.

$$X = D \cdot \sin(R_h), y = D \cdot \sin(R_v),$$

$$X = D \cdot \cos(R_h) \cdot \cos(R_v)$$

3.2 조사구간

터널 갱구사면이 형성되는 정면 암반사면과 측면사면에 대하여 3차원 스캐닝기법을 활용하여 암반사면의 절리를 그림 6과 같이 조사하였다.

3.3 불연속면 방향성 분석 결과

각 암반사면에 대한 3-D 레이저 스캐닝 결과는 그림 7,8과 같고 획득된 절리수는 갱구 배면 130개, 측면에서 314개로 모두 444개이다.

갱구 배면 및 측면사면 3-D 스캐닝 조사결과를 종합하여 분석한 결과는 표 1과 그림 10과 같다.

3.4 불연속면 크기 분석 결과

불연속면의 기하학적 특성 중 가장 규명하기 어려운 부분이 불연속면의 크기 분포이다. 이는 불연속면을 조사할 수 있는 영역이 1차원의 시추공이나 2차원의 지표면의 노두로 한정되어서 암반 내부의 불연속면의 크기를 측정할 수 없기 때문이다. 따라서, 노두 조사에서 얻어진 불연속면의 연장성 자료를 바탕으로 불연속면의 크기 분포를 추

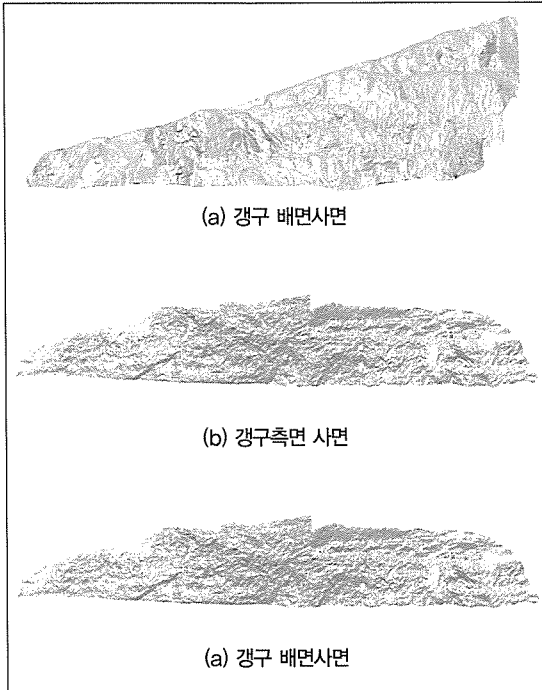


그림 7. 3-D 레이저 스캔 결과

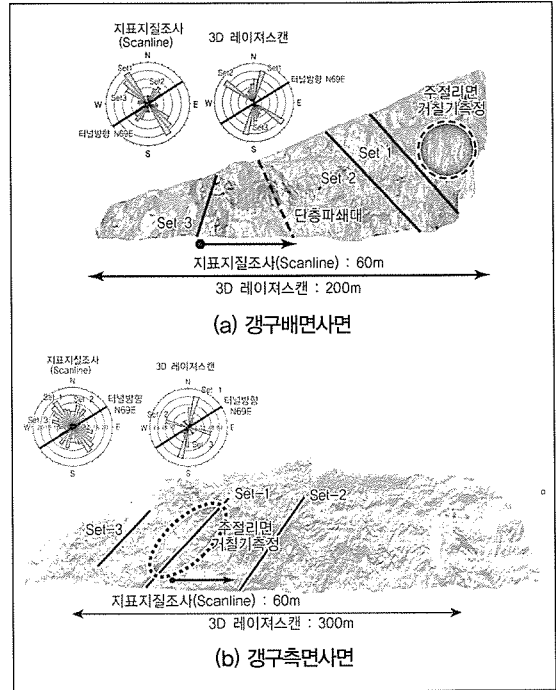


그림 9. 3차원 스캐닝 분석 결과

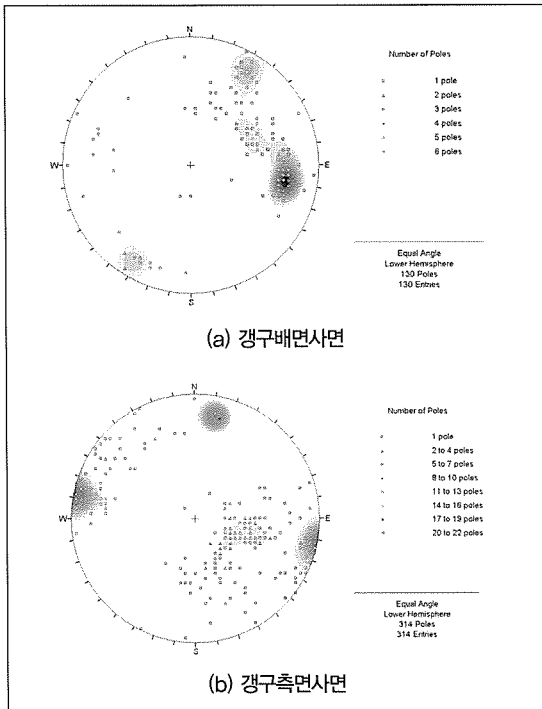


그림 8. 절리면 극점분포

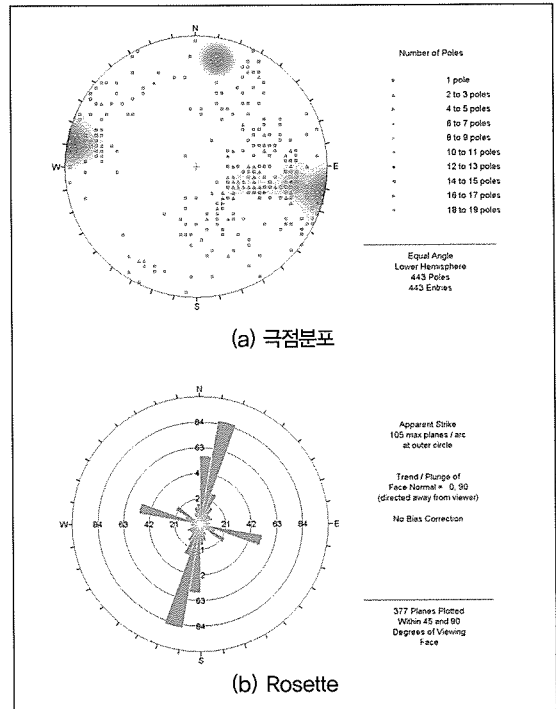


그림 10. 절리방향성 종합분석

표 1. 절리군 방향성 분석결과

구분		Set-1	Set-2	Set-3
3D 레이저 스캔	LS1 (정면)	N08E/73NW (73/278)	N59W/88SW (88/211)	N28W/55SW (55/242)
	LS2 (측면)	N11E/88SE (88/101)	N79W/80SW (80/191)	N15E/49NW (49/345)
	LS1+LS2	88/281	79/190	49/285

표 2. 절리길이 및 밀도 분석결과

구분		Set-1	Set-2	Set-3
절리길이	최소값(m)	0.2	0.2	0.3
	최대값(m)	30.0	30.0	18.8
	평균(m)	4.8	2.4	2.8
절리밀도	m ⁻¹	0.759	1.862	0.586

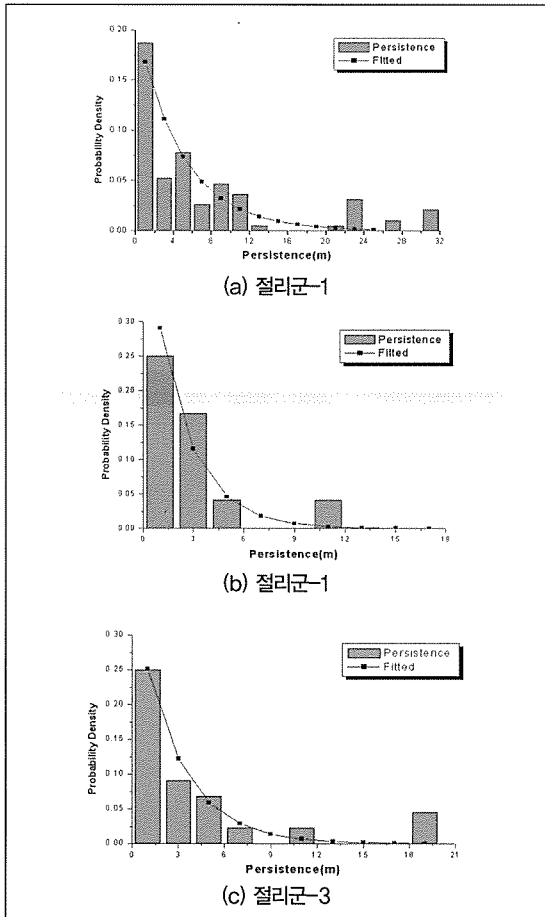


그림 11. 절리길이 종합분석

정하였다. 일반적으로 작은 불연속면의 경우 노두면에 노출될 확률도 적어지므로 불연속면의 노두 조사에서 얻은 연장성 분포는 실제 이론적 3차원 불연속면의 크기 분포보다 큰값을 보이는 경우가 많기 때문에 본 해석에서는 보

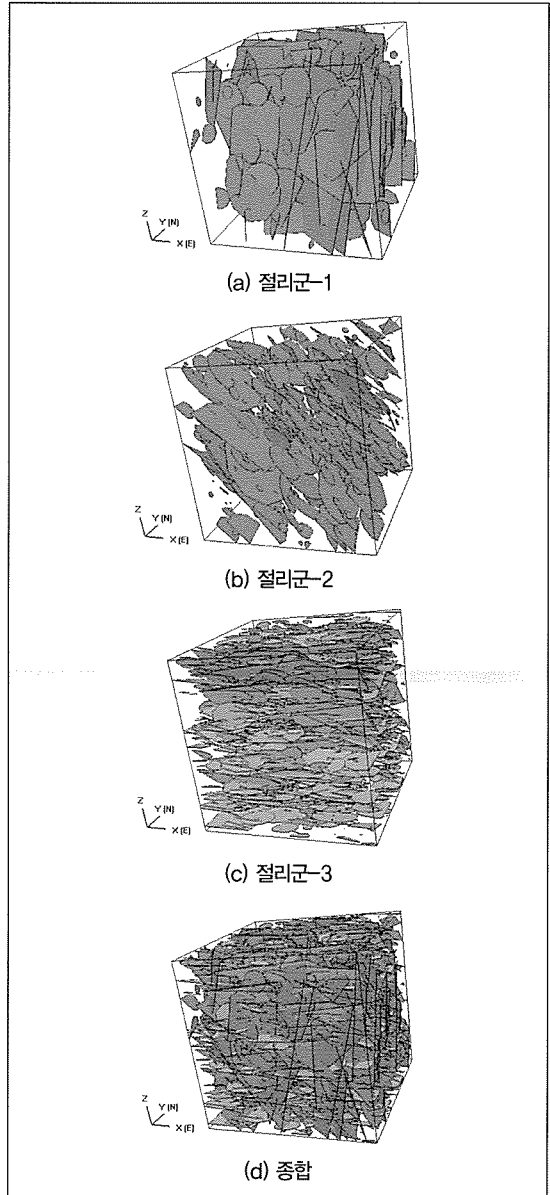


그림 12. 3차원 절리망 작성



수적으로 노두조사에서 얻어진 연장성 분포값에 근거하여 불연속면의 크기를 음지수 분포를 이용하여 추정하였다.

FracMan의 일부 모듈인 FracWorks를 통하여 50m×50m×50m의 영역에 3차원 불연속면 연결망을 가시화하였다.

4. 사면안정성 평가 및 대책

4.1 평사투영 해석

대상사면에 대한 안정성 분석은 우선적으로 3차원 레이저 스캐닝을 통해 취득한 사면 불연속면들에 대한 주향과 경사 기록을 이용하여 평사투영해석을 실시하였고, 평사투영해석 결과 예상되는 사면파괴 형태에 대하여 불연속체 해석을 수행하여 사면 안정성 여부를 판단하였다.

평사투영해석 결과, 썩기파괴의 경우는 사면기울기 1:0.5, 1:0.7, 1:1.0 3가지 경우 중 1:1.0구배에서만 썩기파괴가 나타나지 않았다. 평면파괴의 경우도 1:1.0구배에서만 평면파괴가 나타나지 않았다. 전도파괴의 경우는 모든 기울기에서 파괴가 일어나지 않았으나 가능성은 있다고 볼 수 있다.

4.2 불연속체 해석에 의한 사면안정성 평가

불연속체 해석을 수행한 결과, 사면기울기 1:0.5인 경우는 변위가 12.0cm, 1:0.7인 경우는 변위가 2.4cm 발생하였다. 사면기울기 1:0.5를 적용할 경우에는 변위가 크게 발생하여 사면보강대책이 필요한 것으로 검토되었다.

또한, 사면정상부에서 변위가 많이 발생하여 낙석에 대한 검토시 사면정상부에서 낙석이 일어난다고 판단하고 수행할 필요성이 있다고 판단하였다.

평면파괴에 대한 보강대책으로는 크게 1) 평면활동이

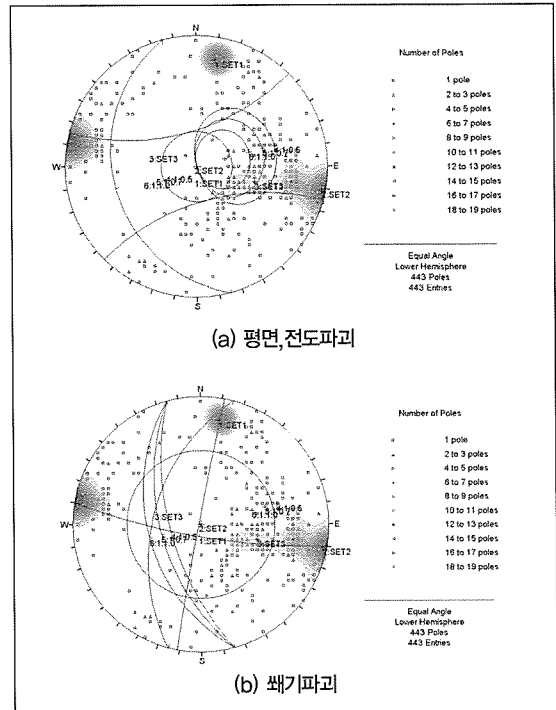


그림 13. 평사투영해석 결과

예상되는 불안정한 암괴들을 제거하여 사면경사를 완화시키는 방법과 2) 불안정한 부분에 대하여 Rock bolt + 슛크리트 등의 보강재를 시공하여 사면을 안정시키는 방법이 있으나, 현재의 현장 여건상 1)의 방법을 적용하기에는 장비 진입의 어려움 등이 예상되어 2)안을 적용하여 사면을 보강하였다.

사면보강에 대한 불연속체 해석 결과, 변위가 1.06cm 발생하여 평면파괴시에 록볼트 및 슛크리트 설치로 10cm 정도 변위가 감소하였다.

4.3 낙반블록에 대한 안정성 평가

낙반시 위험성이 큰 사면기울기 1:0.5인 경우에 대하여 낙석검토를 수행하였다.

낙석무게의 추정을 위해 스캔라인 조사에 의한 낙석무

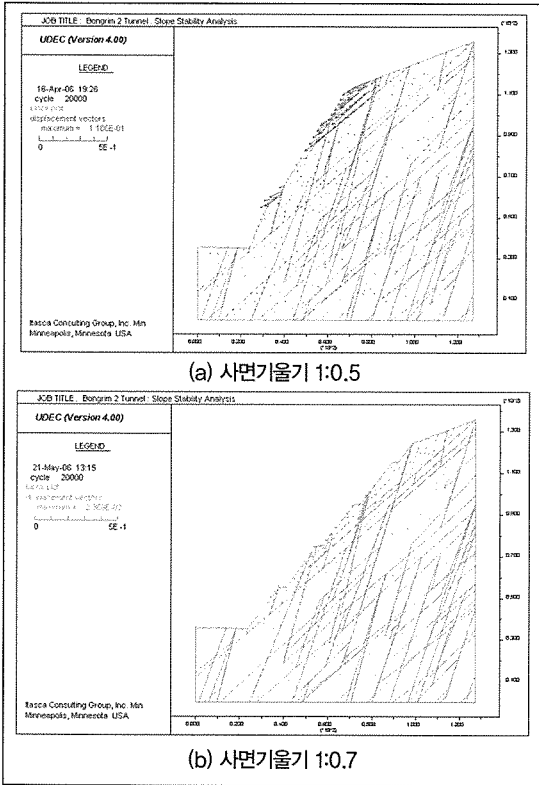


그림 14. 불연속체 해석 결과

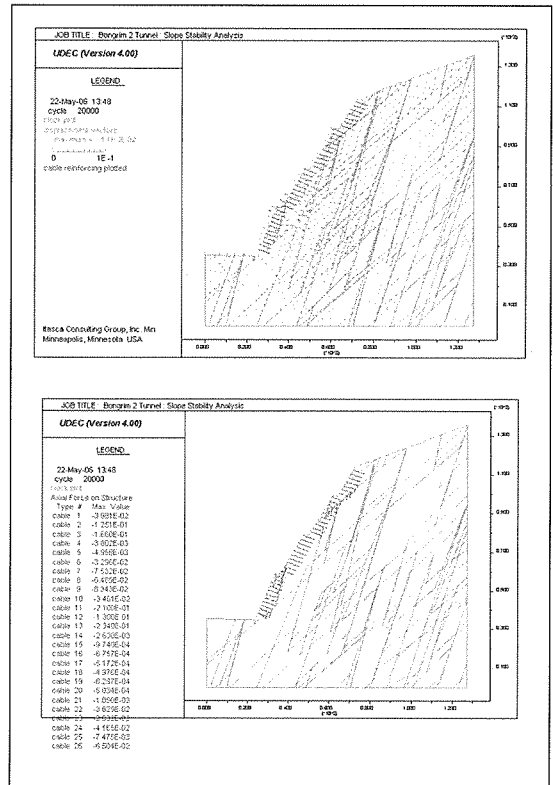


그림 15. 불연속체 해석 결과(사면기울기 1:0.5 + 사면보강)

계와 문헌자료에 의한 최대낙석무게를 비교하였다.

낙석초기속도는 일반적으로 1.0~3.0m/sec 이므로 본 설계에서는 최대값인 3m/sec를 적용하였으며, 발파에 의해 절개면의 시공이 이루어지므로 절개면의 표면부에 암반이 직접 노출되어 낙석의 반발계수도 증가할 것으로 판단하였다. 암사면 절개면에 적용하는 반발계수는 암반노두가 분포하는 상태로 문헌에서 제시되는 값을 이용하였고, 소단부위는 잡석과 식생이 분포되는 것으로 모사하여 검토를 수행하였다.

낙석안정검토에는 Rocfall 프로그램을 적용하였고, 최대 낙석무게를 고려하여 Point Seeder방식을 적용하였다.

낙석방지책 설계시 의미를 갖는 값은 최대 충돌에너지와 최대반발높이로 Rocfall 프로그램 Simulation결과를

표 3. 낙석무게 산정

한국도로공사 (2001.12)	한국지반공학회 불합속발표회	스캐러인 조사
400kg (조사자료가 없을 경우)	0~300kg	300kg

표 4. 설계적용 반발계수

구 분	소단부위	암반 노두
수직반발계수(Rn)	0.32	0.35
접선반발계수(Rt)	0.80	0.85

반영하여 낙석방지책 높이로 3.2m, 90kJ이상의 충돌에너지를 흡수할 수 있도록 설계하였다.

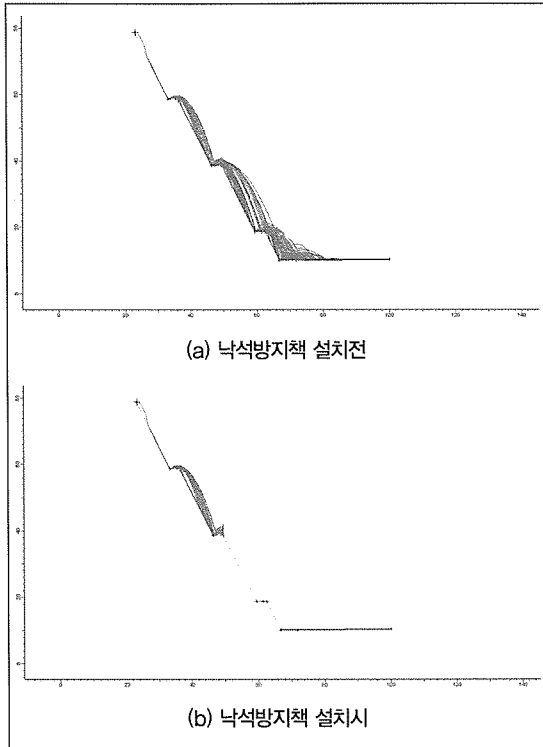


그림 16. Rocfall simulation 결과

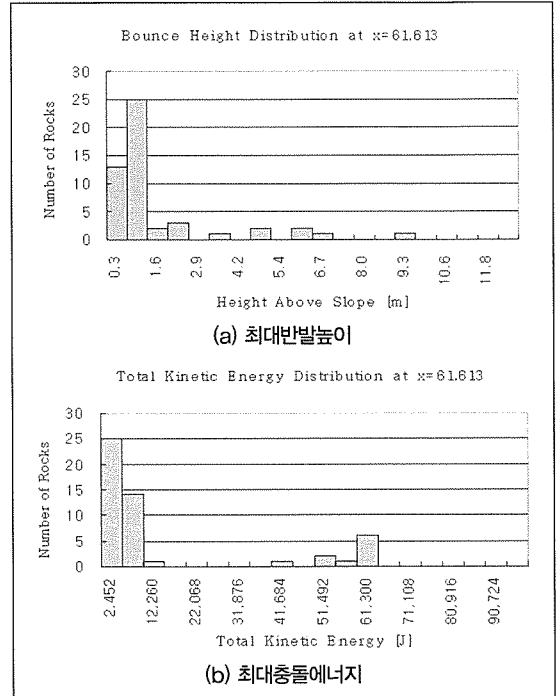


그림 18. 낙석방지책 설치전 Rocfall 해석결과(B지점)

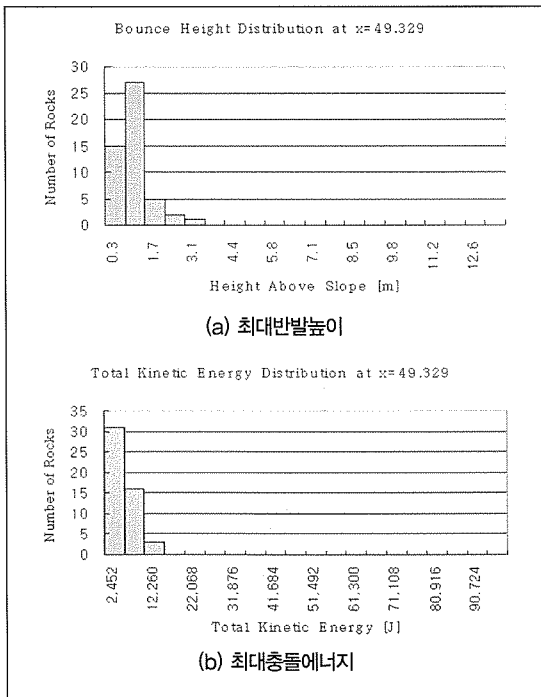


그림 17. 낙석방지책 설치전 Rocfall 해석결과(A지점)

5. 결론

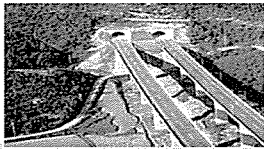
3D 레이저 스캐너 조사 결과를 활용하여 사면안정성을 평가하여 대책방안을 제시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 평사투영해석결과 평면파괴가 예상되어 불연속체 해석 수행 후 안정성을 평가하였다. 록볼트와 슛크리트 로 사면보강안과 경사완화안을 비교검토한 결과 경사완화안이 안정성이 조금 우수하나 시공성이 결여되므로 사면보강안을 적용하였다.
- 2) 사면보강안에 대한 낙반안정성 검토결과, 사면중간에 소단을 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

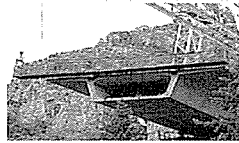
[참고문헌]

1. 임은상 외 4인(2006), "3차원 스캐닝을 활용한 사면의 안정성 평가 및 대책공법 수립", 지반공학회 춘계학술 발표회
2. 김수철 외 3인(2005), "선조사 결과에 의한 실제낙석무게분포의 추정과 설계적용성 검토", 지반공학회 추계학술발표회
- 3) 김동휘 외 3인(2005), "절리계 모사결과의 암반사면설계 적용 사례", 지반공학회 추계학술발표회
- 4) Palmstrom,A(1995), "RMI-a rock mass characterization system for rock engineering purposes", Ph.D thesis, University of Oslo, Norway, pp.409

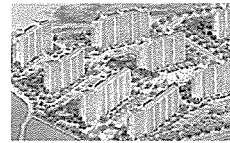
최고의 기술을 제공하는 다솔컨설턴트



◆ 지반공학분야 ◆



◆ 구조분야 ◆



◆ 도로, 택지분야 ◆

(주)다솔컨설턴트
www.dasolcon.co.kr

서울시 강남구 역삼동 790-15 서성빌딩 2층
전화:(02) 508-2290 팩스:(02) 508-2297



(주) 주 촛 돌 E.N.C

K. S. E & C

- ◎ 도로 및 단지설계
- ◎ 가시설 및 지반조사
- ◎ 설계검토 및 기술자문
- ◎ 사면보강 및 기초설계
- ◎ 연약지반 및 터널설계
- ◎ 계측관리 및 측량

◆ 서울시 서초구 서초동 1339-7호 청화빌딩 3F ◆

▶TEL: 02-587-8776

▶FAX: 02-587-8978