

## 국도와 인접한 절토부 사면안전성 대책에 관한 연구

### A Case Study on Investigation Stability of Cut Slope in Road

이승호<sup>1)</sup>, Lee, Seung-Ho, 임재승<sup>2)</sup>, Lim, Jae-Seung, 정태영<sup>3)</sup>, Cheong, Tae-Young  
신희순<sup>4)</sup>, Shin, Hee-Soon, 이은동<sup>5)</sup>, Lee, Eun-Dong

- 1) 상지대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 정회원
- 2) 쌍용건설(주) 과장, 기술사, 정회원
- 3) 상지대학교 토목공학과 지반공학연구실 연구원, 석사과정, 학생회원
- 4) 한국지질자원연구원 연구부장, 공학박사, 정회원
- 5) 원주 지방 국토관리청 하천과장

**SYNOPSIS** : Construction and extension of road by industrialization are increasing. According to this, construction of large cutting slope is increasing. Therefore, many methods for slope stability by this are applied. Failure happens according to dip and dip direction of slope. It is actuality that is connoting unstable element.

This slope include coaly shale. Stability of slope failure this study takes place by road extension running examination for stability property calculate. Use this and examined stability about stereographic projection and wedge failure. Apply suitable reinforcement countermeasure about unstable cutting slope and analyzed stability. Wish to consider effective and robust processing plan of great principle earth and sand side securing stability. Hereafter with these data, is going to utilize in reinforcement and failure prevention.

**Keywords** : stereographic projection, wedge failure, slope stability, large cutting slope, coaly shale

## 1. 서 론

전국의 도로망이 고속화 됨에 따라 도로 개설 및 확장 공사가 진행 중이다. 이런 경우 절개지의 발생은 필연적이며 대규모 절토사면의 시공이 증가하고 있는 추세이다. 이에 따른 도로절개사면의 주변에는 자연환경에 노출되어 있는 암반의 풍화, 강우, 해빙시 암반블록의 이탈 등으로 인한 낙석 또는 사면의 붕괴나 파괴가 발생되고 있다. 사면붕괴로 인하여 직·간접적인 인명피해 및 재산피해가 발생하고 있는 실정이며, 이러한 피해를 최소화하기 위하여 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구 대상 사면은 ○○고속도로 구간 중 제1구간, 제2구간, 제3구간이며, 교통 운행 중인 국도와 인접해있다. 탄질 세일 및 탄층이 불안정하게 협재되어 있어 사면 붕괴의 가능성과 이에 대한 안정성 확보를 검토하기 위하여 현장 조사 및 실내시험을 수행하여 지반정수를 산정하였다. 이들 결과를 이용하여 평사투영해석과 썸기파괴에 대한 안정성을 검토하였다. 불안정한 구간에 대해서는 적절한 보강대책을 적용하여 안정성을 검토 하였다. 이에 대한 안정성 분석은 기존 자료 및 본 연구기간 중에 추가 조사한 내용을 이용하여 안정성 검토를 실시하였으며, 합리적인 Rock bolt 보강 및 빠른 풍화로 인한 낙석에 대한 보호 대책을 강구하였다.

## 2. 대상사면 현황 및 붕괴 원인

본 연구의 대상 사면은 ○○고속도로 공사 구간 중 인접한 3개 구간(제1, 2, 3구간)을 대상으로 하였다. 연구 대상의 사면부는 고생대 평안계 만항층에 해당하는 지층으로서 주구성 암석은 셰일이며 부분적으로 사질셰일, 사암, 탄질셰일 및 탄층이 협재되어 있을 뿐만 아니라 변성작용의 영향에 의한 저변성셰일(공정석 셰일) 또한 관찰되었다.(Fig 1 참조)

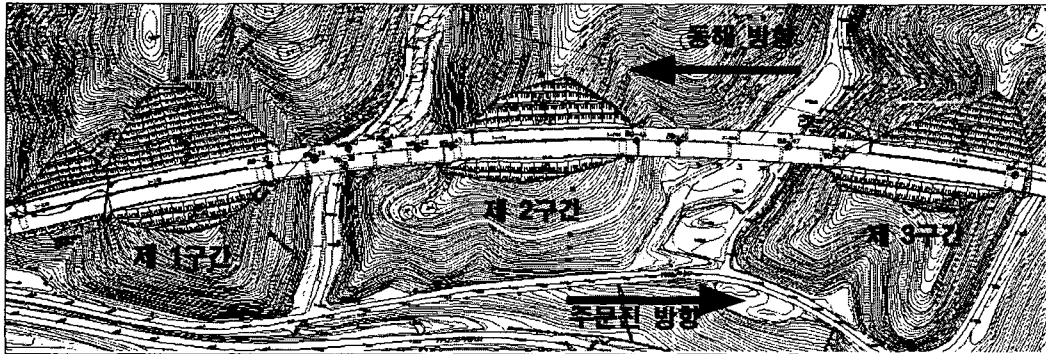


Fig 1 연구대상 ○○고속도로 평면도

본 연구의 대상 사면은 제1구간 동해방면을 제외한 모든 사면에서 붕괴가 일어났으며 사면의 안정성 확보를 위해 사면 완화공법이 적용되었다. 전반적으로 이 지역의 지질특성상 건기시에는 높은 강도를 가지나 우기시에는 매우 낮은 강도 및 전단강도를 가지고 있다. 대부분 MW(Moderately) 정도의 풍화상태를 보이며 사면내에 점토층이 여러 개소 존재한다. 또한 매우 작은 절리간격을 보이며 절리면은 심하게 풍화를 받고 있다. 단층면을 따라 단층 점토가 협재되어 있으며 이 단층면이 측면에서 암괴를 잘라 주는 구실을 하였다. 전반적으로 암편화 현상이 심하며 암질이 매우 불량하고 암편의 강도는 약한 편이다. 또한 기존 시추조사결과(한국도로공사)에서 core회수율이 매우 저조하며 TCR은 7~10% , RQD는 전구간에 걸쳐 0%였다. (Table 1 참조)

Table 1 절토사면 현황(한국도로공사)

구분	사면고 (m)	절취구배			현 상태 및 문제점
		방향	설계	시공	
제 1 구간	50	동해	1 : 1	1 : 1	암사면 조기 풍화에 따른 사면보호 필요
		주문진	1 : 0.8	1 : 1.5	사면 슬라이딩 발생, 사면 구배 완화 완료, 암사면 조기 풍화에 따른 사면보호 필요
제 2 구간	39	동해	1 : 0.8	1 : 1.2	사면구배 완화 완료, 암사면 조기 풍화에 따른 사면보호 필요
		주문진	1 : 0.8	1 : 0.8	암사면 조기 풍화에 따른 사면 보호 필요
제 3 구간	37	동해	1 : 1	1 : 1.5	사면구배 완화 완료, 암사면 조기풍화에 따른 사면보호 필요
		주문진	1 : 0.8	1 : 1.5	사면구배 완화 완료, 암사면 조기풍화에 따른 사면보호 필요

사면은 지층 하부에 균열과 절리가 발달한 셰일과 사암으로 구성되어 있으며 차별풍화대가 매우 다양하게 나타나고 있고 셰일과 사암이 교호하고 위치별로 풍화대의 심도차이가 심하며, 이러한 것이 사면의 붕괴 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 층리의 주향과 경사의 변화가 심하며 소습곡 및 역단층 발달상태로 인하여, 횡압력에 의한 습곡작용 및 단층작용에 의해 심하게 교란된 복잡한 지질구조적 특징이 나타난다. 단층파쇄대가 국부적으로 나타나며 셰일층에서는 소습곡에 의한 소성변형현상이 나타난다. 셰일과 사암이 교호하는 구간

에서 상대적으로 암석의 강도가 작은 세일층을 중심으로 소규모 붕락이 발생하였다. 퇴적암 반이 Block형태의 파쇄조각으로 변질된 구간에서 사면붕락현상이 나타나는 것으로 보아 습곡에 의한 암석의 소성변형이 사면활동의 주원인으로 판단된다. 사면의 계곡부 중심으로는 토석류(Debris flow)에 의한 사면파괴현상이 나타나고 있으며 그 원인은 단층파쇄대 및 탄층의 넓은 분포와 관련이 있다고 판단된다. Fig 2은 좌측으로부터 1구간 동해방향 좌측 하단, 2구간 동해방향 좌측 하단, 2구간 동해방향 우측 하단, 3구간 주문진 방향 중앙 하단으로 연구대상 사면의 절리 사진이다.

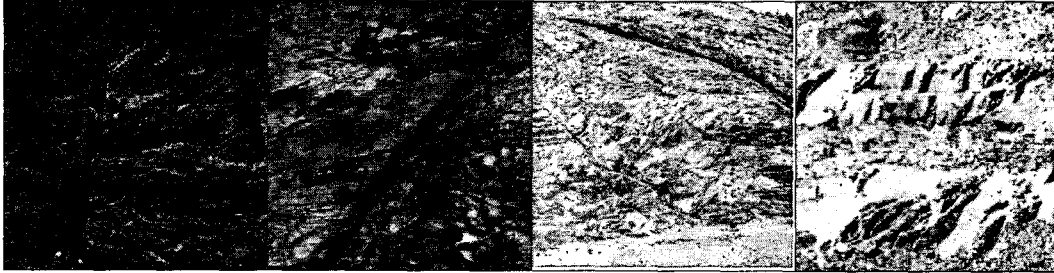


Fig 2 연구 대상 사면

### 3. 현장 및 실내시험에 의한 지반강도정수 추정

#### 3.1 현장 시험 결과

각 구간의 암반에 대한 슈미트 햄머 값으로 추정된 압축강도를 보면 제1구간 동해, 주문진 방향의 경우  $650\pm 300\sim 1000\pm 400\text{kg/cm}^2$  정도이고, 제2구간의 경우 동해, 주문진 방향의 경우  $640\pm 300\sim 1150\pm 400$  정도이고, 제3구간의 경우 동해, 주문진의 경우  $700\pm 300\sim 1000\pm 400$  으로 조사되었다. 따라서, 본 조사지역의 암반강도는  $640\sim 1150\text{kg/cm}^2$ 의 분포를 나타내고 있으며, 암반강도상 연암으로 분류되나 파쇄가 심하게 잔존하고 안정에 불리한 절리구조를 가지고 있다.

#### 3.2 실내 암반분류

실내 실험을 실시하여 3개 조사구간 6개사면에서 암석을 채취한 결과 모두 같은 편암으로 분류되었다. 암석감정분석 결과를 살펴보면 다음과 같다.

육안관찰에 의하면 흑운모를 주성분으로 하고 세립의 석영, 장석들이 편상구조를 보여주는 변성암에 해당된다. 또한, 현미경관찰에 의하면 주 구성광물은 흑운모, 각섬석들로서 비교적 세립이며 소량의 석영들이 편리방향을 따라 집중되어있다. 따라서, 본 암들은 흑운모-각섬석상의 변성상에 해당되는 것으로 추정되며 지질 구조적으로는 습곡의 향사부분에 해당되는 것으로 판단되며, 본 암들의 주변부에 대규모의 습곡이 존재할 가능성이 있다고 판단된다. 또한 주 구성광물인 흑운모, 각섬석, 장석은 물과 공기에 노출 되었을 시 풍화가 다른 광물에 비해 빠르다. 그러므로 이들 광물이 70~80%를 차지하는 편암은 빠른 풍화가 일어날 것으로 판단된다.

#### 3.3 강도정수 추정

한국도로공사 토질보고서에 의하면 본 지역의 강도정수 추정을 위한 현장조사 및 실내시험으로 슈미트 햄머와 암반 분류를 실행하였으며, 본 연구에서는 감별 부분에 대한 안정성

검토를 위하여 지반 강도정수를 다음과 같이 적용하였다.(Table 2 참조)

Table 2 절토부의 지반정수

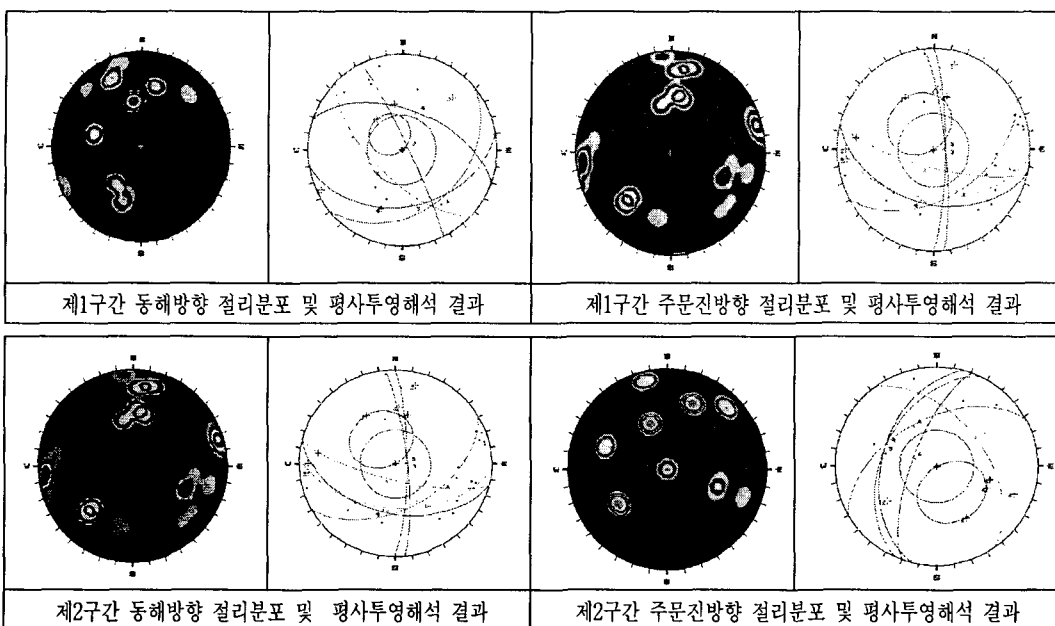
구분	단위중량, $\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	점착력, $C$ ( $t/m^2$ )	내부마찰력 $\phi$ (°)
리 평 압	2.0	1.0	30

#### 4. 대상 사면의 안정성 검토

제1구간, 제2구간, 제3구간의 절리 조사결과(Table 3)에 대해 Dips와 SWEDGE 프로그램을 활용하여 안정성 검토를 수행하였으며, Fig. 3은 Dips 해석 결과이다.

Table 3 절리 조사결과

구간	방향	절리 조사결과 (사면방향 및 절리발달방향)
제1구간	동해	사면방향 50/60, 절리발달방향 65/140, 80/80, 45/294, 55/110, 55/294, 40/86, 70/70, 75/50, 85/340, 45/20, 40/86, 60/240
	주문진	사면방향 50/220, 절리발달방향 45/150, 75/245, 60/164, 75/160, 45/149, 50/138, 75/286, 42/240, 85/340, 70/164
제2구간	동해	사면방향 50/60, 절리발달방향 75/200, 75/110, 45/110, 50/212, 80/0, 70/100, 85/166, 80/0, 70/200, 80/170, 80/6, 65/238, 80/170, 80/6, 65/238, 80/164, 55/288, 85/174, 70/210, 65/238, 50/210, 55/200, 85/174, 50/100, 55/190, 85/350, 70/228, 50/320, 85/90, 35/334, 55/315, 45/330
	주문진	사면방향 50/240, 절리발달방향 40/76, 80/82, 45/200, 75/140, 45/210, 50/330, 70/206, 50/330, 55/118, 60/220
제3구간	동해	사면방향 40/60, 절리발달방향 75/168, 60/80, 75/20, 85/212, 55/80, 85/88, 65/122, 50/156, 85/340, 55/74, 70/118, 75/200, 85/300, 60/340, 55/156, 50/228, 55/178
	주문진	사면방향 45/240, 절리발달방향 75/330, 75/168, 25/190, 75/280, 80/180, 65/256



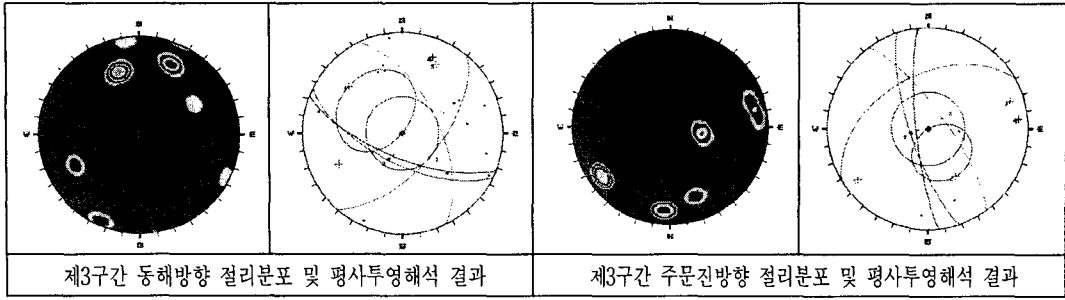


Fig. 3 절리분포 현황 및 평사투영 결과

Swedge 프로그램을 이용한 썬기블럭에 대한 해석은 각각의 경우에 대하여 지하수위를 50%, 60%로 변화시키면서 수행하였다. (Table 4 참조) 이와 같은 조건을 이용하여 사면안정해석을 수행한 결과 안전율이 지하수가 존재하지 않을 경우 건기시에는 1.5, 지하수가 존재할 경우 우기시에는 1.2 이하가 되면 보강을 통하여 안전성을 확보하도록 하였다. 평사투영법을 통하여 제1구간과 제 3구간은 동해방향과 주문진방향 모두 안전한 것으로 해석되었으며 제2구간에는 주문진 방향은 안전하나 동해 방향이 불안정한 것으로 해석되었다. (Table 5, 6, 7 참조)

Table 4 사면의 안전율(건설교통부 2000.8)

구분	최소 안전율	참조	적용 안전율
건기시	$F_s > 1.5$	- 암반 : 인장균열이나 활동면을 따라 수압이 적용되지 않음 - 토층 및 풍화암 : 지하수 미고려	$F_s > 1.5$
우기시	$F_s > 1.1 \sim 1.3$	- 암반 : 인장균열이나 활동면을 따라 적용되는 수압을 Hw-0.5H로 가정하여 작용 - 토층 및 풍화암 : 지하수위는 지표면에 위치	$F_s > 1.2$

Table 5 제1구간 주문진, 동해방향 SWEDGE 해석 결과

지역	지하수조건		안전율	안전여부
주문진1	건기		20.72	O.K
	우기	60%	19.8	O.K
주문진2	건기		6.717	O.K
	우기	60%	0	-
동해1	건기		2.036	O.K
	우기	60%	1.717	O.K
동해2	건기		4.126	O.K
	우기	60%	3.84	O.K

Table 6 제2구간 주문진, 동해방향 SWEDGE 해석 결과

지역	지하수조건		안전율	안전여부
주문진1	건기		2.438	O.K
	우기	60%	2.204	-
동해1	건기		1.116	N.G
	우기	60%	0.7975	N.G
동해2	건기		0.9969	N.G
	우기	60%	0.6093	N.G

Table 7 제3구간 주문진, 동해방향 SWEDGE 해석 결과

지역	지하수조건		안전율	안전여부
주문진1	건기		3.384	O.K
	우기	60%	3.193	O.K
주문진2	건기		4.929	O.K
	우기	60%	4.421	O.K
동해1	건기		39.82	O.K
	우기	60%	38.04	O.K

## 5. 보강대책안 및 보강후 안정성 검토

제1구간과 제3구간은 Dips 와 Swedge 프로그램으로 해석한 결과 안전율에 만족한 것으로 조사되었지만, 파쇄가 심하고 대부분 암반사면이 편암으로 빠른 풍화에 따른 낙석이 예상되며 이에 대한 보강으로 낙석방지망과 낙석방지울타리를 시공해야 할 것으로 판단된다.

제2구간 동해방향 사면에 Rock Bolt를 보강하여 Swedge 프로그램을 이용하여 안정성 검토를 실시하였다. 이러한 보강에 대하여 SWEDGE 프로그램을 해석한 결과 건기시 1.612, 1.741, 우기시 60%일 때 1.271, 1.319로 건기시와 우기시 모두 안전율에 만족한 것으로 나타났다. (Table 8 참조) 불안정한 썩기파괴는 사면전반부에 걸쳐 분포하므로 부분 보강보다는 사면하부에서부터 2소단까지 Rock Bolt 보강이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 4은 제2구간 동해방향구간 SWEDGE 프로그램 상에 Rock Bolt보강한 형상이다.

Table 8 제 2구간(동해방향) Rock Bolt 보강 해석결과

지역	지하수조건		안전율	안전여부
동해1	건기		1.612	O.K
	우기	60%	1.271	O.K
동해2	건기		1.741	O.K
	우기	60%	1.319	O.K

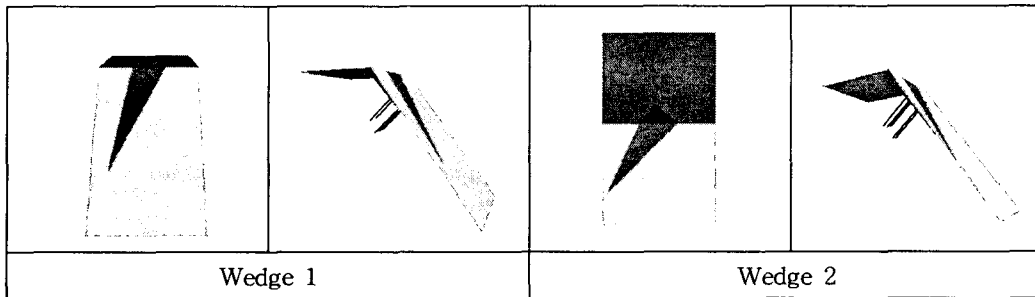


Fig. 4 제 2구간(동해방향) Rock Bolt보강 형상

Rock Bolt의 시공지역은 사면의 1소단, 2소단에 시공하고, Rock Bolt의 간격은 2m×2m의 간격형태로 보강하여야 하며, Rock Bolt의 길이는 최소한 8m가 확보되어야 한다. (Fig 5 참조)

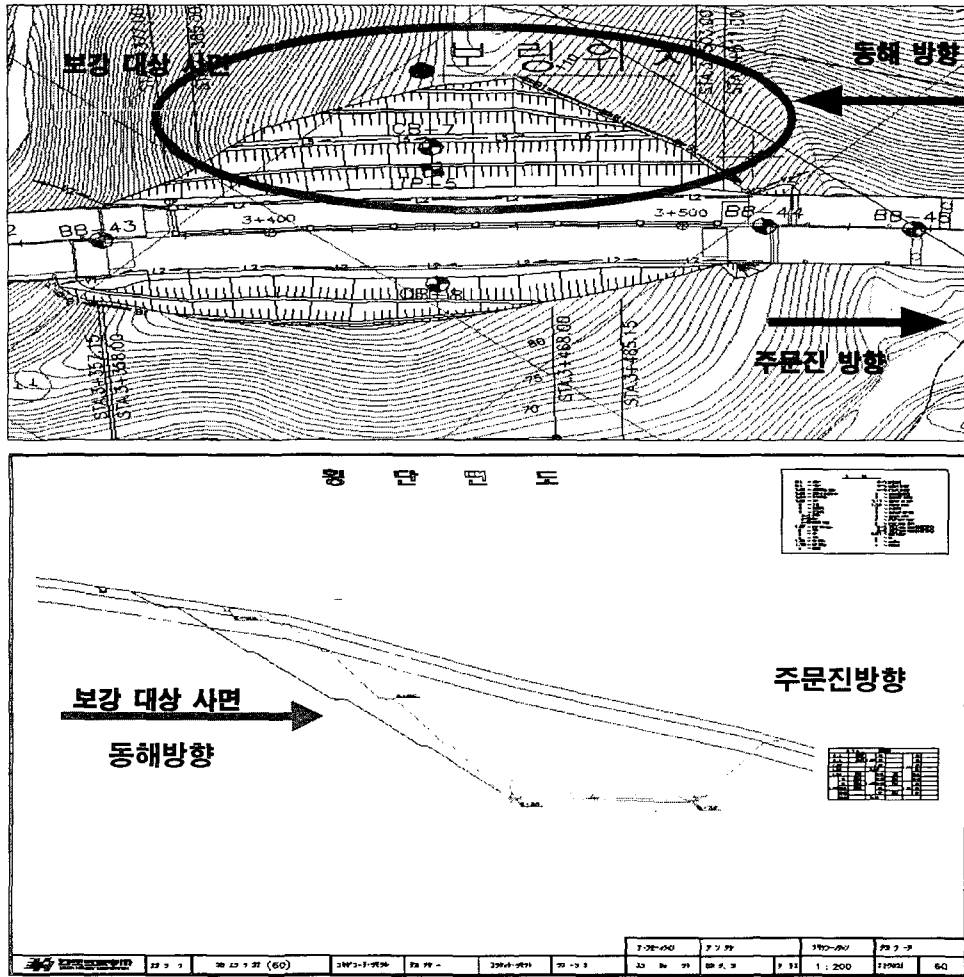


Fig 5 제2구간 동해방향 보강 사면의 평면도 및 단면도

## 7. 결론

○○고속도로 제3공구 지역에 대하여 사면안정분석 및 보강대책에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 도로공사 현장내 기 시공된 6개소 연구대상 사면구간은 최대절취고 약 50m의 대절토부를 포함하는 구간으로서 시공 중 불량암질 발달(탄질세일 협재) 및 부분적 슬라이딩 발생에 의해 사면안정성 검토(도로연구소)후 사면구배완화공법이 시행되어 비교적 안정된 상태를 나타내고 있다.
- (2) 제1구간 동해방향, 주문진방향, 제3구간 동해방향, 주문진방향 지역에 대하여 사면안정성 연구 결과 안정성은 확보되었으나 암사면의 비교적 빠른 풍화에 따른 낙석이 예상되므로 이에 대한 대책으로 낙석방지망과 낙석방지울타리를 시공해야 할 것으로 판단된다.
- (3) 제2구간 동해방향, 주문진방향 지역에 대하여 조사한 결과 동해방향은 암반사면에 대한 해석결과 안전율을 확보하지 못해 Rock Bolt 보강을 해야 할 것으로 판단되며, 암사면의 비교적 빠른 풍화에 따른 낙석에 대한 보강으로 전사면에 걸쳐 낙석방지망과 낙석

방지울타리도 함께 시공할 것으로 판단된다. 주문진방향은 암사면이 비교적 빠른 풍화에 따른 낙석이 예상되므로 이에 대한 보강으로 낙석방지망과 낙석방지책(fence)을 시공해야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 상지대학교 2002년도 연구지원비로 수행되었습니다.  
감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 이승호, “암반사면의 평면파괴조건 고찰”, 한국지반공학회, 한국지반공학회 학술발표회 논문집, 1999
2. “구조물 기초 설계기준”, 한국지반공학회, 2001, pp.9-40
3. “동해고속도로(동해~주문진간) 확정공사 토질조사 보고서”, 한국도로공사, 1997
4. “한국도로공사 기술자문 보고서”, 한국도로공사, 2001, 8월
5. 정형식, 이승호, 유병옥, 황영철, “암반역학”, 새론출판사, 1999
6. 정형식, 유병옥, “지질특성에 따른 암반사면 붕괴유형연구”, 한국지반공학회, 제12권, 제6호, 1996
7. Hoke, E. & Bray, J, “Rock Slope Engineering”, Revised Third Edition. Institute of Mining and Metallurgy, London, 1981