

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 5

제 목: 절토사면 안정방안 검토

2005. 5

강 원 건 설 사 업 소

춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

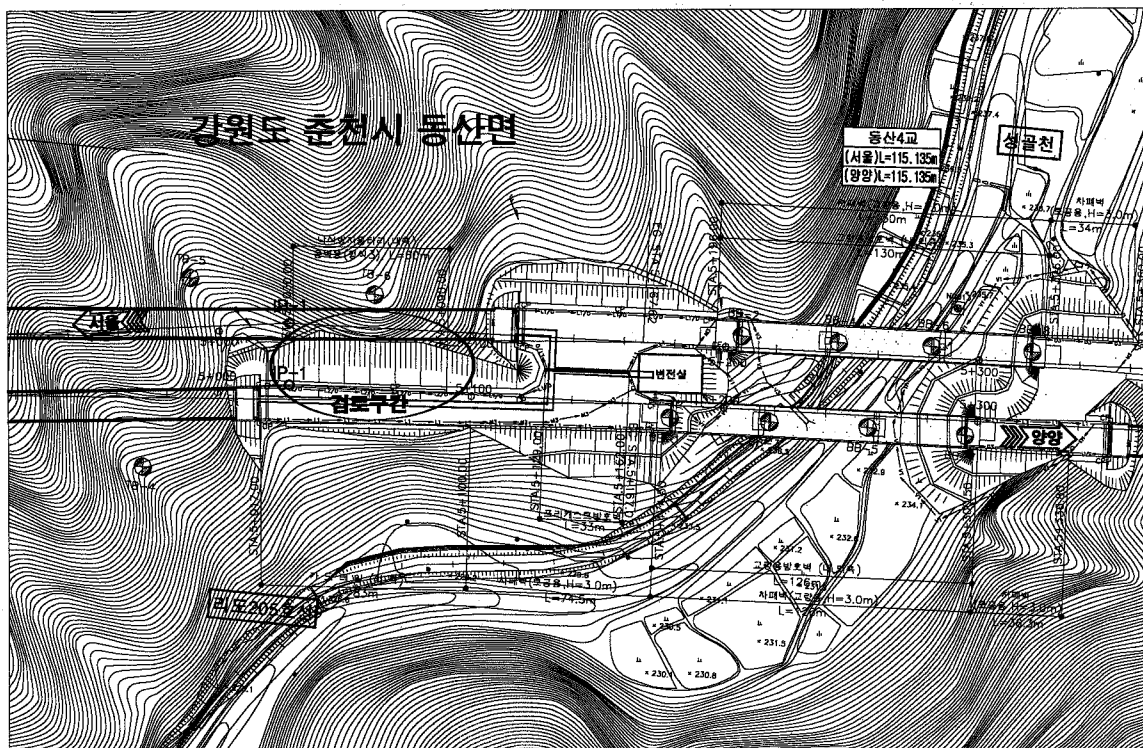
기술검토건명	절토사면 안정방안 검토		
공 구	제 2 공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2005. 5. 2 ~ 2004. 5. 11	검 토 자	오 관 식
		담 당 자	오 성 민
근 거 공 문	업무지시(2005. 5. 10)	회 신 공 문	용마(홍천) 제2005 - 0012호

1. 검토목적

춘천~동홍천간 고속도로 제2공구에 위치하는 STA. 5+017~5+090(L=73m) 구간의 암선이 설계시보다 아래에 분포함에 따라 사면안정성 분석을 실시하고 대책을 수립하여 장기적인 사면안정을 확보코자 함.

2. 검토내용

가. 위치도



[그림-1] 검토 위치도

나. 설계현황

[표-1] 설계현황 요약

대표 횡단면도 (STA.5+ 060)	
지층구성	■ 토사, 풍화암, 연암, 경암의 순서로 분포하고 있음. - 토사 0.0~2.3m - 풍화암 2.3~3.7m - 연암 3.7~27.0m - 경암 27.0~38.0m(시추종료) ※ 터널부 시추주상도(TB-6 참조)
사면안정 방안	■ Rock Bolt, Soil Nailing공법 - 토사 1:1.5⇒1:1.0 + Soil Nailing - 암반 1:0.8⇒1:0.5 + Rock Bolt
공법적용 사유	■ 경사완화시 절취고가 39.8m이며 사면보강시(27.3m)와의 절취고 차이가 12.5m로 과다절취의 문제점이 있음. ■ 사면보강공법과 사면구배완화 모두 사면자체는 안정한 것으로 검토되었으나, 절취고와 절취량을 고려한 환경적측면과 효율적인 설계를 위하여 보강공을 적용함.

다. 시공현황

상부에서 1:1구배로 약15m절취작업이 된 상태이며, top-down식으로 Soil Nailing을 50본 정도 시공 완료된 상태임.

라. 현장조사 내용

1) 암종

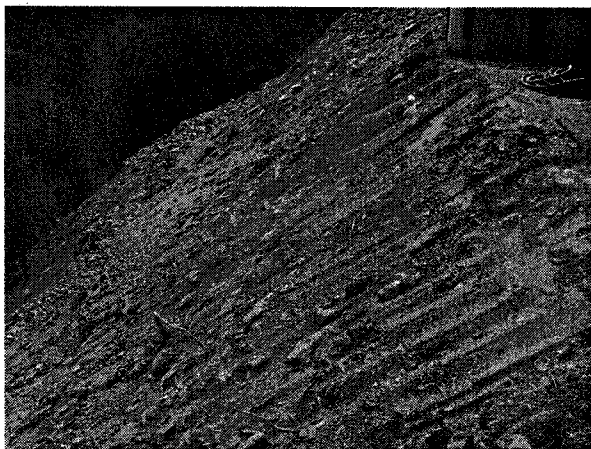
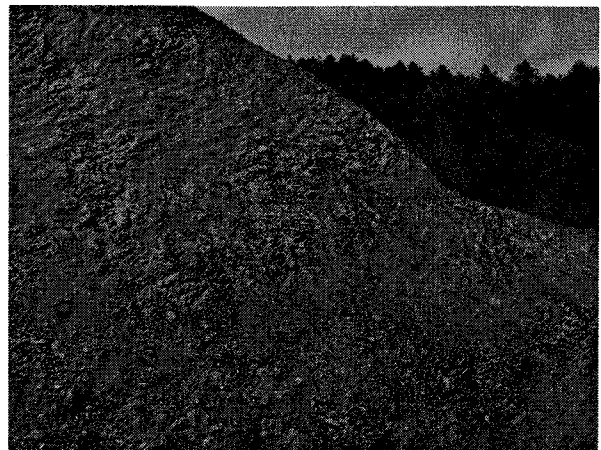
조사지역은 선캠브리아기의 편마암으로 이루어진 지역으로 노출면은 풍화로 인하여 모암의 조직은 관찰하기 어려운 상태이나 국부적으로 암반과 토사가 혼재하여 분포하고 있음. 절리면은 도로방향과 사방향으로 교차하고 있으나 위경사는 도로방향으로 발달하고 있는 것으로 조사되었음.

2) 풍화상태

당초 발파암으로 설계된 구간은 풍화진전에 따라 풍화암을 형성하고 있으며 국부적으로 노출된 암은 파쇄가 심한 연암상태로 분포하고 있음.

본 사면에 분포하는 암반은 파쇄가 심하고 전반적으로 풍화가 진행된 상태의 암반을 형성하고 있음.





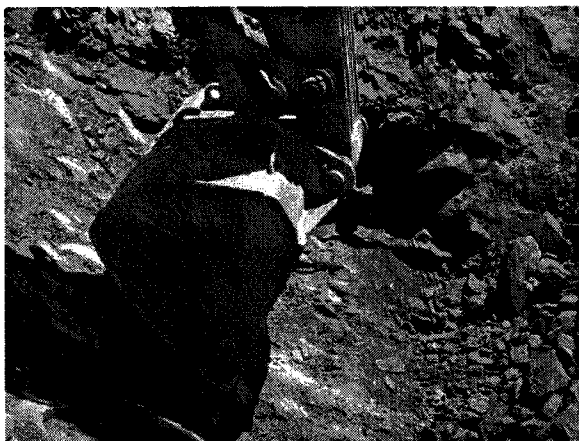
[사진-1] 절취사면 지반상태

3) 지하수 상태

전반적으로 지하수의 용출 없이 건조한 상태를 유지하고 있음.

4) 암선추정을 위한 현장조사

설계암선에서 발파암이 노출되지 않은 상태이므로 실제 암선을 추정하기 위하여 보링을 실시하는 방법, 백호우로 굴착이 가능한 깊이까지 시굴조사를 실시하는 방법 등을 논의한 결과, 1차적으로 현장굴착장비를 이용한 시굴조사를 3개소(sta. 5+040, 5+060, 5+080) 대표위치에 하고, 추가로 크롤러 드릴을 이용하여 사면내에 분포하는 암선을 추정하기 위하여 3개소에 굴진을 실시하여 암선을 추정하는 것으로 지반조사를 실시함. 굴착장비를 이용한 시굴조사와 크롤러 드릴에 의한 굴진 결과 설계시 암선보다 5.7~9.4m정도 아래에 분포하는 것으로 나타났으며 암선추정을 위한 현장조사 내용은 아래 그림과 같다.



<sta. 5+040지점의 지반상태>



<sta. 5+060지점의 지반상태>

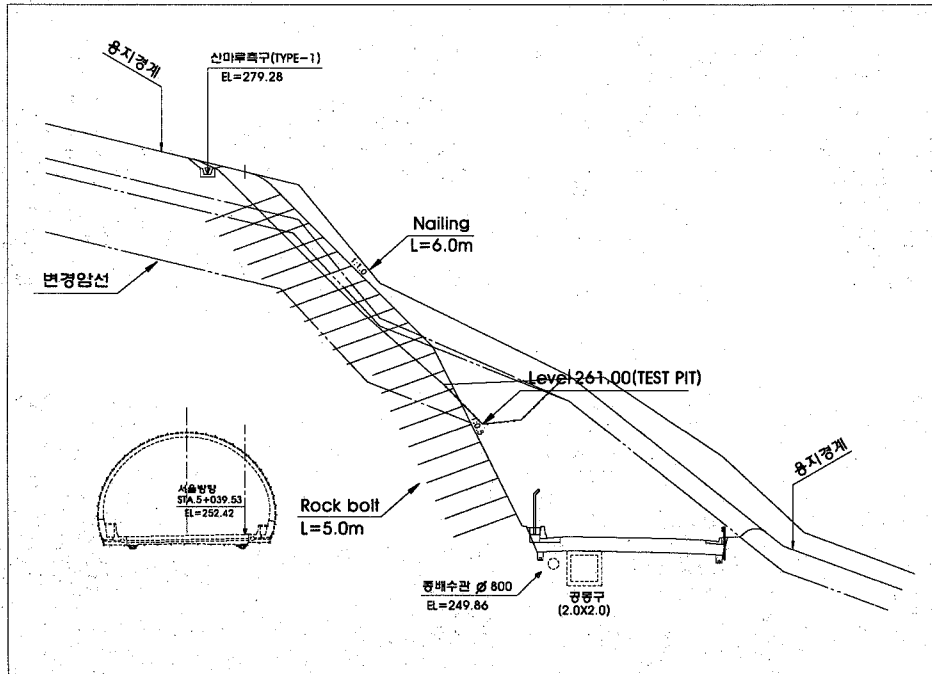


<sta. 5+080지점의 지반상태>

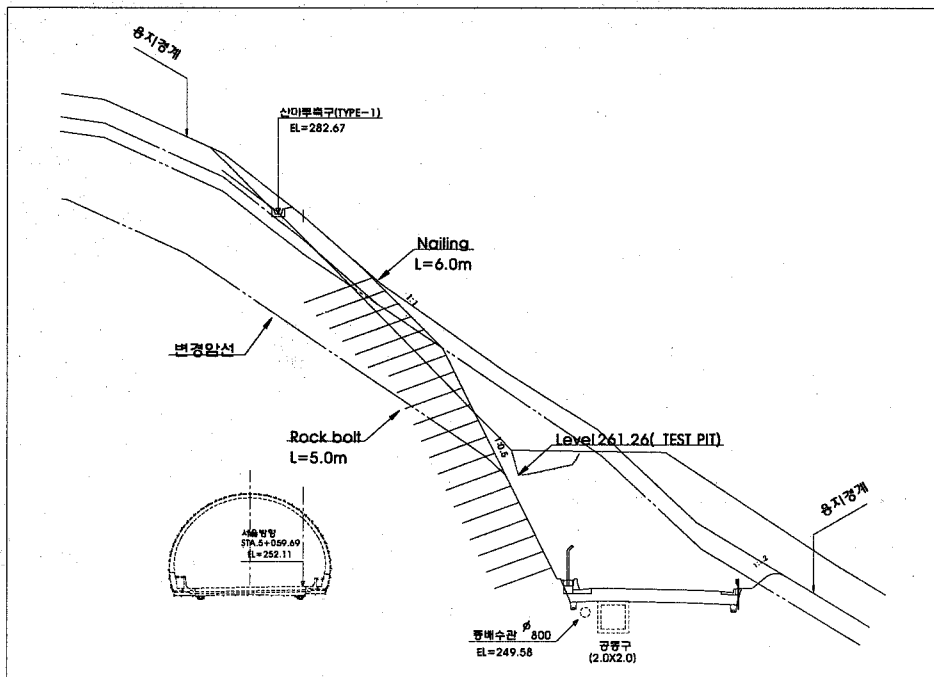
[사진-2] 암선추정을 위한 작업 현황

4) 암선추정을 위한 현장조사 결과

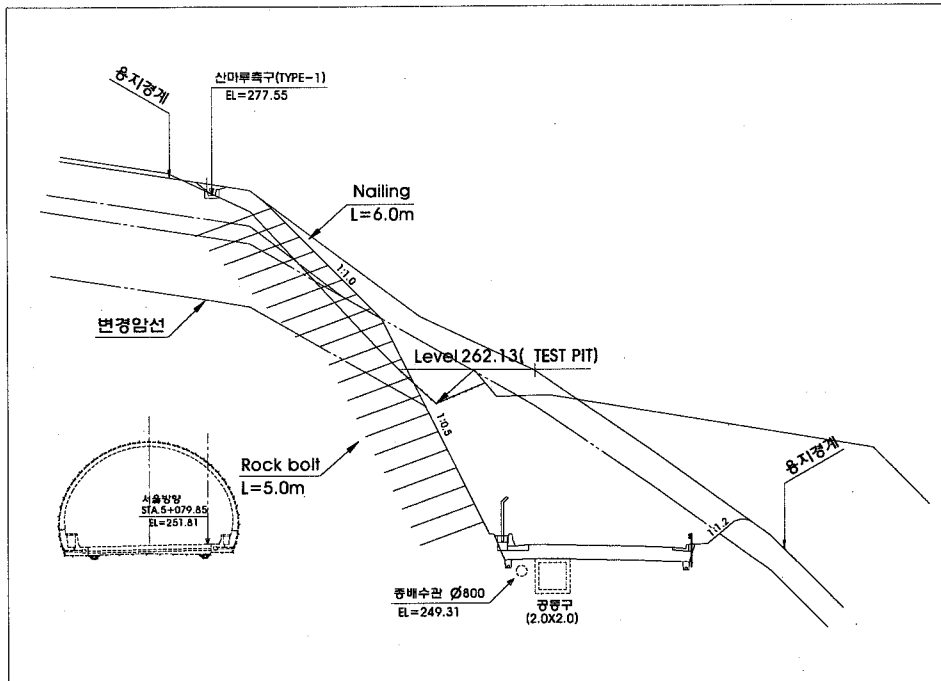
현장조사를 근거로 하여 횡단면도에 암선을 수정한 결과는 다음 그림과 같다.



<sta. 5+040>



<sta. 5+060>



<sta. 5+080>

[그림-2] 암선 변경선

마. 사면안정성 검토

1) 검토방향

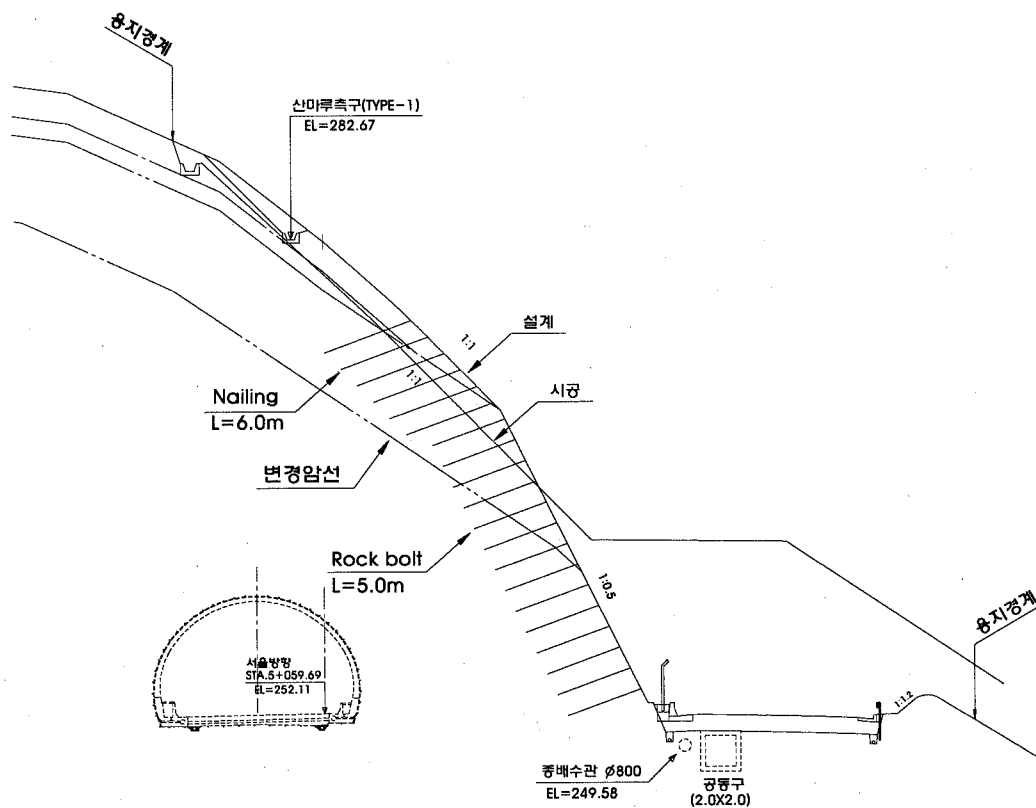
- (1) 현시공상태에서 표준구배를 적용하는 방안
- (2) 현시공상태에서 보강하는 방안
- (3) 현시공상태에서 리핑암층에 높이10m 마다 소단1m를 확보하고 보강하는 방안

2) 안정해석방법

- 한계평형해석 프로그램 : Talren 97
- 해석방법 : Bishop's method

3) 검토단면

- STA. 5+060
- 본 구간은 절취고가 가장 높고 설계시 발파암선이 가장 높게 분포하는 것으로 추정되었으며 설계시 대표단면으로 선정하였으므로 통일성을 위하여 검토단면으로 선정함.



[그림-3] STA. 5+060 안정검토 단면도

4) 지반강도정수

지반 강도정수를 추정하는 방법으로는 시험에 의한 방법, 경험에 의한 방법, 역해석에 의한 방법 등이 있으며 검토자에 따라 견해를 달리 할 수 있음.

검토사면은 원설계와 지층이 다르므로 인해 사면이 불안정한 상태이므로 본 검토에서의 대상사면에 대한 적용 토질정수는 원설계의 토질정수(지반조사보고서에 제시)을 이용하여 검토를 수행하였으며 지층별 강도정수는 다음표와 같다.

[표-2] 적용 강도정수

구 분	단위중량(γ/m^3)	점착력(c/m^2)	내부마찰각($^\circ$)	비 고
풍화토층	1.9	1.5	28	
풍화암층	2.0	3.0	30	
암반층	2.3	7.0	34	

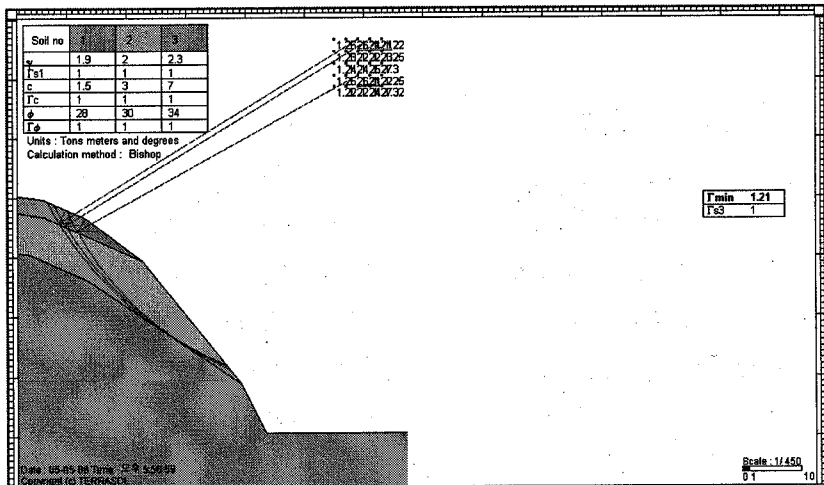
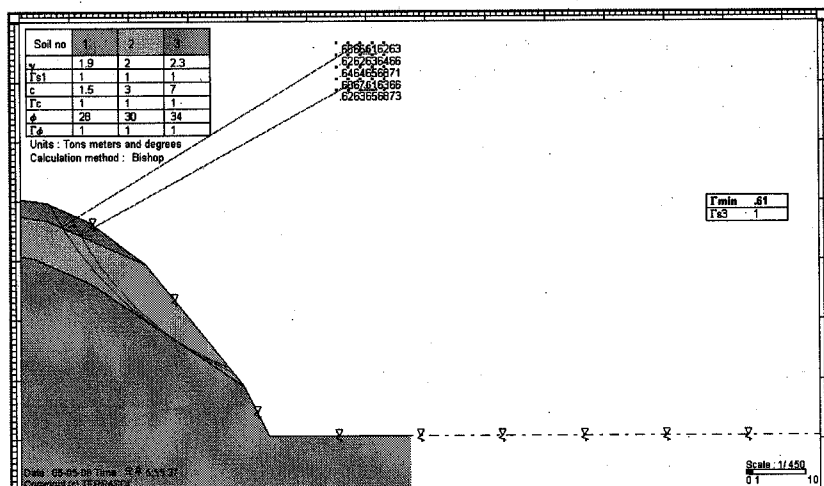
5) 허용안전율 기준

[표-3] 허용안전율 적용기준

구 분		최소안전율(F_s)	비 고
절토사면	건기시	$F.S > 1.5$	- 도로설계요령 제2권 P130
	우기시	$F.S > 1.1 \sim 1.2$	- 본 검토에서는 우기시 최소안전율을 1.1이상으로 적용

6) 안정성 검토결과(현 시공단면)

[표-4] 한계평형해석결과

건기시	 한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 모두 기준안전율보다 낮은 것으로 평가되므로 이에 대한 적절한 대책이 필요함.
	검토안전율 $F_s = 1.21 < 1.5$ (불안정)
우기시	 한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 모두 기준안전율보다 낮은 것으로 평가되므로 이에 대한 적절한 대책이 필요함.
	검토안전율 $F_s = 0.61 < 1.1$ (불안정)
검토 의견	한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 모두 기준안전율보다 낮은 것으로 평가되므로 이에 대한 적절한 대책이 필요함.

바. 사면안정 대책공법

사면의 붕괴가 발생되었거나 불안정한 상태인 사면에 대한 대책으로는 일반적으로

- 사면의 구배를 완화시키는 방법
- Shotcrete, Rock Bolt, Earth Anchor, Soil Nailing공법, FRP보강 그라우팅공법
- 사면의 선단부에 성토를 하는 방법, 구조물 보호공법(Bench Type), 옹벽
- 억지 말뚝공법 등 다양한 방안이 있다.

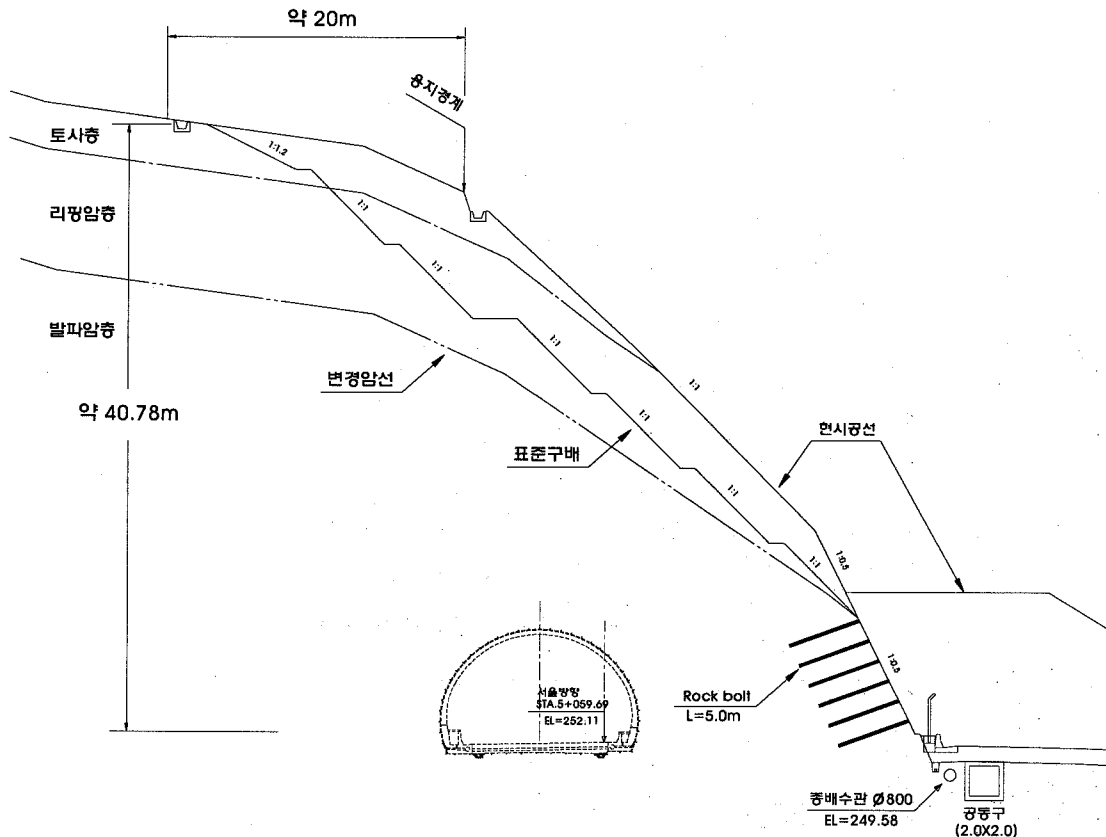
대상지역의 지형과 지층분포상태, 현장여건, 시공성, 안정성 및 경제성을 종합적으로 검토한 결과 본 사면에 적합한 대책공법은 [표-5] 대책공법 비교안과 같다.

[표-5] 대책공법 비교안

구 분	공 법 의 종 류		
	Soil Nailing공법	Bench Type공법	구배완화공법
공법개요	원지반이 갖고 있는 전단 강도가 약한 경우 Nail의 전단력과 부착력으로 원지반의 전단강도를 증가시키므로써 사면활동의 안정을 확보	Rock Anchor의 인장력과 Bench Type 수압판에 의하여 전단저항력을 증가 시켜사면안정을 도모하고 암사면의 풍화나 이완을 방지 할 수 있어 장기 사면안정에는 효과적	절토면의 구배를 완화시켜 활동을 감소시킴으로써 사면의 안정을 도모
장 점	- 국부적인 취약지점에 대한 보강이 용이 - 사면안정 효과 양호 - 장비가 소형이므로 시공성 양호 - 한본파손이 전체 안정에 영향을 안줌	- 용지추가 확보 불필요 - 교통개방 구간에서도 적용 가능 - 환경훼손이 적음 - 콘크리트 수압판에 의한 사면 보강효과 양호	- 안정성 확실 - 교통개방이 되지 않은 곳에서 시공이 용이 - 토사층과 암반층에 모두 적용성 우수 - 시거확보 및 안정감 부여 - 장래 도로확장시 유리
단 점	- 용수발생부는 Nail의 강도 저하 우려됨. - Shotcrete 시공에 따른 사면 배수 불량 - 활동선이 깊을때는 보강 깊이에 제한을 받음	- 배수상태가 불량한 곳은 대규모 사면붕괴 발생 가능성이 있음 - 도로확장공사 우려되는 곳은 공사비 이중투자 초래 - 국내 시공 실적이 적음	- 사면의 경사가 급한 지역에서는 추가 절토량 과다 - 절토대상 구간에 기존구조물 존재시 적용 불가 - 추가 토지확보가 불가한 곳은 부적합
검토의견	금번 검토구간은 원설계시 과다절취에 따른 환경훼손을 고려하여 사면을 보강하였으므로 변경암선에 적합한 보강공법을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단됨.		
추 천 안	○		

1) 현시공상태에서 표준안정구배를 적용하는 방안

변경된 암선을 기준으로 표준안정구배를 적용하여 절취할 경우 절취고는 40.8m정도이고, 용지경계로부터 후방으로 약 20m정도의 추가 용지확보가 되어야 함. 또한 대절토와 환경훼손 범위가 커 환경적 측면과, 장대사면 형성에 따른 향후 유지관리 측면에서 불리함. 일부 보강 시공완료된 Soil Nailing과 산마루 측구는 제거 및 재시공되어야 함.



[그림-4] 표준안정구배를 적용한 경우

2) 현시공상태에서 사면보강방안 비교검토

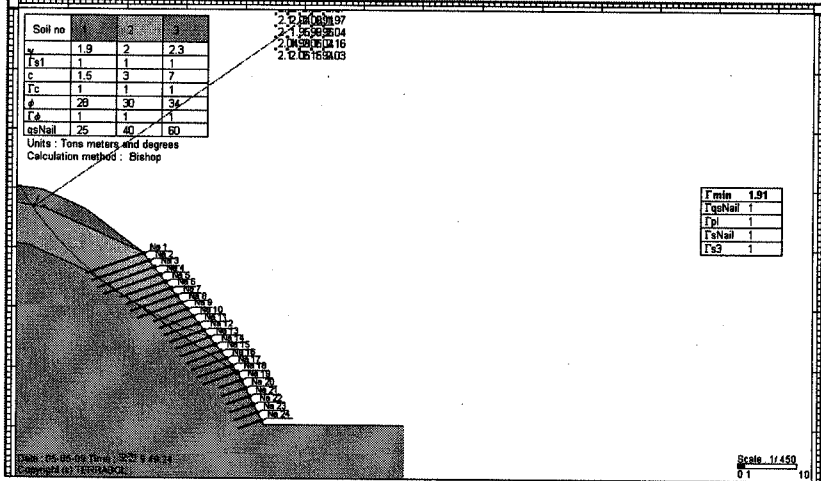
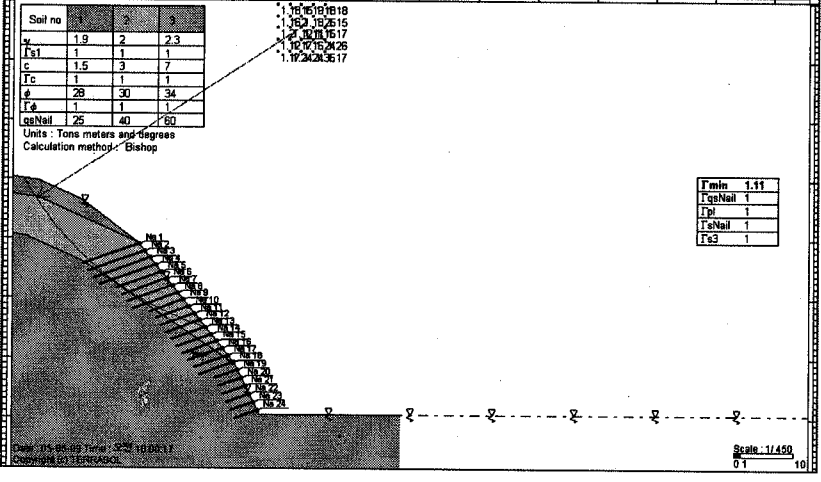
[표-5] 보강방안 비교검토

구 분	현시공상태에서 보강하는 방안	현시공상태에서 리핑암층에 높이10m 마다 소단1m를 확보하고 보강하는 방안
장 점	- 추가절취 필요 없음 - 산마루측구 및 네일 재시공 필요없음 - 시공성 유리	- 보강량 감소 - 유지관리측면에서 유리
단 점	- 보강량 다소 증가 - 유지관리측면에서 다소 불리	- 산마루측구 및 네일 재시공 필요 - 추가절취에 따른 시공성 매우 불량

(1) 현시공상태에서 보강하는 방안

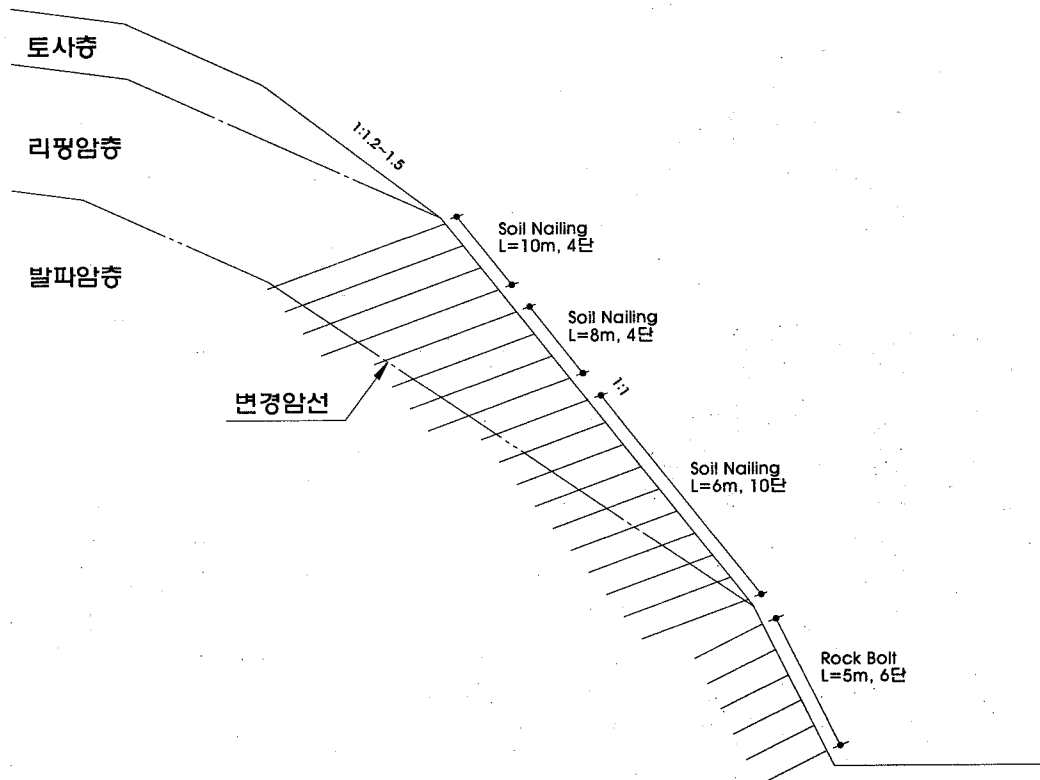
현시공상태에서 안정성 검토를 수행한 결과 불안정한 것으로 판정(마. 사면안정성 검토항, 6) 안정성 검토결과(현 시공단면))됨에 따라 보강공법 Soil Nailing의 간격 및 길이를 변경한 결과 기준안전율을 만족하여 안정한 것으로 검토되었으며 결과는 다음표와 같다.

[표-7] 한계평형해석결과

건기시	
검토안전율 $F_s = 1.91 > 1.5$ (안정)	
우기시	
검토안전율 $F_s = 1.11 > 1.1$ (안정)	
검토 의견	한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 모두 기준안전율보다 높은 것으로 평가되므로 사면안정성 확보가 가능한 것으로 분석됨.

[표-8] 네일 제원

보강공법	설치간격(m) C.T.C	설치길이(m)	네일제원	설치각도(°)	설치단수	비 고
Soil Nailing	1.5×1.5	10, 8, 6m	SD35/D29	하향 20°	18	

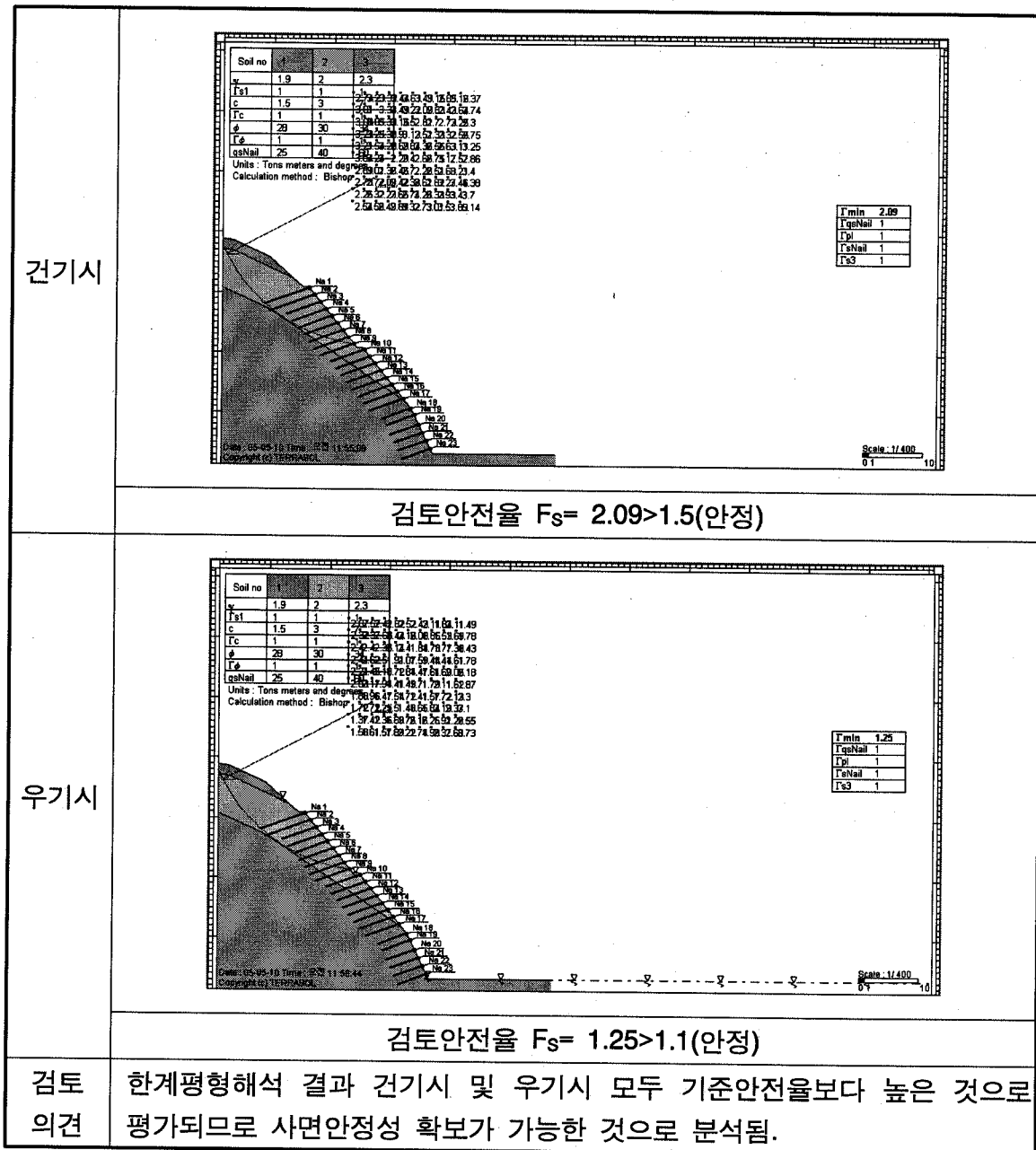


[그림-5] STA. 5+060 보강 횡단면도(소단미확보)

(2) 현시공상태에서 리핑암층에 높이10m 마다 소단1m를 확보하고 보강하는 방안

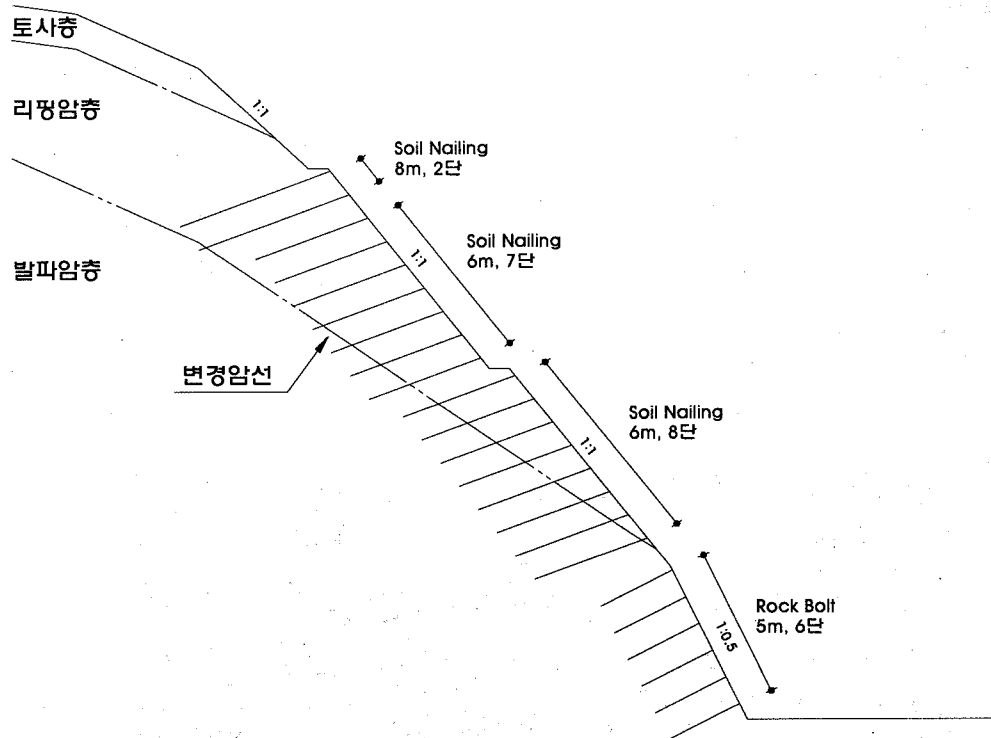
현시공상태에서 안정성 검토를 수행한 결과 불안정한 것으로 판정(라. 사면안정성 검토항, 6) 안정성 검토결과(현 시공단면))됨에 따라 보강공법 Soil Nailing의 간격, 길이 및 리핑암층에 높이10m 마다 소단1m를 확보한 단면으로 변경한 결과 기준안전율을 만족하여 안정한 것으로 검토되었으며 결과는 다음표와 같다.

〔표-9〕 한계평형해석결과



〔표-10〕 네일 제원

보강공법	설치간격(m) C.T.C	설치길이(m)	네일제원	설치각도(°)	설치단수	비 고
Soil Nailing	1.5×1.5	8, 6m	SD35/D29	하향 20°	17	



[그림-6] STA. 5+060 보강 횡단면도(소단확보)

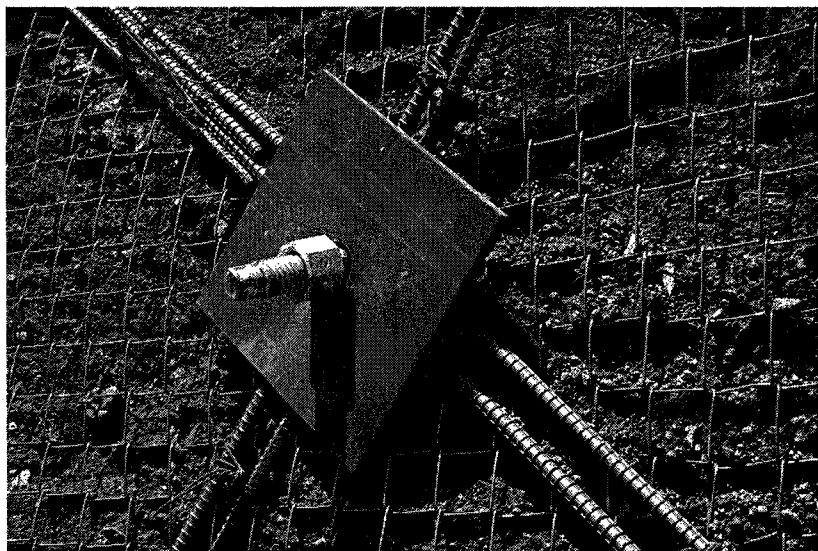
3) 사면안정 보강방안 비교표

[표-11] 보강방안 비교 현황

구 분	보강공법	설치간격 (m) C.T.C	설치길이(m)		설치단수(단)		조 사 내 용
			당초	검토	당초	검토	
소단확보	Soil Nailing	1.5×1.5	6m	8, 6m	6단	17단 8m:2단 6m:15단	- STA. 5+060기준 - 암선이 약 9.4m 하락
	Rock Bolt	1.5×1.5	5m	5m	14단	6단	
소단미확보	Soil Nailing	1.5×1.5	6m	10, 8, 6m	6단	18단 10m:4단 8m:4단 6m:10단	
	Rock Bolt	1.5×1.5	5m	5m	14단	6단	

사. 시공시 유의사항

- 네일 설치시는 반드시 낙석방지망을 활용하여 설치하거나 망이 설치되지 않은 구간은 PVC 코팅망(능형망, 필요시 연결철근(D16)사용)과 강결처리하여 네일만이 단독거동을 하지 못하도록 결속처리 하여야 함.
- 네일을 설치후 네일 인접구간에서의 토사 및 암괴의 탈락을 방지하기 위해서 PVC 코팅망(능형망)위에 네일 두부를 고정하기 위한 Plate를 설치하여 망과 네일을 강결처리 하여주어야 함.



[사진-3] 네일과 능형망 시공사례

- 네일 단부 및 Plate가 대기에 노출되어 장기간 경과하면 부식이 발생하므로 지표에 노출되는 경우에는 아연도금 등의 부식방지 대책을 수립하여야 함.
- 보강완료 후의 표면처리를 조속히 실시하여 우수에 의한 세굴 및 침식 등을 방지하여야 하며, 표면처리공은 암반취부녹화공(설계는 택솔공법이 적용됨)을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단됨.
- 수평배수공은 용수가 심한 구간에 집중적으로 설치하고 용수가 발생되지 않는 구간에서는 배수공 설치가 불필요함.

3. 검토결론

- 1) 금번 검토사면은 암선이 설계보다 약 9.4m 하락하여 사면안정성 검토결과 불안정한 상태이므로 적절한 사면안정 대책이 필요함.
- 2) 사면안정 대책으로 구배완화공법을 검토한 결과 절취고는 40.8m정도이며, 용지경계로부터 후방으로 약 20m의 추가 용지가 확보되어야 함. 또한 대절토와 환경훼손 범위가 커 환경적 측면과, 장대사면 형성에 따른 향후 유지관리 측면에서 불리한 점과 일부 보강 시공완료된 Soil Nailing과 산마루 측구는 제거 및 재시공되어야 하는 실정임.
- 3) 사면보강방안으로는 발파암선의 하락에 따른 리핑암층이 상대적으로 두꺼운 상태로 존치됨에 따라 현시공상태를 고려하여 소단없이 보강하는 방안과 리핑암층에 높이10m마다 소단1m를 확보하고 보강하는 방안의 2가지 경우를 검토 제시하는 바 현장여건, 시공성, 경제성, 사면의 장기적인 안정성, 유지관리 등을 감안하여 적용공법을 결정하는 것이 타당할 것으로 판단됨.('바. 사면안정 대책공법' 항 2) 현시공상태에서 보강방안 비교검토 및 3) 사면안정 대책 비교표 참조)
- 4) 네일 보강공법 적용시에는 '사. 시공시 유의사항' 항을 참조하여 시공하기 바람.
- 5) 서울방향 터널굴착 시공시에는 사면에 계측기를 설치하여 굴진에 따른 사면안정에 불안정한 영향이 없도록 하여야 할 것임.