

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 72

제 목: 절토사면 안정대책 적정성 검토

2008. 4

강 원 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

기술검토건명	절토사면 안정대책 적정성 검토		
공 구	제 1 공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2008. 4. 18 ~ 2008. 4. 22	검 토 자	오 성 민
근 거 공 문	제 강원-2008-118호	회 신 공 문	제 강원자문-2008-118호

1. 검토목적

고속국도 60호선 춘천~동홍천간 건설공사를 시행함에 있어 제1공구 관내에 위치하는 STA. 1+080~1+220 및 STA. 1+480~1+600구간 2개소 절토사면의 안정대책을 시공사에서 제출한 바 이에 대한 적정성을 검토하고자 함.

2. 검토내용

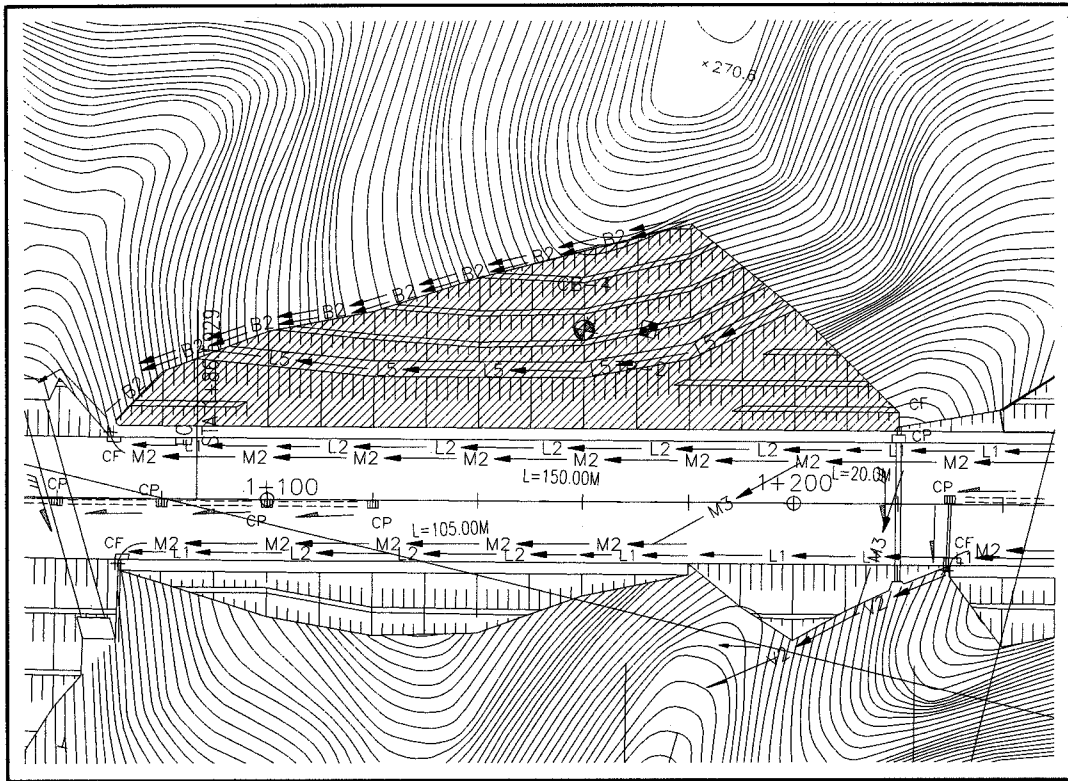
가. 원설계현황

1) 사면안정대책

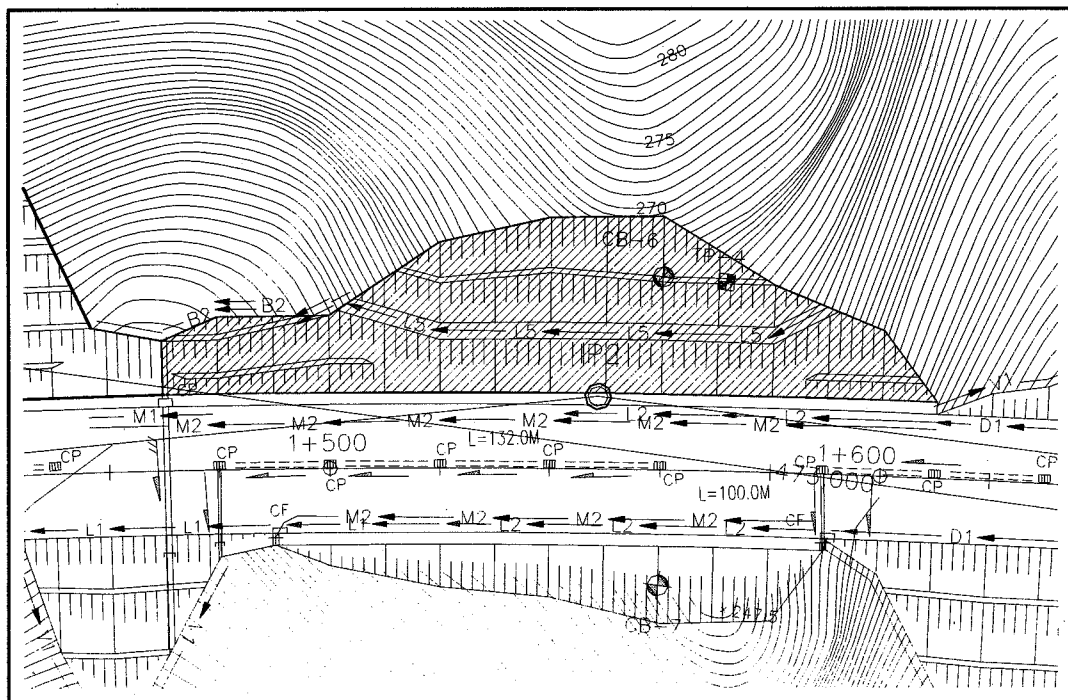
[표-1] 사면안정성 검토내용(원설계내용)

구 분	검토구간(STA.)	연장(m)	대표단면	절토고(m)	비 고
3구간(절토부)	1+080~1+220	140	1+160	38.25	
	· 절취구배 - 토사 1:1.2, 리핑암 1:1.0, 발파암 1:0.5 · 안정대책 : 발파암부위에 Rock Bolt공법 적용 및 토사, 리핑암 구간은 일부 구배조정하여 Soil Nailing공법 적용 - 도로바닥기준 1~5단(R/B) : L=6m, 수직×수평=2.0×3.0m - 도로바닥기준 6~10단(R/B) : L=10m, 수직×수평=2.0×3.0m - 수평배수공 : 8m(27공), 10m(7공), 12m(5공)				
5구간(절토부)	1+470~1+620	150	1+560	42.50	
	· 절취구배 - 토사 1:1.2, 리핑암 1:1.0, 발파암 1:0.5 · 안정대책 : 발파암부위에 Rock Bolt공법 적용 - 도로바닥기준 1~9단 : L=6m, 수직×수평=2.0×3.0m - 도로바닥기준 10~15단 : L=8m, 수직×수평=2.0×3.0m - 수평배수공 : 8m(21공), 10m(10공)				

2) 위치도

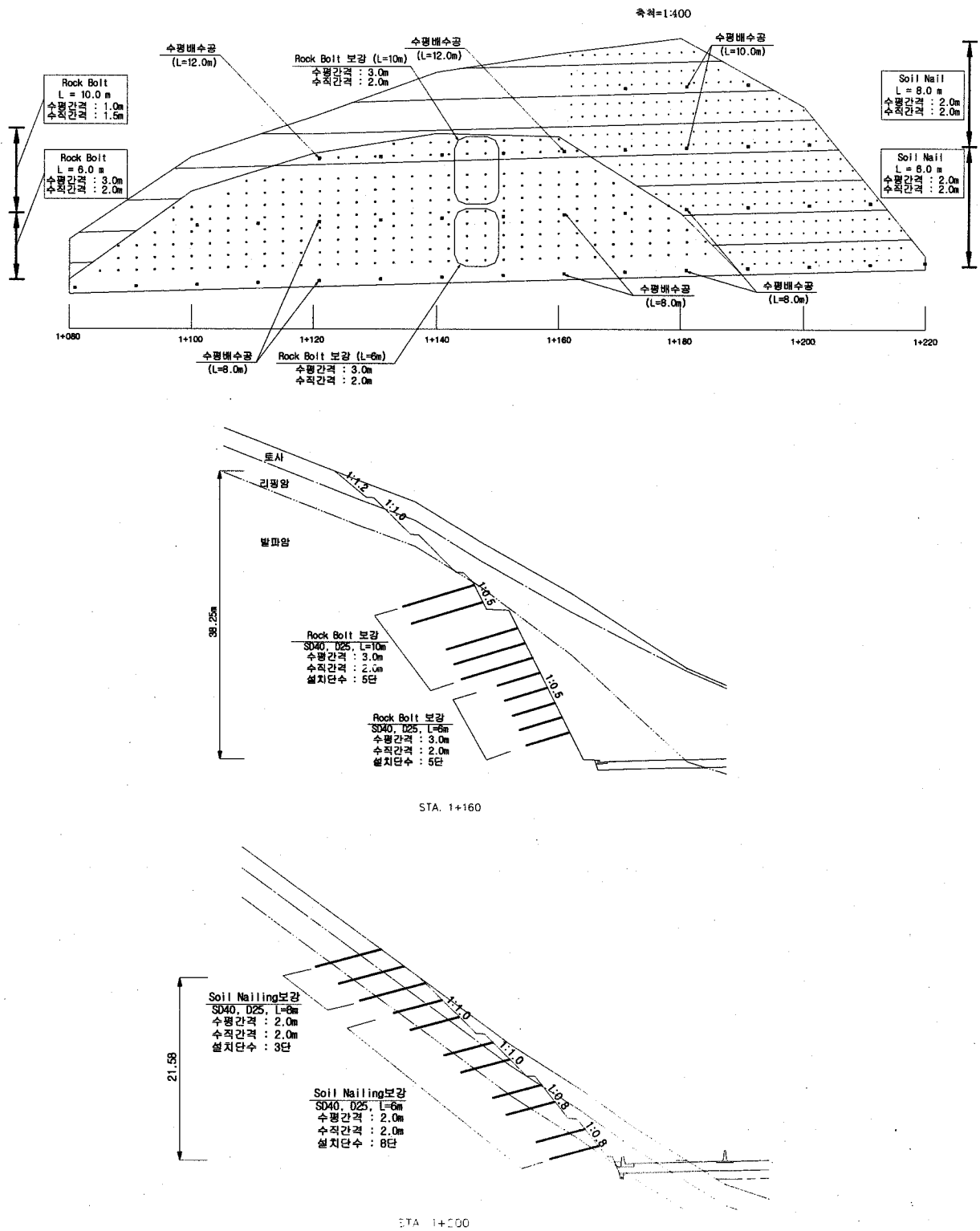


〔그림-1〕 위치평면도(STA. 1+080~1+220)

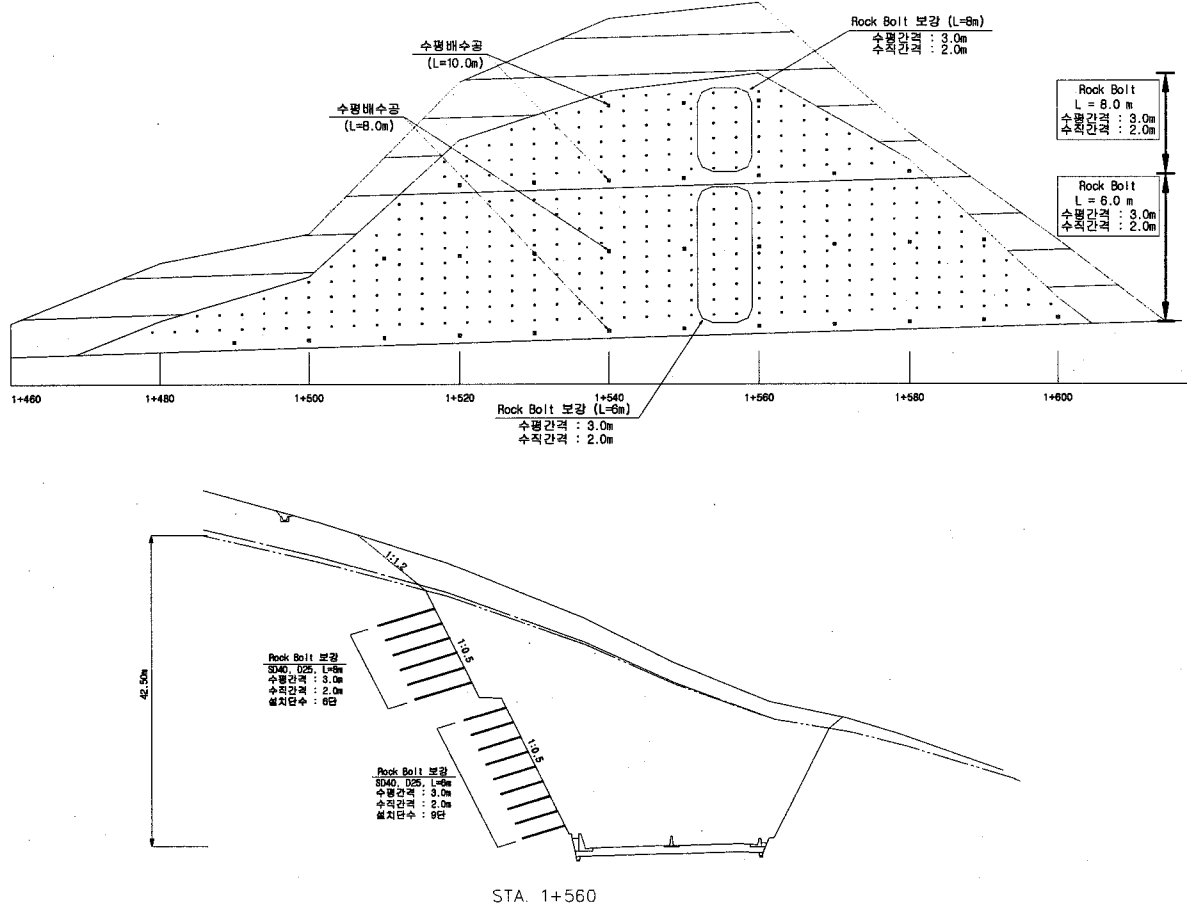


· [그림-2] 위치평면도(STA. 1+470~1+620)

3) 보강사면 전개도(횡단면도)



[그림-3] 보강사면 전개도 및 횡단면도(STA. 1+080~1+220)



[그림-4] 보강사면 전개도 및 횡단면도(STA. 1+470~1+620)

나. 시공사 검토내용

1) 안전율 기준

(1) 깎기부

고속도로 깎기비탈면의 경우 장기적인 안정이 요구되므로 안전율 기준은 각기관의 안전율 기준을 참조하여 최근 고속도로 설계시 적용되고 있는 평상시 최소안전율 1.5이상, 우기시 최소안전율 1.1이상을 적용하였다.

(2) 쌓기부

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 연약지반 분포여부, 쌓기체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으나, 본 과업에서는 한국도로공사의 일반적인 기준인 1.3 이상을 적용하였다.

2) 지하수위 적용기준

비탈면 안정해석시 적용되는 지하수위 조건은 아래와 같이 한국도로공사의 일반적인 기준을 적용하였다. (실시설계시 적용한 지하수위 조건과 동일)

• 암반

건기시 - 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음

우기시 - 인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $H_w=1/2H$ 로 가정하여 적용

• 토층 및 풍화암

건기시 - 지하수위 불고려

우기시 - 지하수위는 지표면에 위치

3) 설계 지반정수 산정

안정해석시 적용된 지층별 지반정수는 실시설계시 적용된 설계정수를 적용하였다.

[표-2] 토사 및 풍화암의 설계정수

구 분	단위중량 (tf/m^3)	점 착 력 (tf/m^2)	내부마찰각 ($^\circ$)	비 고
흙쌓기재	1.9	1.5	25	실시설계 적용값
매립층, 붕적층, 퇴적층	1.8~2.0	0.0	25~30	
풍화토층	1.723	2.5	29	
풍화암층	2.0	3.0~5.0	30	
암 반	2.3	9.0	35	

4) 사면안정성 분석

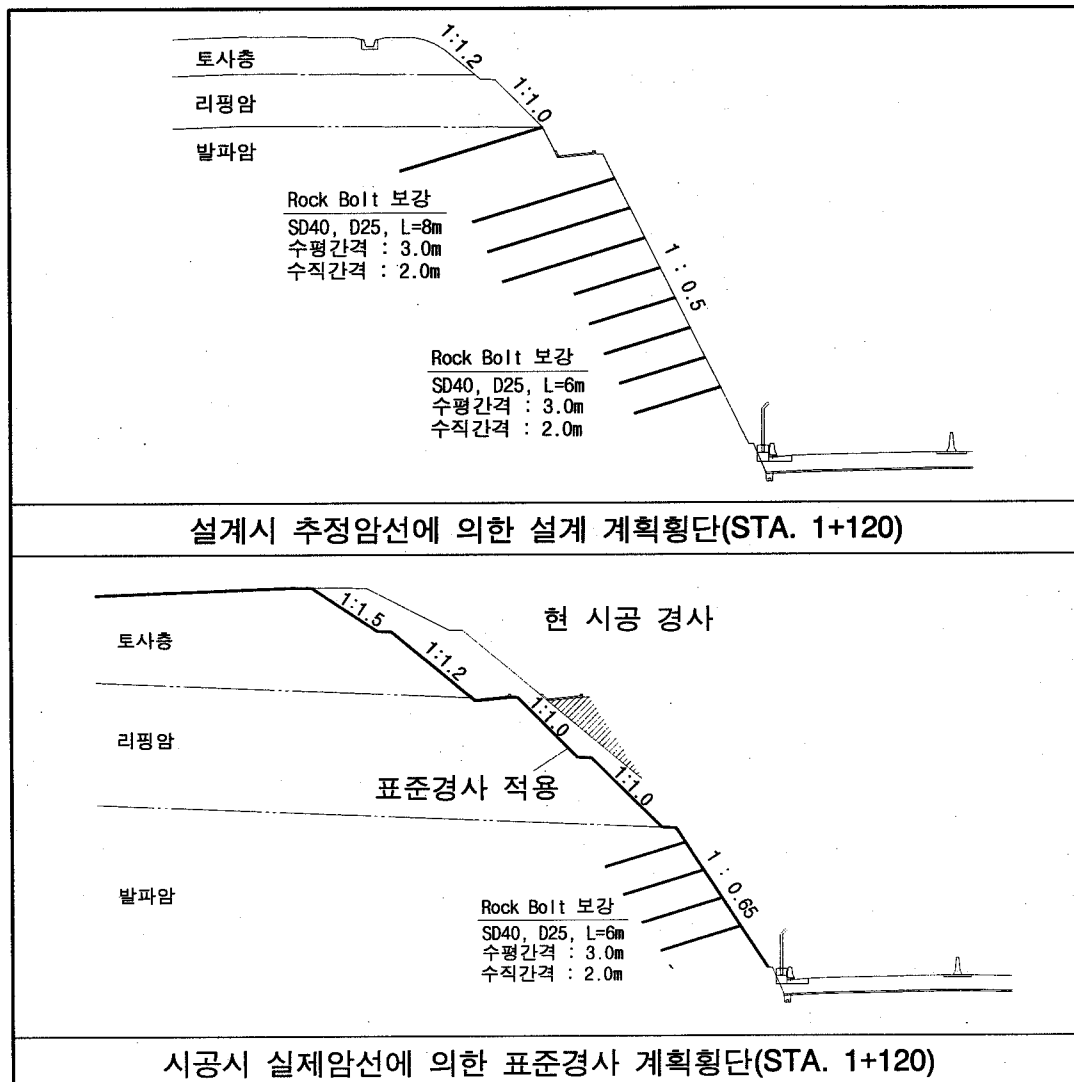
(1) STA. 1+080~1+220

① 기존사면 안정성 분석

- 본 사면은 지층의 급격한 변화로 인하여 사면의 전반부 구간(STA. 1+080~1+140)에 풍화대 깊이가 깊게 분포하고 있으며, 이중 STA. 1+105~1+125의 20m 소단 하부

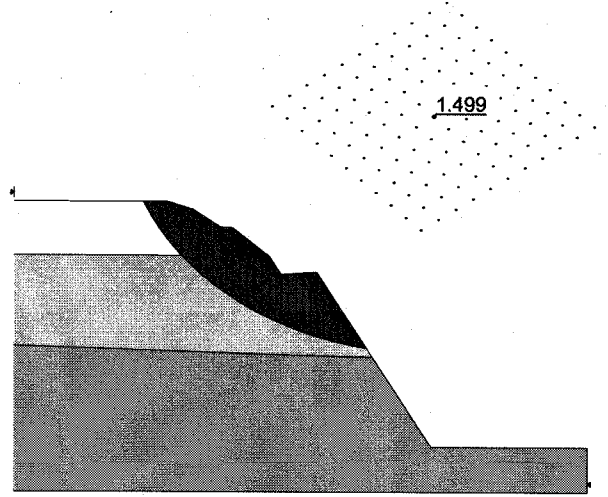
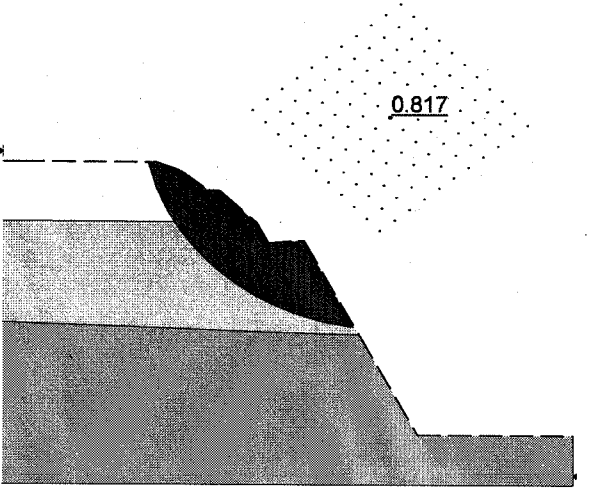
구간은 전체적으로 리핑암이 분포함.

- 사면 붕괴가 발생한 STA. 1+120의 경우, 설계시의 추정암선은 발파암선의 위치가 20m소단 상부에 위치하는 것으로 추정하였으나, 실제의 발파암선은 사면 하단부에 위치하고 리핑암선이 20m 소단부근에 출현함.
- 설계시 비탈면 횡단구성은 전 지층에 대하여 한국도로공사의 지층별 표준경사를 적용하였으며, 발파암 구간에는 L=6~8m의 록볼트를 계획하였으나, 붕괴구간의 경우 현 굴착면까지 발파암이 분포하지 않으며, 변화된 암선에 적합한 새로운 횡단구성이 필요한 상태임.



■ 한계평형해석 (SLOPE/W 이용)

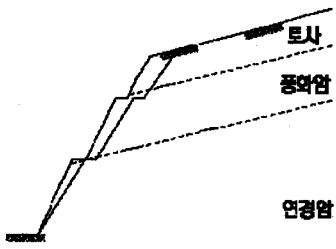
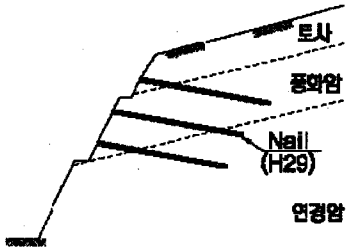
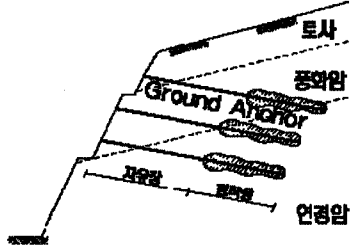
현재 노출된 리핑암 구간의 시공단면에 대하여 원호파괴를 가정한 한계평형해석을 실시하였으며 검토 결과는 다음과 같다.

구 분	해석단면(붕괴구간 : STA. 1+120)
건 기 시	 $F_s = 1.499 < 1.5$ (불안정)
우 기 시	 $F_s = 0.817 < 1.1$ (불안정)
분석결과	현 시공 비탈면에 대한 실제 암선 적용시의 안정성 검토결과 불안정한 것으로 검토되어 대책공법의 적용이 필요한 것으로 분석됨.

② 사면안정 대책공법 검토

기존 사면에 대한 안정성 분석결과 불안정한 것으로 검토되어 사면안정 대책공법을 검토함.

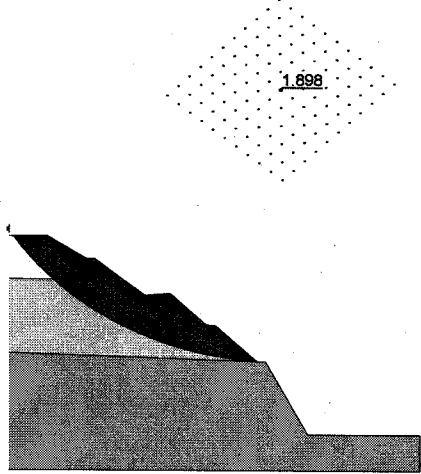
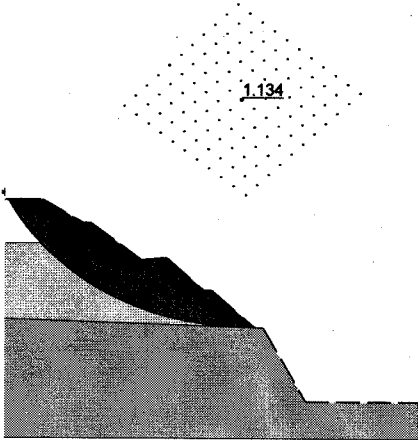
[표-3] 사면안정 대책공법 비교

구 분	제 1 안	제 2 안	제 3 안
	< 경사완화공법 >	< Rock Bolt 보강공법 >	< 영구 Anchor 보강 >
공 법 개 요	• 사면의 경사를 완화시켜 활동력을 감소시킴으로서 사면의 장기적인 안정성을 확보하는 공법	• 국부적 파괴, 이완암의 봉합, 보강작용(그라우팅)으로 낙석 및 암괴이탈을 방지	• 앵커를 시공함으로써 안정성을 확보하고, 선행하중을 가함으로써 초기변위를 최대한 억제
			
장 점	• 사면의 안정성 우수 • 장래 도로확장시 시공용이 • 공사비 저렴	• 얕은파괴 발생시에 유리 • 시공성 양호 • 안전성 높음	• 선행하중을 가하므로 초기 변형이 억제됨 • 깊은 활동파괴에서 유리
단 점	• 절취량이 많음 • 토지의 추가편입이 필요 • 추가절취로 사면규모 확대	• 굴착과 동시에 보강이 이루어지므로 철저한 품질관리 필요	• 공종이 상대적으로 복잡함 • 별도의 전면처리가 필요함 • 영구앵커 부식방지 필요
선 정	◎		
검 토 의 견	• 현재 노출된 사면의 리핑암 상태를 감안하여 사면 안정성 검토 결과 리핑암에 적합한 비탈면 표준구배로 경사를 완화하는 것이 가장 합리적인 것으로 판단됨. • 현재의 사면경사를 유지한 상태에서 Nail 등에 의해 비탈면을 보강하는 공법은 시공성 및 경제성 측면에서 적용성이 떨어짐. • 깎기 비탈면 상부의 자연사면이 수평에 가까우므로 경사완화를 위한 추가굴착시에도 사면의 규모가 크게 확대되지 않음. • 상기의 조건을 종합 고려할 때 본 사면의 대책공법은 경사완화공법의 적용이 가장 합리적인 것으로 판단됨.		

③ 대책공법 적용시 안정성 검토

■ 한계평형해석 (SLOPE/W 이용)

본 사면에 대한 대책공법 검토결과 각 지층에 적합한 표준경사의 적용이 필요한 것으로 분석되며, 각 지층별 표준경사 및 소단규적을 적용한 단면에 대하여 안정성 분석을 실시하였으며 검토 결과는 다음과 같다.

구 분	해석단면(붕괴구간 : STA. 1+120)
건 기 시	
	$F_s = 1.898 > 1.5$ (안정)
우 기 시	
	$F_s = 1.134 > 1.1$ (안정)
분석결과	지층 조건에 적합한 표준경사 및 소단규적을 적용하여 안정성 분석을 실시한 결과, 안전한 것으로 분석됨.

④ 대책공법 종합

본 검토구간은 위치별로 지층변화가 심하여 표준경사보다 상향조정된 경사로 굴착된 구간이 분포하므로, STA. 1+080~1+140 구간에 대하여 지층변화에 적합한 표준경사 및 소단규정을 적용하여 추가 굴착을 수행함.

■ 대책공법 종합

굴착후 확인된 비탈면의 실제 암판정 결과에 따라 각 지층에 적합한 표준경사 및 소단 규정을 적용하고, 발파암하부는 당초 설계에 반영된 록볼트를 시공한다.

• 표준경사

- 토사층 1:1.2~1.5, 리핑암 1:1.0, 발파암 1:0.5~0.8

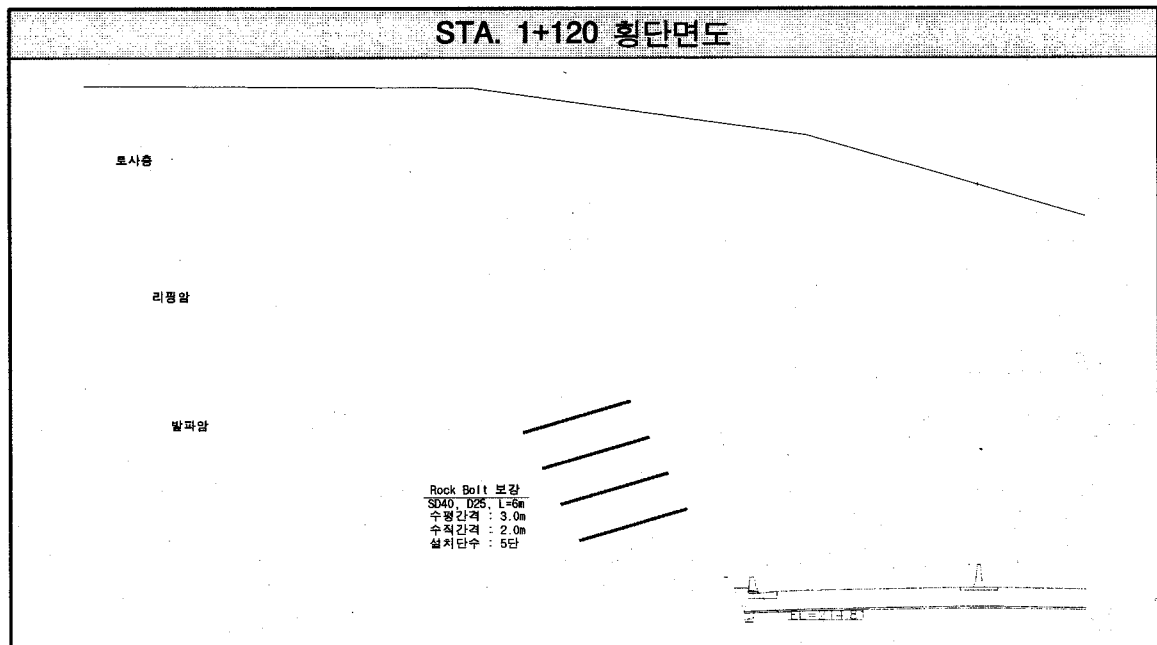
• 소단규정

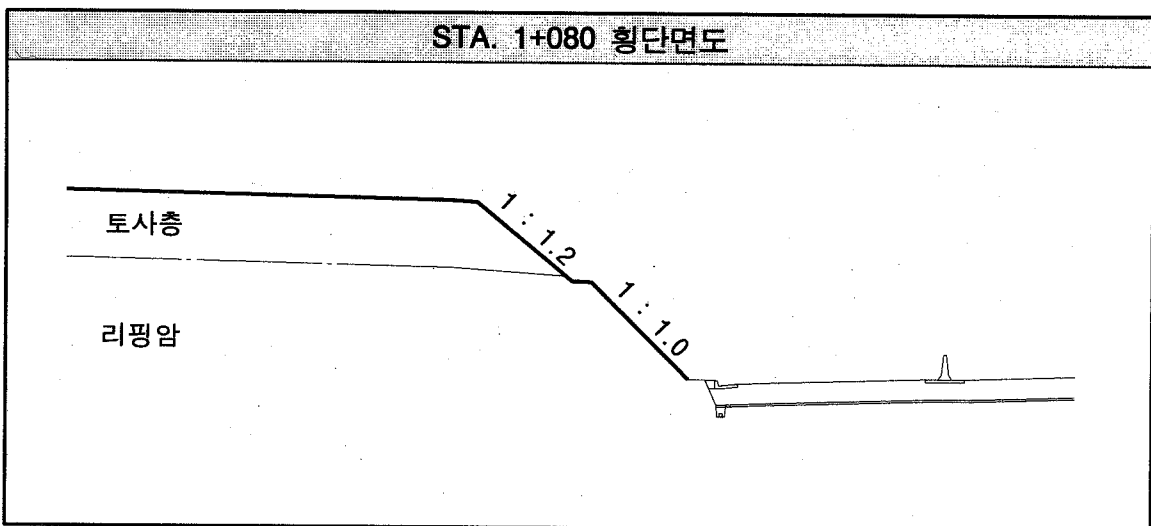
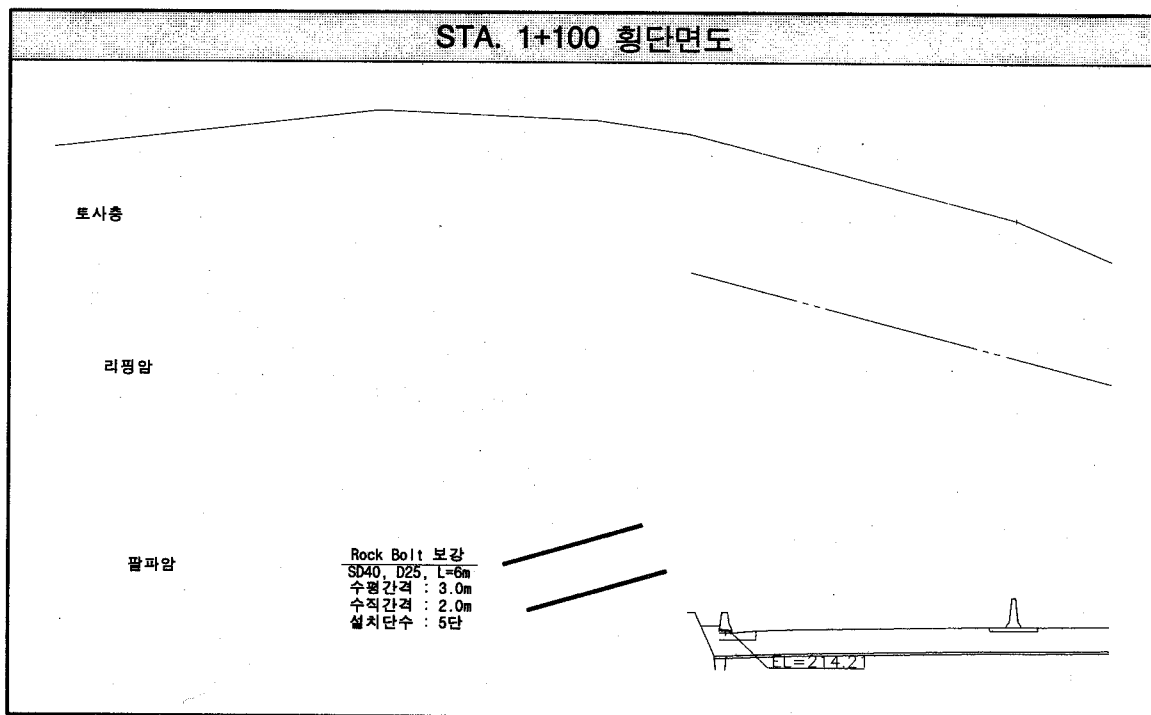
- 절토고 20m마다 폭 3m의 소단 설치
- 토사 및 리핑암층은 높이 5m마다 폭 1m의 소단 설치
- 암반층은 비탈면의 유지관리상 편의, 연계성 등을 고려하여 소단 설치방법 결정

• 발파암층 보강공법

- 발파암층은 원 설계에 반영된 록볼트 보강공법을 당초 설계대로 시공함.

■ 대책공법이 적용된 표준횡단



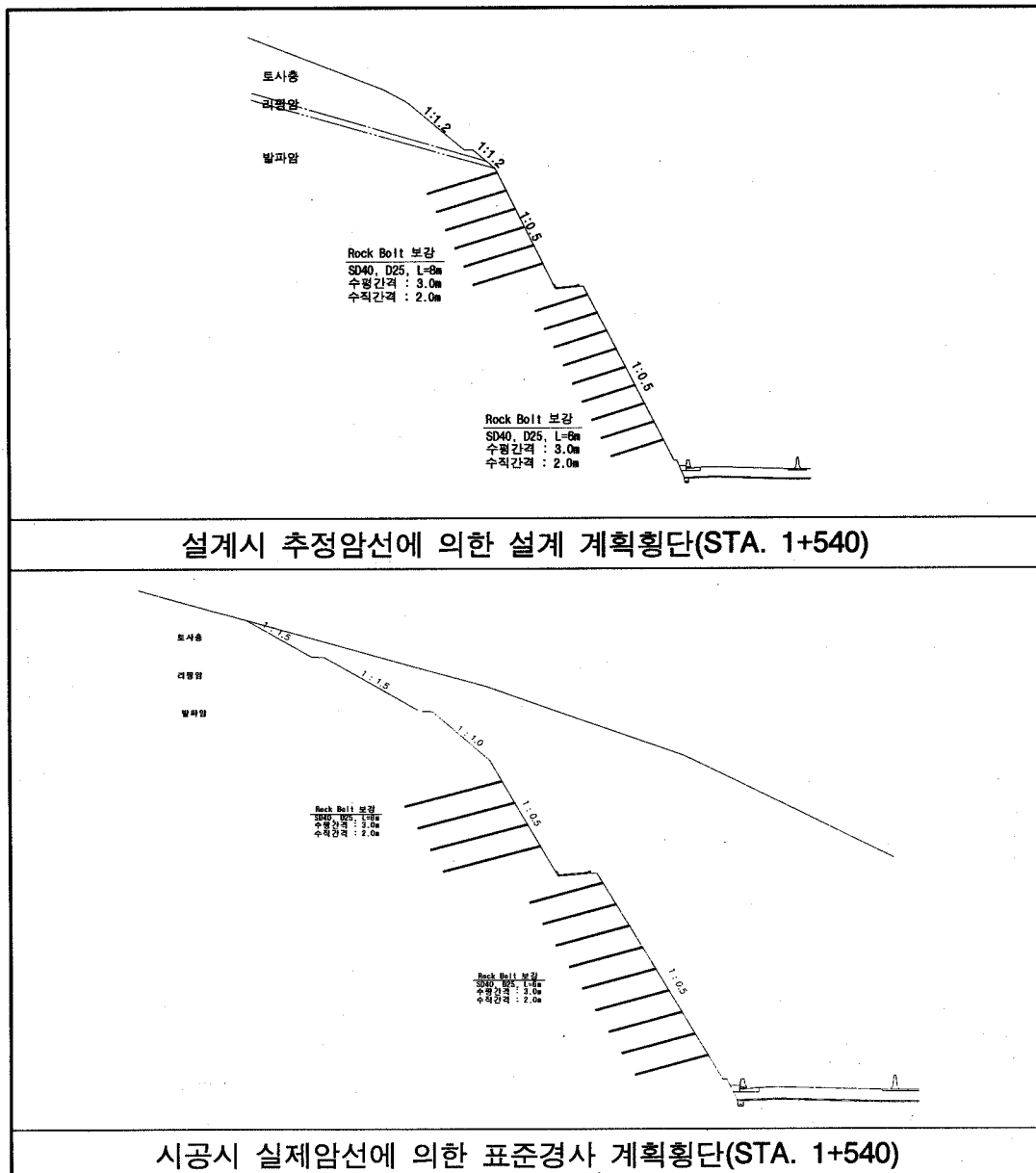


(2) STA. 1+480~1+600

① 기존사면 안정성 분석

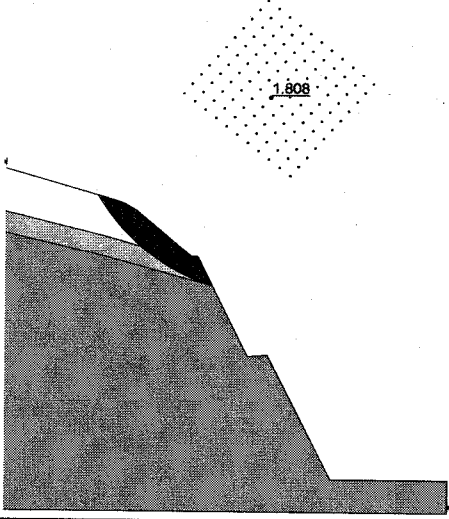
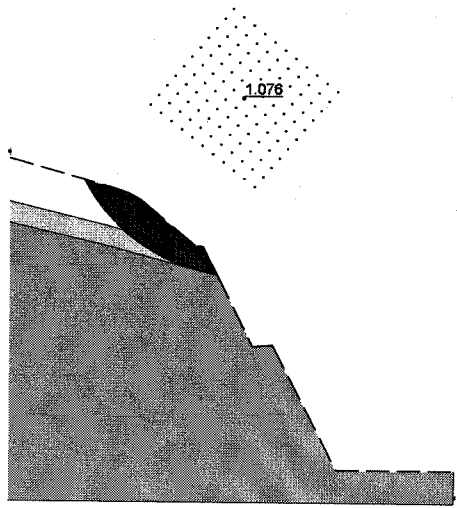
- 본 사면은 당초 설계시 추정된 발파암선보다 풍화대 깊이가 깊게 분포하고 있으며, 발파암 구배로 절취된 구간에 일부 리핑암 구간이 분포하여 국부적으로 균열 및 소규모 붕괴가 발생하였으며 장기적으로 규모가 확대되어 비탈면의 추가 붕괴가 우려된다.

- 균열 및 소규모 붕괴가 발생한 구간은 각 STA. 별로 차이를 나타내나 전체적으로 20m 소단 상부에서 35m 소단 하부에 위치하고 있다. 본 구간은 당초 설계시 발파암으로 분류되어 있어 발파암의 표준경사로 절취하고 록볼트 보강공법이 계획되어 있음.
- 실제 분포지층은 리핑암에 해당되나, 발파암 절취경사로 절취된 구간에서 균열이 발생한 상태이다.



■ 한계평형해석 (SLOPE/W 이용)

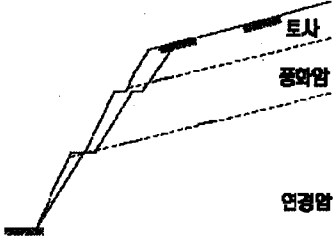
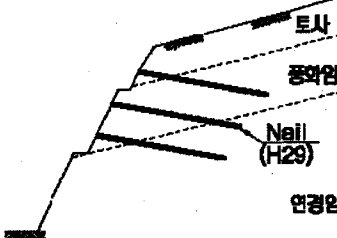
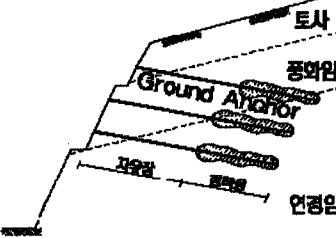
본 사면은 발파암 경사로 절취된 리핑암 구간에서 균열 및 불안정 요인이 발생하였으므로, 현 시공단면에 대하여 원호파괴를 가정한 한계평형해석을 실시하였으며 검토 결과는 다음과 같다.

구 분	해석단면(STA. 1+540)
건 기 시	 $F_s = 1.808 < 1.5$ (불안정)
우 기 시	 $F_s = 1.076 < 1.1$ (불안정)
분석결과	현 시공 비탈면에 대한 실제 암선 적용시의 안정성 검토결과 불안정한 것으로 검토되어 대책공법의 적용이 필요한 것으로 분석됨.

② 사면안정 대책공법 검토

기존 사면에 대한 안정성 분석결과 불안정한 것으로 검토되어 사면안정 대책공법을 검토함.

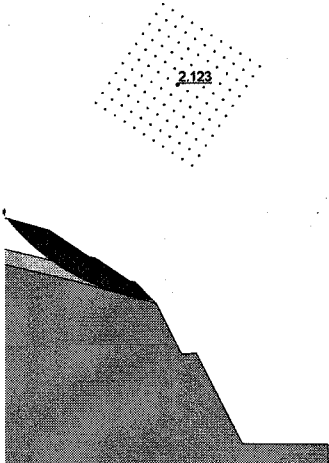
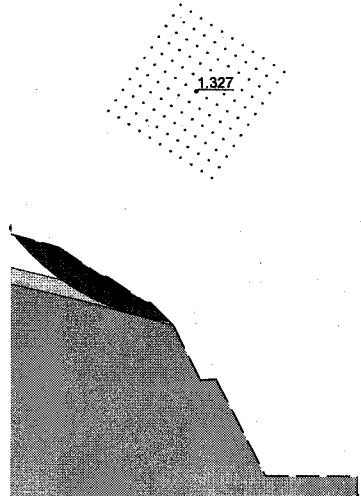
[표-4] 사면안정 대책공법 비교

구 분	제 1 안	제 2 안	제 3 안
	< 경사완화공법 >	< Rock Bolt 보강공법 >	< 영구 Anchor 보강 >
공 법 개 요	사면의 경사를 완화시켜 활동력을 감소시킴으로서 사면의 장기적인 안정성을 확보하는 공법	국부적 파괴, 이완암의 봉합, 보강작용(그라우팅)으로 낙석 및 암괴이탈을 방지	앵커를 시공함으로써 안정성을 확보하고, 선행하중을 가함으로써 초기변위를 최대한 억제
			
장 점	- 사면의 안정성 우수 - 장래 도로확장시 시공용이 - 공사비 저렴	- 얕은파괴 발생시에 유리 - 시공성 양호 - 안전성 높음	- 선행하중을 가하므로 초기변형이 억제됨 - 깊은 활동파괴에서 유리
단 점	- 절취량이 많음 - 토지의 추가편입이 필요 - 추가절취로 사면규모 확대	굴착과 동시에 보강이 이루어지므로 철저한 품질관리 필요	- 공종이 상대적으로 복잡함 - 별도의 전면처리가 필요함 - 영구앵커 부식방지 필요
선 정	◎		
검 토 의 견	- 리핑암 구간에 국부적으로 균열 및 소규모 붕괴가 발생하였으므로, 리핑암에 적합한 비탈면 표준구배로 경사를 완화하는 방법이 가장 합리적인 것으로 판단됨. - 사면내에 이미 균열 및 소규모 슬라이딩이 발생한 상태여서 이완부위 제거 및 법면정비를 위하여 추가굴착이 필요한 상황이므로 경사완화공법이 가장 유리하며, 현재의 사면경사를 유지한 상태에서 Nail 등에 의해 비탈면을 보강하는 공법은 시공성 및 경제성 측면에서 적용성이 떨어짐. - 깎기 비탈면 상부의 자연사면이 사면내측으로 경사져 있으나, 비탈면 상부의 일부 구간에만 표준경사를 적용하여 경사를 완화시키는 것이므로, 경사완화를 위한 추가굴착시에도 사면의 규모가 크게 확대되지는 않음. - 상기의 조건을 종합 고려할 때 본 사면의 대책공법은 경사완화공법의 적용이 가장 합리적인 것으로 판단됨.		

③ 대책공법 적용시 안정성 검토

■ 한계평형해석 (SLOPE/W 이용)

본 사면에 대한 대책공법 검토결과 비탈면 상부의 일부구간에 경사완화공법의 적용이 필요한 것으로 분석되며, 대책공법이 적용된 단면에 대한 안정성 분석을 실시하였으며 검토 결과는 다음과 같다.

구 분	해석단면(붕괴구간 : STA. 1+120)
건 기 시	 $F_s = 2.123 > 1.5$ (안정)
우 기 시	 $F_s = 1.327 > 1.1$ (안정)
분석결과	비탈면 상부에 경사완화공법을 적용하여 안정성 분석을 실시한 결과, 안전한 것으로 분석됨.

④ 대책공법 종합

본 구간은 발파암 구배로 절취된 구간에 일부 리핑암 구간이 분포하여 국부적으로 균열 및 소규모 붕괴가 발생하였으므로, 리핑암에 적합한 비탈면 표준구배로 경사를 완화하는 방법을 적용함.

■ 대책공법 종합

굴착후 확인된 비탈면의 실제 암판정 결과에 따라 각 지층에 적합한 표준경사 및 소단 규정을 적용하고, 발파암하부는 당초 설계에 반영된 록볼트를 시공한다.

• 표준경사

- 토사층 1:1.2~1.5, 리핑암 1:1.0, 발파암 1:0.5~0.8

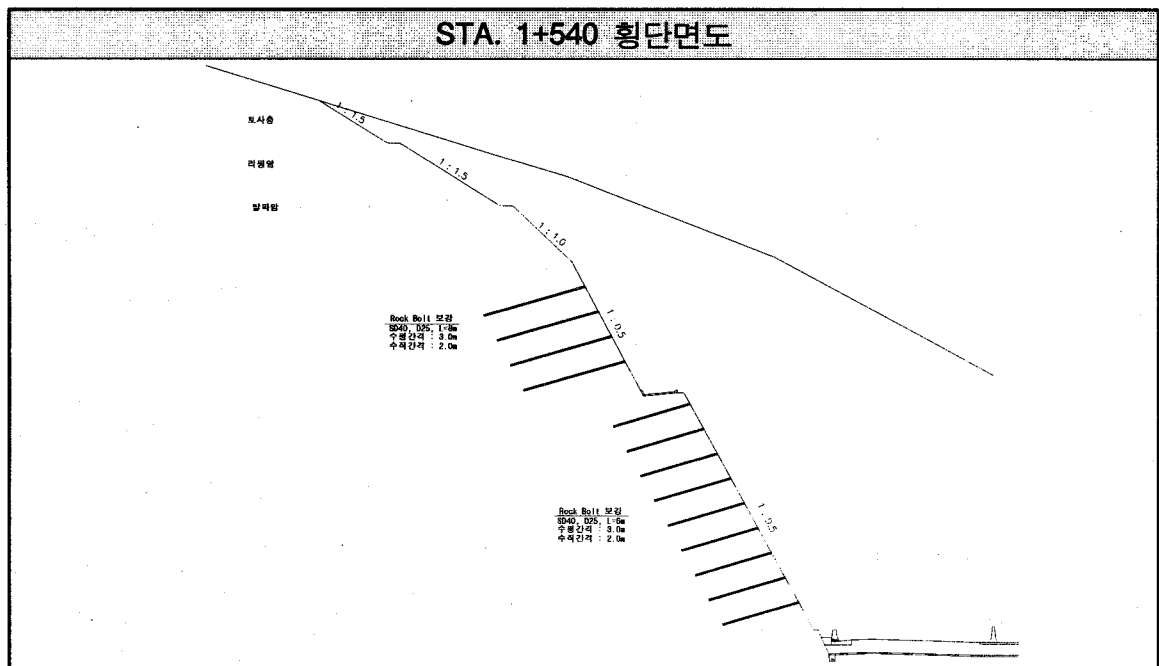
• 소단규정

- 절토고 20m마다 폭 3m의 소단 설치
- 토사 및 리핑암층은 높이 5m마다 폭 1m의 소단 설치
- 암반층은 비탈면의 유지관리상 편의, 연계성 등을 고려하여 소단 설치방법 결정

• 발파암층 보강공법

- 발파암층은 원 설계에 반영된 록볼트 보강공법을 당초 설계대로 시공함.

■ 대책공법이 적용된 표준횡단



다. 자문단 검토내용

1) 안전율 기준

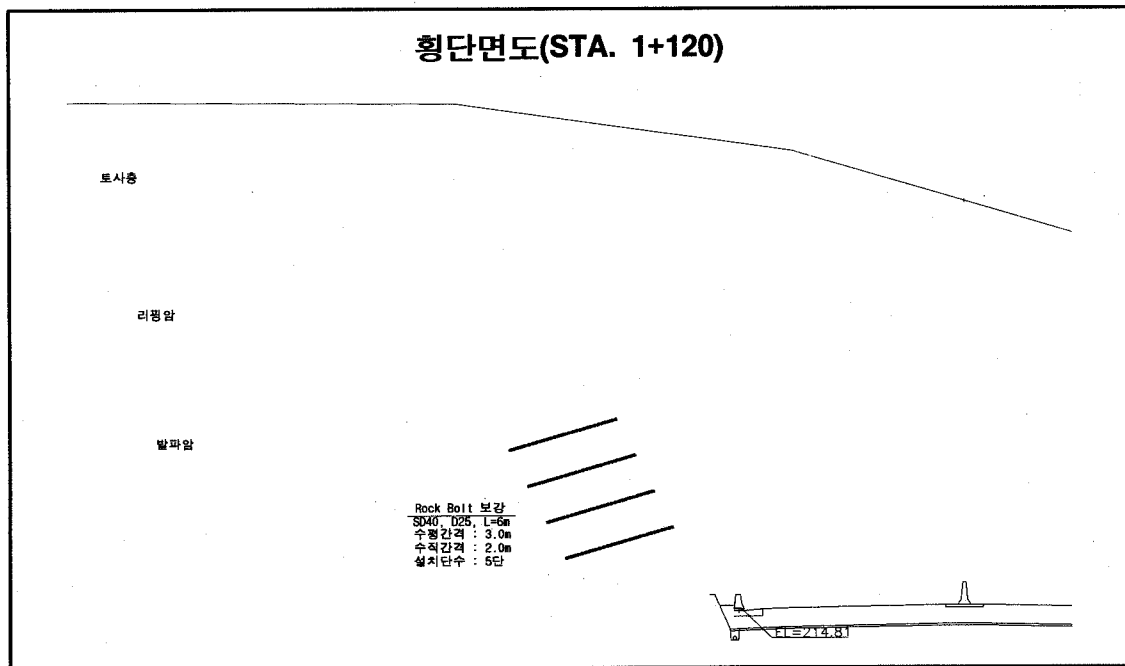
- (1) 안전율은 지반이 가지는 전단강도(S)와 현재 지반에 작용하고 있는 전단응력(τ)의 비로 정의($F_s = S/\tau$)되며, 허용안전율은 강도정수, 하중, 파괴모델 등에 대한 불확실성에 대한 대비수단으로 경험적으로 비탈면변형을 허용치 이내로 제한하는 기능을 지님.
- (2) 이론적으로 안전율이 1이상이면 안전한 것으로 판정되나 비탈면의 실제 거동에 불확실성을 감안하여 안전율의 개념이 도입되고 있음.
- (3) 비탈면 허용안전율의 결정에 영향을 미치는 가장 큰 요소는 비탈면의 형상을 포함한 주변환경과 지반의 강도정수, 그리고 만약의 경우 비탈면이 붕괴할 때 발생하는 피해의 정도 등이 있음.
- (4) 시공사 검토에서는 원설계와 동일하게 깎기부는 건기시 1.5, 우기시 1.1을 적용하였는데 이는 적정함.

2) 지층별 물성치

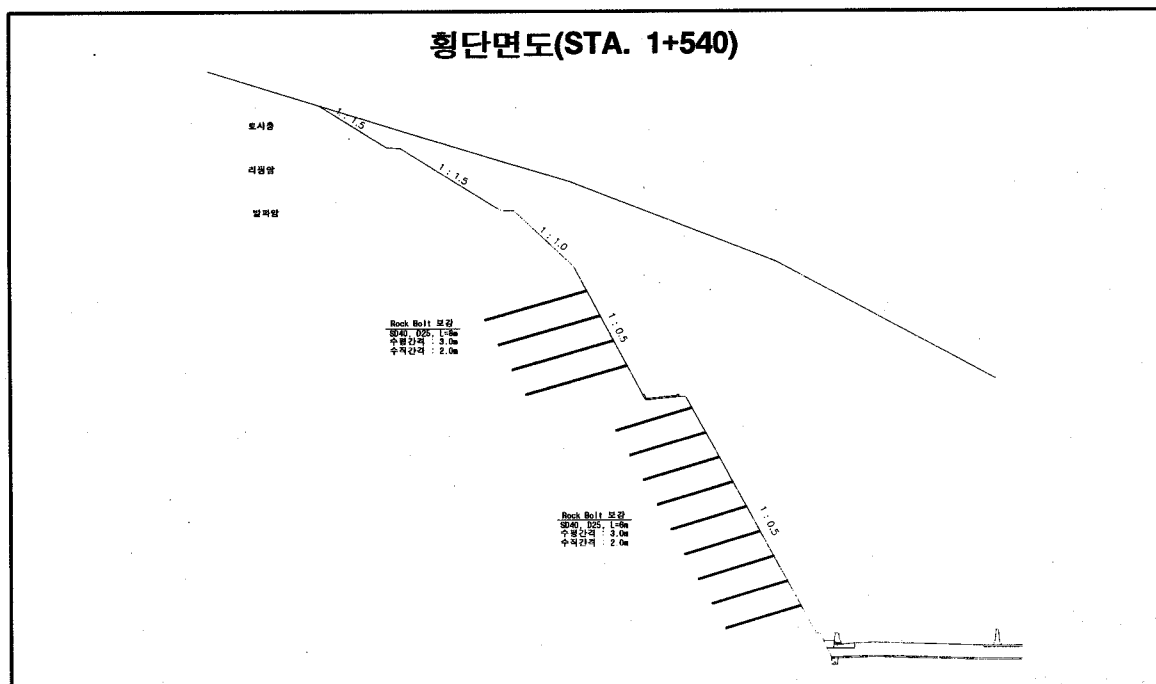
- (1) 지반강도정수를 추정하는 방법에는 시험에 의한 방법, 경험에 의한 방법, 역해석에 의한 방법, 검토자료를 이용하는 방법 등이 있으며 이는 검토자(설계자)에 따라 견해를 달리할 수 있음.
- (2) 시공사 검토에서는 지표지질조사, 기존의 설계사례 등을 종합적으로 검토하여 지반 강도정수를 산정한 것은 적정함.

3) 비탈면 안정방안

- (1) 시공사는 설계기준(도로설계요령 토공 및 배수 p.130)에 의거 건기시는 지하수위를 고려하지 않고 우기시는 지표면까지 포화되는 것으로 가정하여 적정하게 검토함.
- (2) 구간별 사면안정방안은 다음과 같다.
 - STA. 1+080~1+220 구간은 STA. 1+140을 경계로 지층의 변화가 심한편으로 STA. 1+140의 시점부인 STA. 1+080~1+140 구간은 설계시 암선보다 발파암선이 하락하였으며 붕괴가 발생된 상태로 붕괴(이완)영역의 제거 및 변경된 지층에 적합한 구배를 적용하여 사면을 안정화시키는 사면구배완화공법이 적정한 것으로 판단됨.



- STA. 1+480~1+600구간은 설계시 보다 발파암선이 하락하여 분포하고 있으며 상부 리핑암 및 토사층에서 소규모 붕괴가 발생된 바 변경된 지층에 적합한 표준구배를 적용하여 사면을 안정화시키는 사면구배완화공법이 적용된 것으로 판단됨.



3. 검토결론

STA. 1+080~1+220 및 STA. 1+480~1+600구간의 사면안정성 확보를 위해 현장에서 제출된 내용을 검토한 결과는 다음과 같음.

1) STA. 1+080~1+220구간

- (1) 사면중앙부(STA. 1+140)를 경계로 전·후구간의 지층변화가 뚜렷한 상태로 암층경계면을 형성하고 있으며 시점부인 STA. 1+080~1+140 구간은 설계시 암선보다 발파암선이 하락하여 풍화대가 깊게 분포하고 있음.
- (2) 사면 시점부인 STA. 1+105~1+125 구간은 3m 소단 하부에서 원호활동이 발생되었으며 노출된 기반암도 암질이 불량한 편으로 별도의 안정대책 수립이 필요한 상태임.
- (3) 또한 대기노출에 의한 급속한 풍화진행에 따라 토사화되어 있으며 사면내 국부적으로 파쇄대가 존재하고 있음.
- (4) 사면의 규모(연장, 높이), 붕괴(이완)영역 등을 고려할 경우 현장에서 제안된 사면구배 완화공법은 적절한 것으로 판단됨.
- (5) 사면단부측은 ROUNDING처리하고 STA. 1+120~1+140구간은 완화구간을 확보하여 시공함이 적합한 것으로 판단됨.

2) STA. 1+480~1+600구간

- (1) 당초 설계의 추정암선보다 풍화대가 다소 깊은 상태로 비탈면 상부구간에서 균열 및 소규모 붕괴가 발생되어 안정대책이 필요한 상태임.
- (2) 발파암선이 하락함에 따라 상부의 리핑암이 발파암의 구배로 형성되어 불안정한 상태로 추가로 붕괴가능성 있으며 이완영역이 확대·진전될 가능성 있으며, 하부에 분호하는 발파암은 습곡작용에 의해 향사구조와 배사구조가 연속적으로 분포하며 국부적으로 gouge가 협재가 협재되어 있으며 판상의 엽리구조가 발달되어 있으며 장기간의 대기노출시 급속한 풍화진행이 예상됨.
- (3) 하부의 발파암구간은 Rock Bolt로 보강하는 것으로 계획되어 있으므로 상부에 분포하는 풍화대에 대해서 지층에 적합한 구배를 적용하는 방안으로 현장에서 제안된 사면구배완화공법은 적절한 것으로 판단됨.

3) 사면안정대책 요약

구 간	안정대책	비 고
STA. 1+080~1+220	사면구배완화(표준구배)	
STA. 1+480~1+600	사면구배완화(표준구배)	

4) 시공시 유의사항

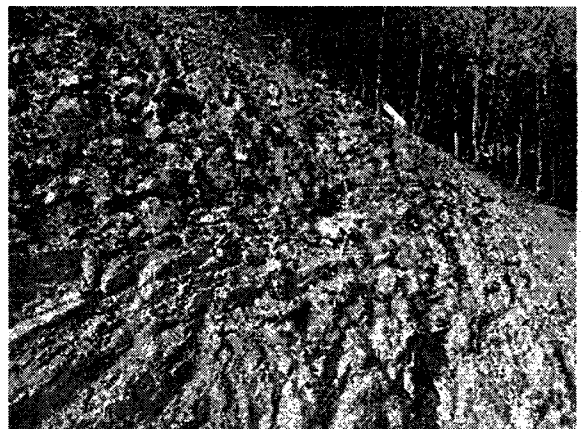
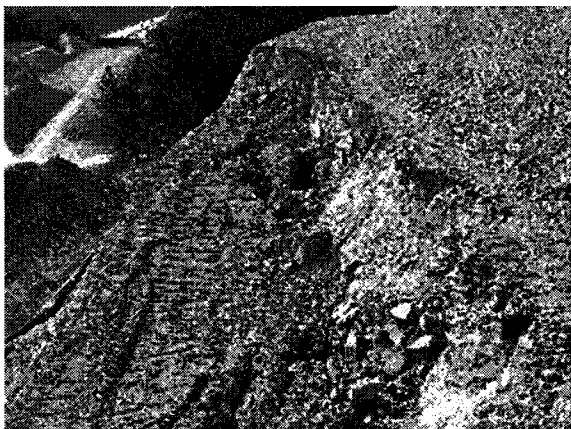
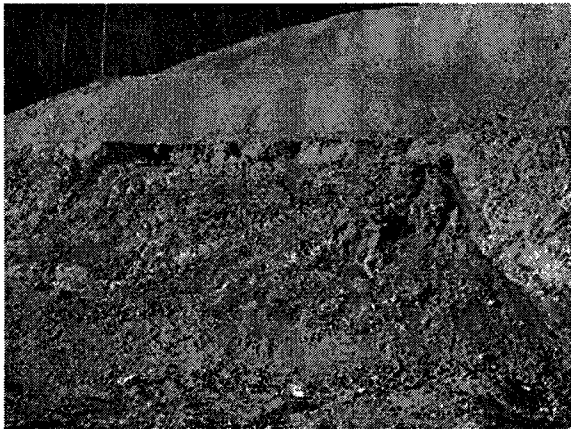
- 보강이 계획된 구간은 뜯돌이나 이완이 심한 암괴는 제거후 보강공법이 적용되어야 하며 반드시 매단계 절취후 조속한 보강이 되어야 하며 TOP DOWN 방식의 시공이 되어야 함.
- 사면의 표면보호공은 안정해석에 반영되지는 않으나 사면안정에 매우 중요한 인자임을 인식하고 시공후 조속한 표면처리를 실시하는 것이 타당한 것으로 판단됨.
- 절취사면내 용수 발생시는 수평배수공을 설치하여 원활한 배수를 유도하여야 함.
- 추가굴착시 지질이 급변하거나 검토시와 상이한 지층이 분포할 경우에는 반드시 재검토 후 시공하여야 함.

첨부

사 진 대 지

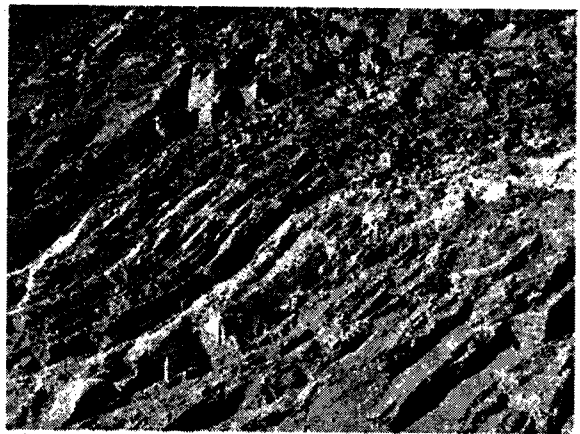
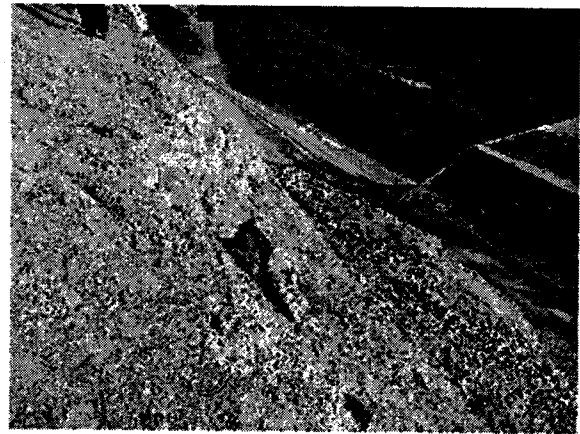
춘 천 ~ 동 흥 천 기 술 자 문 단

STA. 1+080 ~ 1+220



춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

STA. 1+480~1+600



춘천 ~ 동홍천 기술자문단