

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 7

제 목: 북방1터널 시점부 갱구사면 안정성 검토

2005. 6

강 원 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

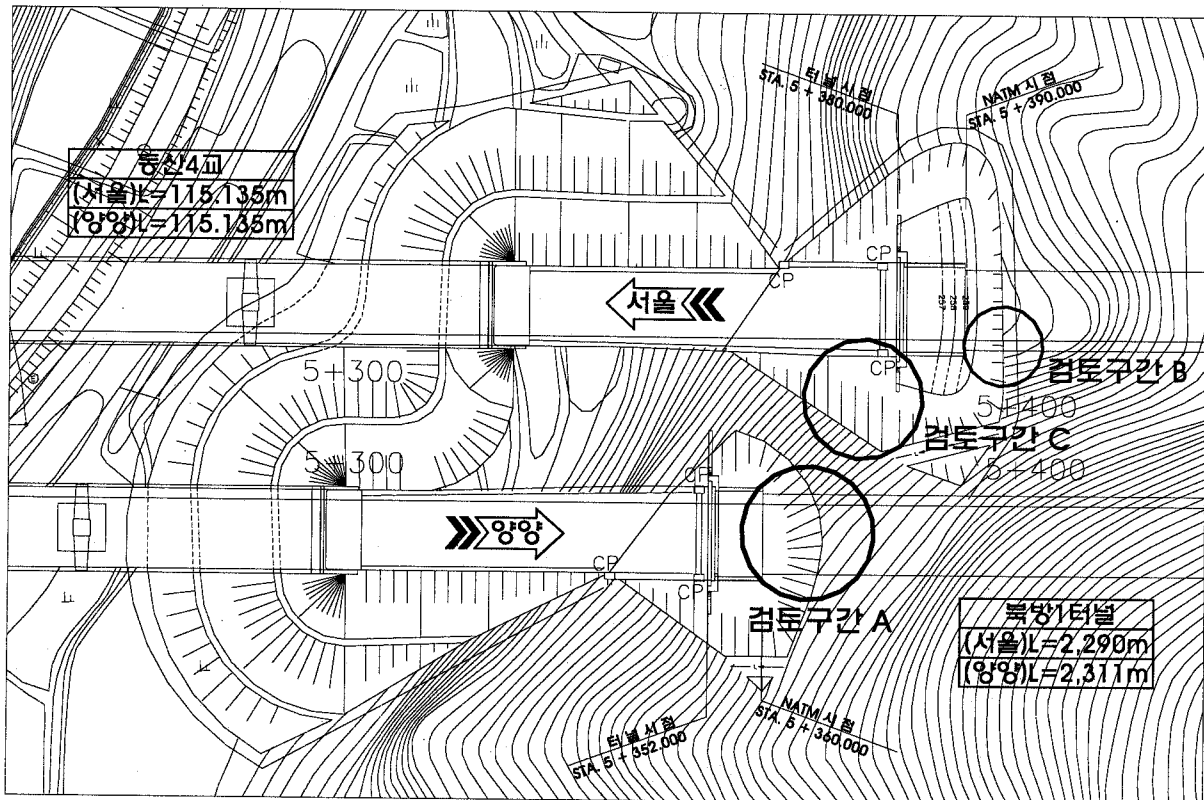
기술검토건명	북방1터널 시점부 갱구사면 안정성 검토		
공 구	제 2 공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2005. 5. 27 ~ 2004. 6. 21	검 토 자	오 관 식
		담 당 자	오 성 민
근 거 공 문	업무지시(2005. 6. 20)	회 신 공 문	용마(홍천) 제2005 - 0017호

1. 검토목적

춘천~동홍천간 고속도로 제2공구에 위치하는 북방1터널 시점부 갱구사면에 슬라이딩이 발생되어 절토사면의 안정성을 검토하고 합리적인 안정대책을 수립하여 갱구사면의 장기적인 안정성을 확보하고자 함.

2. 검토내용

가. 위치도



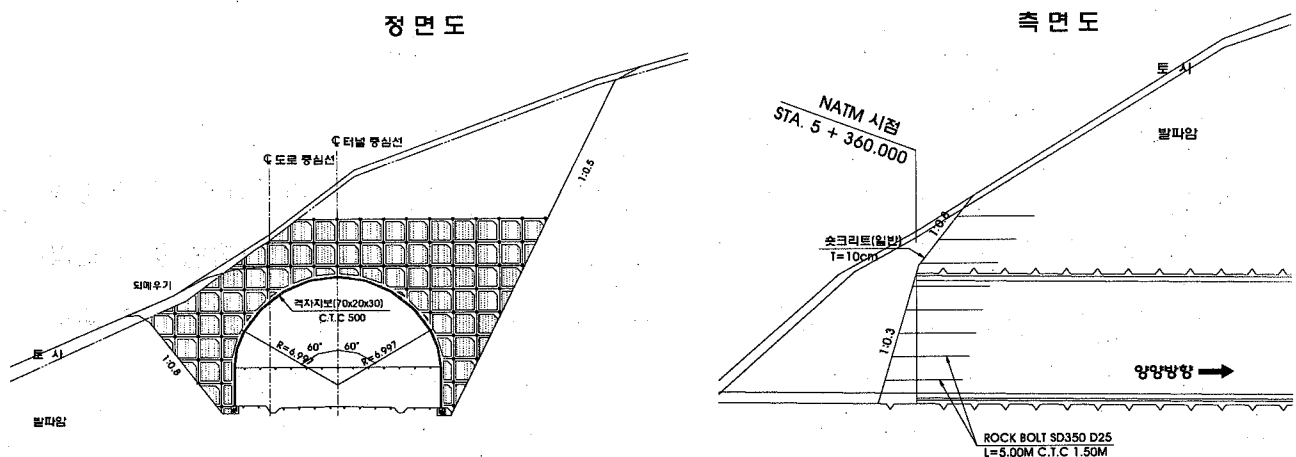
[그림-1] 현장위치도

나. 설계현황

1) 검토구간 A(양양방향 갱구사면)

절취고가 낮은 관계로 설계시 별도의 검토는 수행되지 않았음. 설계시 시행된 시추주상도(TB-7)에서는 토사층 0.4m, 시추종료 시점인 32m까지 연암층(31.6m)이 분포하는 것으로 기술되어 있음. 터널도면의 갱구부 보강상세도에는 절취고는 약4.5m, 절취구배 1:0.8이며 갱구보강공법인 강관다단그라우팅 또는 FRP 보강그라우팅은 설계에 반영되지 않았으며 록볼트 보강설계가 되어있음.

시점측 갱구부 보강상세도
(양양방향)

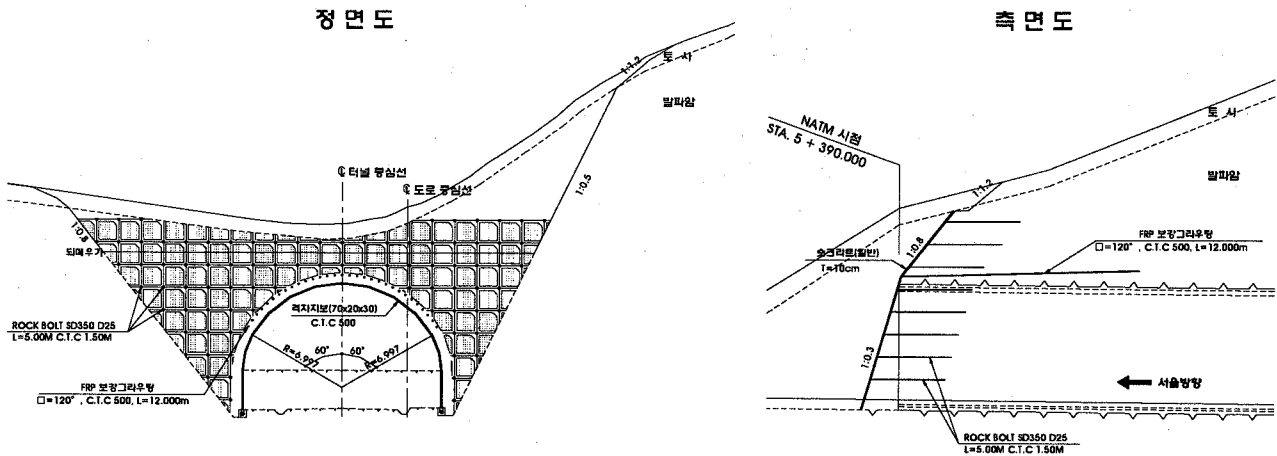


[그림-2] 북방1터널 시점부(양양방향) 갱구부 보강상세도

2) 검토구간 B(서울방향 갱구사면)

터널상부 발파암구간은 완화경사인 1:0.8, 토사구간은 표준구배인 1:1.2를 적용하였으며 우기시 $F_s=2.964$, 건기시 $F_s=3.709$ 로 기준안전율을 상회하여 안정한 것으로 검토됨. 설계시 시행된 시추주상도(TB-8)에서는 토사층 1.1m, 시추종료 시점인 20m까지 연암층(18.9m)이 분포하는 것으로 기술되어 있음. 터널도면의 갱구부 보강상세도에는 절취고는 약6.3m 이고 갱구보강공법인 FRP 보강그라우팅이 L=12m, C.T.C 50cm, 120° 로 보강 설계되어 있음.

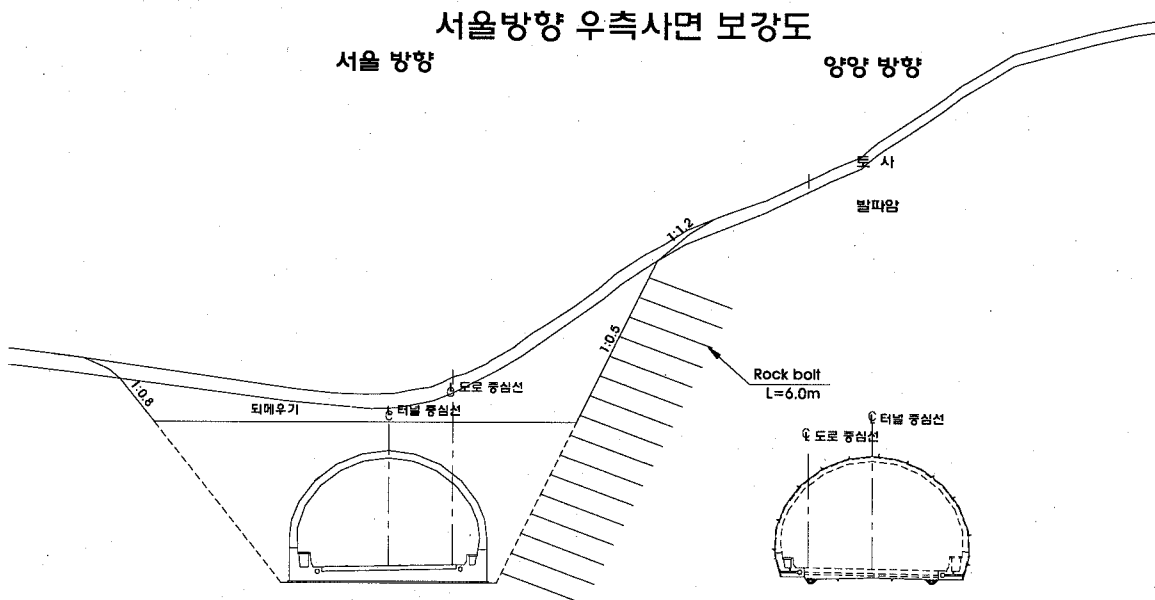
시점측 갱구부 보강상세도 (서울방향)



[그림-3] 북방1터널 시점부(서울방향) 갱구부 보강상세도

3) 검토구간 C(서울방향 우측사면)

설계시 시행된 시추주상도(TB-9)에서는 토사층 0.9m, 시추종료 시점인 39m까지 연암층 (38.1m)이 분포하는 것으로 기술되어 있음. 설계시 구배완화(1:0.8)와 보강공법을 비교검 토한 결과 절취량을 최소화하고 환경적 측면 및 공사비를 고려하여 보강공법을 적용하 였으며, 사면은 1:0.5로 절취하고 보강공법은 Rock bolt(L=6m)를 적용하였음.



[그림-4] 북방1터널 시점부 서울방향 우측사면 보강상세도

다. 현장조사

- 1차조사 : 2005년 5월 18일

: 사업소, 주감독, 자문단장, 자문단토질담당자, 현장소장 및 공사관계자 등

- 2차조사 : 2005년 5월 26일

: 사업소, 주감독, 교통기술연구원, 자문단비상주, 자문단장, 자문단토질담당자,
현장공사관계자 등

라. 조사내용

1) 검토구간 A(양양방향 갱구사면)

- 붕괴일자 : 2005년 5월 17일

- 붕괴높이 : 약 8m

- 붕괴폭 : 약 10m

- 붕괴깊이 : 약 4m

- 붕괴규모 : 약 320m²

- 붕괴형상 : 썩기형 원형파괴



[사진-1] 북방1터널 시점부 갱구사면 전경



[사진-1] 계속

(1) 지층상태

금번 검토구간은 선캠브리아기의 편마암으로 구성되며, 엽리구조에 따라 대상구조가 발달되어 있음. 수개소의 단층대 및 단층파쇄대가 관찰되며 붕괴면의 방향과 유사하여 붕락의 원인으로 추정됨.

(2) 풍화상태

설계시 보다 풍화심도가 깊으며 노출된 파쇄연암은 풍화정도가 심하여 장기적으로 토사화 거동이 예상되며, 절리간격이 매우 조밀한 상태로 불량한 암반상태를 유지하고 있음. 전반적으로 HW(Highly Weathered) 정도의 풍화상태이며 노출된 절리면은 open된 상태로 불안정한 상태임. 노출된 모암은 지질해머 타격시 쉽게 부서지며 심한 풍화작용을 받아 토사화되어 있음.

(3) 절리상태

엽리구조선이 발달된 상태이며 주절리방향은 35~42/205~215이며 절리면은 점토충진물이 충전되어 있음. 단층파쇄대는 45/338방향으로 발달되어 있으며 점토층이 20cm이상 충전되어 있으며 습윤상태를 유지하고 있음.



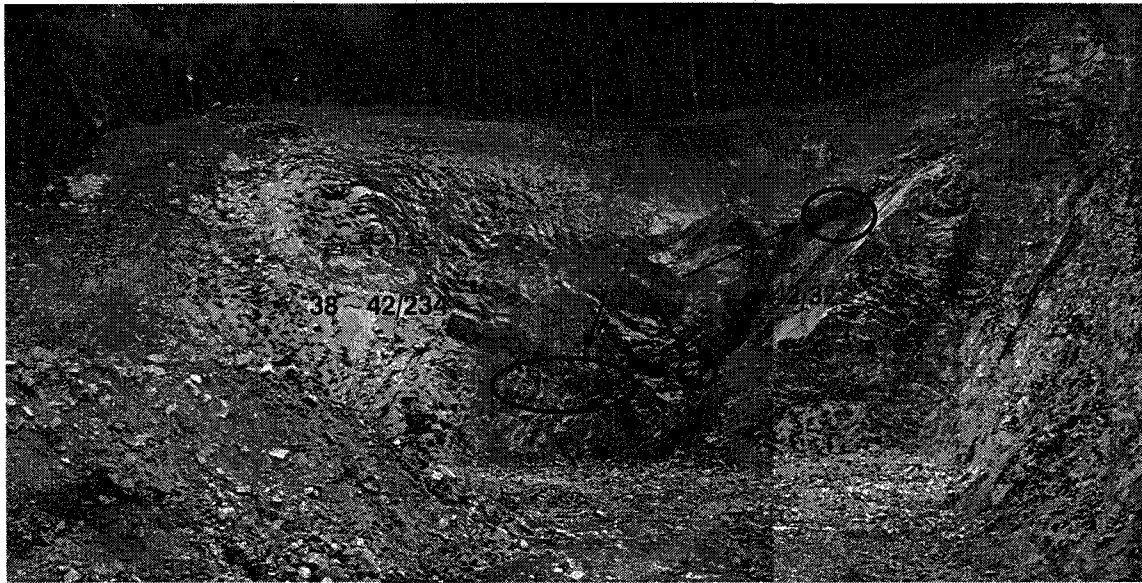
상세 A

[사진-2] 갯구사면(양양방향)

(4) 용수상태

단층파쇄대에서 용수에 의한 습윤상태를 나타내고 있으며, 사면 상단 및 중단부에 수개소의 습윤부위가 관찰되고 있음. 우수의 유입은 사면안정에 악영향을 초래하므로 배수시설을 충분히 설치하고 갯구보강사면에는 수평배수공을 적용하여 용수의 영향을 최소화하여야 함.

2) 검토구간 B(서울방향 갱구사면)



[사진-3] 갱구사면(서울방향)

(1) 지층상태

양양방향과 유사한 암종(편마암)이며 당초 설계보다 토사층이 두꺼운 상태이며, 굴진방향 좌측에 사방향으로 단층선이 발달되어 있음. 좌측구간은 모암이 습곡작용을 받아 상향으로 휘어져 있음. 암의 강도는 비교적 강하나, 쪼개짐현상이 심한 상태이고, 국부적으로 점토충전물이 관입되어 있음.

(2) 풍화상태

설계보다 풍화심도는 깊은 상태이며 노출암은 전반적으로 쪼개짐현상이 심하여 암질이 불량한 상태임.

(3) 절리상태

터널굴진방향의 좌측에 습곡작용에 의해 휘어져 있으며, 38~42/234의 절리방향을 나타내고 있음. 우측에 발달된 단층대는 43/322정도의 절리방향을 고려할 때 터널굴진에 따라 우측어깨부에 영향을 미칠수 있으므로 굴진시 주의깊은 관찰이 필요함.

(4) 용수상태

수개소에 용수가 관찰되며, 용수부는 점토충전물이 협재되어 전단강도는 작을 것으로 추정되며, 충분한 배수시설을 설치하여야 할 것으로 판단됨.

3) 검토구간 C(서울방향 우측사면)



[사진-4] 우측사면(서울방향)

본 구간은 설계시는 발파암이 분포하는 것으로 추정되어 Rock Bolt로 설계되어 있었으나 절취결과 풍화암이 깊게 분포하고 암질이 불량하므로 지층에 적합한 보강공법이 필요한 실정임. 리핑암과 발파암층 경계부에 용수가 발생하고 있으며, 절취면방향으로 경사진 절리 및 사방향 절리의 교차에 의해 암편은 뜯돌상태로 이루어져 있으며 소규모의 암편이 탈락되어 불안정한 상태임.

마. 교통기술원 검토내용 분석

[표-1] 교통기술원 검토내용 분석

위 치	교통기술원 검토내용	자문단 검토의견
북방1터널 갱구사면 (양양방향)	- NATM위치 3m 정도 터널쪽으로 이동 - 터널 천정부지는 강관다단 또는 FRP보강 - 표면처리 : 슛크리트 또는 암반취부공법	- 붕괴가 발생된 구간이므로 NATM의 위치는 변경함이 타당 - 갱구안정성을 위한 보조공법은 타당
북방1터널 갱구사면 (서울방향)	- 터널 천정부지는 강관다단 또는 FRP보강 - 암선저하구간은 소일네일로 변경	- 암선저하에 따라 지층에 적합한 보강공법으로 변경은 타당
북방1터널 갱구사면 (서울방향) 우측사면	- 암선저하구간은 소일네일로 변경	- 암선저하에 따라 지층에 적합한 보강공법으로 변경은 타당

바. 자문단 검토

1) 안정해석방법

현 붕괴사면은 파쇄연암반 및 리핑, 토사층이 혼재되어 있는 상태로 한계평형해석을 실시하여 안정성 및 보강공법을 검토하고 암반구간은 평사투영해석을 실시하여 안정성을 검토함.

- 평사투영해석 프로그램 : Dips
- 한계평형해석 프로그램 : Stabl5m, Talren 97(Bishop's method)

2) 검토단면

터널중심사면을 대상으로 검토를 수행 : 터널갱구 사면 (양양, 서울방향)

서울방향 우측사면 : 최고절취면을 검토단면으로 선정함.

3) 지반강도정수

지반강도정수를 추정하는 방법에는 시험에 의한 방법, 경험에 의한 방법, 역해석에 의한 방법, 검토자료를 이용하는 방법 등이 있으며 이는 검토자에 따라 견해를 달리할 수 있음.

본 사면은 양양방향의 경우 설계시의 지층구성과 상이(토사층 및 리핑암층이 두꺼운 상태임)하여 지층에 부적합한 절취구배에 따라 사면이 붕괴된 것으로 추정되며, 서울방향 및 서울방향 우측사면의 경우 설계시의 추정 암선이 절취결과 하락되어 나타나므로 원설계시의 강도정도를 이용하여 사면안정 검토를 실시하였으며, 검토시 적용된 지층별 강도정수는 다음표와 같다.

[표-1] 지층별 강도정수

구 분	단위중량(γ/m^3)	점착력(γ/m^2)	내부마찰각($^\circ$)	비 고
풍화토층	1.9	1.5	28	파쇄연암은 안전측으로 풍화토로 가정하여 해석
풍화암	2.0	3.0	30	
암반층	2.3	7.0	34	

4) 허용안전율 기준

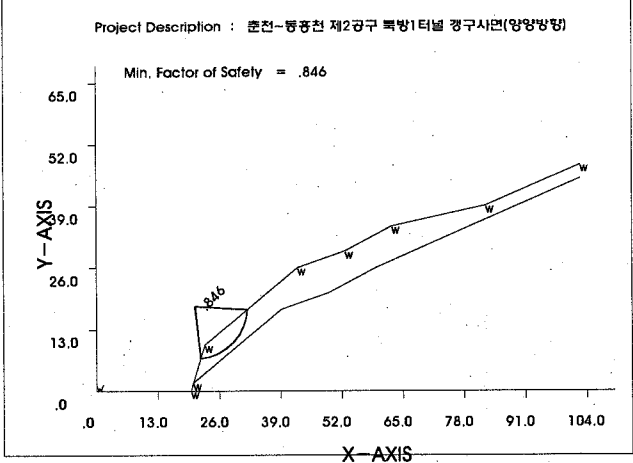
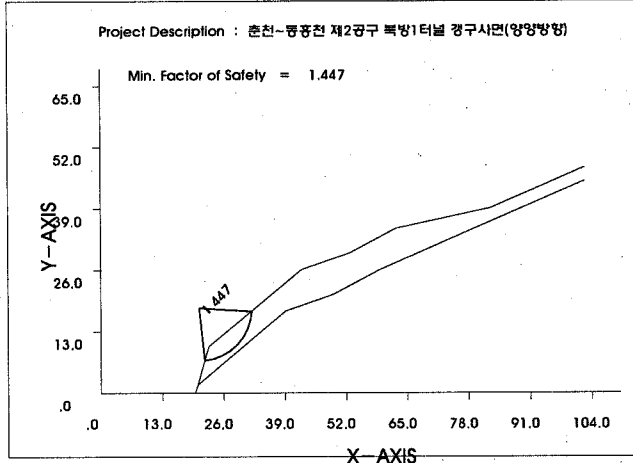
[표-2] 허용안전율 적용기준

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

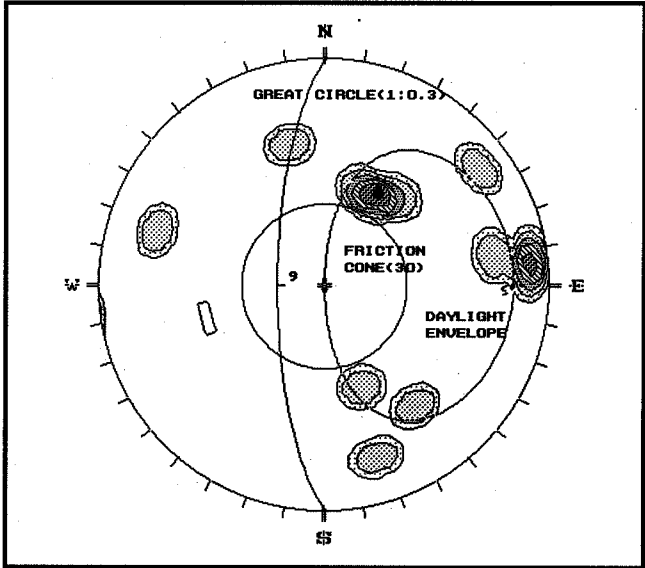
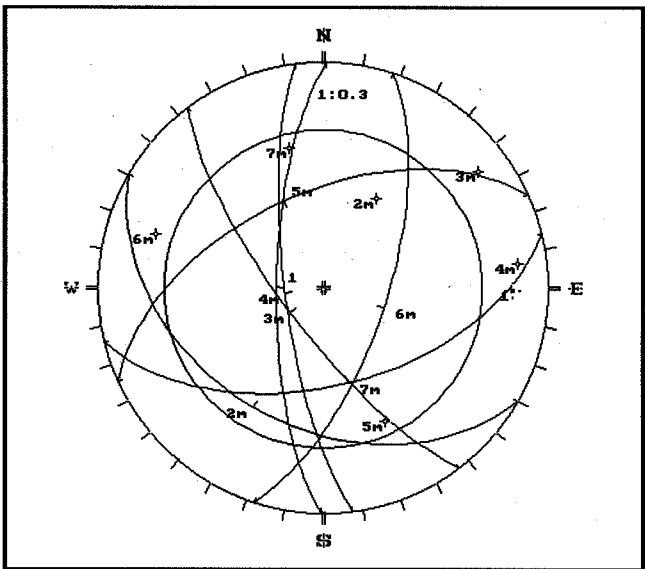
5) 안정성 검토결과

(1) 북방1터널 갱구사면(양양방향) 현시공사면

[표-3] 한계평형해석 결과

우기시	 Project Description : 춘천~동홍천 제2공구 북방1터널 갱구사면(양양방향) Min. Factor of Safety = .846
	검토안전율 $F_s = 0.846 < 1.1$ (불안정)
건기시	 Project Description : 춘천~동홍천 제2공구 북방1터널 갱구사면(양양방향) Min. Factor of Safety = 1.447
	검토안전율 $F_s = 1.447 < 1.5$ (불안정)
검토 의견	한계평형해석 결과 건기시 및 우기시 모두 기준안전율에 미달되어 불안정한 평가되며 현질취면에서 붕괴가 발생되어 검토결과와 현장 상황이 부합되므로 적절한 안정대책이 필요함.

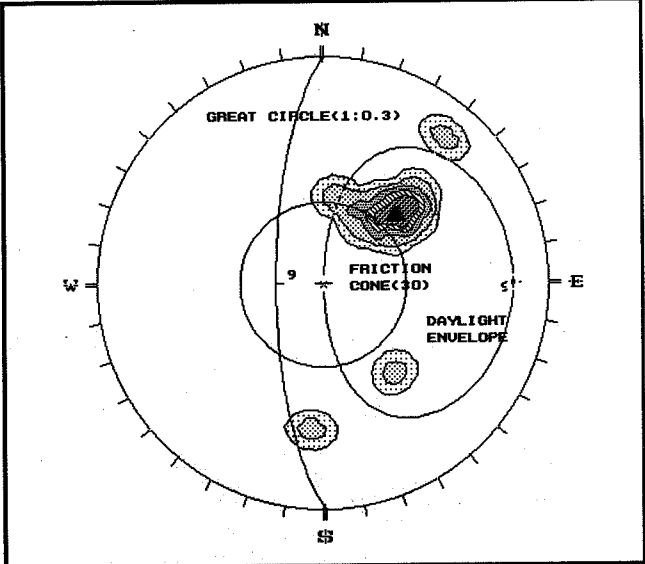
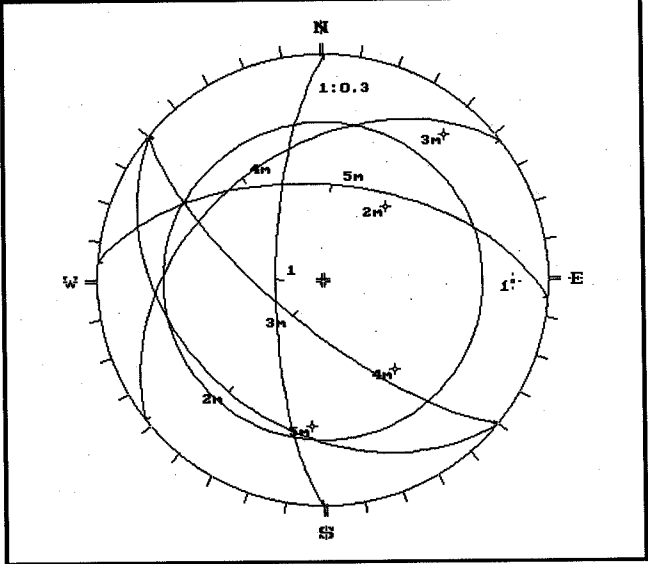
[표-4] 평사투영해석 결과

평면파괴	 평면파괴 발생가능성이 있는 것으로 검토됨.
썩기파괴	 썩기파괴 발생가능성이 있는 것으로 검토됨.
검토의견	북방1터널 갱구사면(양양방향)은 평면 및 썩기파괴 발생가능성이 있는 것으로 검토되므로 적절한 안정대책이 필요함.

북방1터널 갱구사면(양양방향)은 한계평형해석 및 평사투영해석결과 모두 불안정한 상태이므로 적절한 안정대책이 필요함.

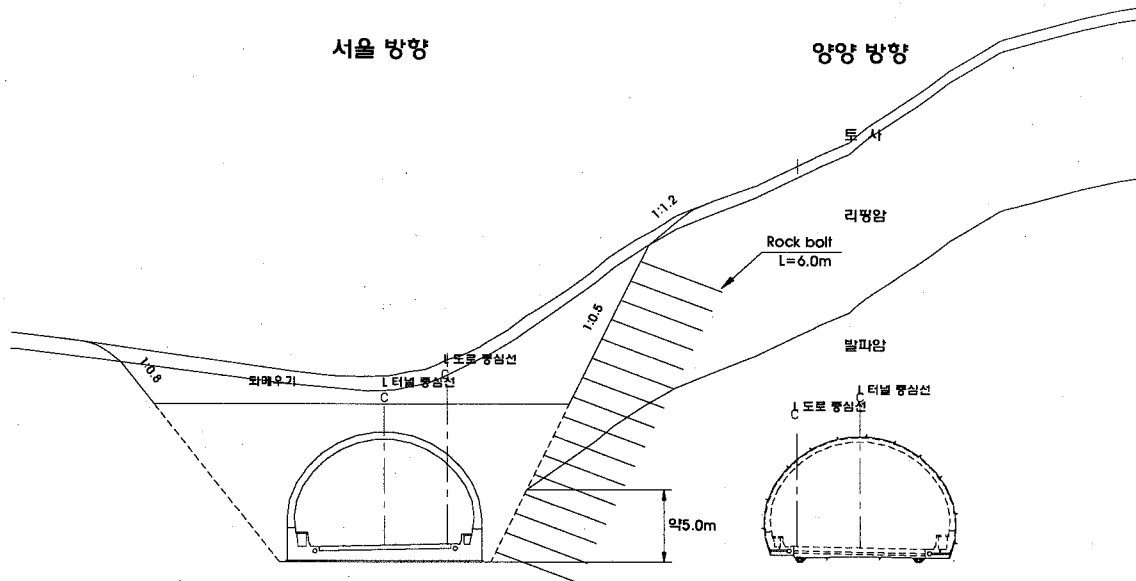
(2) 북방1터널 갱구사면(서울방향) 현시공사면

[표-5] 평사투영해석 결과

평면파괴	
	평면파괴 발생가능성이 있는 것으로 검토됨.
썩기파괴	
	썩기파괴 발생가능성이 있는 것으로 검토됨.
검토의견	북방1터널 갱구사면(서울방향)은 평면 및 썩기파괴 발생가능성이 있는 것으로 검토되므로 적절한 안정대책이 필요함.

(3) 북방1터널 갱구사면(서울방향) 우측 현시공사면

당초 설계 암선보다 하락(약17m)하여 설계에서 제안된 보강공법인 Rock Bolt 공법은 적용성에 한계가 있으므로 Soil Nailing공법으로 변경함이 적합한 것으로 판단됨.

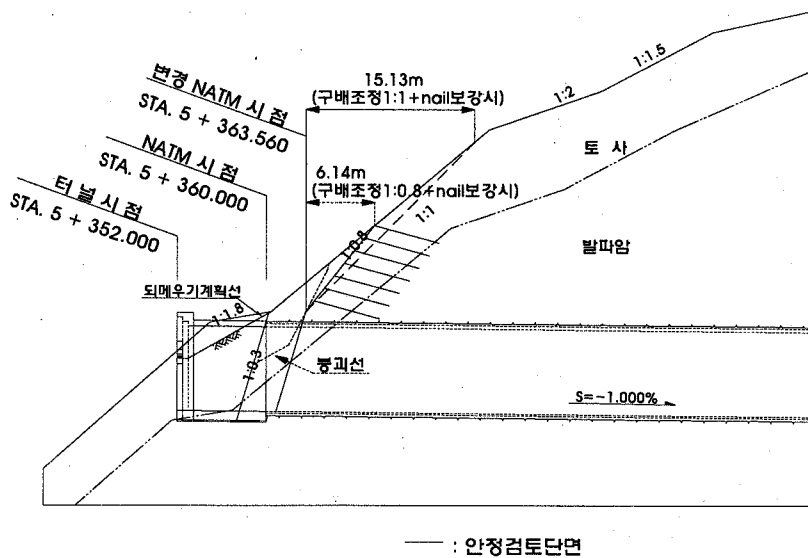


Note 1. 암판정결과에 따라 암선은 다소 변경 될 수 있음.
2. 지층에 적합한 보강공법이 필요한 실정임.

[그림-5] 북방1터널 시점부 서울방향 우측사면 변경암선

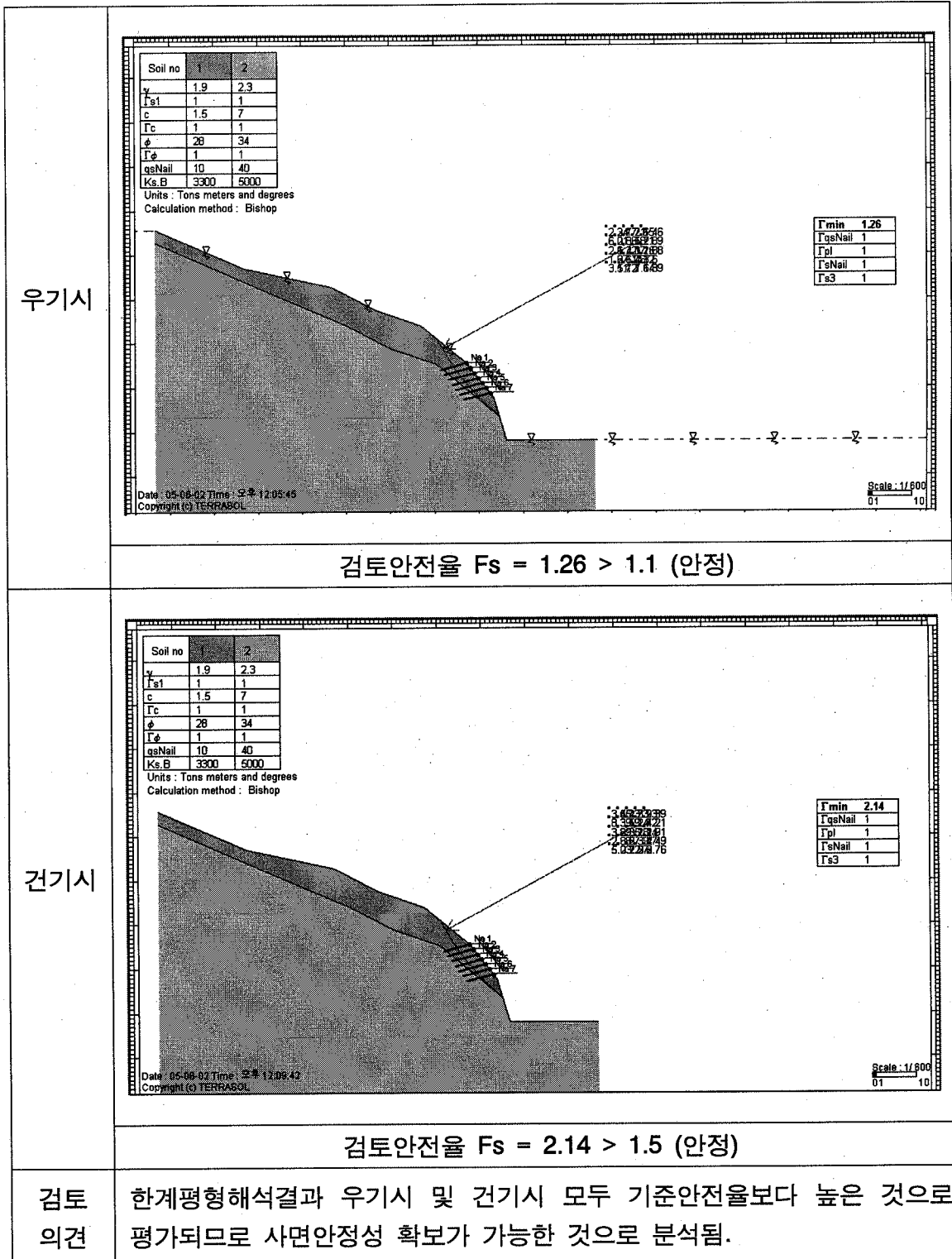
6) 대책방안 검토

(1) 북방1터널 갱구사면(양양방향)



[그림-6] 안정검토단면

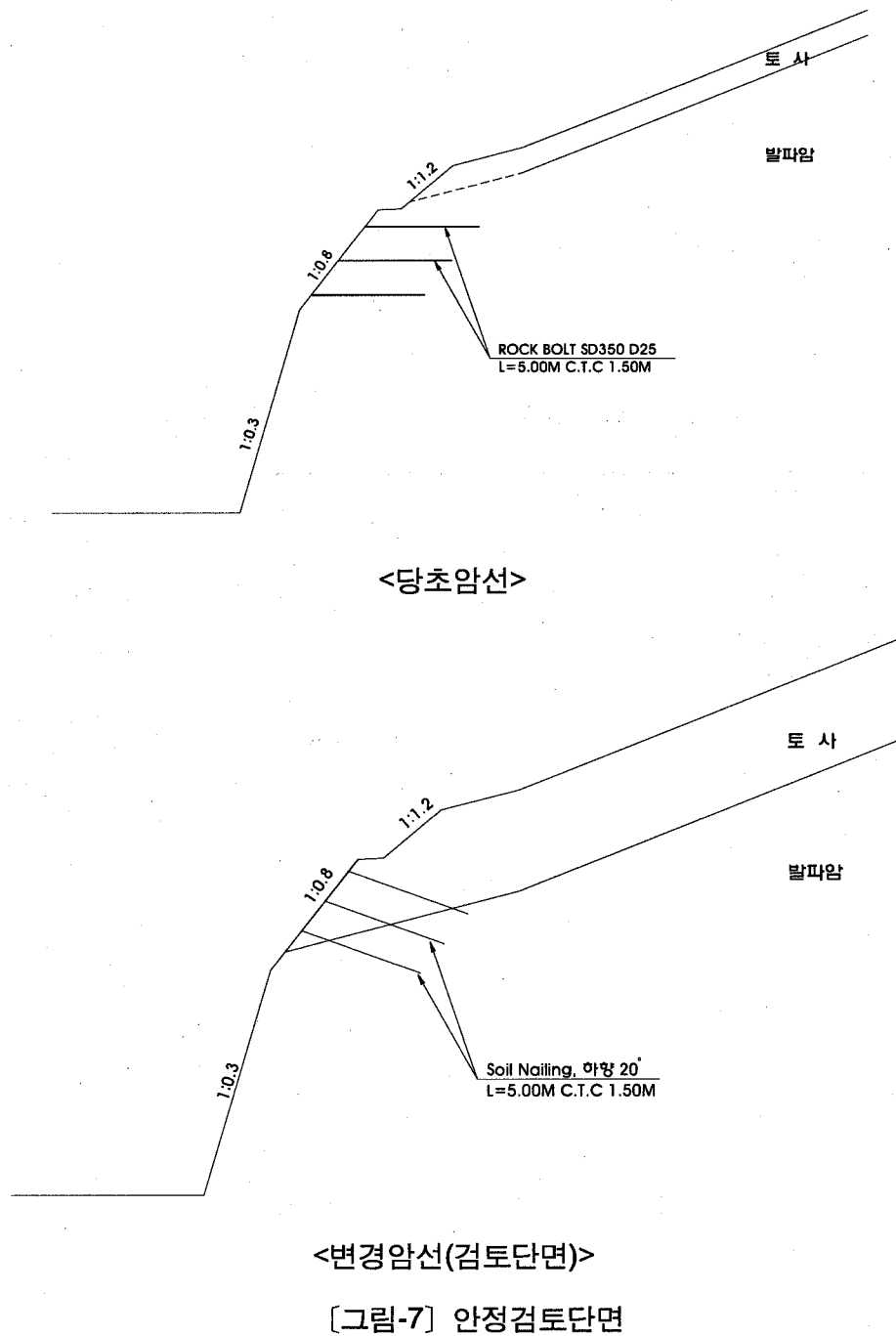
[표-6] 한계평형해석 결과



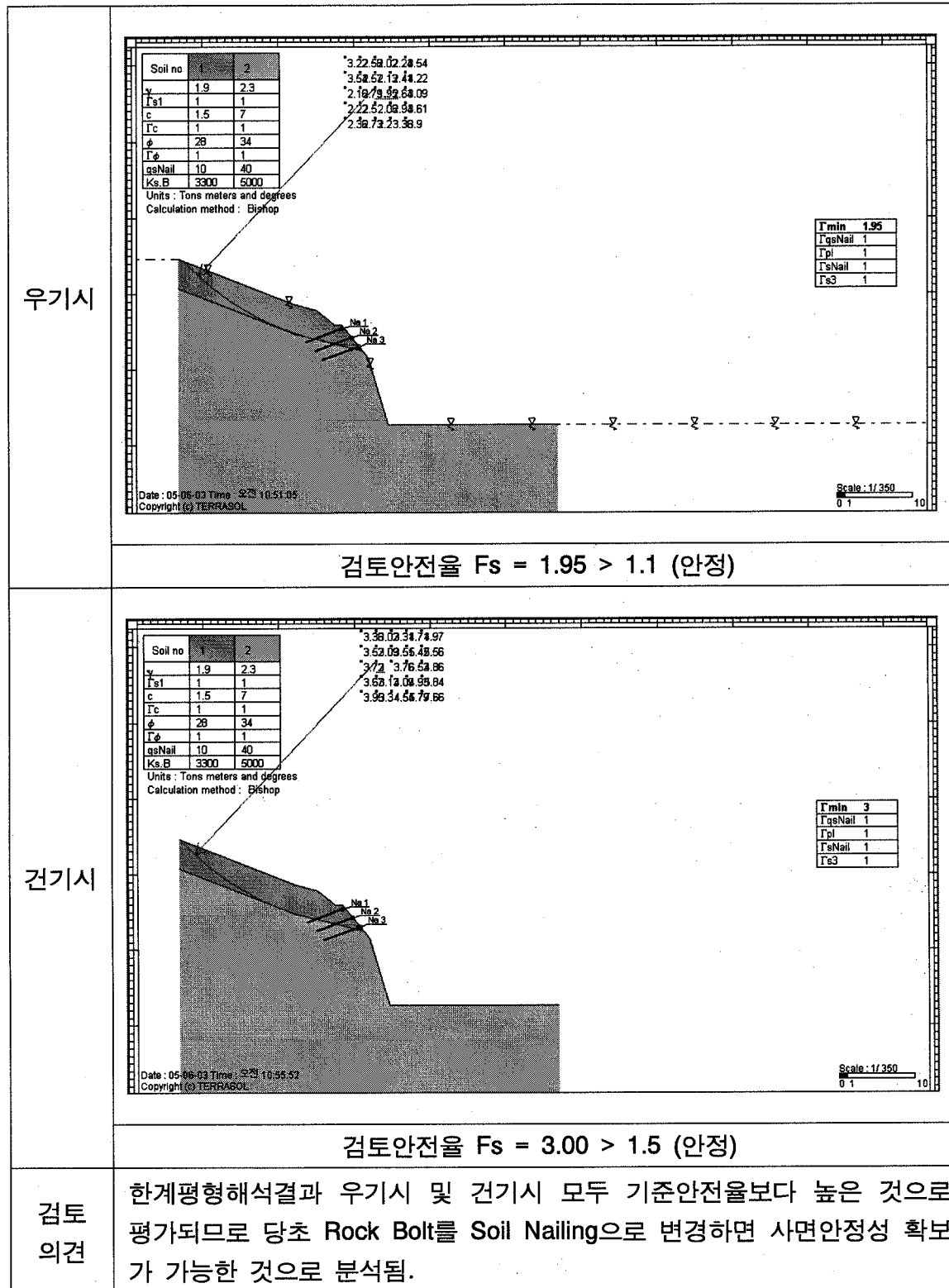
[표-7] 네일제원

보강공법	설치간격(m) C.T.C	설치길이(m)	네일제원	설치각도(°)	설치단수	비고
Soil Nailing	1.5×1.5	6m	SD35/D29	하향15°	7단	

(2) 북방1터널 갱구사면(서울방향)



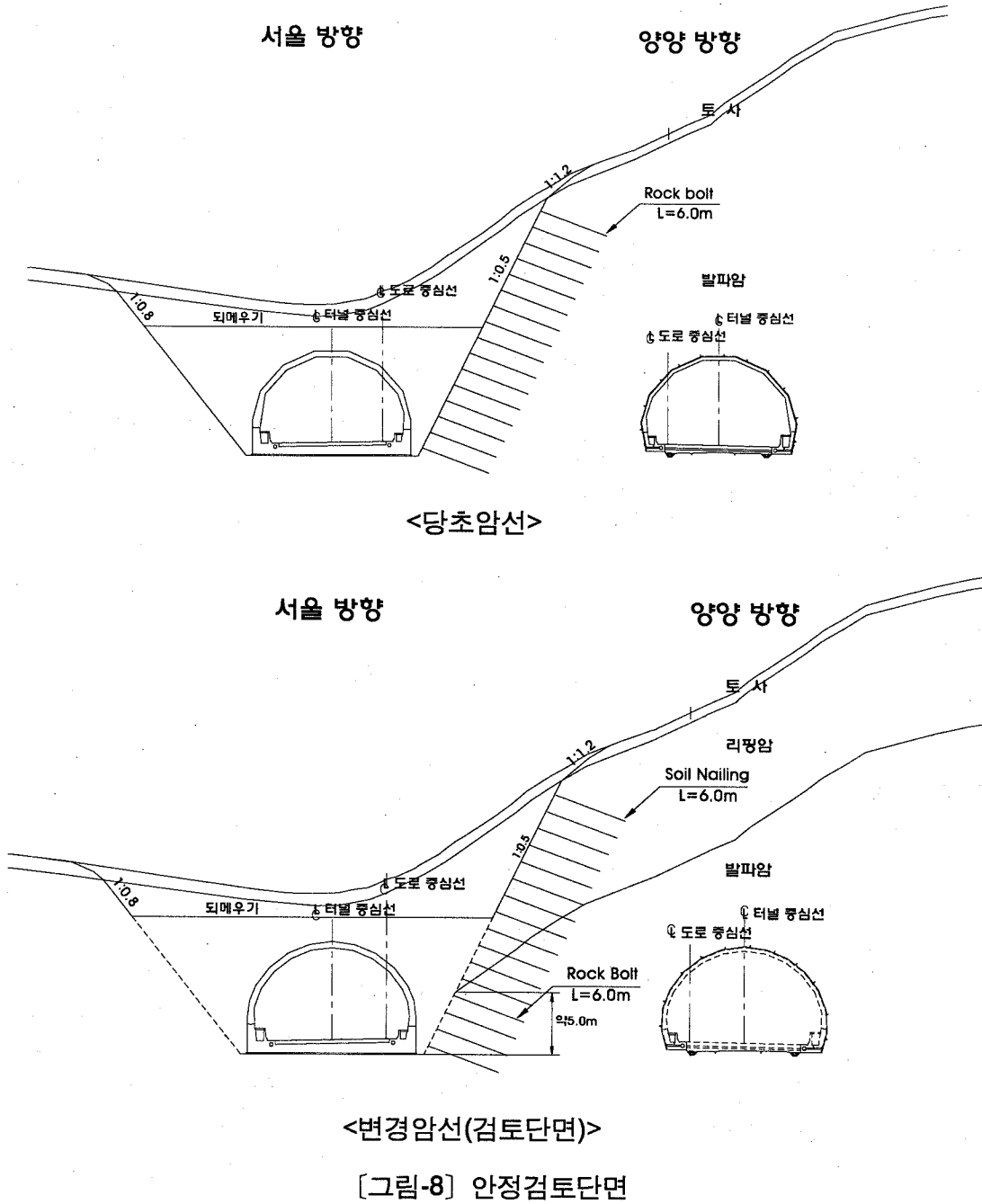
[표-8] 한계평형해석 결과



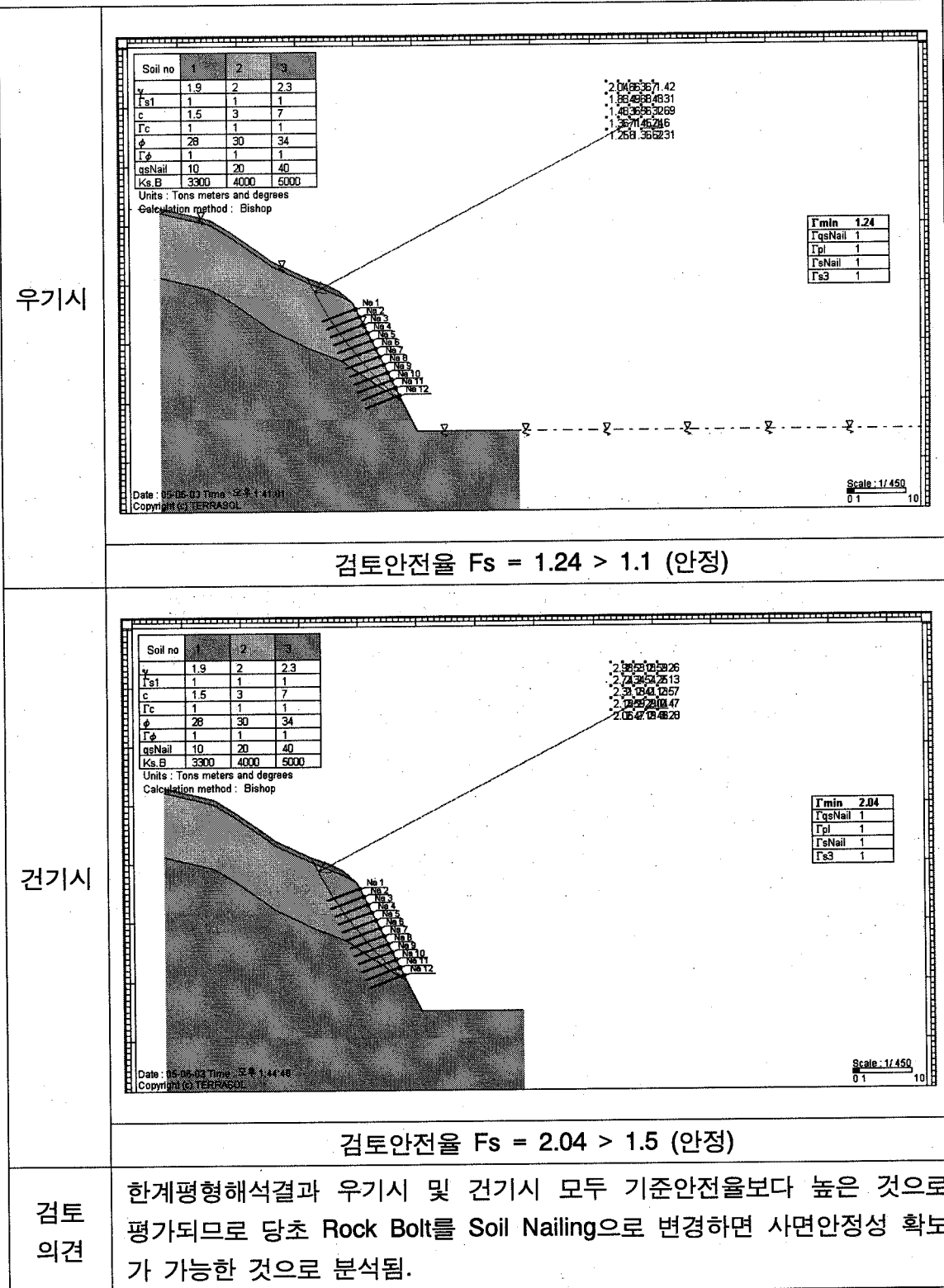
[표-9] 네일제원

보강공법	설치간격(m) C.T.C	설치길이(m)	네일제원	설치각도(°)	설치단수	비고
Soil Nailing	1.5×1.5	5m	SD35/D29	하향20°	3단	

(3) 북방1터널 갱구사면(서울방향) 우측사면



[표-10] 한계평형해석 결과



[표-11] 네일제원

보강공법	설치간격(m) C.T.C	설치길이(m)	네일제원	설치각도(°)	설치단수	비고
Soil Nailing	1.5×1.5	6m	SD35/D29	하향20°	12단	

사. 시공시 유의사항

1) 북방1터널 갱구사면(양양방향)

- 원설계의 NATM위치에서 붕괴면을 고려하여 터널쪽으로 3m정도 이동하여 NATM시점 위치를 설치함.
- 갱구사면 비탈면끝에는 산지부로부터 유입되는 유량을 처리할 수 있는 배수시설(산마루측구 Type-1)을 설치하고 사면절취는 TOP-DOWN방식으로 일부 절취 후 네일보강 및 표면처리의 반복공정을 통하여 갱구사면의 안정성을 확보하면서 시공하되, 하부 암반은 소발파 또는 기계굴착 등의 방법으로 발파진동으로 인한 사면지반 이완을 최소화 하면서 지중변위에 대한 계측관리와 함께 굴착이 진행되어야 할 것임.
- 암선저하 및 저토피구간으로 갱구부 사면을 보강에 의하여 안정성을 도모하므로 터널 갱구는 강관다단 또는 FRP보강그라우팅 등의 보강공법을 적용하여 안정성을 확보한 후 터널을 굴착하는 것이 타당한 것으로 판단됨.(원설계는 무보강 상태임.)
- 임시사면은 숯크리트 등을 타설하여 공사중 사면안정을 확보하고 영구사면은 설계에 반영된 표면처리공법(텍솔공법 또는 동등의 효과가 가능한 공법)을 적용함이 타당한 것으로 사료됨.

2) 북방1터널 갱구사면(서울방향)

- 등고선 지형상 갱구부 사면측으로 우수 유입이 되고, 갱구상단부에는 오목부 계곡이 위치하여 유량이 집중되므로, 미관과 공사중 배수처리, 유지관리 측면, 갱구사면의 안정에 문제가 없도록 좌측사면 방향으로 배수시설(산마루측구 Type-1)을 설치하여 유입 유량을 유도처리하는 것이 타당한 것으로 사료됨.
- Nail 설치위치는 터널상단 및 좌·우측 토사 또는 리핑암 노출부위로 하고 암반구간은 당초 설계에서 제시된 Rock Bolt공법을 적용함.

- 시공순서는 Nail 또는 Rock Bolt 보강을 선행하여 갱구부를 안정시킨 후 강관다단 또는 FRP보강그라우팅 등의 공법을 적용한 후 터널굴착을 실시함.

3) 북방1터널 갱구사면(서울방향) 우측사면

- 현재 시공사면은 당초 발파암이 리핑암으로 노출됨에 따라 급구배를 형성하여 불안정한 상태이므로 용지경계선을 감안하여 최대한 절취구배를 완화시킨 후 Nail을 설치함.
- 금번 사면은 갱구사면(양양방향)의 추가절취 및 보강조건에 따라 사면형성이 가변적이거나 양양방향의 갱구사면형성을 고려하여 사면형성을 최소화시키는 것이 합리적인 것으로 판단됨.

4) 공통사항

- 갱구사면상단 비탈끝은 시공전 반드시 충분한 배수시설을 설치하여 사면안정에 악영향을 사전에 제거하여야 함.
- 표면처리공법은 임시사면은 슛크리트를 타설하고 영구사면은 암반취부녹화공(설계는 텍솔공법) 또는 동등의 효과가 가능한 공법을 적용함.
- 검토구간은 파쇄대 또는 절리면(단층면 등)을 따라 용수부위가 관찰되므로 굴착중 또는 굴착후 용수가 심한구간에는 수평배수공을 집중적으로 설치하고, 암층경계구간에는 수평배수공을 설치하는 것이 바람직 함.
- 좌·우측 터널 위치차에 따른 분리구간 내의 측면사면은 터널굴착에 따른 영향을 고려하여 터널굴착시 소발파, 기계굴착 또는 발파전문가에 의한 현장 토질여건에 따른 시험발파 결과에 의하여 터널 굴착방안을 결정하고, 사면에는 계측기를 매설한 후 지속적인 계측을 실시하여 사면 안정성에 문제가 없도록 관리하여야 할 것임.
- 사면보강공법은 검토시 제안된 지층에 적합한 공법을 적용하고 보강범위는 현장압판정 결과 등의 현장여건에 따라 변경가능 함.

3. 검토결론

- 1) 금번 검토사면은 사면붕괴 및 지층구성상태가 설계시 상이(암선이 하락)하여 안정대책이 필요한 실정임.
- 2) 구간별 안정대책은 아래표와 같다.

구 분	사면안정방안		비고
	설 계	검 토	
북방1터널 갱구사면 (양양방향)	- Rock Bolt	- NATM위치 이동(약3m) - 구배조정(1:0.8) + Soil Nailing - 갱구보강(강관다단 or FRP)	
북방1터널 갱구사면 (서울방향)	- Rock Bolt - 갱구보강(FRP)	- Rock Bolt(발파암) - Soil Nailing(리핑, 토사층) - 갱구보강(강관다단 or FRP)	
북방1터널 갱구사면 (서울방향) 우측사면	- Rock Bolt	- 용지경계를 고려한 구배완화 - Rock Bolt(발파암) - Soil Nailing(리핑, 토사층)	

- 3) 시공전 반드시 '사. 시공시 유의사항' 을 숙지후 시공에 임하여 함.
- 4) 기타 시공시 지질이 급변하거나 검토내용과 현장상황이 상이할 경우에는 반드시 재검토 후 시공하여야 함.