

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 82

제 목: 절토사면 안정대책 적정성 검토

2008. 10

강 원 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 홍 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. 10. 13 ~ 2008. 10. 15	검 토 자	오 성 민
근 거 공 문	제 강원-2008-162호	회 신 공 문	제 강원자문-2008-162호

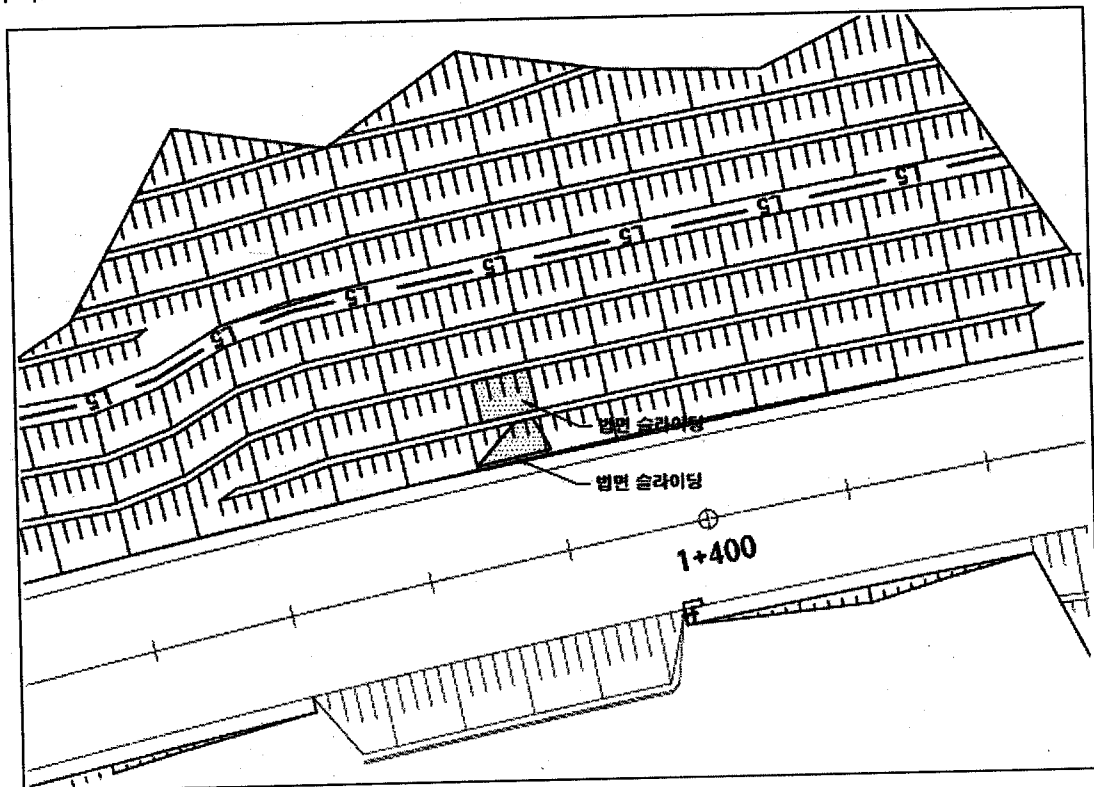
1. 검토목적

고속국도 60호선 춘천~동홍천간 건설공사를 시행함에 있어 제1공구 관내에 위치하는 STA. 1+370~1+385(서울방향) 절토사면의 안정대책을 시공사에서 제출한 바 이에 대한 적정성을 검토하고자 함.

2. 검토내용

가. 현황

1) 위치도



[그림-1] 위치평면도(STA. 12+380~12+460)

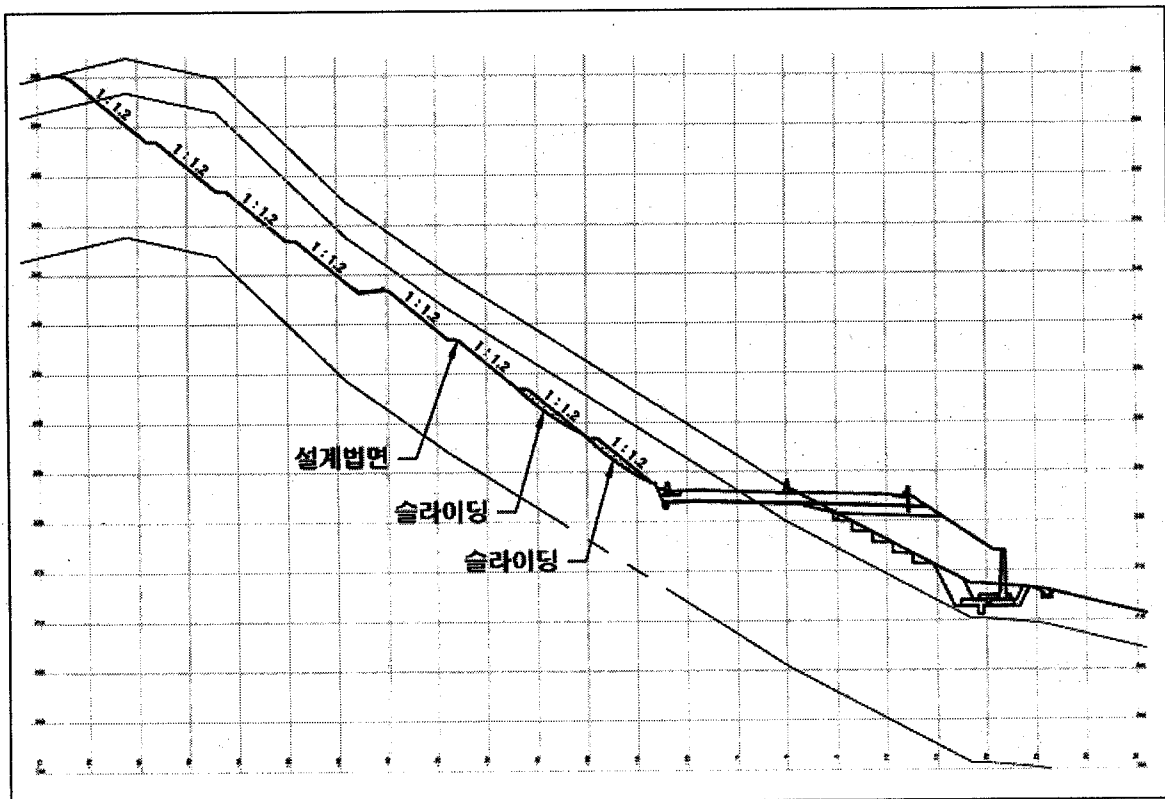
나. 시공사 검토내용

1) 절토사면 설계 및 붕괴현황

- 발생위치 : STA. 1+370.000 ~ 1+385.000 (서울방향)
- 대표단면 : STA. 1+380.000
- 깎 기 고 : 41.3m
- 설계경사 : 토사구간 - 1:1.2, 리핑암구간 - 1:1.2 (일부 토사구간 - 1:1.5)
- 균열 발생 일시 : 2008. 8. 23(토)
- 강 우 량 : 8.22 ~ 8.23 (86mm)
- 발생규모 : 연장 - 15.0m, 높이 - 5.0m, 추정심도 - 1.0m, 체적 - 75m³
- 사면파괴형상 : 썩기형 원호파괴

2) 원설계 분석

(1) 대표횡단면도



[그림-2] 횡단면도

(2) 시추조사 내용(원설계)

원설계시 시추조사된 결과는 상부로부터 풍화토, 풍화암, 연암, 경암의 순서로 분포하며 심도30.4m에서 종료되었음. 시추결과의 세부내용은 아래와 같다.

○ 풍화토

- 심도 : 0.0~3.5m의 두께로 분포
- 실트질 모래로 구성
- 황갈색, 완전풍화
- $N=15\sim18/30$ 으로 보통조밀한 상태

○ 풍화암

- 심도 : 3.5~18.0m의 두께로 분포
- 편마암의 풍화암으로 실트질 모래로 분해
- 황갈색, 완전풍화 내지 심한풍화

○ 연 암

- 심도 : 18.0~21.0m의 두께로 분포
- 담회색의 편마암으로 보통풍화 내지 심한풍화
- 암편상~봉상 코아채취 ($RQD=40\sim58\%$)

○ 경 암

- 심도 : 21.0~30.4m의 두께로 분포
- 담회색의 편마암으로 신선 내지 약간풍화
- 암편상~장주상 코아채취 ($RQD=60\sim100\%$)
- 심도 25~26.5m 구간은 RQD 가 8%로 파쇄가 심함

(3) 사면활동원인 분석

○ 활동형태

- 조사된 리핑암 비탈면의 유실형태는 썩기형 원화파괴로 인한 인장균열 형태임.

○ 내적요인

- 리핑암 주절리의 경사방향 및 경사가 비탈면의 방향성과 유사한 방향으로 형성되어

있지는 않으나 다양한 방향에서의 압력에 의한 변성작용으로 규칙적인 다수의 매우 풍화된 절리군이 비탈면 불안정의 주요 원인으로 판단됨.

- 우기시 상부 침투수에 의해 절토사면 내 리핑암의 절리면을 통한 비탈면 노출부로 의 수로형성이 이루어져 비탈면 안정성에 큰 저해 요인으로 작용되고 있음.

○ 외적요인

- 비탈면 절취에 의한 응력해방으로 이완영역 발생 및 경사의 영향
- 강우로 인한 표면수가 절리면으로 유입되어 원지반의 단위중량 증가 및 전단강도 저하요인
- 절취 후 대기노출에 의한 급속한 풍화의 진행으로 이완영역 발생

3) 비탈면 안정 검토

(1) 안정해석 방법

- 해석 프로그램 : TALREN 97
- 해석방법 : Bishop ' s Method

(2) 지반강도정수

검토 절토사면 구간 비탈면안정 검토시 적용된 강도정수는 다음표와 같다.

[표-1] 지층별 강도정수

구 분	단위중량(tf/m^3)	점착력(tf/m^2)	내부마찰각($^\circ$)	비 고
풍화토	1.723	2.5	29	
풍화암	2.00	3.0	30	
연 암	2.40	9.0	35	

(3) 비탈면 안전율 적용 기준

비탈면의 안전율은 재하조건 아래서 피해의 정도와 경제성에 따라 선택되는데 본 비탈면 붕괴시 도로에 운용중인 차량 및 인명의 피해가 예상되므로 본 비탈면의 영구적인 안전을 도모하기 위하여 다음의 표와 같이 적용하였다. 특히, 우기시의 비탈면 안전율 $F_s = 1.2$ 는 “2006 건설공사 비탈면 설계기준(건교부)”에 의거하여 적용하였다.

[표-2] 깎기·쌓기 비탈면 최소안전율

구 분		최소안전율	참 조
깎 기	건 기	$F_s \geq 1.5$	• 암반:인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음 • 토층 및 풍화암 : 지하수 미고려
	우 기	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$	• 암반:인장균열이나 활동면을 따라 적용되는 수압을 $H_w=0.5H$로 가정하여 적용 • 토층 및 풍화암 : 지하수위는 지표면에 위치
쌓 기		$F_s \geq 1.3$	• 연약지반이나 일반적인 구조물의 경우

※ 건설교통부 2006년도 건설공사 비탈면 설계기준

4) 비탈면 안정대책 방안

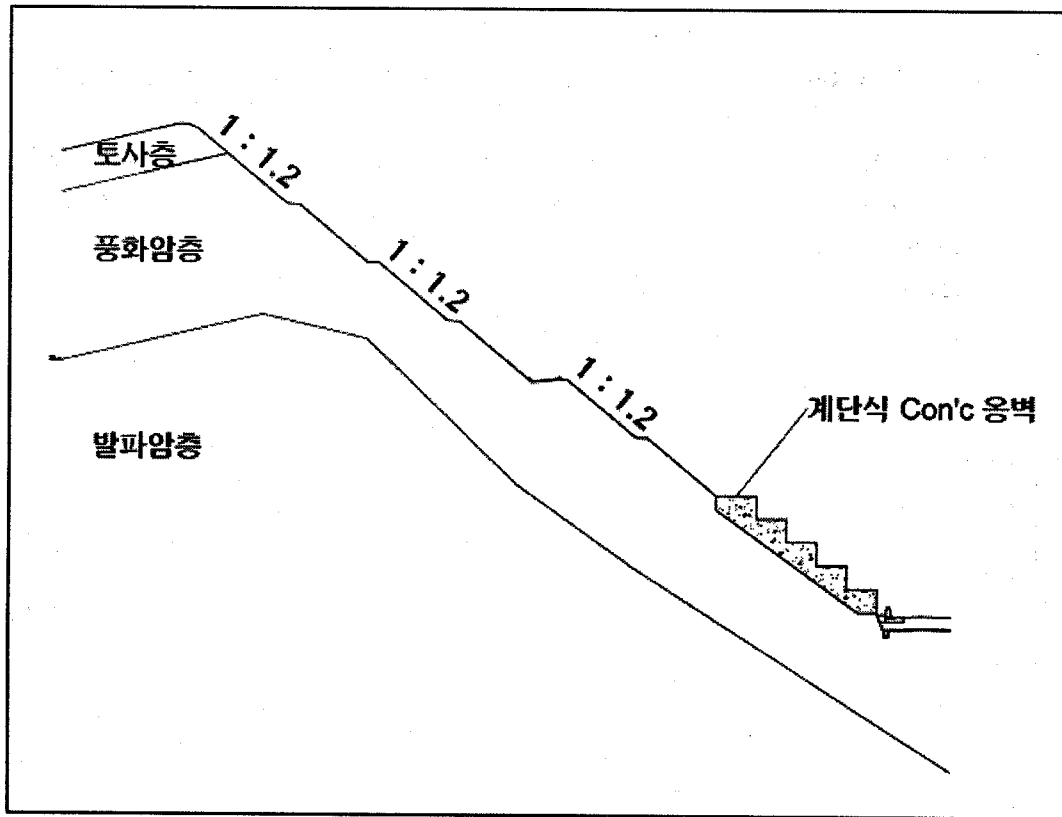
(1) 비탈면 보강공법 검토 및 선정

- 춘천~동홍천간 고속도로 건설공사 제1공구 중 STA.1+370~385(서울방향)지점은 현재 계획 중인 비탈면 기울기 (1:1.2)상태에서 일부 붕락된 상태이므로 방치 시 추가적이며 연속적인 상부로의 활동 진행이 예상되므로 시공현황과 장·단기적인 안정성을 확보할 수 있는 합리적이고 경제적인 대책공법을 적용하고자 한다.
- 비탈면 활동의 대책공법은 억제공(抑制工)과 억지공(抑止工)의 두가지로 대별하며, 억제공은 안전율을 유지하는 방법으로 억지공은 안전율을 증가시키는 방법으로 표현된다. 비탈면의 붕괴를 방지하기 위해서 사용하는 대책공법들은 토층 및 암반 비탈면에 적용하는 공법으로 현장조건과 시공여건 및 경제성을 고려하여 대항 비탈면에 적합한 공법을 사용한다.
- 금번 검토사면의 활동면의 규모, 활동지층, 활동부위 등을 고려한 안정대책은 다음과 같은 안정대책을 비교·제시하였다.

[표-3] 비탈면 안정 대책공법 비교안

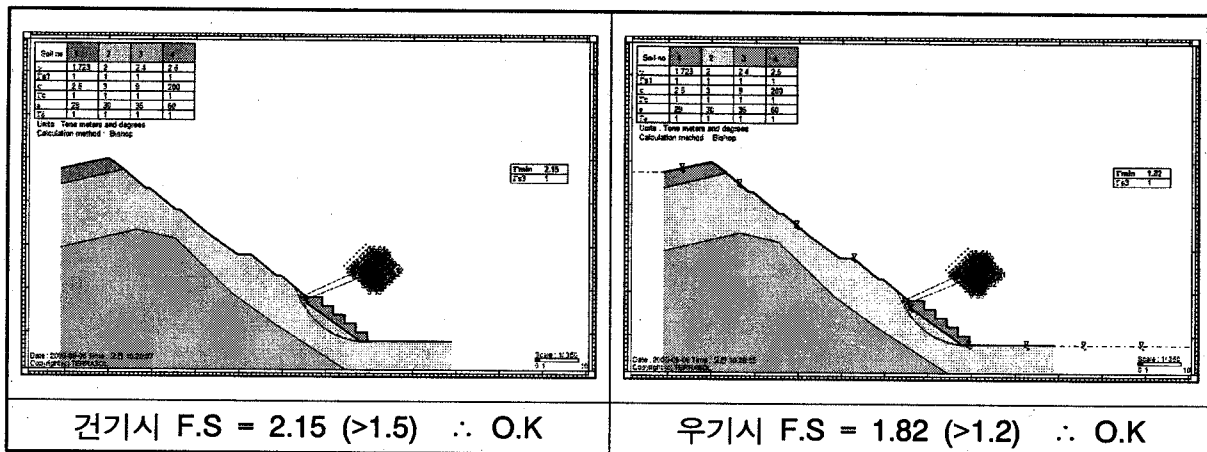
구 분	공 법 의 종 류		
	제1안 (계단식 Con'c 옹벽)	제2안 (Soil Nailing)	제3안 (구배완화)
공 법 개 요	· 붕괴후 재차 붕괴위험이 낮은 사면에 콘크리트 옹벽을 설치하여 풍화나 이완을 방지하여 사면안정을 도모하는 공법	· 원지반의 전단강도가 약한 경우 Nail의 전단력과 부착력으로 원지반의 전단강도를 증가시킴으로써 사면의 안정을 확보하는 공법	· 절토면의 구배를 지층에 적합한 구배를 적용시켜 활동력을 감소시킴으로서 사면의 안정을 도모하는 공법
개 념 도			
장 점	· 추가 용지매수 불필요 · 시공 용이 · 경제적	· 추가 용지매수 불필요 · 시공성 비교적 용이	· 안정성 확실 · 모든지층에 적용성 우수 · 시거확보 및 안정감 부여
단 점	· 미관 불량	· 활동선이 얇고 보강범위가 작아 비경제적 · 활동선이 깊을 경우 보강 깊이에 제한을 받음	· 추가용지 필요 · 추가 절토량 발생 · 공기 증가 · 경제성 불량
검 토 의 견	· 구배 완화시 하부에서부터 시작하여 많은 추가 용지와 추가 절토량이 발생 · 활동심도가 1.0m정도로 얇고 활동범위가 작으므로 Soil Nailing공법 적용은 어려움 · 검토사면은 활동규모(깊이, 폭)가 크지 않고 장기적인 사면안정성 및 재차 붕괴 위험이 낮은 사면임을 감안하여 사면에 계단식 콘크리트 옹벽을 설치하여 풍화나 이완을 방지하여 사면안정을 도모하는 공법이 적합한 것으로 판단됨.		
추천안	◎		

(2) 검토 횡단면도



[그림-3] 검토 횡단면도(STA. 1+380)

(3) 보강 후 한계평형 해석 결과



나. 자문단 검토내용

1) 현장조사 내용

- (1) 활동이 발생된 대상사면의 지표를 대상으로 지표지질조사를 실시한 결과 풍화가 심하게 진행되어 파쇄 및 불규칙한 절리가 다수 관찰됨.
- (2) 활동부위 인접부는 대단히 느슨한 상태이며 일부 함몰부위가 관찰되며, 뜯돌상태로 사면안정성에 불안정 요인으로 작용되고 있음.
- (3) 사면 하단부에 국부적으로 나타나는 모암은 쪼개짐현상이 심한상태로 암의 강도는 작은 상태로 조사됨.
- (4) 전반적으로 보통풍화 내지 심한풍화상태로 일부암반은 풍화암수준으로 판단되며 대기노출에 따른 풍화진행의 영향으로 장기적으로는 토사화되어 매우 느슨한 상태로 우기시 우수의 영향(세굴, 침식에 따른 표층파괴 발생가능)에 대단히 취약할 것으로 판단됨.

2) 안전율 기준

- (1) 안전율은 지반이 가지는 전단강도(S)와 현재 지반에 작용하고 있는 전단응력(τ)의 비로 정의($Fs=S/\tau$)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 건기시 1.5, 우기시 1.2을 적용하였는데 이는 적정함.

3) 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.

4) 비탈면 안정방안 검토

(1) 시공사는 설계기준(도로설계요령 토공 및 배수 p.130)에 의거 건기시는 지하수위를 고려하지 않고 우기시는 지표면까지 포화되는 것으로 가정하여 적정하게 검토함.

(2) 사면의 붕괴가 발생되었거나 불안정한 상태인 사면에 대한 대책으로는 일반적으로

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

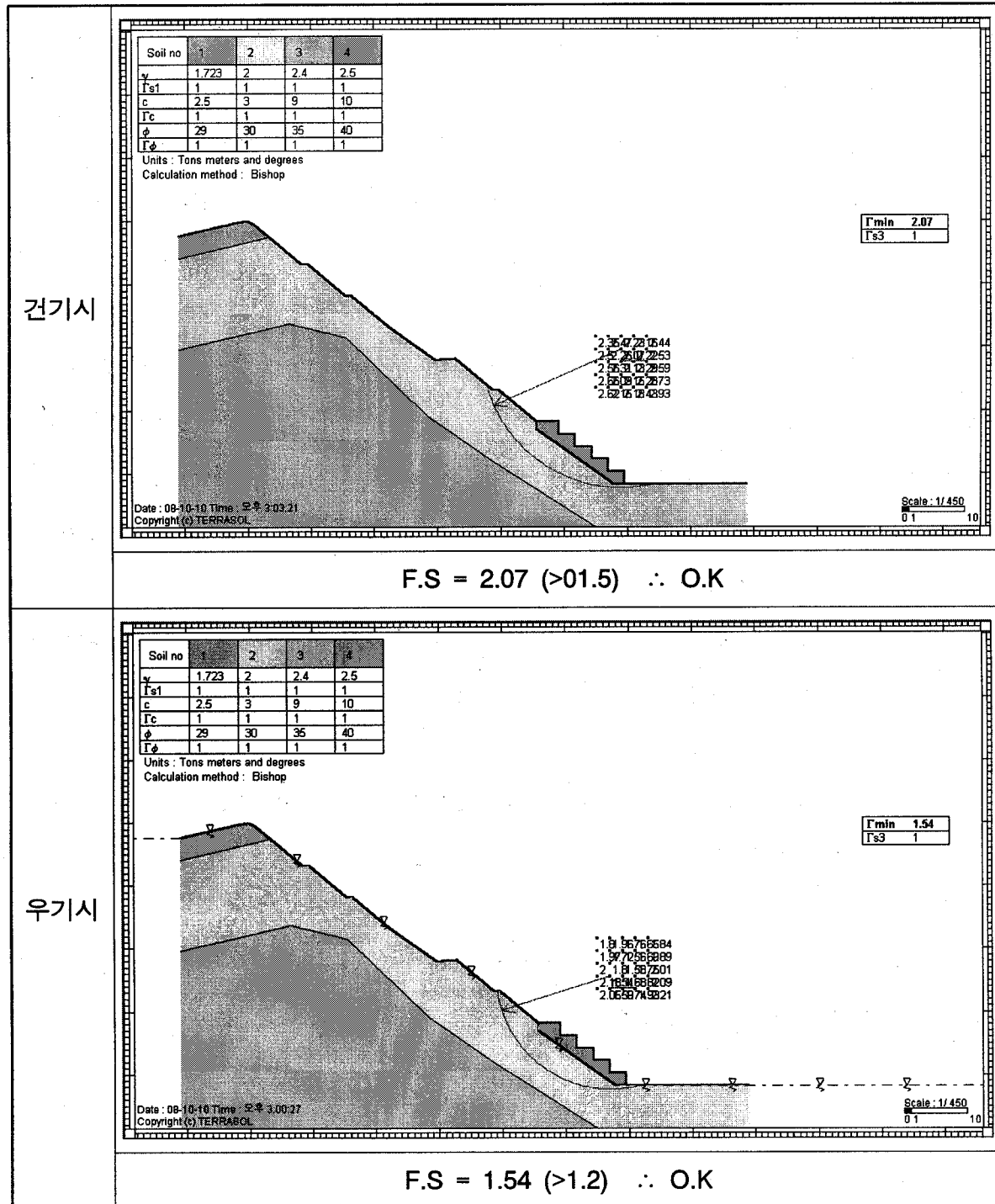
대상지역은 사면하단부에서 비교적 얕은파괴가 발생한 상태이며 상부는 비교적 안정한 상태를 유지하고 있으므로 활동부위를 보강하는 방안이 적합한 것으로 판단되는 바 현장에서 제안된 계단식 콘크리트 옹벽공법은 적정한 것으로 판단됨.

(3) 계단식 콘크리트 옹벽 시공 범위

현장조사 결과 활동영역주변은 소규모 공동 및 이완영역이 전이되어 불안정한 상태로 조사되어 활동영역 주변부에 대한 대책이 필요한 것으로 판단됨. 활동영역의 시점측에 발생한 소규모 공동은 깊이가 깊지 않은 상태이며, 활동인접부는 이완, 뜯돌상태이므로 보완방안으로 계단식 콘크리트 옹벽의 시공범위를 조정하여 보강하는 방안이 적정한 것으로 판단됨. 따라서 계단식 콘크리트 옹벽의 시공범위는 하단부를 기준으로 STA. 1+355~1+395(L=40m)까지를 적용하고 상부로 갈수록 줄어드는 사다리꼴형태를 제안함.(현장여건에 따라 조정가능함.)

(4) 사면안정대책안에 대한 적정성을 검토한 결과 검토안전율이 기준안전율을 만족하여 안정한 상태로 판단됨. 본 검토사면은 표층이 비교적 느슨한 상태로 판단되며, 표면처리는 정량적으로 안정해석에는 반영되지는 않으나 사면안정에 매우 중요한 인자이므로 보강작업 후 조속히 표면처리를 실시하여 풍화억제, 국부적인 세굴 및 침식을 방지하여 사면안정성에 악영향을 최소화함이 필요한 것으로 판단됨.

[표-8] 한계평형해석 결과



3. 검토결론

절토구간 STA. 1+370~1+385(서울방향)구간의 사면안정성 확보를 위해 현장에서 제출된 내용을 검토한 결과는 다음과 같음.

- 1) 현장에서 제출된 검토결과는 사면하단부에 소규모 활동이 발생되어 안정대책의 수립이 필요한 상태로 활동깊이가 비교적 얇고, 활동범위가 소규모이며, 상부절취사면이 안정하고 높은 절취고 등을 감안하여 사면안정대책으로 계단식 콘크리트 옹벽공법을 제안하였음.
- 2) 사면안정대책으로 구배완화공법, 보강공법 등으로 대별할 수 있음. 본 검토구간에 대해 현장조사를 실시한 결과 사면하단부에 발생된 소규모 활동으로 구배완화공법을 적용할 경우 과다한 절취가 예상되는 바 절취고, 활동현황(규모, 위치, 범위) 등을 고려할 때 사면구배완화공법의 적용은 어려울 것으로 판단되므로 활동범위에 대해서 보강하는 방안이 적합한 것으로 판단됨.
- 3) 장기적인 안정성, 시공성, 경제성 등 현장여건을 고려할 경우 활동부위를 보강하는 방안인 계단식 콘크리트 옹벽은 적절한 것으로 판단됨.
- 4) 시공시 유의사항
 - 본 검토구간은 대기노출에 따른 급속한 풍화진행이 예상되므로 보강작업 후 조속히 표면처리를 실시하여 풍화억제 및 세굴, 침식에 의한 사면안정성의 악영향을 최소화함이 필요함.
 - 계단식 콘크리트 옹벽에는 수발공을 설치하고, 사면내에 용수발생시에는 수평배수공을 설치하여 원활한 배수를 유도하여야 함.