

제 1 장 과업개요

상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계
(영천방향 40K 외 2개소)

- 1.1 과업의 목적
- 1.2 과업구간 현황
- 1.3 과업수행 방안
- 1.4 과업수행 흐름도

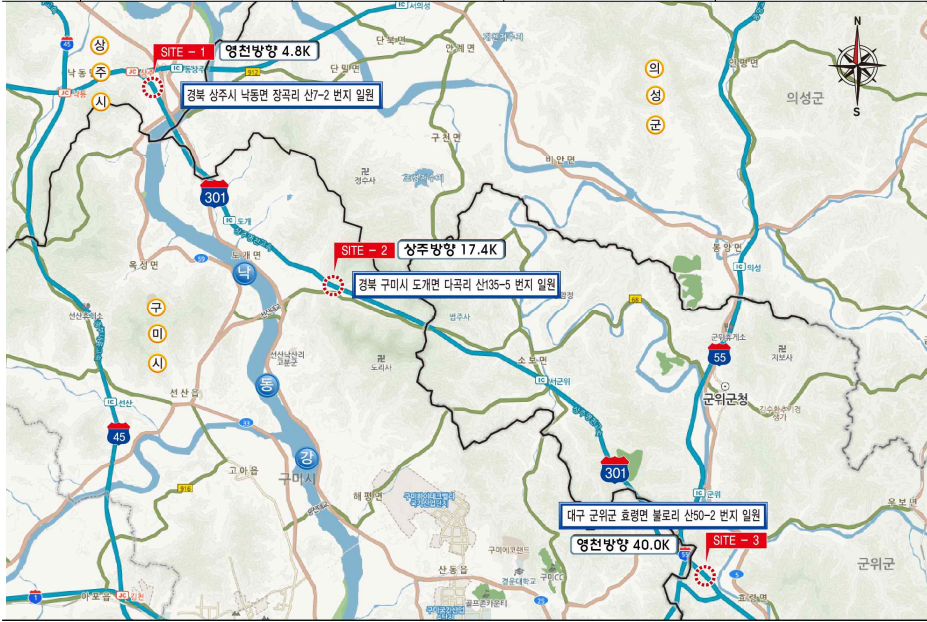
제1장 과업개요

1.1 과업의 목적

- 본 검토는 “상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계 (영천방향 40K 외 2개소)”의 일환으로 상주-영천 고속도로의 영천방향 40K 외 2개소 절토사면 붕괴가 발생되어 향후 비탈면의 장기적인 안정성 확보를 도모하기 위해 비탈면 안정성을 평가하고 그 대책방안을 수립하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업구간 현황

구분	방향	이정표시	피해현황*	
1	영천방향	4.8 K	A=270 M2	
2	상주방향	17.4 K	A=292.5 M2	
3	영천방향	40.0 K	A=1,758.5 M2	



- 발주처 과업지시서에 명시된 피해현황으로 현장조사 실시

1.2.1 과업의 범위

· 본 비탈면 보강설계는 상주영천고속도로의 영천방향 40K 외 2개소 절토사면 유실구간에 국한되며, 본 구간의 비탈면 보강설계를 위하여 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 기존 자료조사를 통하여 얻은 성과를 토대로 한 비탈면 보강설계 과업범위는 다음과 같다.

- 기존 설계자료 분석
 - 지반조사보고서 : 실시설계 3, 5, 8, 9공구.
- 지표지질조사 등 현장조사
- 붕괴구간 비탈면 안정성 검토 및 보강공법 설계

1.2.2 구간별 현황

가. SITE-1 (영천방향 4.8km 우측비탈면)

구 분	내 용
행정구역상 위치	경상북도 상주시 낙동면 장곡리 산7-2번지 일원
위 치	상주영천고속도로 영천방향 4.8km 우측비탈면
붕괴범위	STA. 4+810~4+825 (연장 : 15m, 높이 : 18m)



나. SITE-2 (상주방향 17.4km 우측비탈면)

구 분	내 용
행정구역상 위치	경상북도 구미시 도개면 다곡리 산135-5번지 일원
위 치	상주영천고속도로 상주방향 17.4km 우측비탈면
붕괴범위	STA. 1+385~1+400 (연장 : 15m, 높이 : 19.5m)





다. SITE-3 (영천방향 40.0km 우측비탈면)

구 분	내 용
행정구역상 위치	대구 군위군 효령면 불로리 산50-2번지 일원
위 치	상주영천고속도로 영천방향 40.0km 우측비탈면
붕괴범위	STA. 3+819.8~3+917.8 (연장 : 98m, 높이 : 20m)



1.3 과업수행 방안

1.3.1 예비조사

- 과업계획을 수립하기 전 사전조사로서 중점검토구간을 파악하고 중요 조사항목 및 착안사항 도출
- 본 과업구간의 개략적인 지층특성 및 분포상태를 파악하여 비탈면보강설계 계획에 반영

조사항목	조사 활용
지형 및 지질조사	개략적인 지형 및 지질상태를 파악하여 조사 및 설계에 반영
기존자료 분석	기 조사된 자료를 이용하여 안정성 검토계획 수립
현장답사	과업구간의 주변 현황을 파악하여 조사계획시 반영하고 설계에 적극적으로 활용

1.3.2 상세조사

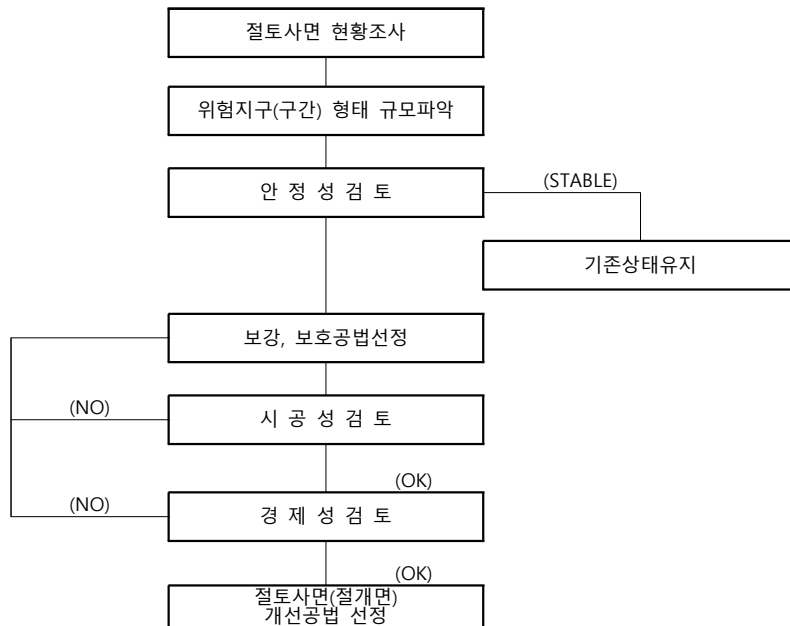
- 예비조사 결과를 기초로 하여 현장 상세조사 계획수립 및 수행
- 지반특성 및 현장특성을 반영한 현장조사 수행

조사항목	계획수량	조사목적 및 활용
비탈면 현황조사	1식	· 깎기구간 취약부 확인 : 불연속면, 지질구조대 조사수행 · 층리 및 불연속면 특성분석

1.3.3 비탈면 보강방안 검토

- 비탈면에 대한 붕괴원인 분석 후 비탈면 안정성 검토
- 장기적인 안정성 확보를 위한 비탈면 보강대책 수립

1.4 과업수행 흐름도



제 2 장 조사결과 및 붕괴원인분석

상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계
(영천방향 40K 외 2개소)

- 2.1 지질특성
- 2.2 구간별 조사결과
- 2.3 붕괴원인 분석
- 2.4 불연속면 강도정수

제2장 조사결과 및 붕괴원인분석

2.1 지질특성

가. 지질도



나. 지질계통도

지질시대	층 명	특 성	비 고
제4기	충적층(Qu)	·하천 및 산록 퇴적물 ~~ 부정합 ~~	
중생대	백악기	중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad)	·괴상의 치밀 전 구간에서 기반암을 관입
		화강암(Kgr)	·괴상의 치밀 ·3공구 중앙부
		유전층군 안산암질암(Kat)	·주로 응회암으로 구성 ·노선과 교차하지 않음
		신양동층(ke9)	·암회색 이암 및 셰일과 사암이 교호대
		춘산층(ke8)	·암회색, 녹회색, 적색 이암 및 셰일 ·하부층에서 석회질 물질 다량 함유
	신생대	사곡층(Ke7)	·상부 (Ke7-ms) ·하부 (Ke7-ss) ·암회색, 녹회색, 적색 이암 및 셰일 ·석회질 물질 함유 ·이 교호 ·사질부분을 다량 함유
		하산동층(Ke2)	·상부 (Ke2-2) ·하부 (Ke2-1) ·사암 및 적색 미사암, 이암의 교호 ·사암과 역질사암, 역암의 교호
		낙동층(ke1)	·상부 ·하부 ·사암과 역질사암, 역암 교호 ·장석질 사암과 역질사암, 역암 교호 ·최하부에 탄질층 협재

2.2 구간별 조사결과

2.2.1 SITE-1 (영천방향 4.8km 우측 비탈면)

가. 비탈면 현황

■ 비탈면 현황

· 붕괴구간(STA. 4+810~4+825)의 비탈면은 최대 깎기고 약 25.5m, 비탈면 경사 1:0.8~1:1.2 (발파암 1:0.8, 토사 1:1.2)로 시공되었으며, 발파암이 주를 이루며 표층에 풍화토, 풍화암이 얇게 분포하고 있다. 본 구간(영천방향 4.8km 우측 비탈면)의 붕괴 현황은 아래와 같다.

비탈면 위치	비탈면 최대깎기고(m)	붕괴범위(m)		비고
		연장	높이	
STA. 4+810 ~ STA. 4+825	25.5	15.0	18.0	암반구간



<붕괴전 비탈면 전경(다음지도 참조)>

■ 비탈면 피해 발생 현황

- 일 시 : 2023. 07. 07 집중호우로 인한 절토사면 유실
- 위 치 : 경북 상주시 낙동면 장곡리 산7-2번지 일원 (영천방향 4.8K)
- 피해현황 : 차량 및 인명피해 없음



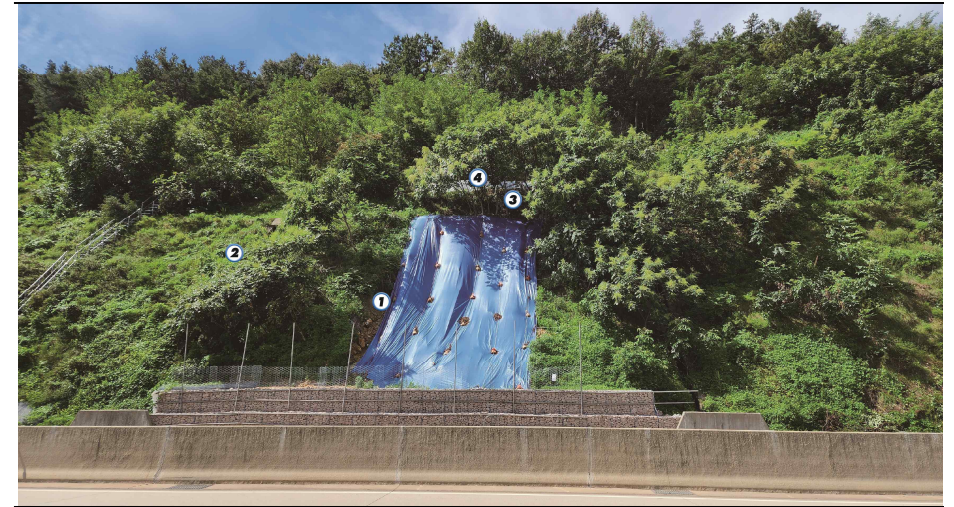
〈비탈면 붕괴현황 전경, 현장사진 2023.09.05.〉

STA. 4+825 측면	STA. 4+810 측구
	
- 붕괴구간 측면부 - 암구간 파쇄에 의한 얇은파괴 - 유실깊이 1.0~1.5M 유실 발생	- 붕괴구간 상부 측구부 - 측구 하부 토사 공극발생 - 측구 하부 공극 1~5cm

〈비탈면 붕괴구역 상세현황(현장사진 2023. 09. 05)〉

나. 지표지질조사

- 지표지질조사 및 분석은 수정된 설계도면과 현장조사를 바탕으로 조사수행함
- 붕괴구간을 중점으로 불연속면 특성을 확인함



〈비탈면 전경(현장사진 2023.09.05.〉

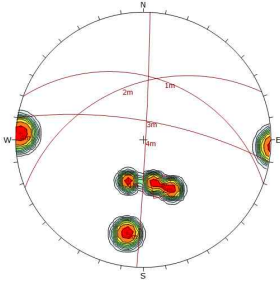
■ 상세 1



- 본 붕괴구간의 암종은 심한풍화 상태의 흑운모 화강암으로 건조한 상태이며 파쇄가 심하게 조사됨.

상세 2  · 도수로 상태 양호	상세 3  · 상부 측구하부 공극
상세 4  · 소단측구 상부 비탈면 상태 양호	

불연속면 분포

불연속면 특성	조사 결과	불연속면 Contour Dia.
- 방향성 - J1 : 38/020 - J2 : 43/338 - J3 : 73/010 - J4 : 88/093 - 불연속면의 거칠기는 약간 거칠 및 매끈한 상태임.	다수의 불연속면이 복잡하게 분포하며 흑운모 화강암의 풍화로 암편화 되어있는 상태임	

2.2.2 SITE-2 (상주방향 17.4km 우측 비탈면)

가. 비탈면 현황

■ 비탈면 현황

- 붕괴구간(STA. 1+385~1+400)의 비탈면은 최대 깎기고 약40.1m, 비탈면 경사 1:0.7~1:1.5(발파암 1:0.8, 토사 1:1.2~1.5)로 시공되었으며, 발파암이 주를 이루며 표층에 풍화토, 풍화암이 얇게 분포하고 있다. 본 구간(영천방향 17.4km 우측 비탈면)의 붕괴 현황은 아래와 같다.

비탈면 위치	비탈면 최대깎이고(m)	붕괴범위(m)		비고
		연장	높이	
STA. 1+385 ~ STA. 1+400	40.1	15.0	19.5	암반구간



<붕괴전 비탈면 전경(다음지도 참조)>

■ 비탈면 피해 발생 현황

- 일 시 : 2023. 07. 26 집중호우로 인한 절토사면 유실
- 위 치 : 경북 구미시 도개면 다곡리 산135-5번지 일원 (상주방향 17.4k)
- 피해현황 : 차량 및 인명피해 없음



〈비탈면 붕괴현황 전경, 현장사진 2023.09.05.〉



〈비탈면 붕괴구역 상세현황(현장사진 2023. 09. 05)〉

나. 지표지질조사

- 지표지질조사 및 분석은 수정된 설계도면과 현장조사를 바탕으로 조사수행함
- 붕괴구간을 중점으로 불연속면 특성을 확인함

■ 절리조사결과



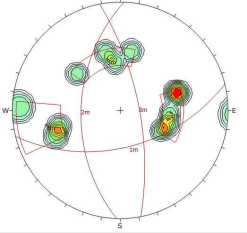
- 본 붕괴구간의 암종은 심한풍화 상태의 흑운모 화강암으로 건조한 상태이며 파쇄가 심하게 조사됨.



〈비탈면 전경(현장사진 2023.09.05.〉

■ 상세 1  · 비탈하부 비닐깔기	■ 상세 2  · 녹생토 취부구간 암노출
■ 상세 3  · 절리 및 파쇄 심함	■ 상세 4  · 심한풍화, 표층유실
■ 상세 5  · 소단측구 하부 쇄기파괴	

■ 불연속면 분포

불연속면 특성	조사 결과	불연속면 Contour Dia.
- 방향성 - J1 : 52/166 - J2 : 50/272 - J3 : 70/079 - 불연속면의 거칠기는 약간 거칠 및 매끈한 상태임.	다수의 불연속면이 복잡하게 분포하며 흑운모 화강암의 풍화로 암면화 되어있는 상태임	

2.2.3 SITE-3 (영천방향 40.0km 우측 비탈면)

가. 비탈면 현황

■ 비탈면 현황

· 붕괴구간(STA. 3+819.8~3+917.8)의 비탈면은 최대 깎이고 약 32.0m, 비탈면 경사 1:0.7~1:1.2(발파암 1:0.8, 토사 1:1.2)로 시공되었으며, 발파암이 주를 이루며 표층에 풍화토, 풍화암이 얇게 분포하고 있다. 본 구간(영천방향 40.0km 우측 비탈면)의 붕괴 현황은 아래와 같다.

비탈면 위치	비탈면 최대깎이고(m)	붕괴범위(m)		비고
		연장	높이	
STA. 3+819.8 ~ STA. 3+917.8	32.0	98	20	암반구간

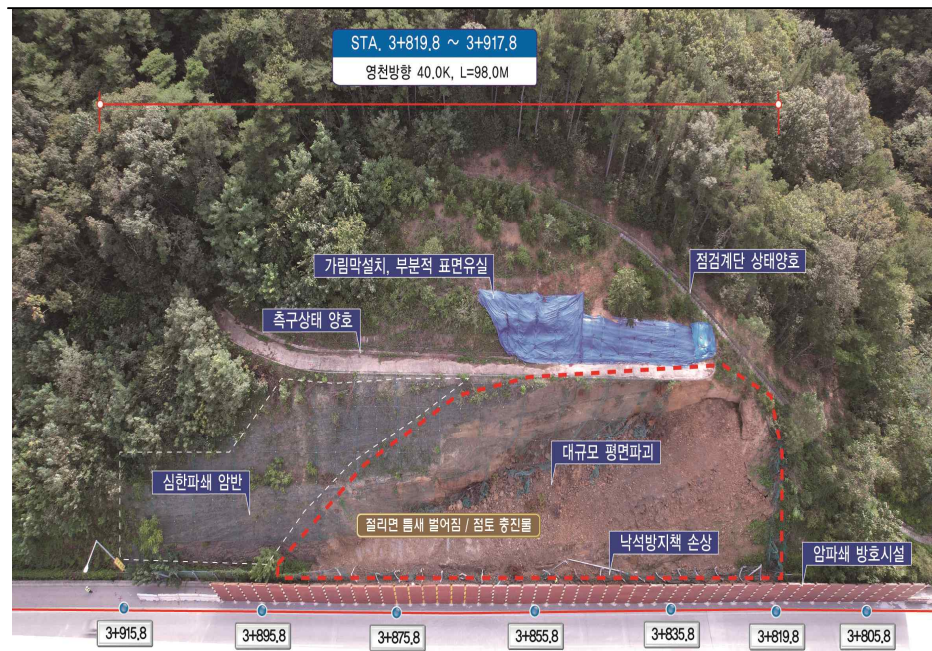




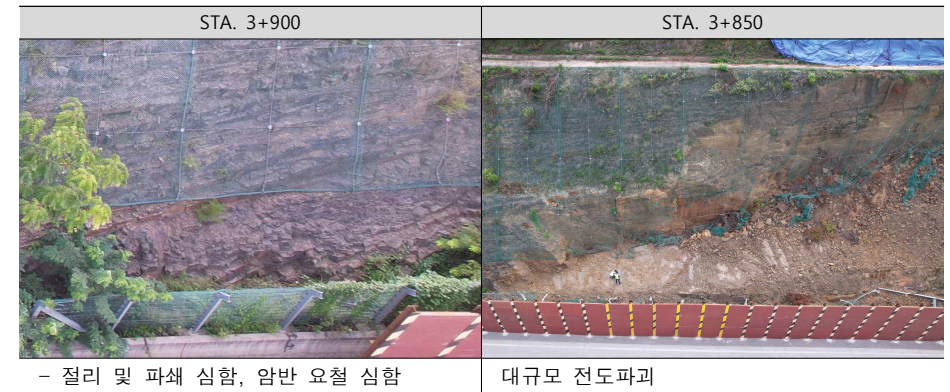
〈붕괴전 비탈면 전경(다음지도 참조)〉

■ 비탈면 피해 발생 현황

- 일 시 : 2023. 07. 5 집중호우로 인한 절토사면 유실
- 위 치 : 대구 군위군 효령면 불로리 산50-2번지 일원 (영천방향 40.0 k)
- 피해현황 : 차량 및 인명피해 없음



〈비탈면 붕괴현황 전경, 현장사진 2023.09.05.〉

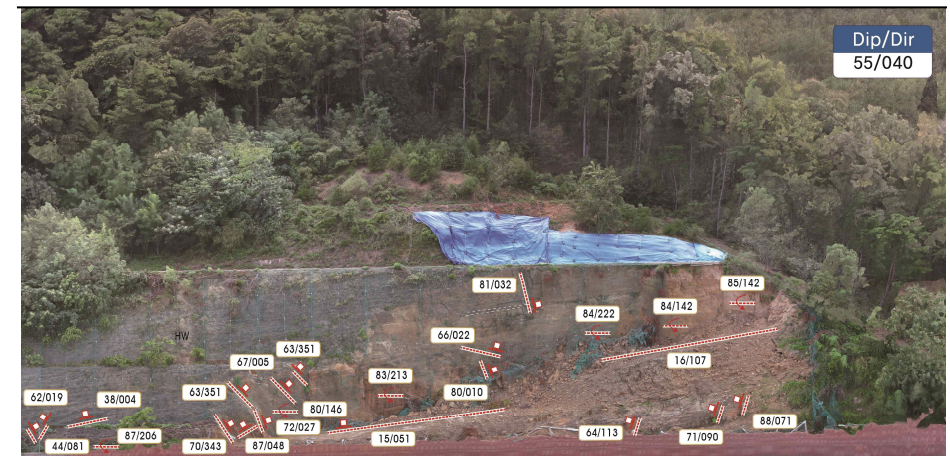


〈비탈면 붕괴구역 상세현황(현장사진 2023. 09. 05)〉

나. 지표지질조사

- 지표지질조사 및 분석은 수정된 설계도면과 현장조사를 바탕으로 조사수행함
- 붕괴구간을 중점으로 불연속면 특성을 확인함

■ 절리조사결과



- 본 붕괴구간의 암종은 심한풍화 상태의 셰일 및 사암이 혼재되어 있으며 파쇄가 심하게 조사됨 (건조 및 습윤 상태).



〈비탈면 전경(현장사진 2023.09.05.)〉

■ 상세 1 (STA. 0+850)



· 유실에 의한 하부 낙석방지책 손상

■ 상세 2 (STA. 0+870)



· 절리면 틈새 벌어짐

■ 상세 3 (STA. 3+880)



· 망손상 및 절리면 틈새 벌어짐 (10~20mm)

■ 상세 4 (STA. 0+890)



· 절리면 점토 및 각력 충전

■ 상세 5 (STA. 3+820 상부)



· 측구 상태 양호

■ 상세 6 (STA. 3+890 상부)



· 상부 노출암 상태 양호

■ 불연속면 분포

불연속면 특성	조사 결과	불연속면 Contour Dia.
- 방향성 - J1 : 83/143 - J2 : 88/035 - J3 : 59/096 - J4 : 63/003 - 불연속면의 거칠기는 약간 거칠 및 매끈한 상태임.	- 다수의 불연속면이 복잡하게 분포하며 사암 및 셰일이 혼재함 - 고각의 역경사 절리와 저각의 평면절리가 다수 관찰됨 - 평면방향의 절리는 30° 이내의 경사 절리가 다수 관찰됨	

2.3 붕괴원인분석

2.3.1 개요

가. 일반적인 비탈면의 불안정 요인

- 비탈면 불안정은 한가지 원인에 의해 발생되기 보다는 여름철 강우나 겨울철 지층의 동결, 융해작용 등에 의한 자연적인 원인과 굴착 등과 같은 인위적 원인이 복합되어 파괴원인을 제공한다.

〈비탈면 불안정 요인〉

구 분		내 용
직접적인 요인	자연적 원인	- 강우·용설에 의한 침식, 간극수압 상승 - 지하수 접촉에 의한 암반강도 저하 - 적설에 의한 상재하중 증가 - 동결융해에 의한 강도열화, 수목에 작용하는 풍하중, 지진
	인공적 원인	- 도로건설, 부지조성, 터널에 의한 비탈면 절취 - 댐 하류부의 세굴, 수로에서의 누수 - 저류지의 지하수위 변동 등 - 수목벌채 등에 의한 강우의 영향
간접적인 요인	지질적 원인	- 단층, 파쇄대, 절리, 층리, 편리 등의 존재 - 암석 및 암반의 풍화 및 강도열화 - 변질대, 붕괴토 및 미고결 퇴적물의 분포 - 지하수 존재의 유무 및 거동
	지형적 원인	20°이상의 급경사지 - 태풍의 영향, 일교차의 영향이 강한 남측비탈면 - 하천, 절벽해안, 저수지 급경사 비탈면 등 침식이 용이한 비탈면 - 지표수가 집중 될 수 있는 장소

나. 비탈면의 붕괴원인

외적인 요인 (전단응력 증가시키는 요인)	내적인 요인 (전단강도 감소시키는 요인)
- 인위적인 점토, 유수에 의한 침식에 의한 지형의 기하학적 변화 - 함수량 증가에 따른 흙의 단위중량의 증가 - 인장응력에 의한 균열의 발생 - 균열내에 작용하는 수압 - 발파, 지진 등에 의한 충격이나 진동	- 수분증가에 따른 점토의 팽창 - 취약부 지반의 변형 및 진행성 파괴 - 간극수압의 증가, 동결 및 융해 - 흙다짐의 불충분 - 느슨한 토립자의 진동에 의한 이동 - 결합재의 결합력의 둔화

2.3.2 구간별 붕괴원인 분석

가. 붕괴발생 현황 정리

구 분	방향	이정표시	비탈면 최대꺾기고(m)	붕괴면 비탈면 경사	붕괴규모		비고
					연장(m)	높이(m)	
1	영천	4.8 K	25.5	1:0.8	15.0	18.0	암반사면 붕괴
2	상주	17.4 K	40.1	1:0.7	15.0	19.5	암반사면 붕괴
3	영천	40.0 K	32.0	1:0.7	98.0	20.0	암반사면 붕괴

나. 구간별 붕괴현황 분석

■ SITE-1 (영천방향 4.8km 우측 비탈면)

위 치		비탈면 최대높이(m)	비탈면 경사	현 황
영천방향 4.8K	STA. 4+810~4+825	25.5	1:0.8	- 측구 하부로부터 1.0~1.5M 깊이의 얇은파괴 - 암반의 파쇄가 심함 - 하부구간 네일링 노출



소단측구 하부 공극발생	유실부 네일링 노출, 파괴깊이 1.0~1.5M
붕괴원인 종합분석 - 현장조사결과 붕괴구간 비탈면은 파쇄가 심한 상태이며 집중호우시 물이 침투하여 파쇄된 암반비탈면이 토사 비탈면처럼 거동하여 얇은 파괴가 발생된 것으로 판단된다. - 기 시공된 소일네일링은 노출되어 있으며 보강재의 휨등이 관찰되지 않아 기 설치 보강재의 접촉불량, 시공 후 암반의 파쇄 등이 예상된다. - 따라서, 풍화의 진행으로 인해 암반이 파쇄, 전단강도 감소가 발생하였고 강우에 의한 수위 상승으로 과잉간극수압의 상승 및 파쇄암의 토사화 거동으로 인하여 얇은 원호파괴가 발생한 것으로 판단됨.	

■ SITE-2 (상주방향 17.4 km 우측비탈면)

위 치	비탈면 최대높이(m)	비탈면 경사	현 황
상주방향 17.4K STA. 1+385 ~ 1+400	40.1	1:0.7	- 사면내 켜기파괴 발생 - 절리 및 파쇄가 심하고 추가적 붕괴가 우려됨

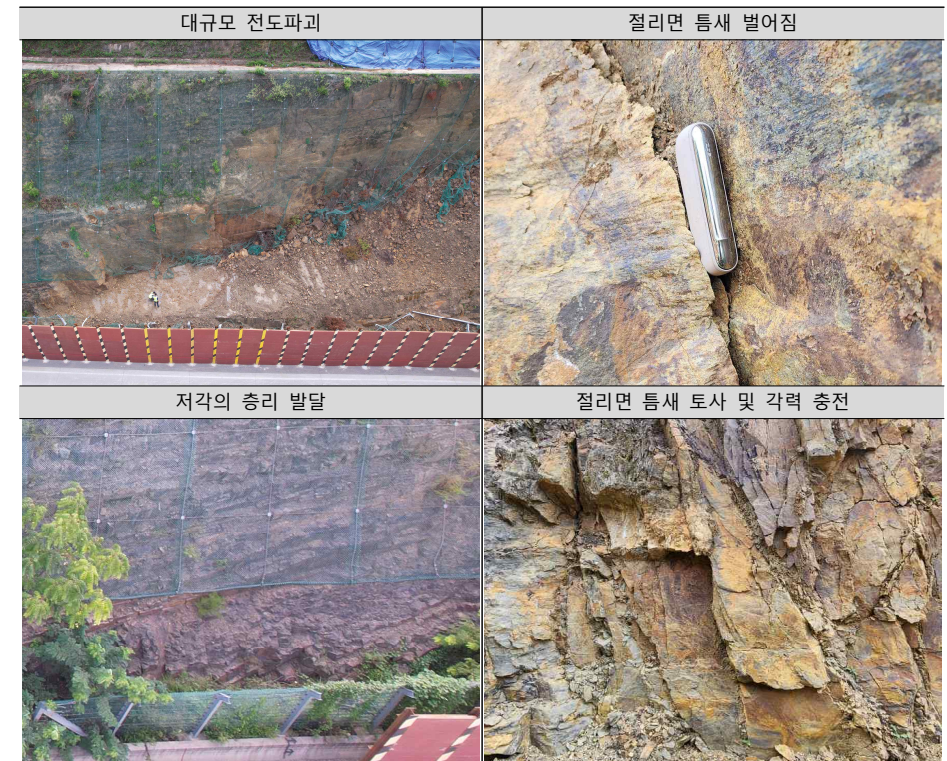


붕괴원인
종합분석

- 켜기파괴가 발생한 비탈면으로 추가적인 붕괴가 우려됨
- 비탈면 풍화에 의한 불연속면의 전단강도 감소와 우기시 간극수압 증가에 따른 활동력 증가로 붕괴가 발생한 것으로 판단됨
- 절리 및 파쇄가 발달해 있어 추가적인 붕괴방지를 위한 조속한 보강 필요함

■ SITE-3 (영천방향 40.0K 우측비탈면)

위 치	비탈면 최대높이(m)	비탈면 경사	현 황
영천방향 40.0K	32.0	1:0.7	- 사암 및 셰일의 저각의 층리 발달 - 고각의 역경사 절리가 다수 관찰되며 절리의 틈새가 벌어져 있는 상태 - 절리면 사이에 토사 및 각력되어 있으며 습윤상태임 - 기설치된 낙석방지망과 낙석방지책 손상된 상태



붕괴원인
종합분석

- 사암 및 셰일의 저각의 층리가 발달되어 있으며, 고각의 역경사 절리 발달
- 붕괴구간에는 절리의 틈새가 벌어져 있으며 지하수 또는 우수의 침투로 인해 전도파괴가 발생하고 층리면을 따라 비탈면 하부로 활동한 것으로 판단됨.

■ 종합분석

- 금회 현장조사 결과, 비탈면의 풍화가 심하여 암반이 세편화되어 다수의 절리가 발달된 상태이며 비탈면 배수체계가 미흡하여 배수가 불량한 구간을 다수 확인하였다.
- 암반 비탈면 구간에서는 암반 표면이 매우 풍화된 상태로 절리와 층리가 발달한 상태임. 또한, 비탈면 및 층리면에 대한 거칠기 조사 결과, 약간 거침에서 매끄러운 상태로서 우수 침투 및 점토가 협재된 경우, 전단강도 저하가 예상됨.
- 노출된 암반 비탈면은 건습의 반복 및 차별풍화로 인하여 표면 풍화가 발달하였으며 절리면을 따라 토사가 충진된 구간이 있었으며, 본 과업구간의 퇴적암은 이암, 셰일, 흑운모 화강암이 주를 이루며 이 암은 풍화에 약하며 층리면에 지하수가 침투하는 경우 전단강도가 저하되는 특징을 보임. 따라서, 본 붕괴구간의 대부분 암반비탈면은 고각의 인장균열내에 우수가 침투되어 수압이 상승하였으며 층리면이 습윤한 상태로 전단강도가 저하되어 평면파괴 및 쉼기파괴가 발생한 것으로 판단됨.
- 암반비탈면은 절리 및 층리가 발달하였고, 부분적으로 매우 작게 파쇄된 절리면으로 구성됨. 노출된 비탈면은 우수 침투와 풍화를 반복함에 따라 비탈면 표면에 세편화되어 풍화가 발달하였으며 우기시 전단강도 감소 및 인장균열내 수압 상승으로 비탈면 파괴가 발생하였음.

제 3 장 설계기준 및 설계지반정수 산정

상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계
(영천방향 40K 외 2개소)

- 3.1 설계기준 및 조건
- 3.2 설계지반정수 산정
- 3.5 성과분석
- 3.6 한계평형해석

제3장 설계기준 및 설계지반정수 산정

3.1 설계기준 및 조건

3.1.1 설계기준

▶ 설계기준 및 적용방향

- (1) 국내 시방서 및 설계기준이 있는 경우
 - 관련 법규와 가장 최신의 정부제정 설계기준 및 시방서 적용
 - 한가지 이상의 설계기준이 있는 경우 가장 적합한 설계기준 적용
- (2) 국내 시방서 및 설계기준이 없는 경우
 - 해외의 해당 시방서 및 설계기준 적용
 - 국내외 문헌조사 및 사례조사, 전문가 자문 등을 통한 기준 설정

▶ 국내 관련 설계기준 및 시방서

<국내 관련 설계기준 및 시방서 >

구 분	관련부처	발행연도	적용
· 구조물 기초설계기준 · 도로교 설계기준 · 건설공사 비탈면 설계기준 · KDS 11 70 05 : 2020	국토교통부	2018 2010 2016 2020	공 통
· 토목공사 일반표준시방서 · 건설공사 품질 및 규격관리 실무편람 · 건설공사 안전시공관리 시방지침서	국토교통부	2005 1994 1996	시공/안전
· 한국산업규격(KS) · 정부제정 각종시방서 및 기준 · 기타 관련법령, 규정, 지침, 기준등	-	-	공 통

▶ 국외 관련 설계기준 및 시방서

<국외 관련 설계기준 및 시방서 >

구 분	관련부처	발행연도
· 미국콘크리트협회 기준(ACI)	-	-
· Engineer and Manual	U.S. Army	-
· Coastal Engineering Manual('03 ACES)	U.S. Army	2003
· Hand book of port and Harbor Engineering	-	-
· Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering(CIRIA/CUR)	-	-

3.1.2 설계조건

▶ 기본방향

- 허용안전율은 자료의 불확실성에 대한 대비 및 비탈면 변형을 허용치 이내로 제한하는 기능하고 있다.
- 이론상 안전율이 1.0 이상이며 안전한 것으로 판단되나 사면의 실제거동의 불확실성으로 인한 여건을 감안하여 허용 안전율의 개념을 도입, 안정성 검토시 적용한다.
- 비탈면의 안전율은 입지조건과 공사내용, 비탈면의 중요도, 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성에 따라 결정된다.
- 우기시에는 지하수위를 고려하여 검토를 실시한다.

▶ 국내의 기관별 허용 안전율

구 분	최 소 안 전 율		
국 내	한국도로공사 도로설계요령 (2020)	건기시	$F_s \geq 1.5$
		우기시	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$
	국도건설공사 설계실무 요령 (2021)	건기시	$F_s \geq 1.5$
		우기시	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$
	건설공사비탈면 설계기준(2016)	건기시	$F_s \geq 1.5$
		우기시	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$

※ 상기 수치는 기준치이므로 지형 및 지질, 사면검토 등 현지여건에 따라 설계기준을 조정하여 적용

구 분		최 소 안 전 율	
일본	일본항만협회	항만시설 기술상의 기준, 동해설	$F_s \geq 1,3$
	일본도로공단	도로설계요령	$F_s \geq 1,5$
	일본건설성	표준적인 계획 안전율	$F_s \geq 1,1 \sim 1,3$
미국	FEDERAL REQISTER	시공직후	$F_s \geq 1,3$
		침윤을 고려할때	$F_s \geq 1,5$
		지진을 고려할때	$F_s \geq 1,0$
	DAPPOLONIA CONSULTING INC	실내시험에 의해 강도를 구할 경우	$1,8 > F_s \geq 1,3$
		최대 지진가속도를 고려할 때	$1,5 > F_s \geq 1,2$
	해군 공병단 NAVFAC-DM (7,1-P,329)	하중이 오래 작용될 경우	$F_s \geq 1,5$
		구조물 기초인 경우	$F_s \geq 2,0$
		일시적인 하중이 작용할 경우 및 시공시	$F_s \geq 1,35 \text{ or } 1,25$
		지진하중이 작용하는 경우	$F_s \geq 1,2 \text{ or } 1,15$
영국	N A T I O N A L C O A L BOARD	1) Peck Shear Stress(UU Test)	$1,5 > F_s \geq 1,25$
		2) Residual Shear	$1,35 > F_s \geq 1,15$
		3) 포화된 사질토의 경우($C=0$)	$1,35 > F_s \geq 1,15$
		4) 2),3)항 공히 적용되는 경우($C=0$, CD Test)	$1,2 > F_s \geq 1,1$
캐나다	M I N E S BRANCH	극한강도로 설계한 경우	$F_s \geq 1,3 \text{ or } 1,5$
		잔류강도로 설계한 경우	$F_s \geq 1,2 \text{ or } 1,3$
		100년 주기의 지진가속도를 포함한 경우	$F_s \geq 1,1 \text{ or } 1,2$
		지진이 있는 지역의 제방 하부에서 수평활동이 일어날 경우 (제방내에 갇혀 있는 세립 폐사의 강도 무시함)	$F_s \geq 1,3$

〈 건설공사비탈면 설계기준(2016) (국가건설기준 KDS 11 70 05:2020) 〉

구 분	최소안전율	내 용
건기시	$F_s > 1,5$	• 지하수위 없는 것으로 해석
우기시	$F_s > 1,2$ or $F_s > 1,3$	• 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 $FS=1,2$적용 • 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용가능 • 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정 해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술($FS=1,2$적용) • 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수과 해석방법을 명확히 기술($FS=1,3$적용)
지진시	$F_s > 1,1$	• 지진관성력은 파괴 토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용
단기	$F_s > 1,1$	• 기간 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) • 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

▶ 과업구간에 적용한 허용안전율

구 분		기 준 안 전 율	비 고
건 기 시		$F_s > 1,5$	지하수위 없는 조건
우 기 시	토사	$F_s > 1,2$	-일최대 강우량 300mm 이상으로 검토됨 -계곡부 인접구간으로 우기시 계곡부로 물이 넘쳐 흘러 만수위 조건으로 검토 실시함
	암반	$F_s > 1,2$	인장균열 내 1/2심도까지 포화조건
지 진 시		$F_s > 1,1$	평상시 지하수위 조건

3.1.3 지진시 안정해석 방법

지진에 대한 비탈면의 안정해석에는 동적문제를 정역학적으로 취급한 진도법이 적용되나, 동적변형 및 강도를 정정으로 추정하는 일은 매우 어려운 문제로서 진도법의 합리성에 대하여 논란의 대상이 되어왔지만 진도법을 적용하는 이유는 이론적 계산의 간편성과 안정성이 경험을 통하여 알려져 있기 때문이다.

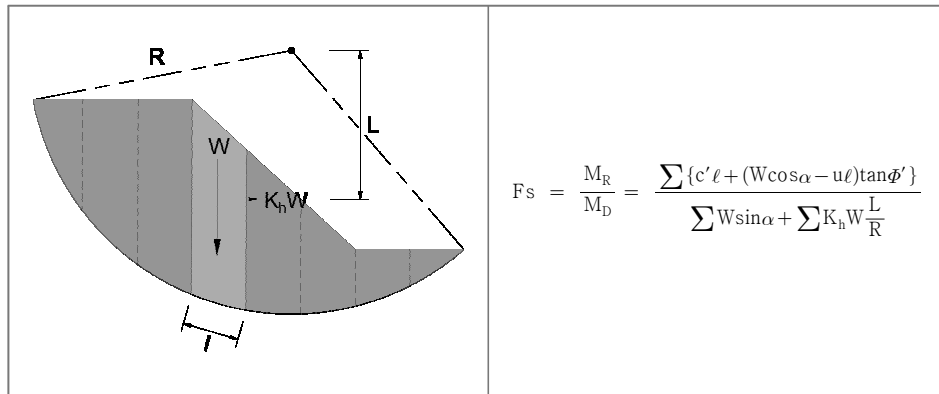
▶ 진도법

지진에 의하여 사면의 토괴는 기초지반과 일체로 거동하고, 이때 지반의 관성력은 지진가속도의 반대방향으로 토괴질량과 가속도를 곱한 크기만큼 정적으로 작용한다고 가정하여 비탈면의 안정성을 검토하는 방법을 진도법 또는 유사정적해석(Pseudo static Method)이라 한다. 이 방법에서는 지진력이 활동체의 무게에 비례해서 정하중처럼 수평방향으로 작용한다고 가정한 것이다. 수평력은 가속도(g)로 표시되는 지진계수 k와 활동체의 무게 W를 곱하여 정한다. 지진관성력 F는

$$F = m \cdot a = (W / g) \cdot a = k \cdot W$$

여기서, m : 토괴의 질량(kg)
a : 지진가속도(cm/sec²)
g : 중력가속도(cm/sec²)
k : a/g(진도, 무차원계수)

일반적인 내진 설계에서는 kv에 대한 지진동은 무시되고 kh만 고려되고 있다.



▶ 내진설계 적용기준

내진설계 대상으로 선정된 비탈면의 내진등급은 KDS 17 10 00 을 준용하여 정하여진 주 구조물의 내진등급 등에 따라 내진특등급, 내진Ⅰ등급, 내진Ⅱ등급으로 적용한다.

1) 내진등급

- ▶ 내진특등급 : - 내진특등급으로 건설된 주 구조물의 안전과 기능에 영향을 미치는 비탈면
- ▶ 내진Ⅰ등급 : - 내진Ⅰ등급으로 건설된 주 구조물의 안전과 기능에 영향을 미치는 비탈면
- 고속철도 및 일반·도시·광역 철도의 안전과 기능에 영향을 미치는 비탈면
- 고속국도, 자동차전용도로, 특별시도로, 광역시도로 또는 일반국도의 안전과 기능에 영향을 미치는 비탈면
- 이외에 발주자의 판단에 의해 내진Ⅰ등급 설계가 필요하다고 판단되는 비탈면
- ▶ 내진Ⅱ등급 : - 내진Ⅱ등급으로 건설된 주 구조물의 안전과 기능에 영향을 미치는 비탈면
- 지방도, 시도 및 군도의 안전과 기능에 영향을 미치는 비탈면
- 이외에 비탈면 내진설계가 필요하나 내진특등급 및 내진Ⅰ등급에 속하지 않는 비탈면

2) 내진성능수준

- ① 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준으로 한다.
- ② 붕괴방지수준은 설계지진하중 작용 시 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 손상이 매우 클 수는 있지만, 이로 인하여 주변구조물의 붕괴로 인한 대규모 피해가 발생하지 않고, 인명 피해를 최소화하는 성능수준이다.

< 최소 내진성능목표 >

설계지진	재현주기	성능수준	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
	50년		내진Ⅲ등급			
	100년		내진Ⅲ등급	내진Ⅲ등급		
	200년		내진특등급	내진Ⅲ등급	내진Ⅲ등급	
	500년			내진특등급	내진Ⅲ등급	내진Ⅲ등급
	1,000년				내진특등급	내진Ⅲ등급
	2,400년					내진특등급
	4,800년					내진특등급

- ▶ 기능수행수준 : 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 경미하여 그 구조물이나 시설물의 기능이 유지될 수 있는 성능수준이다
- ▶ 즉시복구수준 : 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 크지 않아 단기간 내에 즉시 복구되어 원래의 기능이 회복될 수 있는 성능수준이다
- ▶ 장기복구/인명보호수준 : 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 큰 손상이 발생할 수 있지만 장기간의 복구를 통하여 기능 회복이 가능하거나, 시설물에 상주하는 인원 또는 시설물을 이용하는 인원에 인명손실이 발생하지 않는 성능수준이다
- ▶ 붕괴방지수준 : 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 매우 큰 손상이 발생할 수는 있지만 구조물이나 시설물의 붕괴로 인한 대규모 피해를 방지하고, 인명 피해를 최소화하는 성능수준이다

3) 내진성능수준 결정

내진성능수준은 건설공사 비탈면 설계기준 (2016, 국토교통부)에 의하면 다음과 같다.

- ① 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준으로 한다.
- ② 붕괴방지수준은 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만, 이로 인하여 구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다.
- ③ 비탈면은 아래 표에 규정한 평균재현주기를 갖는 설계지반운동에 대하여 성능수준을 만족할 수 있도록 설계한다

등 급	설계성능수준	재현주기	검토대상 구조물	성 능 수 준
내 진 1등급	붕괴방지수준	1000년	도로 (고속도로)	설계지진 작용시 구조물이나 시설물에 상당한 변형이나 손상이 발생할 수 있지만 그 수준과 범위는 구조물이나 시설물이 붕괴되거나 또는 구조물이나 시설물의 손상으로 인하여 대규모 피해가 초래되는 것을 방지할 수 있는 성능수준.

▶ 설계지반 운동수준

1) 지진구역 구분

지진구역	행 정 구 역	
Ⅰ	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도 남부 1), 충청북도, 충청남도, 경상북도 , 경상남도, 전라북도, 전라남도
Ⅱ	도	강원도 북부 2), 제주도

※ 1) 강 원 도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

2) 강 원 도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

▶ 지진구역계수

지 진 구 역	Ⅰ	Ⅱ
구역계수, Z(g)	0.11	0.07

2) 재현주기별 위험도계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	4,800년
위험도계수	0.40	0.57	0.73	1.00	1.40	2.00	2.60

▶ 지반 가속도 결정

내진등급	재현주기	지진구역계수	위험도계수	설계지반가속도
내진 I 등급	1000년	0.11	1.40	0.154g

3) 지반분류를 고려한 지반가속도계수

국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 , S_6 의 6종류로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760m/s 이상인 지층으로 정의한다.

▶ 지반의 분류 기준

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H(m)	토층평균전단파속도, $V_{s, soil}$ (m/s)
S1	암반지반	1미만	—
S2	알고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	알고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반		

여기서, 지반종류 s_e 에 해당하는 지반을 종류는 다음과 같다.

- 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8 이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토 지반(지층의 두께 > 3m)
- 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m이고, 소성지수 > 75)
- 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m)
- 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반

▶ 지반증폭계수

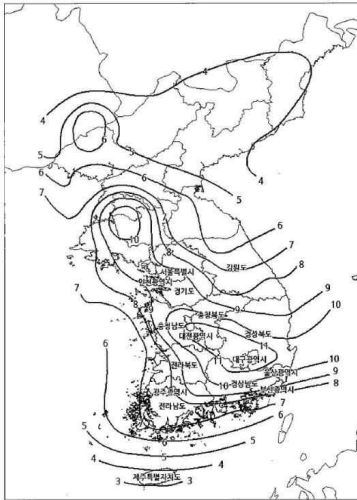
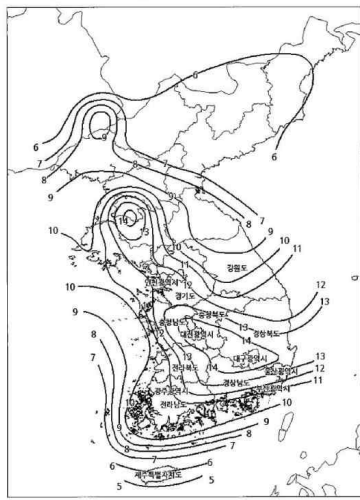
지반 분류	단주기지반증폭계수, Fa			장주기지반증폭계수, Fv			Max(Fa, Fv) S=0.11g의 보정값
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3	1.5
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5	1.7
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8	2.2
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4	3.0

과업지역은 급경사지에 분포하는 기반암과 비탈면 상부에 분포하는 토층을 고려하여 S2 지반조건에 대한 증폭계수값을 적용하였음.

▶ 지진 재해도를 이용하는 방법

비탈면이 위치한 부지에 대하여 지반가속도계수를 지진의 평균재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진 등급에 따른 지반가속도계수를 산정할 수 있다.

〈 재현주기별 지진재해도 〉

구 분	평균재현주기 500년 지진재해도	평균재현주기 1000년 지진재해도	
지진재해도	재현주기 500년 국가지진위험지도 	재현주기 1,000년 국가지진위험지도 	
	주요도시	경상북도 (상주, 구미, 군위)	경상북도 (상주, 구미, 군위)
	내진적용등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급
	지진가속도	0.10g	0.13g
	적용사유	• 평균재현주기 1000년에 대한 지진재해도에 따른 지반가속도 검토결과 0.13g 적용	

4) 지반가속도계수 결정

본 사업구간은 경상북도 (상주, 구미, 군위)에 위치하고 있으므로 지진구역계수 산정시 I등급, 1000년주기에 해당하며, 알고 단단한 지반으로 지반분류상 S2로 선정하였다. 지진구역도, 지진재해도 및 지반분류에 의한 방법으로 산출된 가속도계수를 비교하여 큰 가속도계수를 설계에 적용하였다.

흙쌓기·땅깎기 비탈면에 대하여 안정해석 시 이용하기 위한 설계 지반가속도계수와 지진계수(Kh)는 다음 표와 같다.

〈 지반가속도계수 결정 〉

구분		설계 지반가속도계수 붕괴방지수준	비고
내진등급	비탈면	내진 I등급	-
	재현주기	1000년	
행정구역에 의한 방법	위험도계수	1.4	-
	구역계수	0.11	
	설계지반 가속도 (위험도계수×구역계수)	0.154	
	지진재해도의 최대가속도	0.13	
지반분류를 고려한 수평지진계수	증폭계수 (S2기준)	1.50	S2(알고 단단한 지반) 적용
	행정구역에 의한 방법	0.231	설계지진계수 × 증폭계수
	지진재해도를 이용한 방법	0.195	설계지진계수 × 증폭계수
적용		0.231	-
수평지진계수 (kh)		0.1155	Kh = a _{max} / 2g

주) a_{max} : 지표면 최대가속도(설계 지반가속도계수×g)

5) 수평 지진계수(Kh)

등가정적 비탈면안정해석은 비탈면의 수평변위를 어느 정도 허용하는 개념을 도입하여 수평 지진계수(Kh)의 50%를 파괴 토체의 무게에 곱한 하중을 등가 정적하중으로 치환하여 안정성을 검토하는 방법이다. 지진하중으로 인한 지표면 최대가속도를 a_{max}라 하면, 지진으로 인하여 파괴토체에 작용하는 설계지진력(Fh)은 다음과 같다.

$$F_h = \left(\frac{\alpha_{\max}}{g} \times 50\% \right) W, \quad \left(\frac{\alpha_{\max}}{g} = K_h \right)$$

여기서,

a_{max} : 지표면 최대 수평가속도

g : 중력가속도

W : 파괴토체의 무게

또한, 등가정적 해석시 입력되는 수평방향 지진가속도계수(Kh)는 다음과 같이 계산된다.

(내진등급 : I등급, 재현주기 : 1000년 기준)

$$K_h = \frac{\alpha_{\max}}{g} \times 50\% = \frac{0.231g}{g} \times 0.5 = 0.1155$$

3.2 설계지반정수 산정

3.2.1 개요

- 지반의 강도정수는 각종 문헌에서 제시되어 있는 값과 인근과업 설계적용 값을 참조하여 보수적으로 결정하였다.
- 특히 암반비탈면은 주로 불연속면을 따라 거동하게 되는데 이러한 불연속면의 전단강도는 암반의 전단강도와는 달리 대상 비탈면의 불연속면 형상, 거칠기(Roughness), 충전물(Filling material), 연장성(Persistency) 등에 의해 좌우된다. 따라서 불연속면 강도정수는 지표지질조사(암반의 불연속면 특성), 현장 불연속면의 거칠기(JRC) 및 슈미트해머 강도시험 결과를 적용한 Barton의 제안식, 관련문헌자료와 기존 적용사례 등을 비교·검토하여 암반 절리면에 대한 강도정수를 산정하였다.
- 본 과업구간 비탈면 안정성 검토에 적용된 강도정수 산정결과는 다음과 같다.

■ 암반절리면(불연속면)의 강도정수

■ 단위중량 문헌자료 검토

〈 표 3.12 암석의 단위중량 〉

암 석 명	건조단위중량 (kN/m³)	암 석 명	건조단위중량 (kN/m³)
섬강암(Syenite)	25.5 ~ 26.5	셰일(Shale)	300m 깊이 22.1
화강암(Granite)	26.0		900m 깊이 24.7
섬록암(Diorite)	27.9		1,500m 깊이 25.7
반려암(Gabbro)	29.4	석영운모편암(Quartz mica schist)	27.6
석고(Gypsum)	22.5	각섬암(Amphibolite)	29.3
암염(Rock Salt)	20.6	유문암(Rhyolite)	23.2
석회암(Limestone)	20.9	현무암(Basalt)	27.1
대리암(marble)	27.0	-	-

※ 암반역학의 원리(이인도)

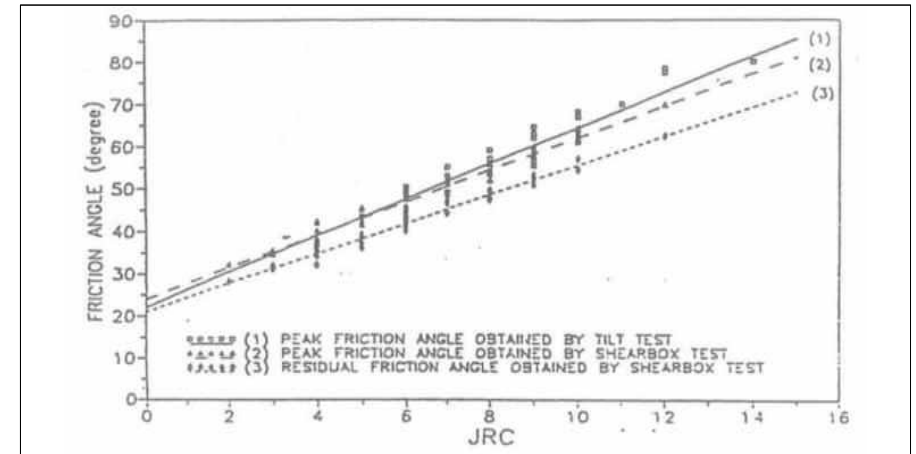
암 석 명	단위중량 (kN/m³)	암 석 명	단위중량 (kN/m³)
화강암(Granite)	26 ~ 28	석회암(Limestone)	26 ~ 28
현무암(Basalt)	26 ~ 28	점판암(Slate)	27 ~ 28
안산암(Andesite)	26 ~ 28	응회암(Tuff)	14 ~ 25
사암(Sandstone)	21 ~ 26	사문암(Serpentine)	25 ~ 29
셰일(Shale)	27 ~ 29	-	-

※ 토목기술자를 위한 암반공학(한국지반공학회)

■ 연구자료에 의한 추정

(1) 내부마찰각

- 마찰각 추정을 위하여 한국도로공사 도로연구소의 “93년도 사면안정처리에 관한 연구보고서”에서 제안된 절리면 거칠기수(JRC; Joint Roughness Coefficient)와 마찰각의 관계는 다음 그림에 나타난 도표와 같다.
- 도표를 이용하여 사면의 간이경도시험 마찰각을 추정해보면 절리면 거칠기수가 4~6 정도 이므로 약 32~38° 범위를 갖는 것으로 나타났다.



〈 그림 3.9 절리면 거칠기에 따른 내부마찰각 〉

(2) 점착력

- 1995년 한국도로공사에서 발간한 “기술자문사례집(지반분야)”에서는 비탈면에 전반적으로 발달하고 있는 비교적 짧은 풍화된 절리면의 점착력으로 17.0 Kpa로 추정하였다.

■ 기존문헌자료

〈 충전물을 포함하고 있는 불연속면의 강도정수 〉

암 석 명	설 명	최대강도		잔류강도		시 험 자
		c'(kPa)	ϕ (°)	c'(kPa)	ϕ (°)	
현무암	점토화된 현무암질 각력암. 점토에서 현무암까지의 함유량 변화가 큼	240	42			Ruiz, Camargo, Midea & Nieble [109]
벤토나이트	백악내의벤토나이트층 얇은 층상. 삼축시험.	15 90~120 60~100	7.5 12~17 9~13			Link[110] Sinclair & Brooker[111]
벤토나이트질 세일	삼축시험 직접전단시험	0~270	8.5~29	30	8.5	Sinclair & Brooker[111]
점토	과압밀, 미끄러짐면, 절리 및 소규모 전단면	0~180	12~18.5	0~3	10.5~16	Skempton & Petley[112]
협탄층암석	점토 분쇄암층, 두께 1.0~2.5cm	11~13	16	0	11~11.5	Stimpson & Walton[114]
백운석	변질된 세일층, 두께 약 15cm	41	14.5	22	17	Pigot & Mackenzie[115]
섬록암, 화강섬록암 및 반암	점토 충전물(점토 2% PI=17%)	0	26.5			Brawner[116]
화강암/편마암	점토 충전물이 있는 단층, 사질양토로된 단층 충전물과 함께 약화됨. 구조적 전단대, 편암질 및 파쇄된 화강암, 풍화된 암석 및 충전물	0~100 50	24~25 40			Rocha[105] Nose[117] Evdokimov & Sapegin[118]
		242	42			
석회암	6mm의 점토층 1~2mm의 점토 충전물 1mm이하의 점토 충전물	100 50~200	13~14 17~21	0	13	Krsmanovic등 [120], Krsmanovic & Popovic[121]
석회암	이회질 절리, 두께 2cm	0	25	0	15~24	Bernaix[123]
갈탄	갈탄과 그 하부에 있는 점토사이의 층	14~30	15~17.5			Schultze[124]
몬모릴로나이트 점토	백악내에 있는 8cm의 벤토나이트(몬모릴로나이트) 점토사이의 층	360 16~20	14 7.5~11.5	80	11	Eurenius[125] Underwood[126]
편암, 규암 및 규산질 편암	10~15cm 두께의 점토충전물 얇은 점토를 가진 성층구조 두꺼운 점토를 가진 성층구조	30~80 610~740 380	32 41 31			Serafim & Guerreiro[127]
점판암	세밀한 판상 및 변질상태	50	33			Goates, Mcrorie & Stubbs[128]
석영/고령토/연방간석	혼합시료에 대한 삼축시험	42~90	36~38			

3.2.2 연속체 및 불연속체 설계 지반정수 산정

- 본 비탈면 보강설계는 물리탐사 및 실내시험 없이 현장의 지표지질조사만을 수행하였으므로 연속체 및 불연속체에 대한 설계지반정수는 실시설계시 적용된 값을 준용하였다.

▶ 기존자료 검토

■ 실시설계 3공구

구 분	단위중량, γ (kN/m ³)	점착력, c(kPa)	내부마찰각, ϕ (°)	비 고
붕 적 층	17.5	10.0	30.0	-
풍 화 토	18.5	20.0	27.0	
풍 화 암	19.5	35.0	29.0	
기반암	25.0	230.	35.0	
파쇄암반(파쇄대)	23.0	37.0	28.0	

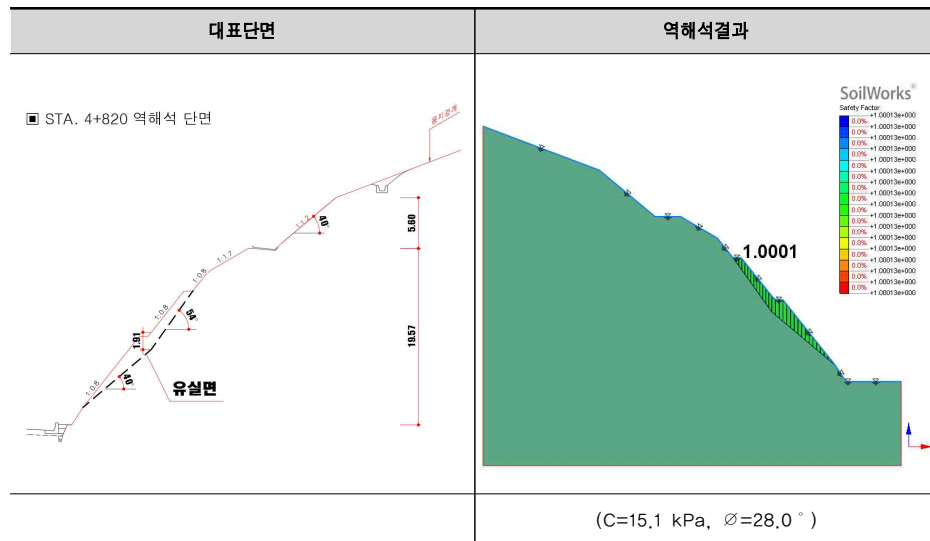
■ 실시설계 5공구

구 분	단위중량, γ (kN/m ³)	점착력, c(kPa)	내부마찰각, ϕ (°)	비 고
붕 적 층	18.0	10.0	30.0	-
풍 화 토	19.0	24.0	26.0	
풍 화 암	20.0	29.0	32.0	
기반암	25.0	240.0	36.0	
파쇄암반(파쇄대)	23.0	37.0	28.0	

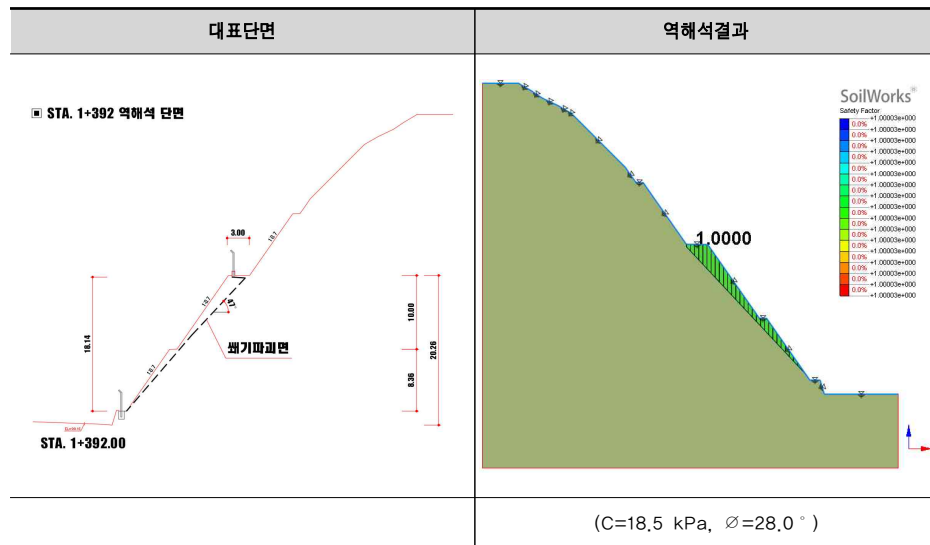
▶ 역해석에 의한 강도정수 산정

- 유실 및 붕괴가 발생한 구간에 대하여 FS=1.0 일 때 붕괴가 발생한 것으로 가정하고 역해석을 실시하여 현재 붕괴가 발생한 지반의 강도정수를 추정하였다.
- 유실구간은 SITE-1~3으로 구간이 다양하여 구간별로 산정된 역해석에 의한 추정된 강도정수를 사용하여 안정성 검토를 실시함.

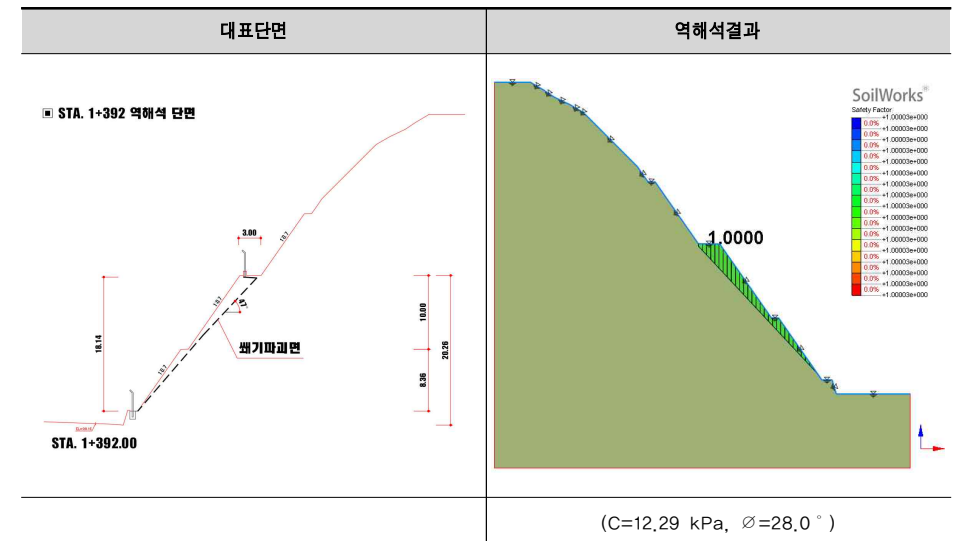
■ SITE-1 (영천 4.8K 구간 역해석)



■ SITE-2 (상주 17.4K 구간 역해석)



■ SITE-3 (영천 40.0K 구간 역해석)



구 분	단위중량, $\gamma_t(kN/m^3)$	점착력, $c(kPa)$	내부마찰각, $\phi(^{\circ})$	비 고
SITE-1 (영천 4.8 K)	23.0	15.1	28.0	-
SITE-2 (상주 17.4 K)	23.0	18.5	28.0	
SITE-3 (영천 40.0 K)	23.0	12.29	28.0	

검토결과 : 구간별로 역해석에 의한 불연속면의 전단강도를 적용하여 보강 검토를 실시함

제 4 장 비탈면 안정 대책검토

상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계
(영천방향 40K 외 2개소)

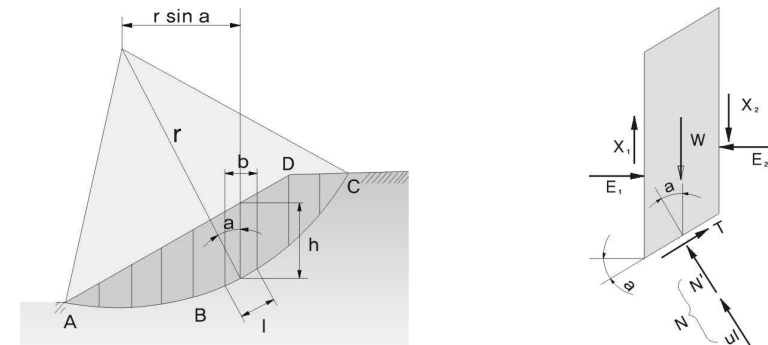
- 4.1 비탈면 안정성 검토방법
- 4.2 비탈면 안정화 대책검토
- 4.3 비탈면 보강설계
- 4.4 부대공

제4장 비탈면 안정 대책검토

4.1 비탈면 안정성 검토방법

4.1.1 토사 비탈면

· 토사 비탈면의 안정성 해석은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 한계평형이론(Limit Equilibrium Theory)을 적용하여 검토한다. 한계평형해석(Limit Equilibrium Theory) 방법은 활동면을 따라 파괴발생이 예상되는 토체의 안정성을 해석하는 것으로 검토를 단순화하기 위한 조건을 가정하고 이를 이용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻을 수 있다. 이를 위한 프로그램으로는 다양한 해석방법 및 조건을 고려할 수 있는 SoilWorks 프로그램을 사용하였다. 비탈면의 안정검토시 해석방법은 Bishop의 간편법을 적용하여 비탈면 안정성을 검토하였다. Bishop의 방법은 정역학적으로 해를 얻기 위해 설정한 가정 때문에 정해가 될 수 없으나 구해진 안전율은 거의 정확치에 근접하여 본 비탈면 안정해석에 이용하였으며, Bishop의 간편법에 의한 기본원리 및 Bishop의 안전율 계산식은 다음과 같다.



<Bishop의 간편법에 의한 비탈면 해석의 기본원리>

$$\text{안전율 } F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + (W_n + \Delta T) \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \cdot \frac{1}{M(\alpha_n)}$$

$$\text{여기서, } M(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha_n}{F_s} \right)$$

W : 절편 흙의 전체중량(kN/m³)

α : 경사각 (°)

c : 흙의 점착력(kPa)

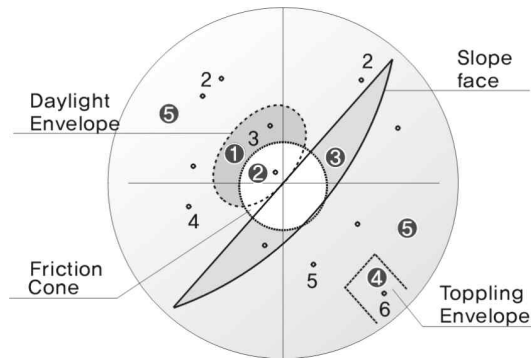
b : 절편 폭(m)

φ : 흙의 내부 마찰각(°)

ΔT : T_n - T_{n+1}

4.1.2 암반 비탈면

- 암반비탈면의 안정성은 지표지질조사, 물리탐사 및 시추조사를 실시하고 그 결과를 이용하여 평사투영해석 및 한계평형해석을 통해 다음과 같이 평가 한다. 평사투영법에 의한 안정성 해석방법은 Stereonet상에 비탈면의 Great circle, Daylight Envelope, Friction Cone, Toppling Envelope 등을 작성, 절리면의 밀도분포에 의하여 비탈면 안정성을 평가하는 방법으로 다음 그림은 임의로 가정한 6개의 불연속면에 대한 비탈면 안정성을 평가하는 예이다.



<평사투영에 의한 암반비탈면의 안정성 평가>

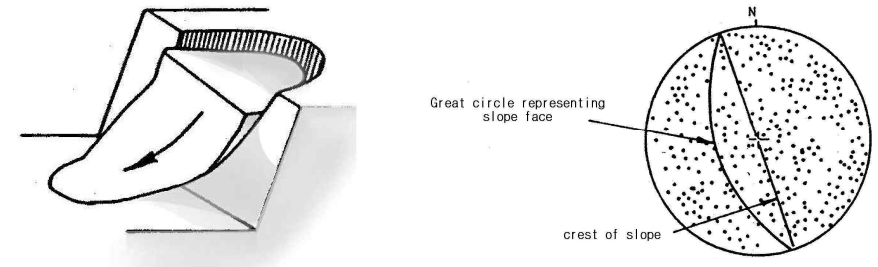
각 지역에 불연속면의 Pole이 위치하면 다음과 같이 안정성이 평가됨.

- ①지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 큰 Daylight로서 불안정한 지역
- ②지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 작은 Daylight로서 안정한 지역
- ③지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 작으며 Daylight도 아닌 안정한 지역
- ④지역 : Toppling 붕괴의 위험성이 잠재된 불안정한 지역
- ⑤지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 크더라도 Daylight나 Toppling Envelope가 아니므로 안정한 지역

여기서 6개의 불연속면 중에서 평면형 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 "3"이며, 쐐기형 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 "2"와 "3" 및 "3"과 "4"의 조합면이지만 실제로 불연속면 "3"에 대한 평면형 붕괴보다는 덜 위험하다. Toppling 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 "6"이다. 참고로 암반의 붕괴 형상은 다음과 같이 구분한다.

원형파괴 (Circular Failure)

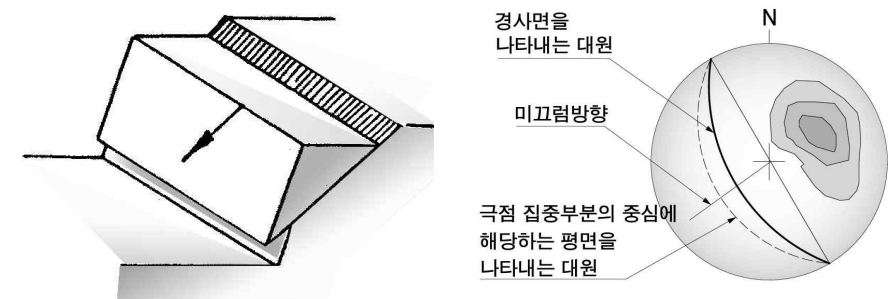
- 토층 비탈면 및 불연속면이 불규칙하게 많이 발달되어 뚜렷한 구조적 특징이 없는 암반에서 원형파괴가 발생할 수 있으며, 주로 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생할 수 있다.



<기본적인 원호파괴 형태와 절리의 극점분포>

평면파괴 (Plane Failure)

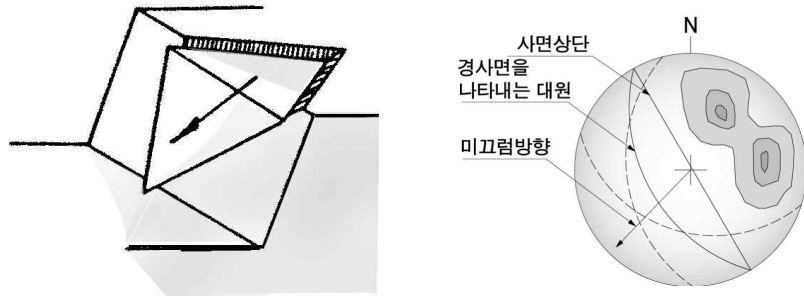
- 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생 가능하며, 암괴가 어떤 절리면을 따라서 붕괴하려면 다음의 조건을 만족시켜야 한다.
- 절개면과 절리면의 경사방향이 동일
- 절리면의 주향이 절개면의 주향과 유사
- 절리면의 주향이 절개면에 존재
- 즉, 절리면의 경사각 (α) < 절개면의 경사각 (β)
- 절리면의 경사각 (α)이 절리면의 마찰각 (ϕ) 보다 커야함
- 붕괴는 암괴의 양쪽측면이 절단되어서 암괴가 붕락하는데 측면의 영향이 없어짐



<기본적인 평면파괴 형태와 절리의 극점분포>

▶ 쐼기파괴 (Wedge Failure)

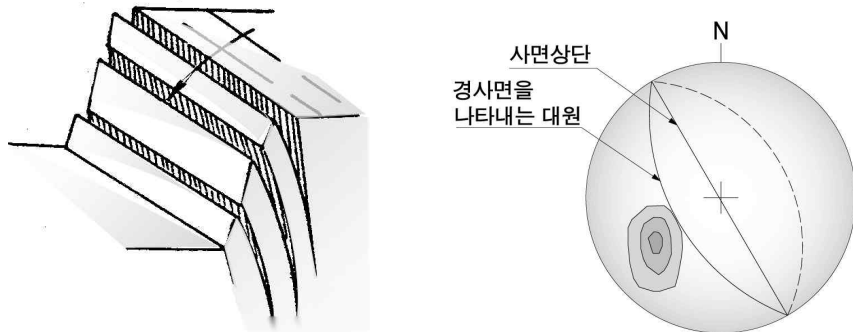
- 쐼기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태로 기본적인 역학관계는 평면파괴와 유사하며, 쐼기파괴의 발생조건은 다음과 같다.
- 절리의 교선과 절개면의 경사방향이 동일, 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷.
- 절개면의 경사 > 절리의 교선의 경사 > 절리의 마찰각 ($\beta_a > \alpha > \phi$)



<기본적인 쐼기파괴 형태와 절리의 극점분포>

▶ 전도파괴 (Toppling Failure)

- 전도파괴의 발생조건은 다음과 같다.
- 절개면과 절리면의 경사방향이 반대, 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷.
- $(90^\circ - \text{절리면의 경사}) + \text{절리면의 마찰각} < \text{절개면의 경사} (90^\circ - \alpha) + \phi < \beta_a$



<기본적인 전도파괴 형태와 절리의 극점분포>

4.1.3 암반 비탈면 한계평형해석

- 한계평형 해석법은 암괴의 자중, 절리면의 마찰각 및 점착력, 절리면의 간극수압 등을 고려하여 잠재 활동파괴면을 따라 미끄러지려는 순간의 암괴에 대한 안정성을 비탈면의 안전율(Safety Factor)로 나타내는 방법이다. 활동파괴면에서의 전단강도는 Coulomb의 파괴기준 $\tau = c + \sigma \tan \phi$ 로 표현되며, 강도는 점착력(c)과 내부마찰각(ϕ)으로 정의된다.

따라서, 안전율은

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \phi - U - V \cdot \sin \phi) \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \phi + V \cdot \cos \phi}$$

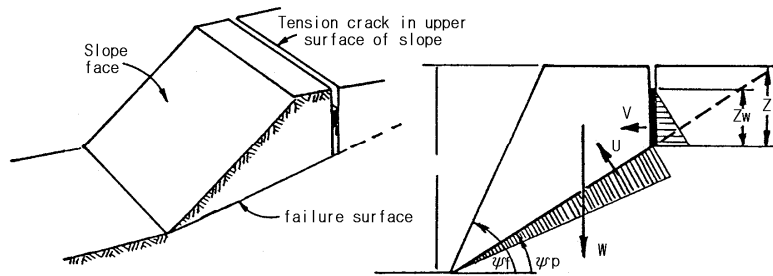
여기서, A : 파괴면의 면적
H : 비탈면 높이
W : 암괴의 중량
V : 인장균열 속의 수압에 의한 힘
Z : 인장균열 깊이
 ϕ : 파괴면의 경사각
U : 파괴면상의 수압에 의한 양압력

이 해석에서 취급하는 비탈면의 형상은 다음 세 가지 경우를 고려하였다.

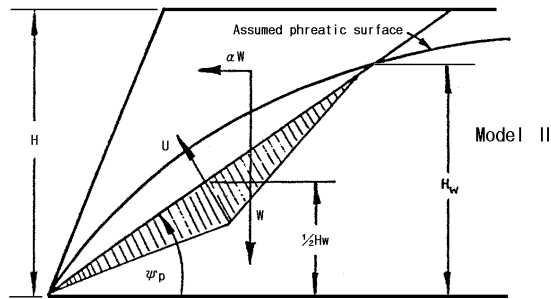
- ① 인장균열이 나타나지 않는 비탈면
- ② 비탈면 정상부 쪽에 인장균열이 있는 비탈면
- ③ 비탈면내에 인장균열이 있는 비탈면

또한, 해석을 위한 가정은 다음과 같다.

- ① 미끄럼 인장균열은 비탈면에 평행 즉, 주향이 동일.
- ② 인장균열이 연직이며, Zw 깊이까지 물로 채워졌으며 인장균열 속의 물에 의해 생기는 미끄럼면 부근의 수압분포는 아래 그림과 같음.
- ③ W, U 및 V 등은 미끄럼 암괴의 중심을 통하여 작용.
- ④ 단위두께를 가진 슬라이스를 고려. 또한 파괴되는 부분의 양 측면은 미끄럼 저항이 없는 자유면이 존재하는 것으로 고려.



<비탈면 정상부쪽에 인장균열이 있는 비탈면>



<비탈면 내에 인장균열이 없는 비탈면>

이때, 식에 적용하는 각 값은 다음 식에서 구하여 안전율을 계산한다.

$$A = (H - Z) \cdot \text{cosec} \psi_p$$

$$U = \frac{\gamma_w \cdot Z_w \cdot (H - Z) \cdot \text{cosec} \psi_p}{2}$$

$$V = \frac{\gamma_w \cdot Z_w^2}{2}$$

첫 번째 비탈면 정상부쪽에 인장균열이 있는 비탈면 경우

$$W = \frac{\gamma^2 \cdot H^2 \cdot \{1 - (Z/H)^2\} \cot \psi_p - \cot \psi_f}{2}$$

두 번째 비탈면내에 인장균열이 있는 비탈면의 경우

$$W = \frac{\gamma^2 \cdot H^2 \{1 - (Z/H)^2\} \cot \psi_p (\cot \psi_p \cdot \tan \psi_f - 1)}{2}$$

한편 인장균열이 비탈면에 존재하지 않는 경우는

$$U = \frac{\gamma_w \cdot H_w^2 \cdot \text{cosec} \psi_p}{2} \quad \text{를, } V = 0 \text{을 적용.}$$

단, 상기식에 있어 W값은 식에 적용시키기 곤란한 경우 단면적을 이용한다. 따라서 현장 시공시 발파암 절취과정에서 상부비탈면에서 인장균열이 발견될 경우 파괴면 상의 수압에 의한 양압력 U의 작용으로 비탈면 안전율이 저하될 가능성이 있으므로 반드시 이에 따른 비탈면 안정검토를 실시하고 비탈면 경사를 조정한다.

4.2 비탈면 안정화 대책공법

- 일반적으로 산사태나 사면 활동을 방지하기 위한 대책공법을 방지 기능별로 구분하여 보면 다음과 같다. 즉 현재의 사면안정성은 확보되어 있으나 우수의 침투, 세굴 등에 의하여 사면의 안전율이 감소하는 것을 방지하는 방법(표층 보호공)과 불안정하다고 판단된 사면의 안전율의 저항력을 이용하여 증가시켜 주는 방법(보강공)의 두가지가 있다



4.2.1 안전율 유지공법 (억제공)

평상시 안전한 사면이라도 여러 가지 자연적 원인에 의하여 사면의 안정성이 감소되어 산사태가 발생할 수 있다. 따라서, 산사태를 방지하려면 이러한 자연적 원인으로부터 사면을 보호하여야 한다. 자연적 원인의 대표적인 예로는 우수나 융설수의 침식작용과 비탈면의 풍화작용을 들 수 있다. 이러한 작용으로부터 사면을 보호하기 위해서는 비탈면을 공기중에 노출시키지 말고 여러 가지 방법으로 피복 시켜 줄 필요가 있다. 또한 지중에 침투된 물은 즉시 배수될 수 있게 하여 사면의 활동력과 저항력이 물의 영향을 받지 않

도록 처리하여야 한다. 즉, 사면지반이 포화되면 활동력이 증가하고 저항력이 감소하게 되어 산사태가 유발된다. 안전율 유지공법은 물리 역학적 방법과 생물 화학적 방법의 두 가지로 크게 구분할 수 있다. 물리 역학적 방법으로는 배수공과 블럭공을 들 수 있으며 생물 화학적 방법으로는 식생공과 표층안정 공을 들 수 있다.

본 과업에서는 대상사면의 현장여건을 고려하여 이상의 안전율 유지공법 중에서 물리적 역학적 방법인 배수공과 생물 화학적 방법인 식생공을 사용하여 사면을 안정시키는 것에 대하여 살펴보고자 한다.

▶ 배수공

사면의 붕괴원인 중 대부분은 지하수, 강우, 융설수 등의 침투수에 기인되기 때문에 계곡, 경사지반, 원지반 등에서의 용수처리는 매우 중요하다. 따라서 투수성이 양호한 현지 발생재료를 사용하고 지하 배수공 등으로 지하수를 처리하는 것이 안전율을 유지하는 기본적인 대책이 된다. 절토 사면은 비탈면으로 침출하여 나온 용수를 비탈표면에서 처리하는 경우와 물빠기 보링이나 집수정 등을 통하여 밖으로 배출하는 경우가 많이 사용된다. 그러나 배수구를 설계할 때에는 배수구에 물이 넘치거나 배수구의 측면 또는 표면이 세굴되는 경우가 있으므로 주의하여야 한다.

▶ 식생공

식생공은 비탈면에 식생 피복을 실시하는 것이며, 그 목적으로는 우수에 의한 침식의 방지, 지표면 온도변화의 완화 및 뿌리로 표토를 묶어 동상 붕락의 억제 및 완화, 미적효과 도모 등이다.

< 식생공에 의한 보호 공법 선정 기준 >

구 분	토 종	공 법
절 토 부	일 반 토 사	평떼 또는 Net 잔디
	마사 또는 리핑암	Net 잔디
	발 파 암	필요시 암절개면 보호식재공법
성 토 부	일 반 토 사	Mat(Net) + Seed

(자료 :도로설계실무편람, 토질 및 기초편 92p 1996. 8.)

4.2.2 안전율 증가공법 (억지공)

비탈면안정성이 충분하지 못하다고 판단되는 비탈면에 대하여는 산사태 발생을 방지하기 위하여 비탈면의 안전율을 적극적으로 증가시킬 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다. 이러한 대책으로는 두 가지 종류의

방법이 이용될 수 있다. 하나는 비탈면의 저항력을 증가시켜 주는 방법이고, 다른 하나는 비탈면의 활동력을 감소시켜 주는 방법이다. 우선 저항력 증가법으로는 억지말뚝, 앵커, 옹벽, 네일 등을 사용하여 이들 재료의 전단, 휨, 인장, 압축 등의 역학적 저항특성을 이용하는 물리적 방법과 지반안정 약액을 이용하여 직접 지반의 강도를 증가시키는 화학적 방법을 들 수 있다. 한편, 활동력 감소법으로는 비탈면상부의 흙을 제거시키는 깎기공과 비탈면의 경사를 보다 완만하게 완화시키는 비탈면경사 완화법을 들 수 있다.

본 과업에서는 대상비탈면의 현장여건을 고려하여 이상의 억지공중에서 비탈면경사 완화법, Nailing공을 사용하여 사면을 안정시키는 것에 대하여 살펴보고자 한다.

▶ 비탈면경사 완화공

비탈면경사 완화공은 비탈면의 경사를 보다 완만하게 완화하여 비탈면토괴 중 활동하려는 토괴를 제거하므로써 비탈면안정을 도모하는 공법이다. 이는 활동토괴를 제거하므로써 확실한 안정공법으로 여겨진다. 그러나 깎기를 실시하였음에도 불구하고 수차례에 걸쳐 파괴가 발생하여 결국에는 억지말뚝이나 앵커로 지지시킨 예가 있으므로 지중의 잠재적인 내적 취약점을 명확히 조사하기 이전에는 안심할 수는 없는 공법이다. 특히 대규모 비탈면활동의 경우, 사토량이 막대하고 경제성, 시공성의 면에서 어려운 점이 있다.

▶ 영구앵커공

앵커공법은 고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공내에 삽입하고 그라우트 주입을 실시하므로써 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부에 작용한 하중을 정착지반에 전달하여 안정시키는 공법이다. 이 공법은 구미 각국에서 오래 전부터 많이 사용되어 오고 있다. 앵커공법은 고강도의 강재를 사용하여 프리스트레스를 가하는 점에 공법의 특징이 있다. 이렇게 프리스트레스를 가할 경우에 얻을 수 있는 장점은 정착된 구조물에 하중이 작용하는 경우 구조물의 변위를 영으로 하거나 혹은 미소하게 할 수 있다는 점이다. 그러나 장기적인 측면에서는 프리스트레스가 감소할 우려가 있으므로 영구적인 유지관리가 반드시 필요하다.

▶ Nailing공

이 공법은 철근이나 강봉을 가상파괴면 보다 깊게 비탈면내에 삽입하여 비탈면의 안정효과를 갖는 공법으로 최근 많이 사용되고 있는 공법중의 하나이다. 이 공법의 장점으로는 억지말뚝과는 정반대로 시공장비가 소규모라는 점을 들 수 있다. 그러나, 비탈면의 지하수위가 높ی 존재할 경우에는 효과가 불확실하므로 배수공을 특히 주의하여 시공해야 한다는 단점을 가지고 있다.

■ 일반 Nailing공

지반 천공후 보강재(주로 이형철근)를 삽입후 무압으로 흘려 넣으면서 그라우팅을 실시하여 복합 보강체를 형성시키는 공법으로 시공순서는 다음과 같다.

- ① 천공
- ② Nail(D29) 삽입

- ③ 중력식 그라우팅(3~6회)

- ④ 지압판 및 너트 설치

보강재로 일반 이형철근을 사용하여 자재 수급 및 확보가 용이하고 그라우팅 공정이 간단하다는 장점이 있지만 충전상태의 확인 및 품질관리가 용이하지 못하고, 단계별 3~6회의 그라우팅을 실시하므로 공벽과 보강재 사이에 공극이 발생하며 Nail 한개당 부담면적이 적어 비탈면 보강시 Nail 본수가 증가한다.

■ 압력식 Nailing공

지반 보강후 보강재(강파이크, 이형철근)를 삽입 후 공입구부와 필요시 임의 위치에 패커를 설치하여 Nail 정착부를 완전히 밀폐하고 유압 그라우팅을 실시하여 그라우팅체의 구경을 증대시키고 취약부에 그라우팅 액을 주입시켜 복합 보강체를 형성시키는 공법으로 시공 순서는 다음과 같다.

- ① 천공
- ② Nail(D29) 삽입
- ③ Packer 설치(지반밀착형)
- ④ 압력 그라우팅 주입(5~10kg/cm²)
- ⑤ 지압판 및 너트 설치

패커설치에 따라 그라우팅 효과가 확실하고 횡수를 줄일 수 있고, 가압 그라우팅에 의해 그라우팅의 구경 확대로 주면 저항력 증대로 천공경을 줄이거나 네일 간격을 넓힐 수 있어 공사비가 절감시킬 수 있다. 그러나 일반 무압 그라우팅 네일링에 비해 패커 제작 및 공정이 추가되는 단점이 있으며, 지반조건에 따라 그라우팅 구경 확대정도를 파악하기 쉽지 않고 가압그라우팅으로 인한 지반 이완의 우려가 있다.

▶ 옹벽공

이 공법은 일부구간의 사면붕괴로 인하여 주변지반이 이완되면서 추가붕괴 현상발생을 방지하기 위하여 지반거동에 대응할 수 있도록 구조물을 설치하여 지반의 안정화를 기하는 공법으로 필요에 따라 Anchor 및 Bolt 등을 병행하고 지하수 유출구간은 배수공을 설치하여 지반의 안정성을 기한다. 사면거동에 대응하는 공법으로 콘크리트 타설 기대기 옹벽 및 계단식옹벽, Gabion옹벽, 보강토 옹벽, R.C 옹벽 등이 있으나 현장여건과 시공성을 고려하여 적용여부를 선정하여야 한다.

▶ Rock Bolt공

이 공법은 이상의 다른 공법들과는 달리 표층부의 중규모 파괴방지에 적합한 공법으로 다른 공법과 병행하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이 공법의 장점은 시공장비가 소규모이고 경제적이란 점을 들 수 있다. 그러나 파쇄암 비탈면에 설치하기에는 곤란하므로 콘크리트 블록 등을 사용하여 설치해야 하는 단점을 가지고 있다.

4.2.3 낙석 대책시설

▶ 낙석방지망

- (1) 낙석방지망은 낙석방지망을 구성하는 부재가 일체가 되어 낙석의 에너지를 흡수하는 것으로 비탈면의 상황에 따라 종류와 규격을 결정하여야 한다.
- (2) 낙석방지망은 낙석에너지와 낙석방지망의 흡수가능에너지를 평가하고 이 두 에너지를 비교하여 낙석방지망의 흡수가능에너지가 낙석에너지보다 크도록 설계한다.
- (3) 낙석방지망의 설계
 - ① 비포켓식 낙석방지망 : 낙석의 하중과 망의 무게를 견딜 수 있는 와이어 로프의 지름을 결정하고 전체 하중이 고정핀에 작용한다고 가정하고 고정핀의 안정을 계산하여 설계한다.
 - ② 포켓식 낙석방지망 : 낙석방지망의 흡수가능 에너지와 망에 충돌하는 낙석에너지를 비교하여 설계하여야 하며 지주의 강도와 안정성 검토를 실시하여야 한다.

▶ 낙석방지 울타리

- (1) 낙석방지울타리는 낙석방지울타리를 구성하는 부재가 일체가 되어 낙석의 에너지를 흡수하는 것으로 비교적 소규모의 낙석을 방지하는데 효과적이며 비탈면의 상황에 따라 종류와 규격을 결정하여야 한다.
- (2) 낙석방지울타리는 울타리 설치위치에서의 낙석에너지와 낙석방지울타리의 흡수가능에너지를 계산하고 이 두 에너지를 비교하여 낙석방지울타리의 흡수가능에너지가 낙석에너지보다 크도록 설계한다.
- (3) 낙석방지울타리의 하부를 지지하기 위한 기초는 콘크리트 옹벽 등을 사용할 수 있으며, 낙석방지울타리가 낙석에너지를 흡수할 수 있도록 충분히 안정하도록 설계한다.
- (4) 낙석방지울타리의 설계 시에는 낙석의 중량, 속도, 최대도약높이, 지지지반의 강도 등을 검토하여야 한다.

4.3 비탈면 보강설계

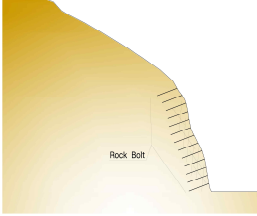
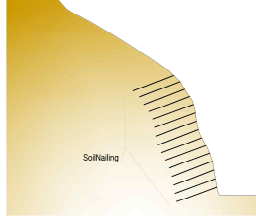
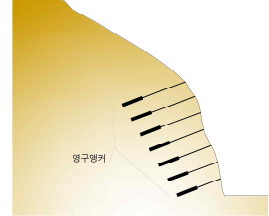
4.3.1 보강공법 선정시 고려사항

본 비탈면은 현재 공용중인 비탈면으로 대책공법 검토시 지반상태, 교통처리대책, 민원 등 다음과 같은 사항들을 고려하여야 한다. 주요 고려사항은 다음과 같다.

· 사암과 층리 특성을 고려한 대책	· 보강공사시 크레인 조합 및 거푸집 설치시
· 절리발달 양상에 따른 평면파괴에 대한 대책고려	· 안전대책 및 교통흐름과의 연계성
· 공사중 고속도로 교통처리 대책	· 공사중 암파쇄에 따른 안전사고 가능성
· 대책방안 공법 결정시 경제성 고려	· 기타 안전사항

4.3.2 보강공법의 선정

▶ 비탈면 보강공법

구 분	Rock Bolt 공법	SoilNailing 공법	영구앵커 공법
시공사 진			
개요도			
공 법 개 요	· 원지반을 착암기 등으로 천공하여 그 속에 Bolt를 삽입한 후 정착시킴으로써 부석들을 원지반에 고정시키는 공법	· SoilNailing 공법은 Nail을 프리스트레싱 없이 비교적 촘촘히 원지반에 삽입하여 원지반 자체의 전체적인 전단강도를 증대시키고 공사중이나 완료 후 예상되는 지반의 변형을 가능한 억제하는 공법	· 원지반을 천공한 후, 비탈면의 예상활동면보다 깊은 위치에 앵커체를 정착한 후 이를 고정력 PC 강선이나 강봉 등을 통해 지표면에 설치된 수압부에 연결하여 긴장력을 가해 정착시킴으로써 지반의 활동을 억제하는 공법
장 점	· 균열 및 절리가 심한 부분 또는 낙석이 예상되는 구간에 보강할 경우 소규모 공사에 경제적이며 매우 효과적임	· 풍화가 심한 대절토 비탈면에 적합 · 현장여건 및 지반조건의 적응성, 유연성 확보	· 대단위 비탈면 붕괴에 대한 보강대책 · 적극적인 보강방법으로 보강효과 확실
단 점	· 보강길이가 제한적임 · 정착지반이 견고할 경우에 소정의 인발력을 받을 수 있음	· 예상파괴면이 중규모 이상일 경우 보강재의 길이가 길어지며 보강간격이 좁아져 비 효율적임(공사비 증가)	· 시간경과에 따른 긴장재 이완으로 인장력 감소 · 타 보강재에 비하여 공사비 과다
개 략 공사비	₩ 30만원 / 공 (직접공사비) (L=5.0m, 50ton 크레인 기준)	₩ 75만원 / 공 (직접공사비) (L=6.0m, 50ton 크레인 기준)	₩ 180만원 / 공 (직접공사비) (L=10.0m, 50ton 크레인 기준)
선 정			◎

▶ 비탈면 보호공법

구 분	계단식옹벽	합벽식 경관옹벽	숏크리트
시공사 진			
공법개 요	·절취면 전면에 콘크리트 벽체를 일정 높이로 1단씩 타설하여 비탈면을 보호하고 보강재를 설치하여 일체화된 벽체를 형성하는 공법	·보강재와 철근을 결합 후 고 강 도 / 고 내 구 성 숏크리트를 거푸집 없이 타설하여 고강도 콘크리트 구조체를 원지반과 일체화하여 지반을 안정화 시킨 후 디자인 조각 및 화학반응착색으로 경관성을 향상시킨 비탈면 보호 보강공법	·토사 또는 풍화된 암반 비탈면에 풍화 및 유실 등의 진행성 작용을 막기 위해 시멘트 혼합재료를 뿜어 붙여 표면의 강도를 증가 시키는 방법
보 강 내 용	영구앵커	쏘일네일 or 락볼트 or 영구앵커	쏘일네일 or 락볼트
시공성	·거푸집 : 설치 (각 단별설치) ·비계 : 설치 (각 단별설치) ·타설 : 각 단별 타설, 단별 5~7일 소요	·거푸집 : 없음 ·비계 : 설치 (조각 및 도색) ·타설 : 전체 일시 타설	·거푸집 : 없음 ·비계 : 없음 ·타설 : 전체 일시 타설
경관성	·다소 불량	·경관성 양호	·매우 불량
경제성	·32만원/M2 (수직고 기준)	·35만원/M2 (사거리 기준)	·10만원/M2 (사거리 기준)
검 토 결 과	·시공사례가 다수이고 구조적 안정성이 우수함 ·현장조건(날씨 및 온도)에 따라 시공품질이 달라짐 ·경제성은 보통이나 시공성이 다소 불량하고 공기가 지연됨	·신기술 공법으로 재료에 대한 품질관리 및 정밀시공이 요구 됨 ·직조방식으로 전문인력 (조각가)필요 ·공사비가 다소 고가이나 시공성이 양호하고 공기단축 가능 ·경관성이 우수함	·공사비가 매우 저렴하고 시공성이 양호하고 공기단축 가능 ·경관성이 매우불량
선 정	◎		

4.3 비탈면 안정성 검토

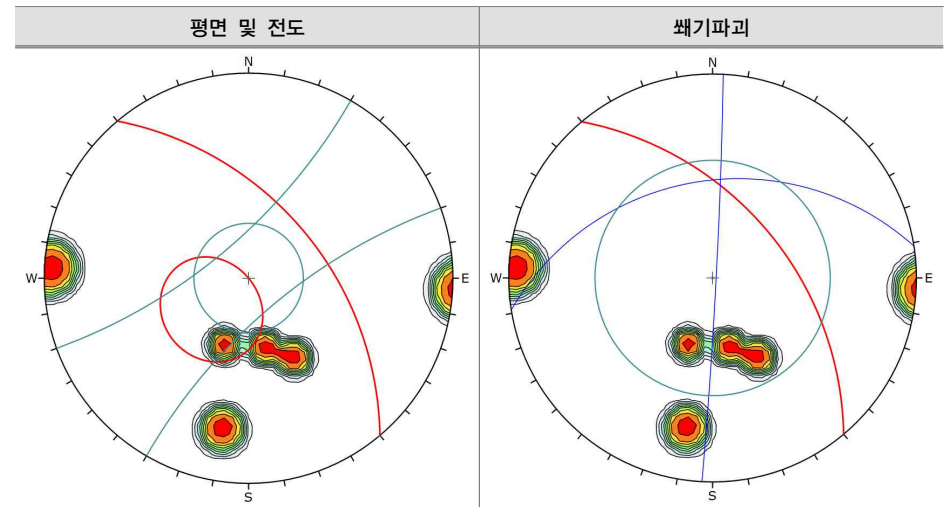
본 비탈면은 현재 공용중인 비탈면으로 유실된 구간에 대한 채움을 할 수 있는 공법이 필요하여 계단식 옹벽으로 선정하여 검토를 수행하였다.

4.3.1 SITE-1 (영천방향 4.8K 우측비탈면)

▶ 평사투영해석

현장조사결과 영천방향 STA. 4+810~4+825 위치에는 다수의 불연속면이 복잡하게 분포하며 흑운모화강암의 풍화로 암편화 되어있는 상태이며, 현장에서 조사된 절리의 분포는 다음과 같다.

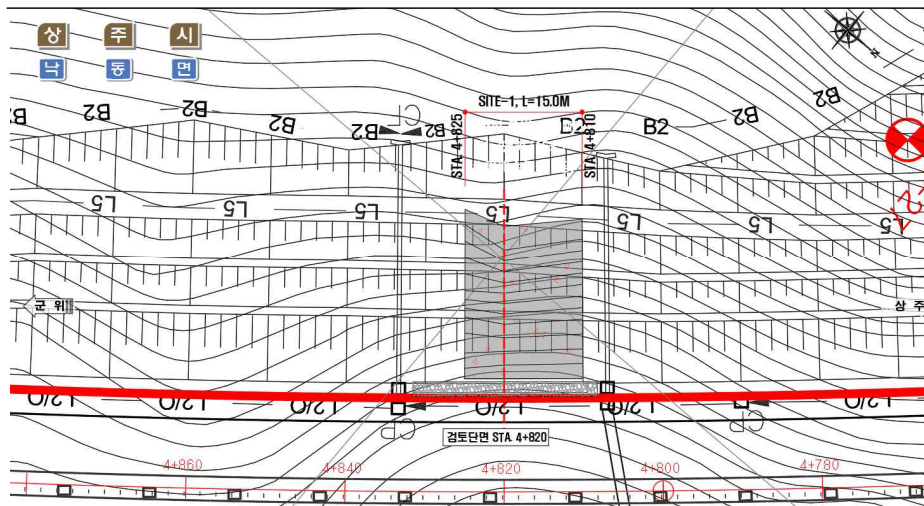
구 분	J1	J2	J3	J4
불연속면 종류	절리	절리	절리	절리
Dip/Dip Direction	38/020	43/338	73/010	88/093



구분	평면	전도	뺨기	검토결과
DIP/DIR 51/050	불안정	안정	안정	평면파괴 불안정

· 당 비탈면은 평면파괴에 대하여 불안정하므로 보강전 현상태 비탈면에 대하여 한계평형해석을 실시하여야 함

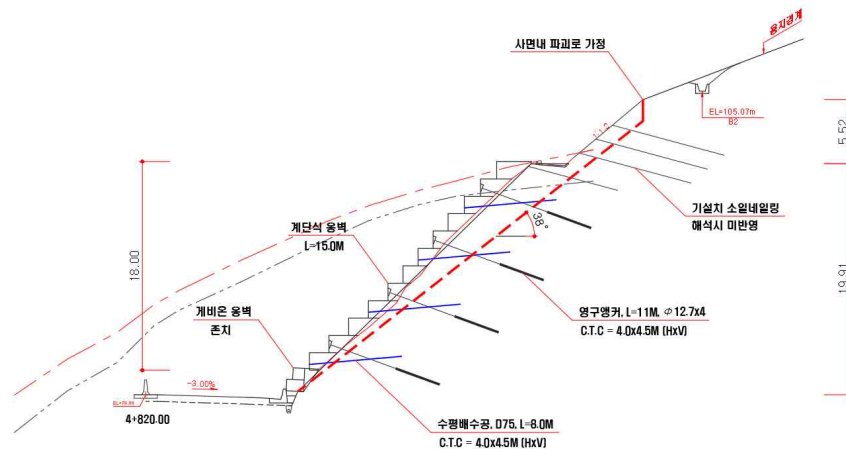
▶ 한계평형해석



· STA. 4+820 단면에 대하여 안정성 검토를 실시함

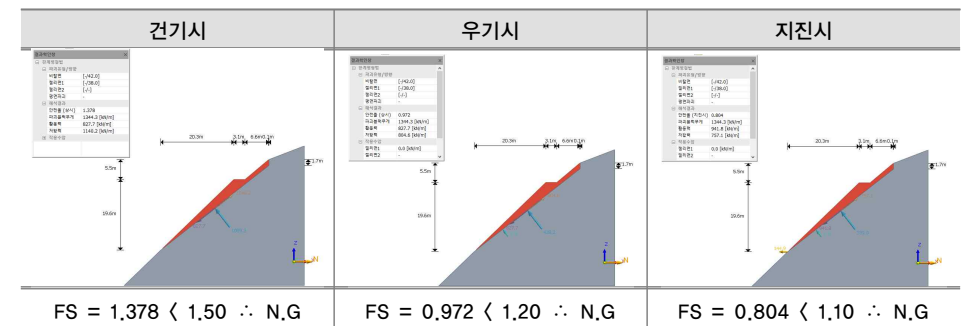
■ 대표단면

SITE-1, STA. 4+820



구 분	단위중량, $\gamma(\text{KN}/\text{m}^3)$	점착력, $c(\text{kPa})$	내부마찰각, $\phi(^{\circ})$	비 고
SITE-1 (영천 4.8 K)	23.0	15.1	28.0	-

■ 보강전 비탈면 안정성 검토



대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	평면파괴			비고
		건기시	우기시	지진시	
4+820	25.44	1.378	0.972	0.804	N.G

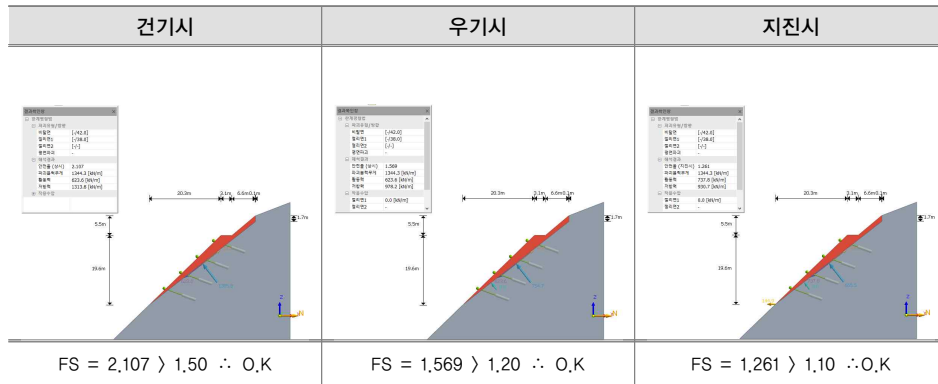
· 보강전 비탈면 검토결과 기준안전율을 하회하여 별도의 보강대책이 필요함

■ 비탈면 안정화 대책

보강전개도



■ 보강후 비탈면 안정성 검토



대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	평면파괴			비고
		건기시	우기시	지진시	
4+820	25.44	2.107	1.569	1.261	O.K

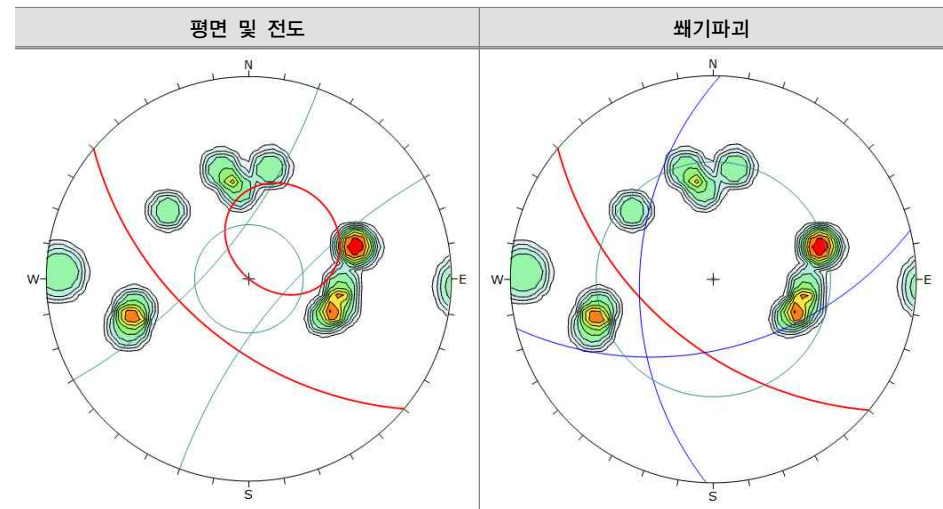
- 보강내용 : 계단식옹벽 + 영구앵커
- 상기 비탈면은 영구앵커 L=11M Ø12.7x4, C.T.C=4.0x4.5 (Hxv) 보강시 기준안전율을 상회하여 안정함

4.3.2 SITE-2 (상주방향 17.4K 우측비탈면)

▶ 평사투영해석

현장조사결과 영천방향 STA. 1+385 ~ 1+400 위치에는 다수의 불연속면이 복잡하게 분포하며 흑운모화강암의 풍화로 암편화 되어있는 상태이며, 현장에서 조사된 절리의 분포는 다음과 같다.

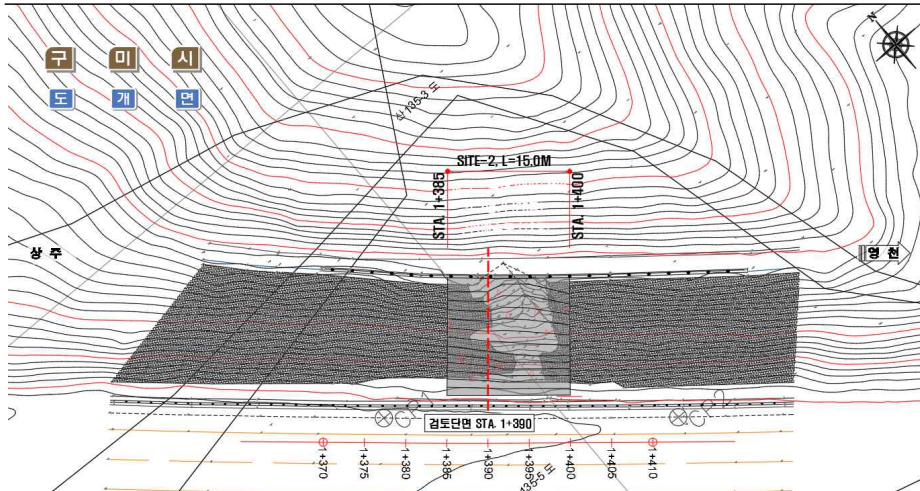
구 분	J1	J2	J3
불연속면 종류	절리	절리	절리
Dip/Dip Direction	52/166	50/272	70/079



구분	평면	전도	쌓기	검토결과
DIP/DIR 55/220	안정	안정	불안정	쌓기파괴 불안정

- 당 비탈면은 쌓기파괴에 대하여 불안정하므로 보강전 현상태 비탈면에 대하여 한계평형해석을 실시하여야 함

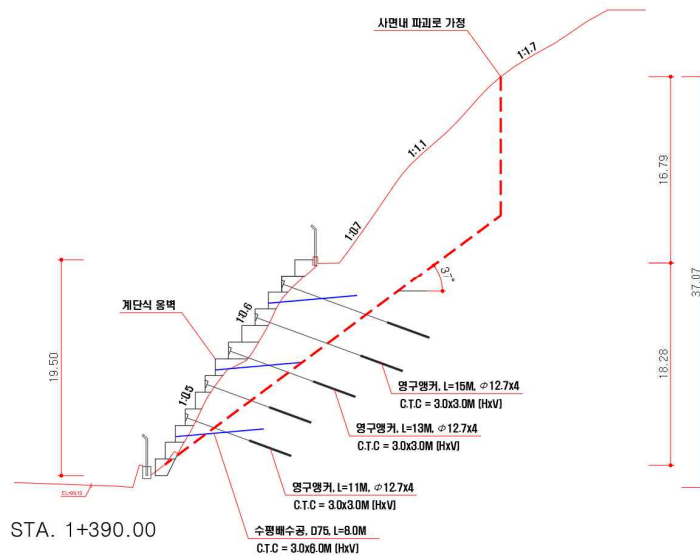
▶ 한계평형해석



· STA. 1+390 단면에 대하여 안정성 검토를 실시함

■ 대표단면

SITE-2, STA. 1+390



구 분	단위중량, $\gamma(\text{kN/m}^3)$	점착력, $c(\text{kPa})$	내부마찰각, $\phi(^{\circ})$	비 고
SITE-2 (상주 17.4 K)	23.0	18.5	28.0	

■ 보강전 비탈면 안정성 검토

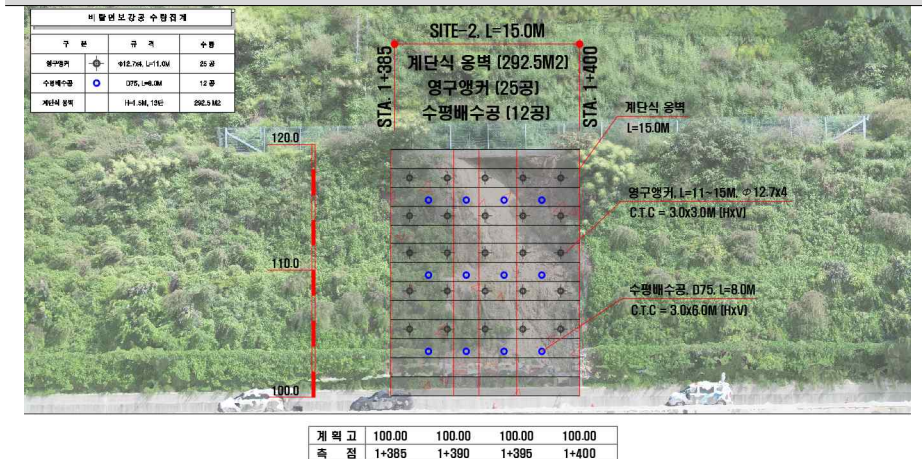
건기시	우기시	지진시
FS = 1.399 < 1.50 ∴ N.G	FS = 1.142 < 1.20 ∴ N.G	FS = 0.893 < 1.10 ∴ N.G

대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	평면파괴			비고
		건기시	우기시	지진시	
1+390	37.07	1.399	1.142	0.893	N.G

· 보강전 비탈면 검토결과 기준안전율을 하회하여 별도의 보강대책이 필요함

■ 비탈면 안정화 대책

보강전개도



■ 보강후 비탈면 안정성 검토

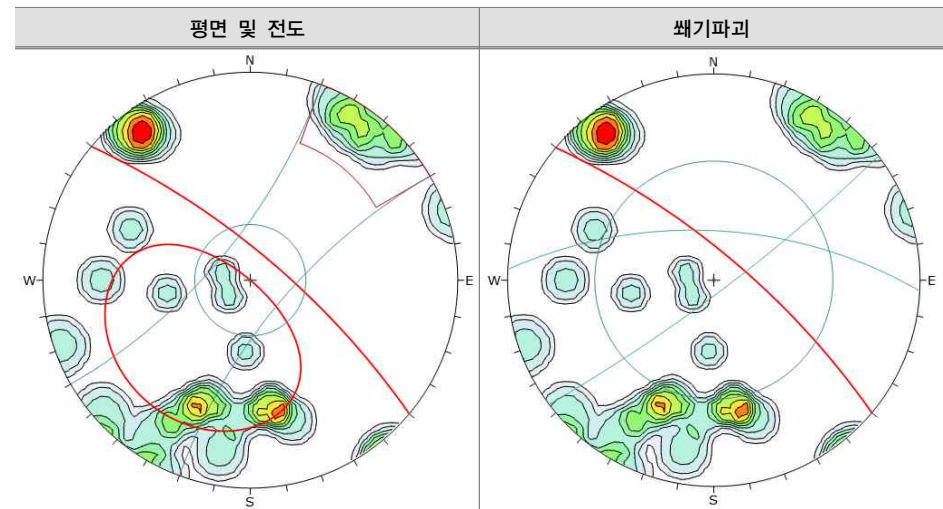
건기시		우기시		지진시	
설계조건 1. 지반조건 1) 지반조건(종방향) 2) 지반조건(수평) 3) 지반조건(수직) 4) 지반조건(수평) 5) 지반조건(수직) 6) 지반조건(수평) 7) 지반조건(수직) 8) 지반조건(수평) 9) 지반조건(수직) 10) 지반조건(수평) 11) 지반조건(수직) 12) 지반조건(수평) 13) 지반조건(수직) 14) 지반조건(수평) 15) 지반조건(수직) 16) 지반조건(수평) 17) 지반조건(수직) 18) 지반조건(수평) 19) 지반조건(수직) 20) 지반조건(수평) 21) 지반조건(수직) 22) 지반조건(수평) 23) 지반조건(수직) 24) 지반조건(수평) 25) 지반조건(수직) 26) 지반조건(수평) 27) 지반조건(수직) 28) 지반조건(수평) 29) 지반조건(수직) 30) 지반조건(수평) 31) 지반조건(수직) 32) 지반조건(수평) 33) 지반조건(수직) 34) 지반조건(수평) 35) 지반조건(수직) 36) 지반조건(수평) 37) 지반조건(수직) 38) 지반조건(수평) 39) 지반조건(수직) 40) 지반조건(수평) 41) 지반조건(수직) 42) 지반조건(수평) 43) 지반조건(수직) 44) 지반조건(수평) 45) 지반조건(수직) 46) 지반조건(수평) 47) 지반조건(수직) 48) 지반조건(수평) 49) 지반조건(수직) 50) 지반조건(수평) 51) 지반조건(수직) 52) 지반조건(수평) 53) 지반조건(수직) 54) 지반조건(수평) 55) 지반조건(수직) 56) 지반조건(수평) 57) 지반조건(수직) 58) 지반조건(수평) 59) 지반조건(수직) 60) 지반조건(수평) 61) 지반조건(수직) 62) 지반조건(수평) 63) 지반조건(수직) 64) 지반조건(수평) 65) 지반조건(수직) 66) 지반조건(수평) 67) 지반조건(수직) 68) 지반조건(수평) 69) 지반조건(수직) 70) 지반조건(수평) 71) 지반조건(수직) 72) 지반조건(수평) 73) 지반조건(수직) 74) 지반조건(수평) 75) 지반조건(수직) 76) 지반조건(수평) 77) 지반조건(수직) 78) 지반조건(수평) 79) 지반조건(수직) 80) 지반조건(수평) 81) 지반조건(수직) 82) 지반조건(수평) 83) 지반조건(수직) 84) 지반조건(수평) 85) 지반조건(수직) 86) 지반조건(수평) 87) 지반조건(수직) 88) 지반조건(수평) 89) 지반조건(수직) 90) 지반조건(수평) 91) 지반조건(수직) 92) 지반조건(수평) 93) 지반조건(수직) 94) 지반조건(수평) 95) 지반조건(수직) 96) 지반조건(수평) 97) 지반조건(수직) 98) 지반조건(수평) 99) 지반조건(수직) 100) 지반조건(수평) 101) 지반조건(수직) 102) 지반조건(수평) 103) 지반조건(수직) 104) 지반조건(수평) 105) 지반조건(수직) 106) 지반조건(수평) 107) 지반조건(수직) 108) 지반조건(수평) 109) 지반조건(수직) 110) 지반조건(수평) 111) 지반조건(수직) 112) 지반조건(수평) 113) 지반조건(수직) 114) 지반조건(수평) 115) 지반조건(수직) 116) 지반조건(수평) 117) 지반조건(수직) 118) 지반조건(수평) 119) 지반조건(수직) 120) 지반조건(수평) 121) 지반조건(수직) 122) 지반조건(수평) 123) 지반조건(수직) 124) 지반조건(수평) 125) 지반조건(수직) 126) 지반조건(수평) 127) 지반조건(수직) 128) 지반조건(수평) 129) 지반조건(수직) 130) 지반조건(수평) 131) 지반조건(수직) 132) 지반조건(수평) 133) 지반조건(수직) 134) 지반조건(수평) 135) 지반조건(수직) 136) 지반조건(수평) 137) 지반조건(수직) 138) 지반조건(수평) 139) 지반조건(수직) 140) 지반조건(수평) 141) 지반조건(수직) 142) 지반조건(수평) 143) 지반조건(수직) 144) 지반조건(수평) 145) 지반조건(수직) 146) 지반조건(수평) 147) 지반조건(수직) 148) 지반조건(수평) 149) 지반조건(수직) 150) 지반조건(수평) 151) 지반조건(수직) 152) 지반조건(수평) 153) 지반조건(수직) 154) 지반조건(수평) 155) 지반조건(수직) 156) 지반조건(수평) 157) 지반조건(수직) 158) 지반조건(수평) 159) 지반조건(수직) 160) 지반조건(수평) 161) 지반조건(수직) 162) 지반조건(수평) 163) 지반조건(수직) 164) 지반조건(수평) 165) 지반조건(수직) 166) 지반조건(수평) 167) 지반조건(수직) 168) 지반조건(수평) 169) 지반조건(수직) 170) 지반조건(수평) 171) 지반조건(수직) 172) 지반조건(수평) 173) 지반조건(수직) 174) 지반조건(수평) 175) 지반조건(수직) 176) 지반조건(수평) 177) 지반조건(수직) 178) 지반조건(수평) 179) 지반조건(수직) 180) 지반조건(수평) 181) 지반조건(수직) 182) 지반조건(수평) 183) 지반조건(수직) 184) 지반조건(수평) 185) 지반조건(수직) 186) 지반조건(수평) 187) 지반조건(수직) 188) 지반조건(수평) 189) 지반조건(수직) 190) 지반조건(수평) 191) 지반조건(수직) 192) 지반조건(수평) 193) 지반조건(수직) 194) 지반조건(수평) 195) 지반조건(수직) 196) 지반조건(수평) 197) 지반조건(수직) 198) 지반조건(수평) 199) 지반조건(수직) 200) 지반조건(수평) 201) 지반조건(수직) 202) 지반조건(수평) 203) 지반조건(수직) 204) 지반조건(수평) 205) 지반조건(수직) 206) 지반조건(수평) 207) 지반조건(수직) 208) 지반조건(수평) 209) 지반조건(수직) 210) 지반조건(수평) 211) 지반조건(수직) 212) 지반조건(수평) 213) 지반조건(수직) 214) 지반조건(수평) 215) 지반조건(수직) 216) 지반조건(수평) 217) 지반조건(수직) 218) 지반조건(수평) 219) 지반조건(수직) 220) 지반조건(수평) 221) 지반조건(수직) 222) 지반조건(수평) 223) 지반조건(수직) 224) 지반조건(수평) 225) 지반조건(수직) 226) 지반조건(수평) 227) 지반조건(수직) 228) 지반조건(수평) 229) 지반조건(수직) 230) 지반조건(수평) 231) 지반조건(수직) 232) 지반조건(수평) 233) 지반조건(수직) 234) 지반조건(수평) 235) 지반조건(수직) 236) 지반조건(수평) 237) 지반조건(수직) 238) 지반조건(수평) 239) 지반조건(수직) 240) 지반조건(수평) 241) 지반조건(수직) 242) 지반조건(수평) 243) 지반조건(수직) 244) 지반조건(수평) 245) 지반조건(수직) 246) 지반조건(수평) 247) 지반조건(수직) 248) 지반조건(수평) 249) 지반조건(수직) 250) 지반조건(수평) 251) 지반조건(수직) 252) 지반조건(수평) 253) 지반조건(수직) 254) 지반조건(수평) 255) 지반조건(수직) 256) 지반조건(수평) 257) 지반조건(수직) 258) 지반조건(수평) 259) 지반조건(수직) 260) 지반조건(수평) 261) 지반조건(수직) 262) 지반조건(수평) 263) 지반조건(수직) 264) 지반조건(수평) 265) 지반조건(수직) 266) 지반조건(수평) 267) 지반조건(수직) 268) 지반조건(수평) 269) 지반조건(수직) 270) 지반조건(수평) 271) 지반조건(수직) 272) 지반조건(수평) 273) 지반조건(수직) 274) 지반조건(수평) 275) 지반조건(수직) 276) 지반조건(수평) 277) 지반조건(수직) 278) 지반조건(수평) 279) 지반조건(수직) 280) 지반조건(수평) 281) 지반조건(수직) 282) 지반조건(수평) 283) 지반조건(수직) 284) 지반조건(수평) 285) 지반조건(수직) 286) 지반조건(수평) 287) 지반조건(수직) 288) 지반조건(수평) 289) 지반조건(수직) 290) 지반조건(수평) 291) 지반조건(수직) 292) 지반조건(수평) 293) 지반조건(수직) 294) 지반조건(수평) 295) 지반조건(수직) 296) 지반조건(수평) 297) 지반조건(수직) 298) 지반조건(수평) 299) 지반조건(수직) 300) 지반조건(수평) 301) 지반조건(수직) 302) 지반조건(수평) 303) 지반조건(수직) 304) 지반조건(수평) 305) 지반조건(수직) 306) 지반조건(수평) 307) 지반조건(수직) 308) 지반조건(수평) 309) 지반조건(수직) 310) 지반조건(수평) 311) 지반조건(수직) 312) 지반조건(수평) 313) 지반조건(수직) 314) 지반조건(수평) 315) 지반조건(수직) 316) 지반조건(수평) 317) 지반조건(수직) 318) 지반조건(수평) 319) 지반조건(수직) 320) 지반조건(수평) 321) 지반조건(수직) 322) 지반조건(수평) 323) 지반조건(수직) 324) 지반조건(수평) 325) 지반조건(수직) 326) 지반조건(수평) 327) 지반조건(수직) 328) 지반조건(수평) 329) 지반조건(수직) 330) 지반조건(수평) 331) 지반조건(수직) 332) 지반조건(수평) 333) 지반조건(수직) 334) 지반조건(수평) 335) 지반조건(수직) 336) 지반조건(수평) 337) 지반조건(수직) 338) 지반조건(수평) 339) 지반조건(수직) 340) 지반조건(수평) 341) 지반조건(수직) 342) 지반조건(수평) 343) 지반조건(수직) 344) 지반조건(수평) 345) 지반조건(수직) 346) 지반조건(수평) 347) 지반조건(수직) 348) 지반조건(수평) 349) 지반조건(수직) 350) 지반조건(수평) 351) 지반조건(수직) 352) 지반조건(수평) 353) 지반조건(수직) 354) 지반조건(수평) 355) 지반조건(수직) 356) 지반조건(수평) 357) 지반조건(수직) 358) 지반조건(수평) 359) 지반조건(수직) 360) 지반조건(수평) 361) 지반조건(수직) 362) 지반조건(수평) 363) 지반조건(수직) 364) 지반조건(수평) 365) 지반조건(수직) 366) 지반조건(수평) 367) 지반조건(수직) 368) 지반조건(수평) 369) 지반조건(수직) 370) 지반조건(수평) 371) 지반조건(수직) 372) 지반조건(수평) 373) 지반조건(수직) 374) 지반조건(수평) 375) 지반조건(수직) 376) 지반조건(수평) 377) 지반조건(수직) 378) 지반조건(수평) 379) 지반조건(수직) 380) 지반조건(수평) 381) 지반조건(수직) 382) 지반조건(수평) 383) 지반조건(수직) 384) 지반조건(수평) 385) 지반조건(수직) 386) 지반조건(수평) 387) 지반조건(수직) 388) 지반조건(수평) 389) 지반조건(수직) 390) 지반조건(수평) 391) 지반조건(수직) 392) 지반조건(수평) 393) 지반조건(수직) 394) 지반조건(수평) 395) 지반조건(수직) 396) 지반조건(수평) 397) 지반조건(수직) 398) 지반조건(수평) 399) 지반조건(수직) 400) 지반조건(수평) 401) 지반조건(수직) 402) 지반조건(수평) 403) 지반조건(수직) 404) 지반조건(수평) 405) 지반조건(수직) 406) 지반조건(수평) 407) 지반조건(수직) 408) 지반조건(수평) 409) 지반조건(수직) 410) 지반조건(수평) 411) 지반조건(수직) 412) 지반조건(수평) 413) 지반조건(수직) 414) 지반조건(수평) 415) 지반조건(수직) 416) 지반조건(수평) 417) 지반조건(수직) 418) 지반조건(수평) 419) 지반조건(수직) 420) 지반조건(수평) 421) 지반조건(수직) 422) 지반조건(수평) 423) 지반조건(수직) 424) 지반조건(수평) 425) 지반조건(수직) 426) 지반조건(수평) 427) 지반조건(수직) 428) 지반조건(수평) 429) 지반조건(수직) 430) 지반조건(수평) 431) 지반조건(수직) 432) 지반조건(수평) 433) 지반조건(수직) 434) 지반조건(수평) 435) 지반조건(수직) 436) 지반조건(수평) 437) 지반조건(수직) 438) 지반조건(수평) 439) 지반조건(수직) 440) 지반조건(수평) 441) 지반조건(수직) 442) 지반조건(수평) 443) 지반조건(수직) 444) 지반조건(수평) 445) 지반조건(수직) 446) 지반조건(수평) 447) 지반조건(수직) 448) 지반조건(수평) 449) 지반조건(수직) 450) 지반조건(수평) 451) 지반조건(수직) 452) 지반조건(수평) 453) 지반조건(수직) 454) 지반조건(수평) 455) 지반조건(수직) 456) 지반조건(수평) 457) 지반조건(수직) 458) 지반조건(수평) 459) 지반조건(수직) 460) 지반조건(수평) 461) 지반조건(수직) 462) 지반조건(수평) 463) 지반조건(수직) 464) 지반조건(수평) 465) 지반조건(수직) 466) 지반조건(수평) 467) 지반조건(수직) 468) 지반조건(수평) 469) 지반조건(수직) 470) 지반조건(수평) 471) 지반조건(수직) 472) 지반조건(수평) 473) 지반조건(수직) 474) 지반조건(수평) 475) 지반조건(수직) 476) 지반조건(수평) 477) 지반조건(수직) 478) 지반조건(수평) 479) 지반조건(수직) 480) 지반조건(수평) 481) 지반조건(수직) 482) 지반조건(수평) 483) 지반조건(수직) 484) 지반조건(수평) 485) 지반조건(수직) 486) 지반조건(수평) 487) 지반조건(수직) 488) 지반조건(수평) 489) 지반조건(수직) 490) 지반조건(수평) 491) 지반조건(수직) 492) 지반조건(수평) 493) 지반조건(수직) 494) 지반조건(수평) 495) 지반조건(수직) 496) 지반조건(수평) 497) 지반조건(수직) 498) 지반조건(수평) 499) 지반조건(수직) 500) 지반조건(수평) 501) 지반조건(수직) 502) 지반조건(수평) 503) 지반조건(수직) 504) 지반조건(수평) 505) 지반조건(수직) 506) 지반조건(수평) 507) 지반조건(수직) 508) 지반조건(수평) 509) 지반조건(수직) 510) 지반조건(수평) 511) 지반조건(수직) 512) 지반조건(수평) 513) 지반조건(수직) 514) 지반조건(수평) 515) 지반조건(수직) 516) 지반조건(수평) 517) 지반조건(수직) 518) 지반조건(수평) 519) 지반조건(수직) 520) 지반조건(수평) 521) 지반조건(수직) 522) 지반조건(수평) 523) 지반조건(수직) 524) 지반조건(수평) 525) 지반조건(수직) 526) 지반조건(수평) 527) 지반조건(수직) 528) 지반조건(수평) 529) 지반조건(수직) 530) 지반조건(수평) 531) 지반조건(수직) 532) 지반조건(수평) 533) 지반조건(수직) 534) 지반조건(수평) 535) 지반조건(수직) 536) 지반조건(수평) 537) 지반조건(수직) 538) 지반조건(수평) 539) 지반조건(수직) 540) 지반조건(수평) 541) 지반조건(수직) 542) 지반조건(수평) 543) 지반조건(수직) 544) 지반조건(수평) 545) 지반조건(수직) 546) 지반조건(수평) 547) 지반조건(수직) 548) 지반조건(수평) 549) 지반조건(수직) 550) 지반조건(수평) 551) 지반조건(수직) 552) 지반조건(수평) 553) 지반조건(수직) 554) 지반조건(수평) 555) 지반조건(수직) 556) 지반조건(수평) 557) 지반조건(수직) 558) 지반조건(수평) 559) 지반조건(수직) 560) 지반조건(수평) 561) 지반조건(수직) 562) 지반조건(수평) 563) 지반조건(수직) 564) 지반조건(수평) 565) 지반조건(수직) 566) 지반조건(수평) 567) 지반조건(수직) 568) 지반조건(수평) 569) 지반조건(수직) 570) 지반조건(수평) 571) 지반조건(수직) 572) 지반조건(수평) 573) 지반조건(수직) 574) 지반조건(수평) 575) 지반조건(수직) 576) 지반조건(수평) 577) 지반조건(수직) 578) 지반조건(수평) 579) 지반조건(수직) 580) 지반조건(수평) 581) 지반조건(수직) 582) 지반조건(수평) 583) 지반조건(수직) 584) 지반조건(수평) 585) 지반조건(수직) 586) 지반조건(수평) 587) 지반조건(수직) 588) 지반조건(수평) 589) 지반조건(수직) 590) 지반조건(수평) 591) 지반조건(수직) 592) 지반조건(수평) 593) 지반조건(수직) 594) 지반조건(수평) 595) 지반조건(수직) 596) 지반조건(수평) 597) 지반조건(수직) 598) 지반조건(수평) 599) 지반조건(수직) 600) 지반조건(수평) 601) 지반조건(수직) 602) 지반조건(수평) 603) 지반조건(수직) 604) 지반조건(수평) 605) 지반조건(수직) 606) 지반조건(수평) 607) 지반조건(수직) 608) 지반조건(수평) 609) 지반조건(수직) 610) 지반조건(수평) 611) 지반조건(수직) 612) 지반조건(수평) 613) 지반조건(수직) 614) 지반조건(수평) 615) 지반조건(수직) 616) 지반조건(수평) 617) 지반조건(수직) 618) 지반조건(수평) 619) 지반조건(수직) 620) 지반조건(수평) 621) 지반조건(수직) 622) 지반조건(수평) 623) 지반조건(수직) 624) 지반조건(수평) 625) 지반조건(수직) 626) 지반조건(수평) 627) 지반조건(수직) 628) 지반조건(수평) 629) 지반조건(수직) 630) 지반조건(수평) 631) 지반조건(수직) 632) 지반조건(수평) 633) 지반조건(수직) 634) 지반조건(수평) 635) 지반조건(수직) 636) 지반조건(수평) 637) 지반조건(수직) 638) 지반조건(수평) 639) 지반조건(수직) 640) 지반조건(수평) 641) 지반조건(수직) 642) 지반조건(수평) 643) 지반조건(수직) 644) 지반조건(수평) 645) 지반조건(수직) 646) 지반조건(수평) 647) 지반조건(수직) 648) 지반조건(수평) 649) 지반조건(수직) 650) 지반조건(수평) 651) 지반조건(수직) 652) 지반조건(수평) 653) 지반조건(수직) 654) 지반조건(수평) 655) 지반조건(수직) 656) 지반조건(수평) 657) 지반조건(수직) 658) 지반조건(수평) 659) 지반조건(수직) 660) 지반조건(수평) 661) 지반조건(수직) 662) 지반조건(수평) 663) 지반조건(수직) 664) 지반조건(수평) 665) 지반조건(수직) 666) 지반조건(수평) 667) 지반조건(수직) 668) 지반조건(수평) 669) 지반조건(수직) 670) 지반조건(수평) 671) 지반조건(수직) 672) 지반조건(수평) 673) 지반조건(수직) 674) 지반조건(수평) 675) 지반조건(수직) 676) 지반조건(수평) 677) 지반조건(수직) 678) 지반조건(수평) 679) 지반조건(수직) 680) 지반조건(수평) 681) 지반조건(수직) 682) 지반조건(수평) 683) 지반조건(수직) 684) 지반조건(수평) 685) 지반조건(수직) 686) 지반조건(수평) 687) 지반조건(수직) 688) 지반조건(수평) 689) 지반조건(수직) 690) 지반조건(수평) 691) 지반조건(수직) 692) 지반조건(수평) 693) 지반조건(수직) 694) 지반조건(수평) 695) 지반조건(수직) 696) 지반조건(수평) 697) 지반조건(수직) 698) 지반조건(수평) 699) 지반조건(수직) 700) 지반조건(수평) 701) 지반조건(수직) 702) 지반조건(수평) 703) 지반조건(수직) 704) 지반조건(수평) 705) 지반조건(수직) 706) 지반조건(수평) 707) 지반조건(수직) 708) 지반조건(수평) 709) 지반조건(수직) 710) 지반조건(수평) 711) 지반조건(수직) 712) 지반조건(수평) 713) 지반조건(수직) 714) 지반조건(수평) 715) 지반조건(수직) 716) 지반조건(수평) 717) 지반조건(수직) 718) 지반조건(수평) 719) 지반조건(수직) 720) 지반조건(수평) 721) 지반조건(수직) 722) 지반조건(수평) 723) 지반조건(수직) 724) 지반조건(수평) 725) 지반조건(수직) 726) 지반조건(수평) 727) 지반조건(수직) 728) 지반조건(수평) 729) 지반조건(수직) 730) 지반조건(수평) 731) 지반조건(수직) 732) 지반조건(수평) 733) 지반조건(수직) 734) 지반조건(수평) 735) 지반조건(수직) 736) 지반조건(수평) 737) 지반조건(수직) 738) 지반조건(수평) 739) 지반조건(수직) 740) 지반조건(수평) 741) 지반조건(수직) 742) 지반조건(수평) 743) 지반조건(수직) 744) 지반조건(수평) 745) 지반조건(수직) 746) 지반조건(수평) 747) 지반조건(수직) 748) 지반조건(수평) 749) 지반조건(수직) 750) 지반조건(수평) 751) 지반조건(수직) 752) 지반조건(수평) 753) 지반조건(수직) 754) 지반조건(수평) 755) 지반조건(수직) 756) 지반조건(수평) 757) 지반조건(수직) 758) 지반조건(수평) 759) 지반조건(수직) 760) 지반조건(수평) 761) 지반조건(수직) 762) 지반조건(수평) 763) 지반조건(수직) 764) 지반조건(수평) 765) 지반조건(수직) 766) 지반조건(수평) 767) 지반조건(수직) 768) 지반조건(수평) 769) 지반조건(수직) 770) 지반조건(수평) 771) 지반조건(수직) 772) 지반조건(수평) 773) 지반조건(수직) 774) 지반조건(수평) 775) 지반조건(수직) 776) 지반조건(수평) 777) 지반조건(수직) 778) 지반조건(수평) 779) 지반조건(수직) 780) 지반조건(수평) 781) 지반조건(수직) 782) 지반조건(수평) 783) 지반조건(수직) 784) 지반조건(수평) 785) 지반조건(수직) 786) 지반조건(수평) 787) 지반조건(수직) 788) 지반조건(수평) 789) 지반조건(수직) 790) 지반조건(수평) 791) 지반조건(수직) 792) 지반조건(수평) 793) 지반조건(수직) 794) 지반조건(수평) 795) 지반조건(수직) 796) 지반조건(수평) 797) 지반조건(수직) 798) 지반조건(수평) 799) 지반조건(수직) 800) 지반조건(수평) 801) 지반조건(수직) 802) 지반조건(수평) 803) 지반조건(수직) 804) 지반조건(수평) 805) 지반조건(수직) 806) 지반조건(수평) 807) 지반조건(수직) 808) 지반조건(수평) 809) 지반조건(수직) 810) 지반조건(수평) 811) 지반조건(수직) 812) 지반조건(수평) 813) 지반조건(수직) 814) 지반조건(수평) 815) 지반조건(수직) 816) 지반조건(수평) 817) 지반조건(수직) 818) 지반조건(수평) 819) 지반조건(수직) 820) 지반조건(수평) 821) 지반조건(수직) 822) 지반조건(수평) 823) 지반조건(수직) 824) 지반조건(수평) 825) 지반조건(수직) 826) 지반조건(수평) 827) 지반조건(수직) 828) 지반조건(수평) 82					

4.3.2 SITE-3 (영천방향 40.0K 우측비탈면)

▶ 평사투영해석

현장조사결과 영천방향 STA. 1+385 ~ 1+400 위치에는 다수의 불연속면이 복잡하게 분포하며 흑운모화강암의 풍화로 암면화 되어있는 상태이며, 현장에서 조사된 절리의 분포는 다음과 같다.

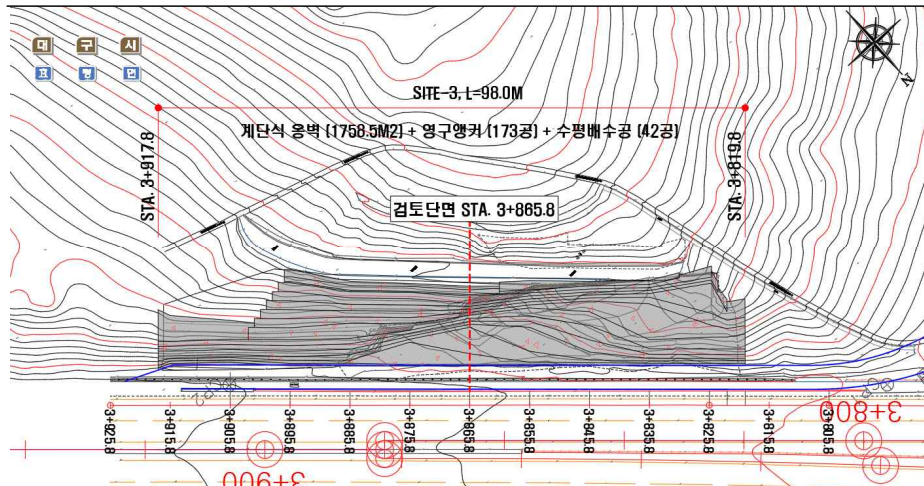
구 분	J1	J2	J3	J4
불연속면 종류	절리	절리	절리	절리
Dip/Dip Direction	83/143	88/035	59/096	63/003



구분	평면	전도	쌓기	검토결과
DIP/DIR 75/040	불안정	불안정	불안정	평면, 전도, 쌓기파괴 불안정

- 당 비탈면은 평면, 전도, 쌓기파괴에 대하여 불안정하므로 보강전 현상태 비탈면에 대하여 한계평형해석을 실시하여야 함
- 안정측 검토를 위하여 평면파괴 검토를 실시하여 보강검토를 실시함

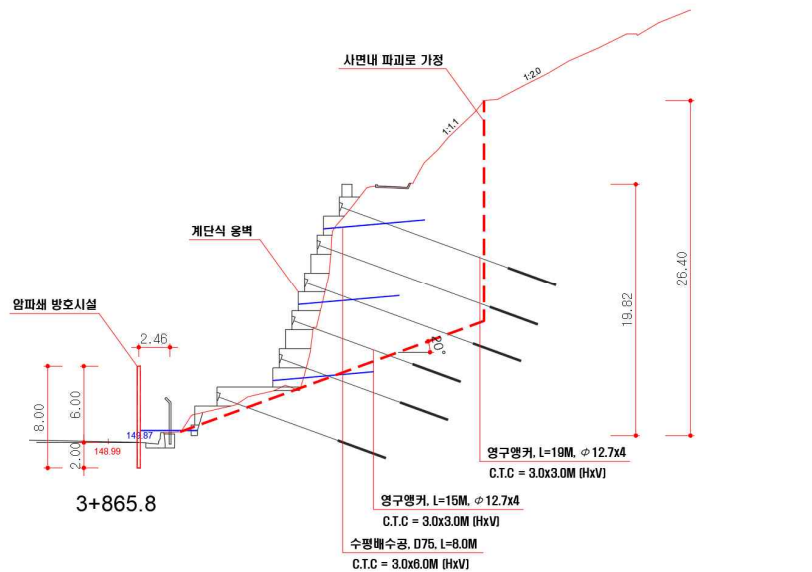
▶ 한계평형해석



· STA. 1+390 단면에 대하여 안정성 검토를 실시함

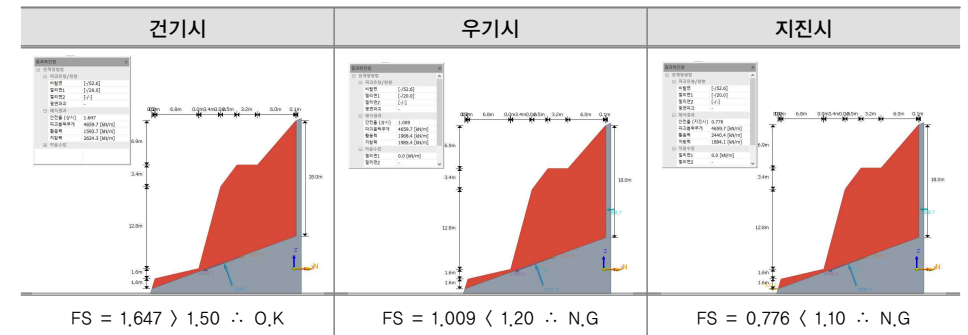
■ 대표단면

SITE-3, STA. 3+865.8



구 분	단위중량, $\gamma(\text{KN/m}^3)$	점착력, $c(\text{kPa})$	내부마찰각, $\phi(^{\circ})$	비 고
SITE-3 (영천 40.0 K)	23.0	12.29	28.0	

■ 보강전 비탈면 안정성 검토

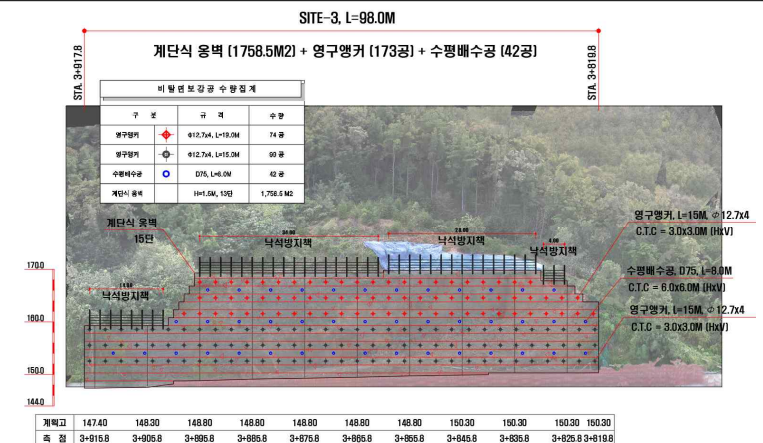


대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	평면파괴			비고
		건기시	우기시	지진시	
3+865.8	24.60	1.647	1.009	0.776	N.G

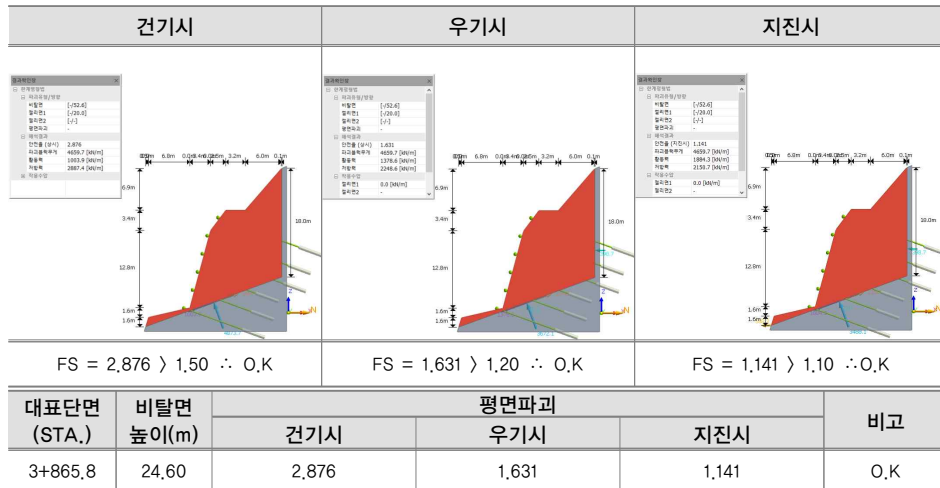
· 보강전 비탈면 검토결과 기준안전율을 하회하여 별도의 보강대책이 필요함

■ 비탈면 안정화 대책

보강전개도



■ 보강후 비탈면 안정성 검토



- 보강내용 : 계단식옹벽 + 영구앵커
- 상기 비탈면은 영구앵커 L=15~19M Ø12.7x4, C.T.C=3.0x3.0 (Hxv) 보강시 기준안전율을 상회하여 안정함

4.4 부대공

4.4.1 암파쇄방호시설

■ 개요

- 기존도로의 정비 또는 확장 공사구간의 절취시 기존의 도로 폭을 확보하기 위하여 설치
- 절취 및 암파쇄 작업으로 인해 발생하는 토석, 암괴의 도로유입을 차단시켜 안전사고를 방지하고, 통행차량의 안전운행을 도모하기 위하여 설치
- 또한, 부수적으로 적정 뒷채움을 허용하여 공사용 장비의 작업공간 확보 등으로 시공시 작업의 효율성을 제고하고자 함.

■ 설치대상

- 기존도로의 정비 또는 확장공사구간과 인접하여 시공되는 절토부 중 계획절토고가 10m이상인 구간에 대하여 설치
- 도로 깎기 비탈면의 안전성 향상을 위한 절취 및 암파쇄로 인한 암괴, 토석의 도로유입을 차단시키고 차량 통행시 교통안전과 도로폭 확보가 요구되는 구간에 설치
- 계획 깎기고 10m 미만일 경우는 임시 방호시설 또는 암파쇄 방호시설 설치지침에 준하여 설치

■ 암파쇄 방호시설 설치 높이

구 분	기존비탈면경사	암파쇄 방호시설 설치높이(m)
10m이하	1: 1.2	3
	1: 0.7	3
	1: 0.5	4
10m초과 ~ 40m이하	1: 1.2	3
	1: 0.7	4
	1: 0.5	6
40m초과 ~ 50m이하	1: 1.2	3
	1: 0.7	4
	1: 0.5	8

· 예) 1. 비탈면 1:1.2, 계획깎기고 35m 일 때 암파쇄 방호시설 설치 높이는 3m임.

2. 비탈면경사 1:0.5, 계획깎기고 25m 일 때 암파쇄 방호시설 설치 높이는 6m임.

주) 상기표에서 제시되지 아니한 비탈면경사(1:0.5 미만)에 대해서는 별도의 해석을 실시하여 암파쇄 방호시설 설치높이를 결정할 것을 권장함.

■ 근입깊이별 뒤채움 적용높이

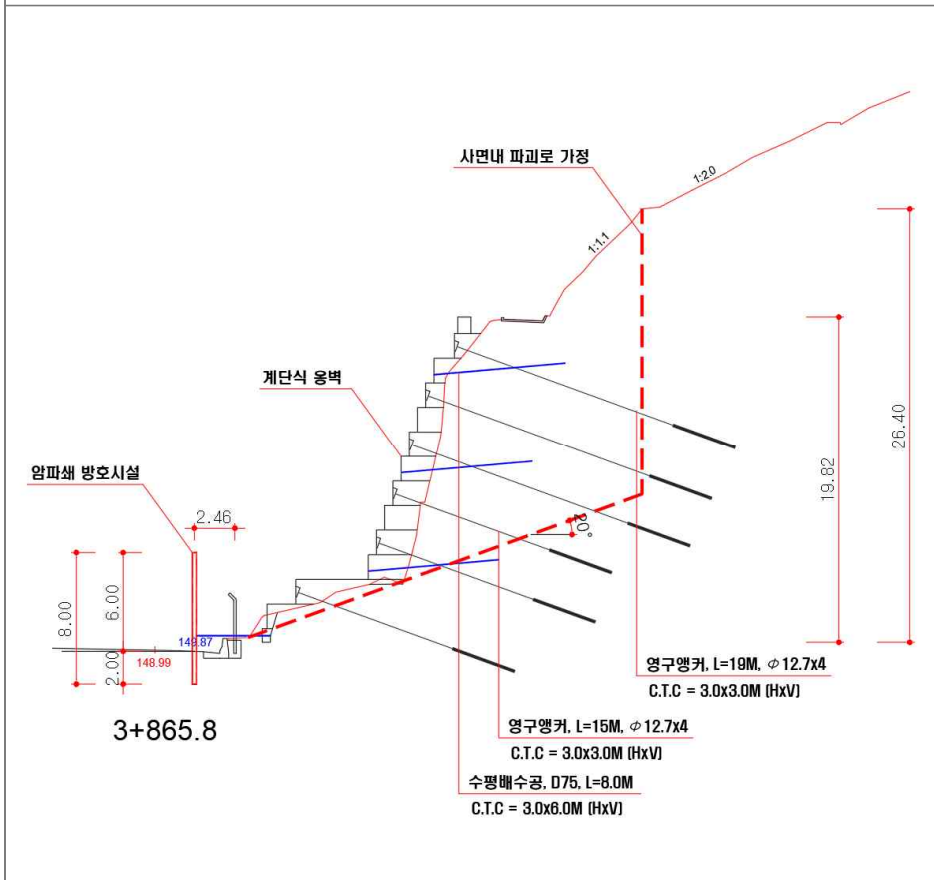
적용지반	근입깊이(m)	뒤채움높이(m)
30≥N)10(사질토), 8≥N)4(점성토)	1.5	1.0
	2.0	1.5
	2.5	2.0
	3.0	2.5
	3.5	3.0
50≥N)30(사질토), 8≥N(점성토)	1.5	1.0
	2.0	2.0
	2.5	2.5
	3.0	3.0
암반지층, 복합지층	2.0	3.0

주1) 강재토류판 중 SteelBar(각형)의 토류 판은 뒤채움 높이가 2.4m 이상일 경우에 허용응력에 도달하므로 2.4m를 초과하지 않도록 한다.

주2) 복합지층(암반+토사)에 H-pile이 근입되는 경우에는 H-Pile이 암반층에 최소 1m 이상 근입되도록 한다.

■ 암파쇄 방호시설 적용 계획

- 보강설계 과업 중 절취 및 암파쇄 방호시설 설치높이는 6.0m 적용하였으며, 근입깊이는 암반지층, 복합지층으로 2.0m 적용하였다. (기시공 완료, STA. 3+800~3+914, L=114M, 영천방향 40.0K 평면도 참조)
- 측구와 암파쇄방호시설 간의 이격거리는 비탈면 보강시공을 위한 장비의 작업반경 등을 고려하여 현장 상황에 맞게 감독원과 협의 후 결정하여야 한다.
- 본 보강비탈면 암파쇄 방호시설 높이는 현장조사(현황측량 미수행)를 반영하여 계획하였으므로, 시공시 현장상황에 맞게 암파쇄 방호시설 높이와 근입깊이를 감독원과 협의 후 적절한 변경이 이루어져야 할 것으로 판단된다.



제 5 장 결론

상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계
(영천방향 40K 외 2개소)

- 5.1 현장조사 및 붕괴원인 분석
- 5.2 비탈면 안정성 검토결과
- 5.3 시공성 검토
- 5.4 종합평가

제5장 결 론

“상주영천고속도로 유실 절토사면 항구복구 실시설계 용역”의 일환으로 상주-영천 고속도로 노선 중 2023년 7월 5~26일 집중호우에 발생한 비탈면 3개소에 대하여 급회 현장조사를 통하여 붕괴원인을 분석하고 비탈면의 장기적인 안정성 확보를 도모하기 위해 비탈면 안정성을 평가하고 그 대책방안을 수립하였다.

5.1 현장조사 및 붕괴원인 분석

▶ 지표지질조사 및 붕괴원인

구 분	내 용
SITE-1	- 대표암종 : 흑운모 편마암 - 보통풍화~심한풍화, 절리 및 파쇄 발달 - 파쇄암에 의한 얇은파괴 발생 (1.0~1.5M) - 파쇄구간 간극수압 증가에 따른 토사화 거동
SITE-2	- 대표암종 : 흑운모 편마암 - 보통풍화~심한풍화, 절리 및 파쇄 발달, 2.0M 깊이의 켜기파괴 발생 - 추가적 붕괴 우려, 조속한 보강 필요 - 절리면 간극수압 증가에 따른 전단강도 감소 및 활동력 증가
SITE-3	- 대표암종 : 사암 및 셰일 혼재 - 보통풍화~심한풍화, 절리 및 파쇄 발달, 고각의 역경사 절리 발달 - 대규모 전도파괴 발생, 추가 붕괴 우려 - 절리면 간극수압 증가에 따른 전단강도 감소 및 활동력 증가

5.2 비탈면 안정성 검토결과

▶ 평사투영 검토결과

구 분	평사투영 검토결과		
	평면	전도	썩기
SITE-1	불안정	안정	안정
SITE-2	안정	안정	불안정
SITE-3	불안정	불안정	불안정

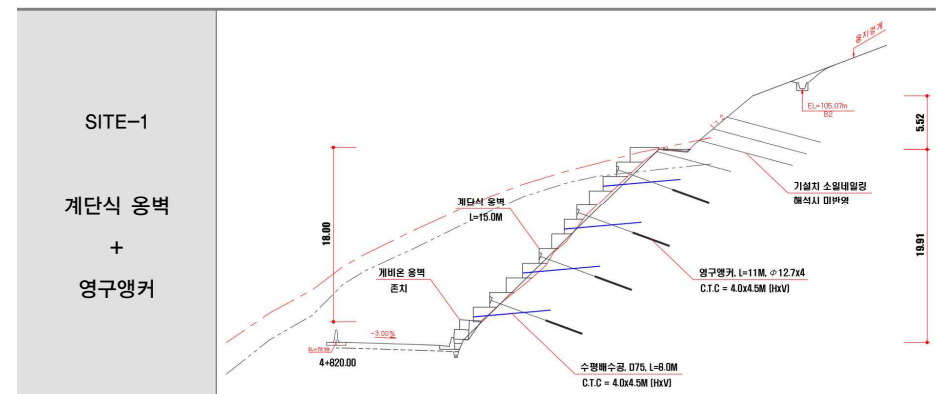
▶ 보강전 검토결과

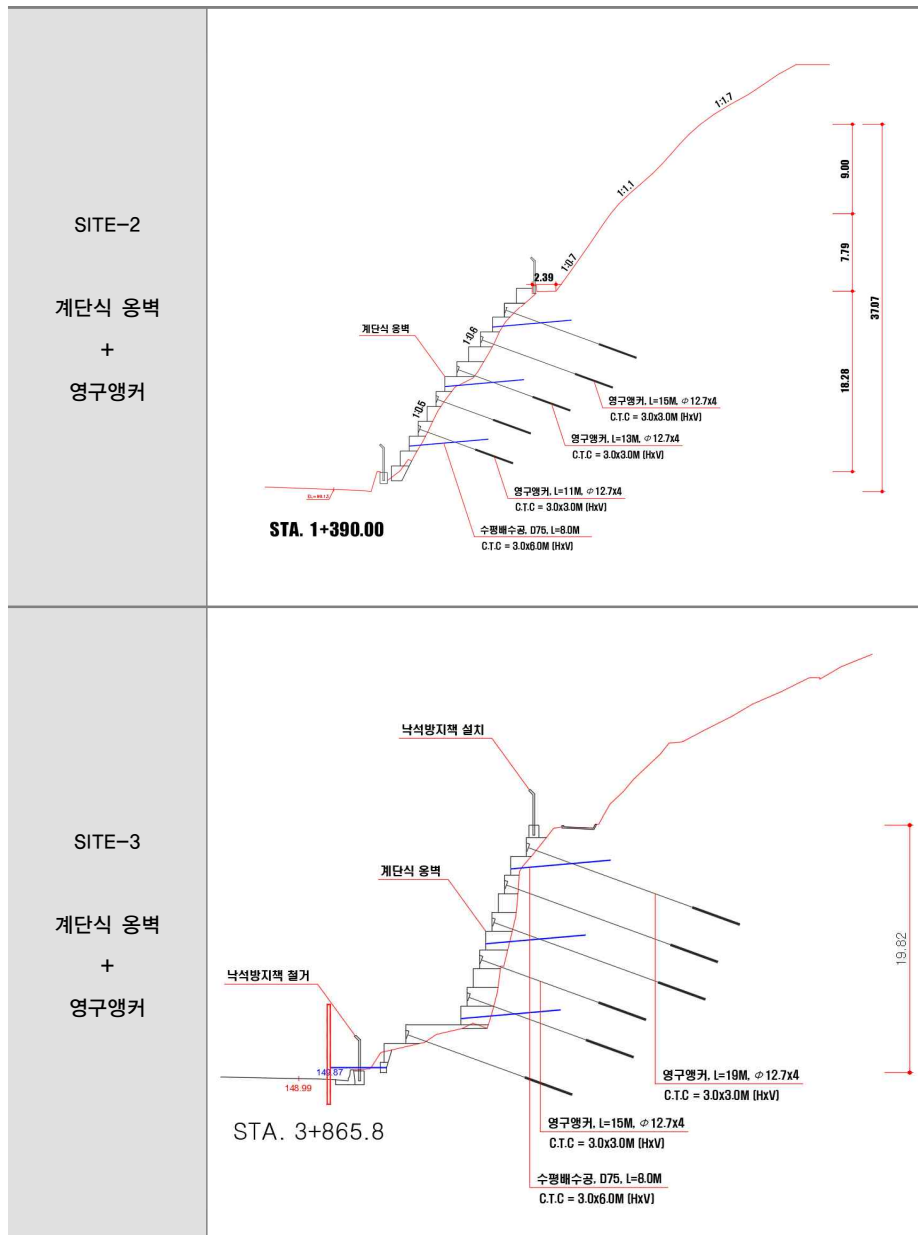
구 분	한계평형해석 검토결과		
	건기시	우기시	지진시
SITE-1, 평면파괴	FS = 1,378 < 1,50 ∴ N.G	FS = 0,972 < 1,20 ∴ N.G	FS = 0,804 < 1,10 ∴ N.G
SITE-2, 썩기파괴	FS = 1,399 < 1,50 ∴ N.G	FS = 1,142 < 1,20 ∴ N.G	FS = 0,893 < 1,10 ∴ N.G
SITE-3, 전도파괴(평면검토)	FS = 1,647 > 1,50 ∴ O.K	FS = 1,009 < 1,20 ∴ N.G	FS = 0,776 < 1,10 ∴ N.G

▶ 보강후 검토결과

구 분	한계평형해석 검토결과		
	건기시	우기시	지진시
SITE-1, 평면파괴	FS = 2,107 > 1,50 ∴ O.K	FS = 1,569 > 1,20 ∴ O.K	FS = 1,261 > 1,10 ∴ O.K
SITE-2, 썩기파괴	FS = 1,700 > 1,50 ∴ O.K	FS = 1,482 > 1,20 ∴ O.K	FS = 1,43 > 1,10 ∴ O.K
SITE-3, 전도파괴(평면검토)	FS = 2,876 > 1,50 ∴ O.K	FS = 1,631 > 1,20 ∴ O.K	FS = 1,141 > 1,10 ∴ O.K

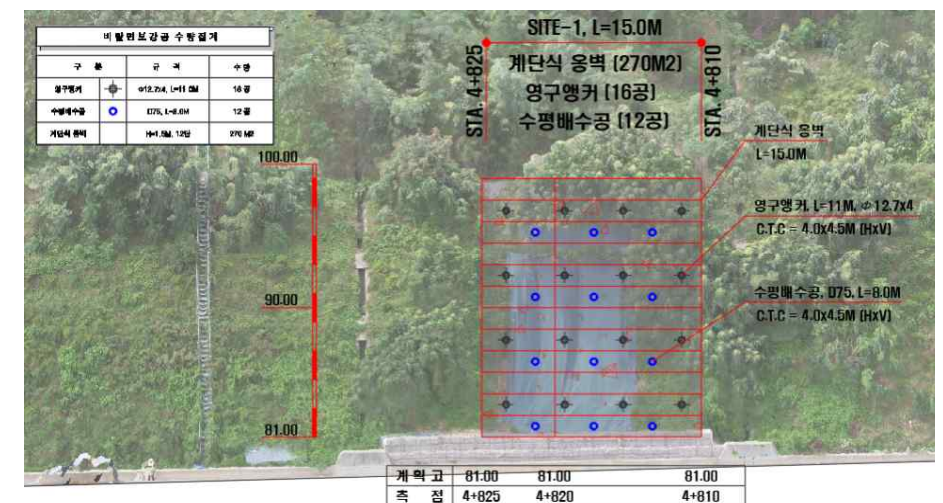
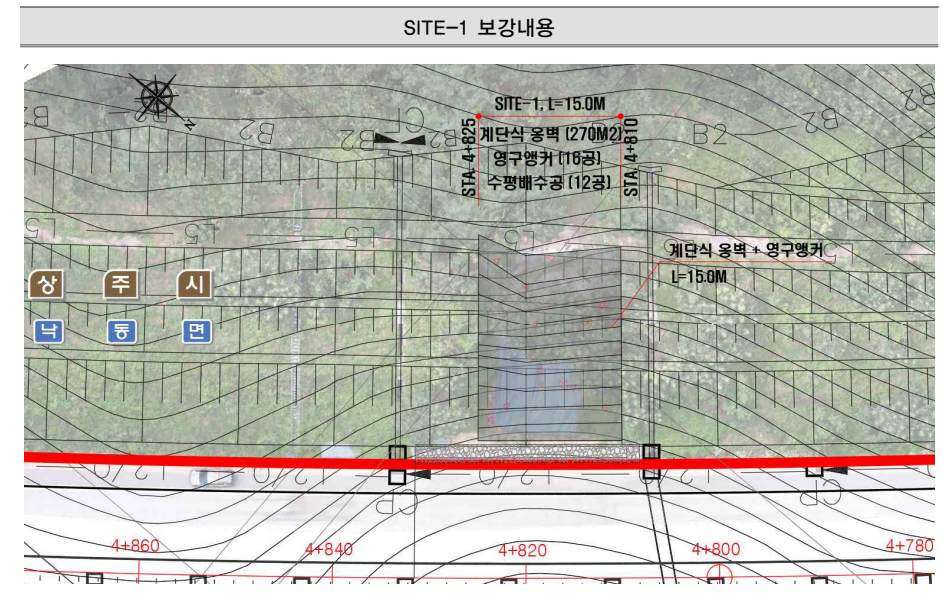
5.2.1 구간별 대표 횡단면도





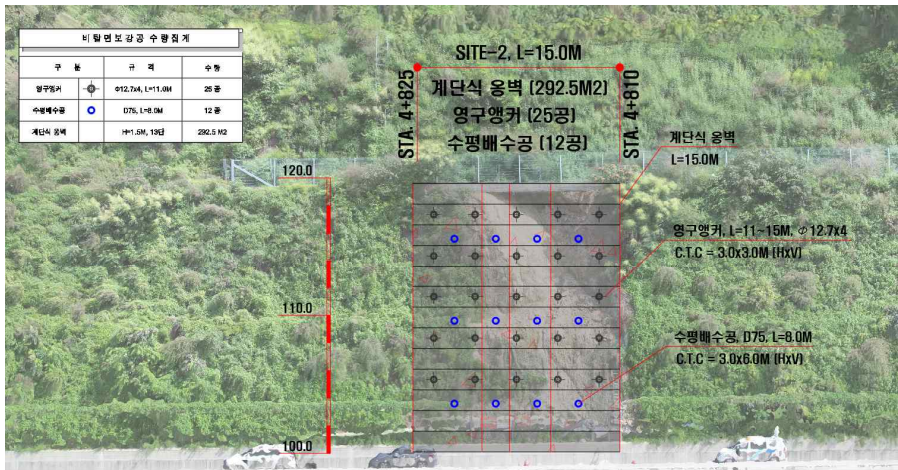
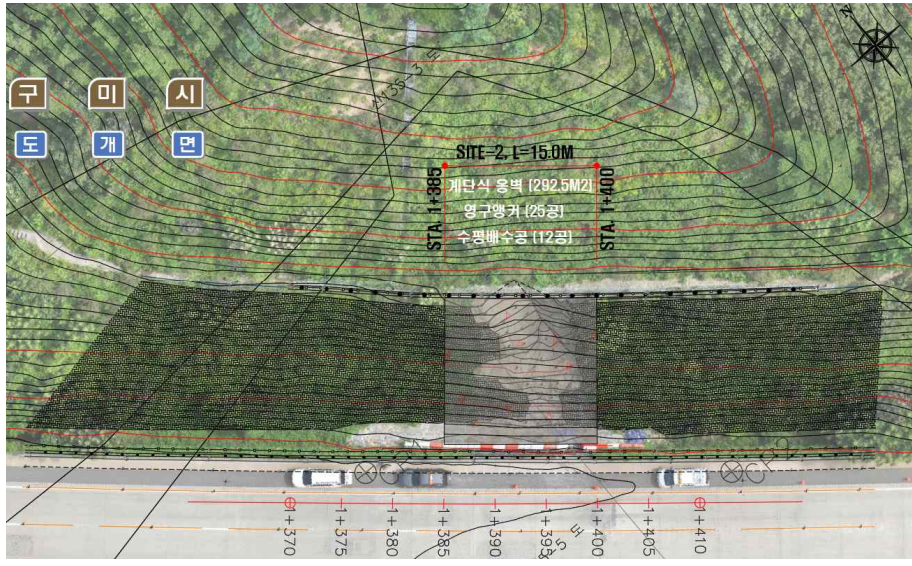
5.2.2 구간별 보강계획도

SITE-1



SITE-2

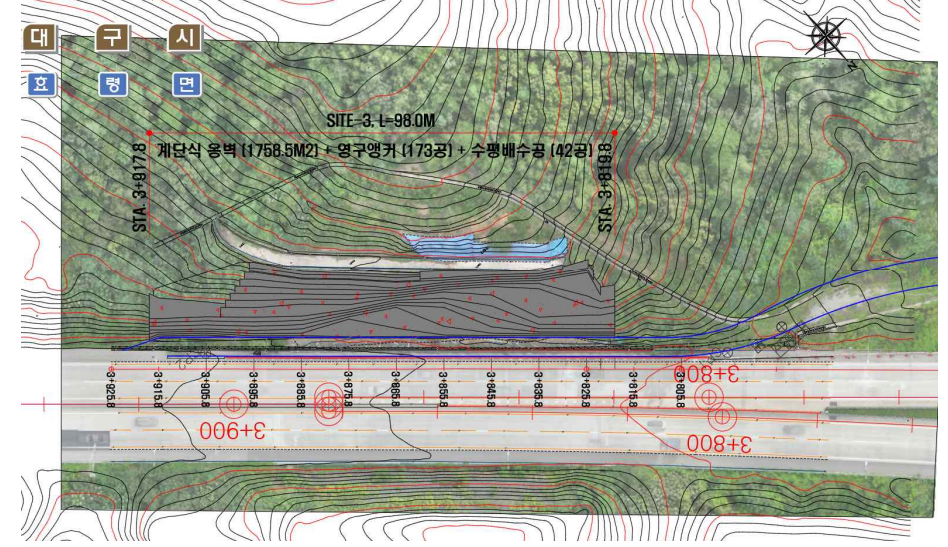
SITE-2 보강내용



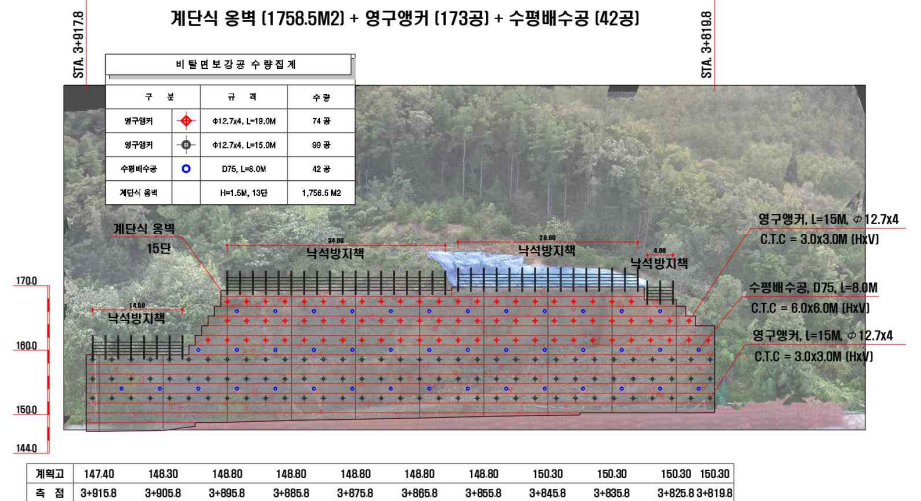
계 획 고	100.00	100.00	100.00	100.00
측 점	1+385	1+390	1+395	1+400

SITE-3

SITE-3 보강내용



SITE-3, L=98.0M

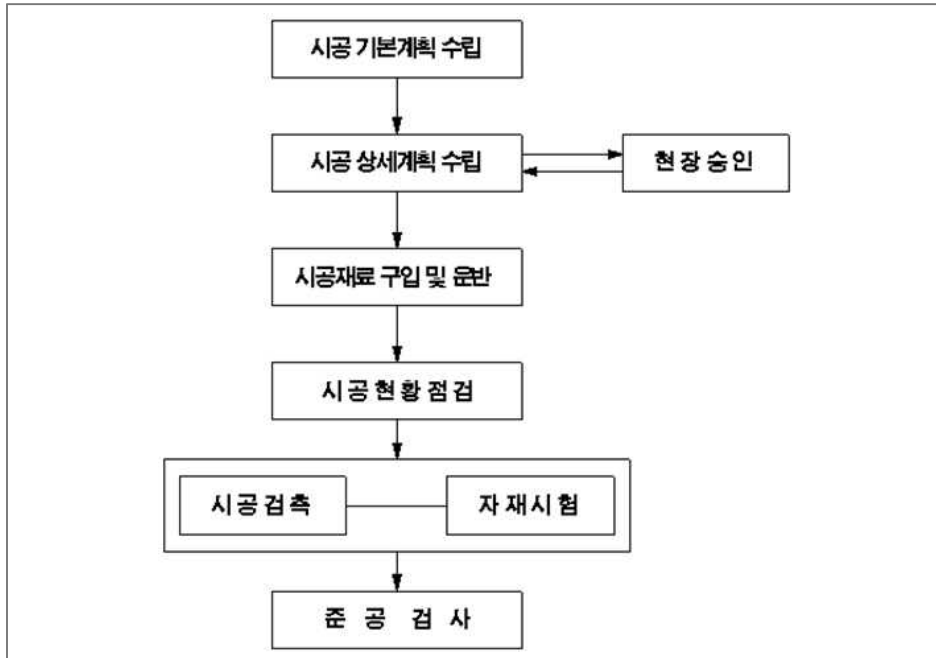


계 획 고	147.40	148.30	148.80	148.80	148.80	148.80	148.80	150.30	150.30	150.30	150.30
측 점	3+915.8	3+905.8	3+895.8	3+885.8	3+875.8	3+865.8	3+855.8	3+845.8	3+835.8	3+825.8	3+819.8

5.3 시공성 검토

5.3.1 시공수행체계

시공수행체계 (시공수행 흐름도)



〈 시공수행 흐름도 〉

5.3.2 현장사무실

개요

- 현장사무실은 본 설계구간 내 지형여건, 주변환경, 운영계획 및 현장여건 등을 종합적으로 고려하여 추후 적당한 지점을 설치토록 계획하여야 한다.
- 시공시 반드시 현장사무실 계획부지를 우선적으로 검토하고, 공사운영계획, 지역주민의 민원, 경제성 등 제반사항에 대하여 유리한 부지가 있는 경우에는 감리원, 발주처와 협의하여 위치를 조정 변경할 수 있다.

5.3.3 시공성 검토

시공성 검토

- 보강재 (영구앵커 및 수평배수공) 설치를 위한 천공시 크레인 작업이 필요함
- 현장여건 : 보강재 천공높이 (약 20M 내), 비탈면 경사 (1:0.3~0.7)
- 1차선 통제 조건으로 크레인 천공 실시함

■ 설치 예시



- 과업구간 크레인의 아웃트리거 너비는 6.26M로 노건과 1차선 통제시 크레인 작업이 가능함

5.4 종합평가

- 본 붕괴구간을 중심으로 불연속면의 방향성 조사가 이루어졌으며 전체 비탈면에 대한 육안조사를 통해 불연속면의 연속성 조사를 수행하였다.
- 금회 현장조사 결과, 시공현황은 준공도면과 일부 차이점이 존재하므로 본 비탈면에 대하여 현황측량을 수행하여 향후 유지관리 자료로 활용해야 할 것으로 판단된다.
- 금회 지표지질조사 결과, SITE-3 구간은 사암 및 셰일이 주를 이루며 부분적으로 이암 및 셰일의 층리가 분포하며 고각의 불연속면이 다수 분포하는 것으로 확인되었다. 층리는 연속성을 띄며 특히 셰일층은 강우 혹은 지하수 침투로 습윤상태의 점토화로 전단강도가 저하된 것으로 파악되었다. 이암, 셰일의 퇴적암은 강우, 동결융해 등의 다양한 요인으로 노출면 표면풍화가 발달하였으며, 암반의 세편화가 진행되어 비탈면에 불안정한 요인으로 작용하였다.
- 본 비탈면은 준공 후 노출면 풍화 및 절리면 또는 층리면을 따라 물이 침투하여 풍화에 취약한 층리면의 전단강도가 감소된 상태에서, 집중호우시 지표수가 인장균열대로 침투되어 지반을 포화시켜 암반자중 및 수압이 상승된 상태에서 저각의 셰일의 층리면을 따라 인장균열 면까지 이어지는 평면파괴가 발생된 것으로 판단된다.
- SITE-1과 SITE-2 구간은 흑은모 화강암 구간으로 풍화진행에 따른 절리 발달, 전단강도 감소에 기인한 것으로 인접구간에 대해서도 주기적 관찰이 필요하다 판단된다.
- 본 과업구간의 비탈면 보강에 있어 계단식 옹벽 + 영구앵커 공법을 적용하여 안정성을 확보하였으며 검토결과 기준안전율을 상회하여 안정하였다.
- 향후 공용기간의 증가에 따른 풍화로 인해 사면이 변화되고 그 영향으로 사면 및 시설물도 변형, 노후화가 진행될 수 있으므로 지속적인 유지보수가 필요할 것으로 판단된다.