

C·O·N·T·E·N·T·S

제1편 갱구 비탈면 설계

제1장 갱구 비탈면 설계

1.1 개 요	1
1.1.1 검토목적 및 내용	1
1.1.2 비탈면 붕괴 특성 평가	1
1.1.3 비탈면 안정성 검토 기준	5
1.1.4 비탈면 안정해석 방법	12
1.2 갱구 비탈면 현황	14
1.2.1 비탈면 현황	14
1.2.2 분석 대상 비탈면 선정	15
1.2.3 검토 대상 비탈면 현황	16
1.3 강우침투해석으로 지하수위 상승 검토	21
1.3.1 해석방법	21
1.3.2 적용강우 강도	21
1.3.3 침투 해석 결과	22
1.3.4 구간별 지하수위 설계 적용현황 (토사/풍화암 안정성 검토 시)	22
1.4 비탈면 안정성 검토	23
1.4.1 토사/풍화암 안정성 검토	23
1.4.2 암반 비탈면 안정성 검토	25
1.4.3 비탈면 안정성 검토 결과	30
1.5 비탈면 보강 및 보호공법	32
1.5.1 비탈면 보강공법	32
1.5.2 비탈면 보호공법	34

제1편 갯구 비탈면 설계

중앙선 도담~영천 복선전철 제 5공구 노반신설 기탁공사

■ 제 1 장 갯 구 비 탈 면 설 계

제 1 장 갯구 비탈면 설계

중앙선 도담~영천 복선전철 제5공구 노반신설 기타공사

- 1.1 개 요
- 1.2 갯구 비탈면 현황
- 1.3 강우침투해석으로 지하수위 상승 검토
- 1.4 비탈면 안정성 검토
- 1.5 비탈면 보강 및 보호공법

제 1 장 갱구 비탈면 설계

1.1 개 요

1.1.1 검토목적 및 내용

구 분	내 용
검토목적	비탈면 안정성검토는 현장조건(조사 및 시험결과)을 충분히 파악하고 시공성, 경제성 및 환경성을 고려하여 비탈면의 안정성을 확보하는 최적의 비탈면 기울기 및 대책공법을 선정하는데 그 목적이 있음
검토내용	- 본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같음 - 비탈면 설계정수 산정 - 합리적인 비탈면 설계기준 검토 - 비탈면 안정대책 검토 - 비탈면 보호공법 검토

1.1.2 비탈면 붕괴특성 평가

① 비탈면의 불안정 요인 및 파괴유형

가. 비탈면의 불안정 요인(Varnes, 1978)

분 류	요 인
지질학적 원인	① 연약 물질, ② 예민성 물질, ③ 풍화물질, ④ 전단물질, ⑤ 절리 또는 균열물질, ⑥ 투수성의 현저한 차이, ⑦ 불리한 방향의 구조적 불연속면(단층, 부정합, 접촉부 등), ⑧ 불리한 방향의 암반 불연속면(층리, 편리 등), ⑨ 강성의 현저한 차이(소성물질 위에 위치한 강성이며 조밀한 물질)
지형학적 원인	① 지구조적 또는 화산성 융기, ② Glacial rebound, ③ 비탈기슭(slope toe)의 하식(河蝕, fluvial erosion), ④ 비탈기슭(slope toe)의 파랑침식(波浪浸蝕, wave erosion), ⑤ 측면부(lateral margin)의 침식, ⑥ 지표하 침식(용융, 파이핑(piping)작용), ⑦ 비탈면 또는 관부(crest)의 퇴적재하, ⑧ 식생제거(산불, 가뭄에 의해)
자연현상적 (physical) 원인	① 집중강우, ② 급한 눈의 융해, ③ 예외적으로 지속적인 강수, ④ 급한 수위강하(홍수와 조수), ⑤ 지진, ⑥ 화산분출, ⑦ 해빙, ⑧ 동결-융해 풍화, ⑨ 수축-팽창 풍화
인위적 원인	① 비탈면 기슭 또는 비탈면의 절취, ② 비탈면 또는 비탈면관부(crest)에 재하, ③ 수위강하(저수지), ④ 산림벌채, ⑤ 관계수로, ⑥ 광산개발, ⑦ 인위적 진동, ⑧ 상하수도 등의 누수

나. 토사비탈면의 파괴형태

● 토사비탈면의 붕괴 특성

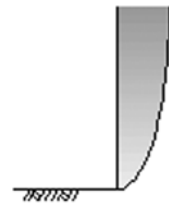
비탈면의 붕괴 특성

- 얇은 표층 붕괴 : 경사진 비탈면이 침식되기 쉬운 흙으로 구성되고 배수가 미비할 때 점차적으로 넓은 표층붕괴로 진행
- 깊은 흠쌓기 붕괴 : 고함수비의 점성토로 높은 흠쌓기를 급속히 시공하면 흠쌓기대 내부에 과잉 간극수압이 발생하여 흠쌓기의 저부에서 붕괴
- 기초지반을 포함한 붕괴 : 불안정한 경사지반이나 활동이 용이한 토층이 있는 비탈면 위에 시공한 경우 기초지반 내 활동면에 의한 대규모 붕괴 발생

비탈면의 붕괴 특성

① 붕락(Falls)

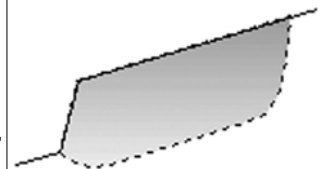
- 연직으로 깎은 비탈면의 일부가 낙하하거나 굴러서 아래로 떨어지는 현상
- 이때 떨어지는 물체와 비탈면 사이의 전단변위는 거의 없고 낙하속도가 대단히 빠름



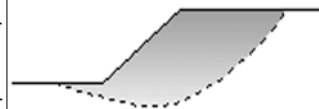
붕 락

② 활동(Slides)

- 활동면의 형상과 위치에 따라 활동물질과 활동면 사이에 전단변형에 의해서 생기는 현상으로 형상에 따라 구분됨
- 직선활동(병진활동) : 활동하는 흙의 깊이가 비탈면의 높이에 비해 작은 경우, 자연비탈면과 같이 비탈면 아래로 내려갈수록 강도가 커지는 지반에서 직선적으로 활동
- 원호활동 : 하부 지반에 연약층이 존재하여 연약층이 비교적 균질할 경우에 발생
- 대수나선 활동 : 깊이에 따라 전단강도가 증가하거나 지층이 비균질하고 전단강도의 변화가 큰 경우 발생
- 복합곡선 활동 : 기초지반에 얇은 연약지반이 있는 경우 직선과 곡선의 복합 형태로 발생



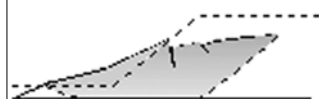
직선활동



원호활동

③ 유동(Flows)

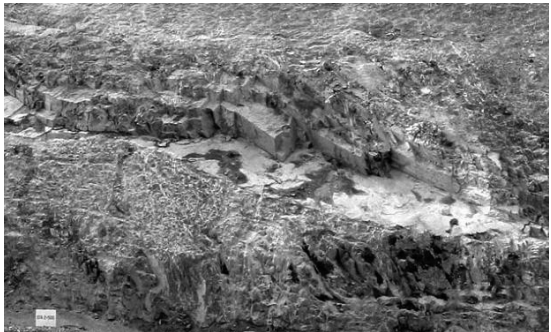
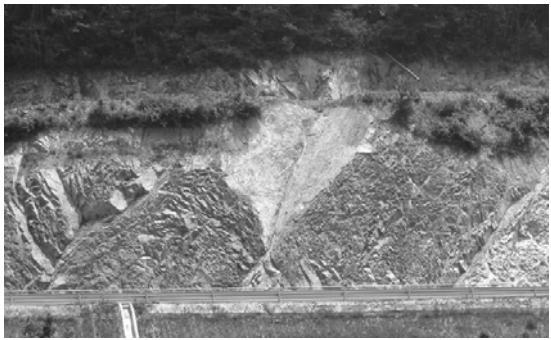
- 활동깊이에 비해서 활동되는 길이가 대단히 길며, 소성적인 활동이 지배적
- 활동속도가 대단히 느린 경우가 많으며, 지반은 Creep 변형 발생됨



복합활동

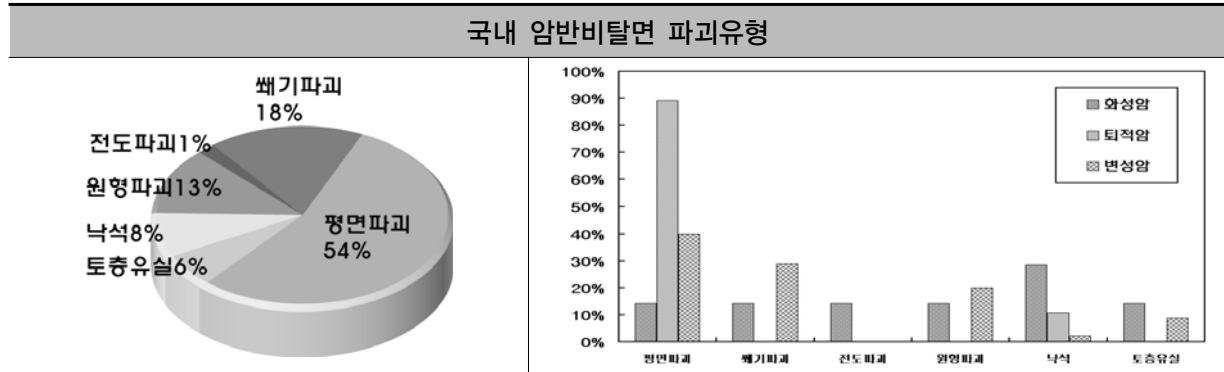
다. 암반비탈면의 파괴형태

- 비탈면의 붕괴현상은 자연적인 원인과 인위적인 행위에 의하여 발생하며, Varnes에 의해 제시된 암반비탈면 붕괴형태는 다음과 같음
- 일반적으로 암반에서 비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 썰기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure)

구분	전형적인 파괴형태		발 생 조 건
원형 파괴			• 지반조건: 연암~풍화암, 토층, 다수 절리군 • 발생조건: 절리가 조밀하고 불규칙하게 발달 지반 구성물질에 따라 다양한 형태를 가짐 기반암내 지질구조 발달시 이를 따라 기저에 주 파괴면 발달 가능성 높음
평면 파괴			• 지반조건: 양호한 암반, 1~3군의 절리발달 • 발생 조건: 비탈면 경사는 불연속면의 경사보다 큼 불연속면 주향은 비탈면과 $\pm 20^\circ$내외 불연속면의 경사는 마찰각보다 큼 불연속면은 비탈면의 daylight envelope내 위치기 하학적 조건 까다로워 비교적 드물게 발생
썰기 파괴			• 지반조건: 양호한 암반, 1~3군의 절리발달 • 발생 조건: 두불연속면의 교차선이 비탈면의 경사보다 작고 마찰각보다 클 경우 발생 파괴의 방향은 교차선을 따르며 교차선은 daylight envelope내에 위치 암반비탈면에서 발생빈도가 가장 높음
전도 파괴			• 지반조건: 양호한 암반, 수직절리발달 • 발생조건: - Direct toppling(Block toppling): 2개 불연속면 교차선이 비탈면 경사와 반대 전도 발생할 기저면인 1군의 불연속면 발달 불연속면 주향은 비탈면 주향의 $\pm 20^\circ$내외 - Flexural toppling: 비탈면과 반대 경사의 1군의 불연속면 발달 불연속면 주향은 비탈면 주향의 $\pm 20^\circ$내외
	Direct toppling	Flexural toppling	

② 사례조사 및 분석

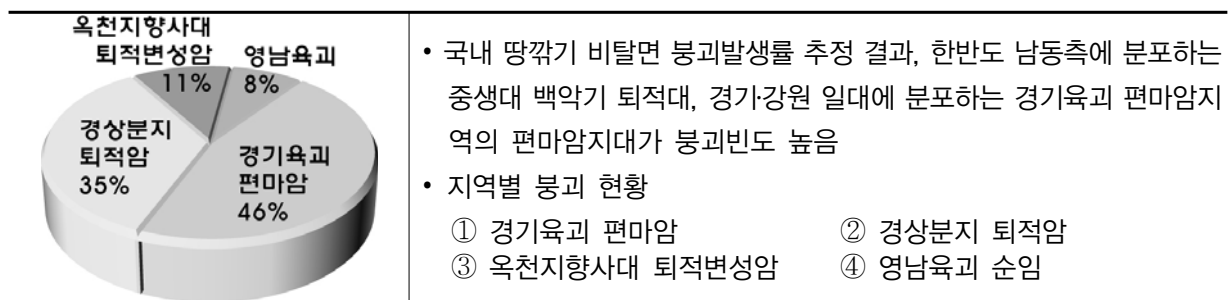
가. 국내 땅깁기비탈면 붕괴사례 분석



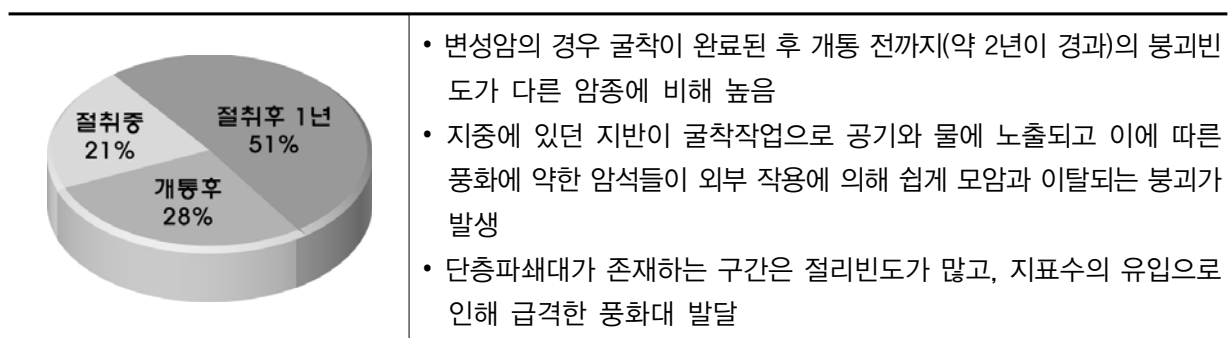
• 한국지반공학회, 1996

• 우리나라 암반비탈면 중 고속도로 구간에서 발생한 비탈면 파괴를 조사한 결과 파괴형식은 평면파괴가 50% 이상이며, 암종은 변성암이 약 60%, 퇴적암이 35%, 화성암 5%에 해당됨

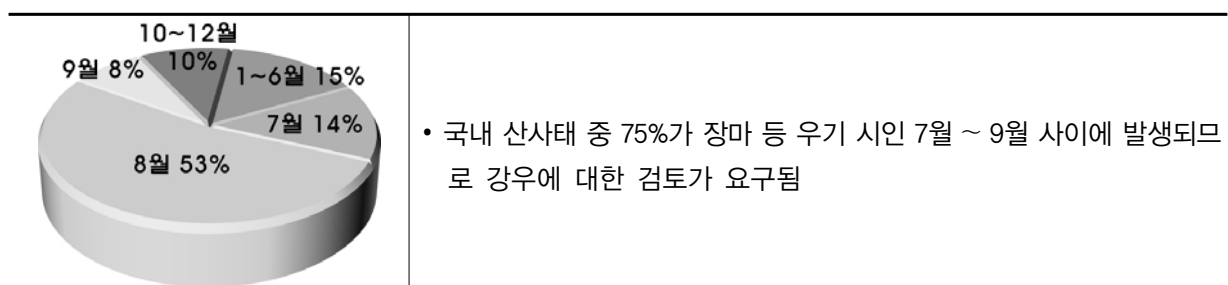
나. 지역별 붕괴 현황



다. 붕괴 시기에 따른 분류



라. 강우의 영향



1.1.3 비탈면 안정성검토 기준

① 안전율 기준

가. 일반사항

- 비탈면의 안정성은 안전율 $F_s > 1.0$ 일 경우에 안전한 것으로 해석할 수 있으나 설계 시 비탈면의 불확실성으로 인한 여건을 감안하여 허용안전율을 설계에 적용
- 자료의 불확실성의 대비 수단 ➡ 강도정수, 하중, 파괴모델의 불확실성에 대한 보완

나. 비탈면 최소 안전율 적용기준

● 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준

– 철도설계기준(노반편), 2013

- 쌓기 비탈면에 대한 기준안전율은 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)과 같이 적용해야 한다.

– 건설공사 비탈면 설계기준 2011. 12 (국토해양부) – 일반쌓기 비탈면 기준

구 분	기준안전율	참 조
건 기 시	$F_s > 1.5$	• 쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
우 기 시	$F_s > 1.3$	• 지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행 • 한쪽쌓기 한쪽깎기 비탈면에서는 상기조건에 따라 산정한 지하수위 또는 침투 해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 • 쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간을 등을 고려하여 강우침투를 고려한 해석 실시
지 진 시	$F_s > 1.1$	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단 기	$F_s > 1.1$	• 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) • 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

● 흙쌓기 비탈면 안전율 적용

구 분	적용 안전율	지하수위	적용 근거
건 기 시	$F_s > 1.5$	• 쌓기체 내에 지하수 없는 것으로 해석	• 건설공사 비탈면 설계기준 (국토해양부, 2011.12)
우 기 시	$F_s > 1.3$	• 지표면 포화	
지 진 시	$F_s > 1.1$	• 우기시 조건과 동일하게 적용	
단 기	$F_s > 1.1$	• 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용	

※ 우기시 지하수위 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행

● 깎기 비탈면 최소안전율 적용기준

- 철도설계기준(노반편), 2013

• 깎기 비탈면에 대한 기준안전율은 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)과 같이 적용해야 한다.

- 건설공사 비탈면 설계기준 2011. 12 (국토해양부) - 땅깎기 비탈면 기준

구 분	기준안전율	참 조
건 기 시	$F_s > 1.5$	지하수가 없는 것으로 해석
우 기 시	$F_s > 1.2$ 또는 $F_s > 1.3$	- 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 $F_s=1.2$를 적용 - 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 - 지하수위를 결정하여 해석하는 경우 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술($F_s=1.2$적용) - 강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 수행하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술($F_s=1.3$적용)
지 진 시	$F_s > 1.1$	- 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 - 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단 기	$F_s > 1.1$	1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) - 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

● 땅깎기 비탈면 안전율 적용

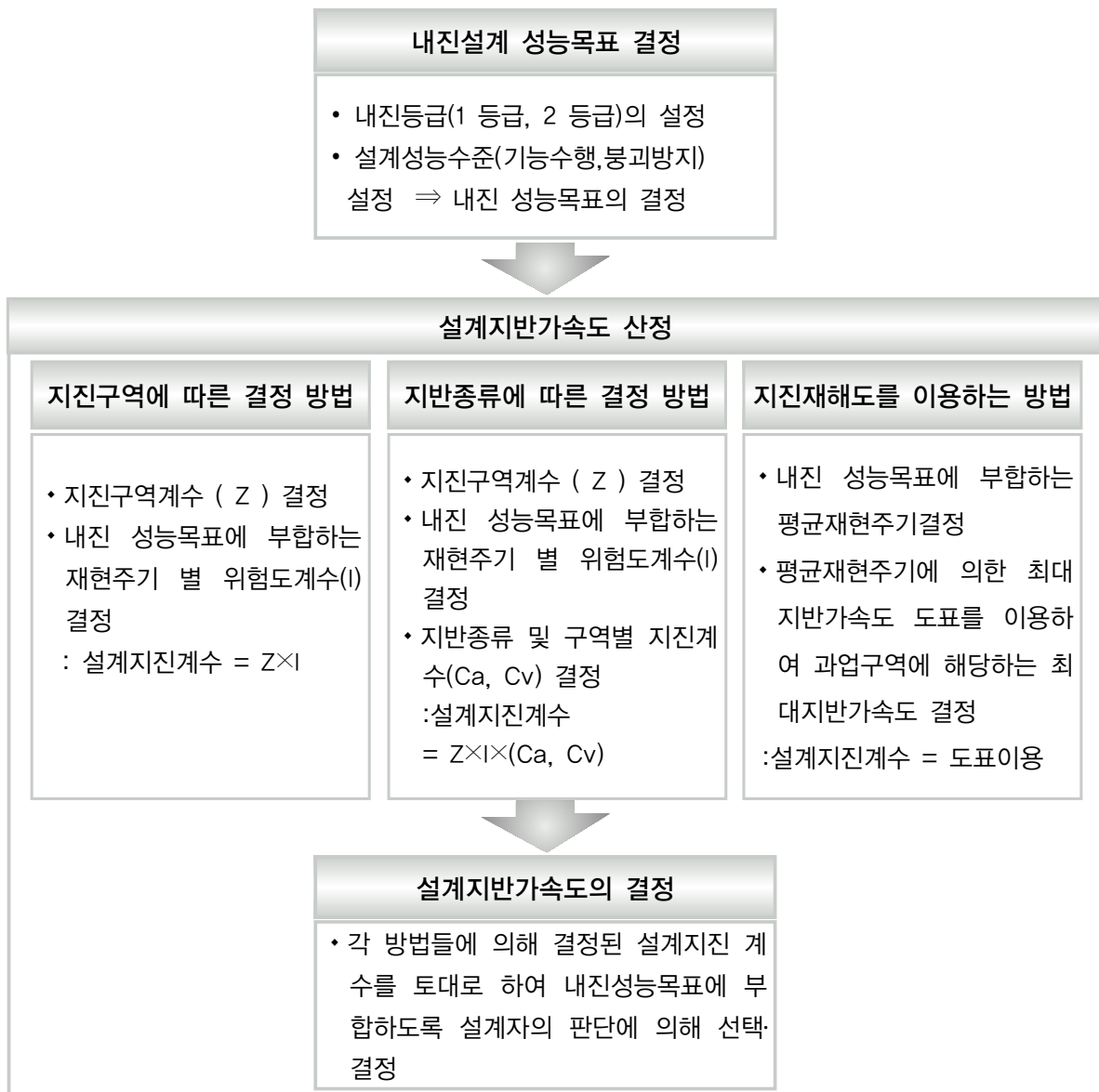
구 분	기준안전율	지하수위	적용근거
건 기 시	$F_s > 1.5$	지하수가 없는 것으로 해석	건설공사 비탈면 설계기준 (국토해양부, 2011.12)
우 기 시	$F_s > 1.2$ or $F_s > 1.3$	- 강우침투해석 결과 원지반 포화시($F_s > 1.2$) - 강우침투해석 결과 원지반 아래 수위 적용시 ($F_s > 1.3$)	
지 진 시	$F_s > 1.1$	우기시 조건과 동일하게 적용	
단 기	$F_s > 1.1$	장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용	

② 비탈면 내진해석

가. 검토개요

- 지진하중으로 인한 안정성 확보를 위하여 극한평형법을 이용한 비탈면 안정해석에서 지진하중을 고려하기 위하여 지진계수 산정
- 설계지반운동 수준은 “내진설계기준연구(Ⅱ), 건설교통부, 1997”를 기준으로 하여 설계지반운동 수준에 따른 지진계수 산정
- 지진하중은 우기시 조건과 동일하게 작용하는 것으로 해석

나. 설계지반가속도 결정 방법



다. 내진설계 기준

● 시설물 중요도에 따른 내진등급

구 분	시 설 물
내진 I 등급	• 사회 국가적으로 중요한 시설물
내진 II 등급	• 일반 시설물

● 설계성능 수준

구 분	시 설 물
기능 수행 수준	• 구조물에 심각한 구조적 손상이 발생하지 않고 지진 시나 지진 경과후에도 구조물의 기능은 정상적으로 유지될 수 있는 성능 수준
붕괴 방지 수준	• 구조물에 제한적인 구조적 피해는 발생하나 긴급보수를 통해 단시간에 구조물로서의 기능이 발휘될 수 있는 수준

● 내진성능 목표

성능 수준 \ 재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년
기능수행	내진II 등급	내진 I 등급	-	-	-	-
붕괴방지	-	-	-	내진II 등급	내진 I 등급	-

라. 설계지진계수 산정 기준

- 설계지진계수는 지진에 의한 지반진동의 강도를 나타내는 설계가속도로 보통 최대지반 가속도를 의미하며, 설계지진계수 산정방법은 지진구역에 따른 방법, 지반분류에 의한 방법 및 기준 지진 재해도에 따른 방법 등이 있음

● 지진구역에 따른 방법

- 지진구역 구분 및 구역계수

지진구역	행 정 구 역		구역계수, Z(g)
I	시	• 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	• 경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부	
II	도	• 강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

주) 지진구역계수는 구분된 각 지진구역별로 평균재현주기 500년을 기준으로 결정되었으므로 평균재현주기별 최대유효지반가속도의 비를 의미하는 위험도계수를 선정

– 재현주기에 따른 위험도 계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0

주) 위험도 계수를 이용함으로써 다른 재현주기에서의 설계지반운동 수준을 결정할 수 있음

● 지반분류에 의한 방법

– 지반특성에 따른 지반분류

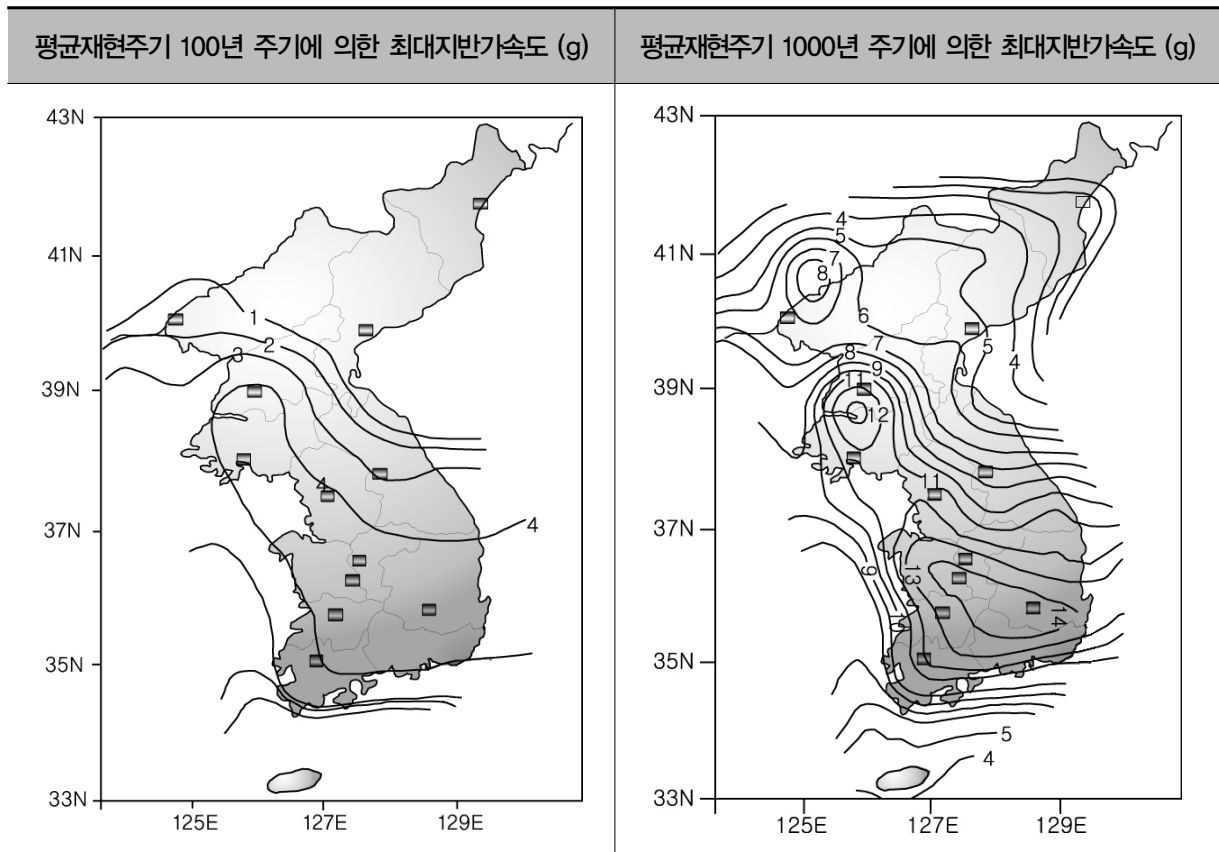
지 반 분 류	지반종류의 호칭	상부 30 m에 대한 평균 지반특성		
		전단파 속도 (m/s)	SPT N값	비배수전단강도 (kPa)
SA	• 경암 지반	1,500 초과	–	–
SB	• 보통암 지반	760~1,500		
SC	• 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360~760	> 50	> 100
SD	• 단단한 토사지반	180~360	15~50	50~100
SE	• 연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
SF	• 부지고유의 특성평가가 요구되는 지반 (액상화 가능 지반, 예민 점토, 이탄, 유기성 점토, 고소성 점토)			

– 설계응답스펙트럼

지 반 분 류	Ca		Cv	
	지진구역 I	지진구역 II	지진구역 I	지진구역 II
SA	0.09	0.05	0.09	0.05
SB	0.11	0.07	0.11	0.07
SC	0.13	0.08	0.18	0.11
SD	0.16	0.11	0.23	0.16
SE	0.22	0.17	0.37	0.23

주): 표준설계응답스펙트럼의 완전한 결정을 위해 요구되는 지진계수

● 지진 재해도에 의한 방법



● 설계지반가속도 산정

- 설계성능목표의 적용 및 근거

구 분	내진등급	설계성능수준	지반운동 수준	비고
적 용	내진1등급	붕괴방지수준	평균재현주기 1,000년	

- 설계지반가속도 산정

구 분	지진구역 계수	위험도 계수	설계지진계수	적용 수평지진 계수
지진구역 기준	0.11 (경상북도)	1.4 (재현주기 1,000년)	0.154g	$0.154g \times 0.5$ $= 0.08 \text{ g}$
지진재해도 기준			0.135g	
적용 근거	• 본 과업구간은 경상북도에 위치하고 있으므로 지진구역계수 산정 시 지진구역이 I에 해당하므로 지진구역계수는 0.11을 적용하였으며, 내진성능 기준은 재현주기 1,000년에 해당하는 붕괴방지수준을 고려하여 재현주기에 따른 위험도 계수 1.4를 적용하여 0.154g를 산정 후 등가정적해석을 고려해 50% 적용(항만 및 어항시설의 내진 설계표준서, 1999)함.			

③ 비탈면 설계지반정수

- 비탈면 안정성 검토를 위해 사용된 설계지반정수는 “중앙선 도담~영천 복선전철 제5공구 지반조사보고서 (제5장 지반정수산정)”를 참조하였음.

가. 쌓기재 설계지반정수

구 분	단위중량(γ_t , kN/m ³)	점착력(C, kN/m ²)	내부마찰각(ϕ , °)
토 사	19	15	25
암버력	20	0	37

나. 토사, 풍화암 및 기반암 설계지반정수

지 층		단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (Em, MPa)	포아송비 (ν)	투수계수 (cm/s)
매립, 전답층		18	0	26	20	0.37	6.0×10^{-4}
농적층		17	2	27	23	0.34	4.0×10^{-4}
퇴적층	점성토	17.5	30	0	5	0.38	5.0×10^{-6}
	모 래	18	5	27	15	0.35	5.0×10^{-4}
	자 갈	19	0	32	40	0.33	2.0×10^{-3}
풍화토		19.5	19	29	50	0.32	3.0×10^{-4}
풍화암		20	29	31	200	0.31	2.0×10^{-4}
연 암		23	250	33	2,400	0.28	8.5×10^{-5}
경 암		26	1,800	39	10,000	0.23	9.5×10^{-6}
단층파쇄대		20	50	32	450	0.30	5.0×10^{-4}

다. 불연속면 강도정수

구 분	점착력(C, kN/m ²)	내부마찰각(ϕ , °)	비 고
퇴 적 암	22	26	

1.1.4 비탈면 안정해석 방법

① 토사비탈면의 안정해석

기본방향	- Modified Bishop방법 및 Janbu방법을 고려할 수 있는 Soilworks를 이용 - 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 한계평형이론 (Limit Equilibrium Theory)을 적용 - 한계평형해석 방법의 목적은 활동면을 따라 파괴발생이 예상되는 토체의 안정성을 해석하는 것으로 검토를 단순화하기 위한 조건을 가정함 - 지하수위는 Soilworks의 연계해석을 활용하여 우기시 지하수위 영향을 검토하고 프로그램에 적용
------	---

가. 해석방법에 따른 해석 조건

방 법	가 정	한계평형 조건		
		모멘트	수직력	수평력
Fellenius	절편력의 합은 각 절편의 바닥에 평행	○	×	×
Bishop	절편력간 작용력은 수평방향으로 작용	○	○	×
Janbu	절편축력은 수평방향	○	○	○
Morgenstern-Price	$X/E=\lambda f(X)$	○	○	○
Spencer 간편법	X/E 는 모든 비탈면에 대해 일정	○	○	○

나. Bishop 간편법 해석 원리

구분	Bishop 간편법
안 전 율 계 산 식	$F_s = \frac{\sum_{n=1}^p (cb_n + W_n \tan \phi + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{m} a(n)}{\sum_{n=1}^p (\sin a_n)}$ $ma(n) = \cos a_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin a_n}{F_s}$ - W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³) - c : 흙의 점착력(tf/m²) ± : 흙의 내부 마찰각(°) - a : 경사각 (°) - b : 절편 폭(m) - ΔT : $T_n - T_{n+1}$
비 탈 면 해 석 기본원리	

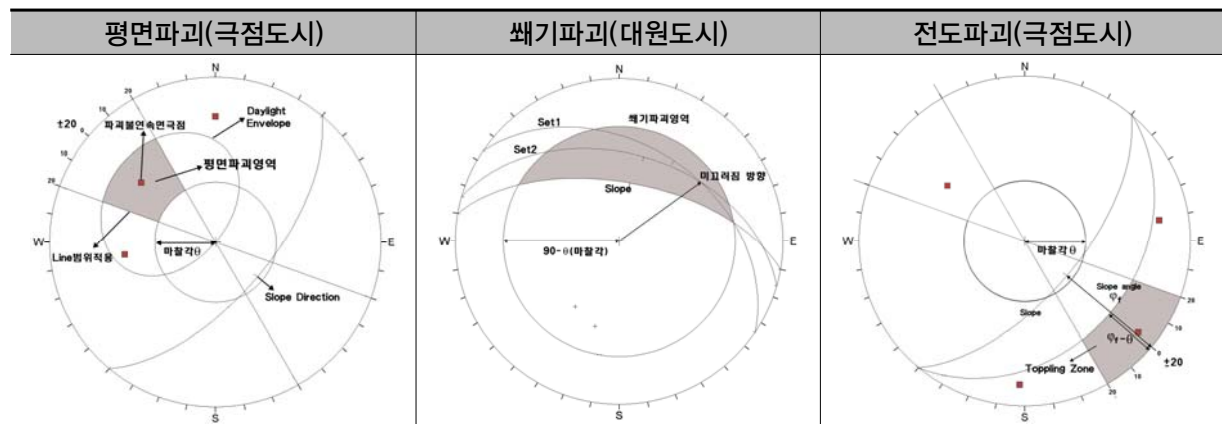
다. Soilworks 프로그램 개요

구 분	내 용
개요	- MIDAS사에서 개발 - 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 한계평형이론(Limit Equilibrium Theory)을 적용하였다. - 강우에 의한 지하수위 변화는 프로그램에 내장된 연계해석을 활용하여 적용.
특성	- 보강사면에 작용하는 보강재의 인장력, 활동면의 전단저항력 및 전단응력의 한계평형 상태를 고려하여 검토 - 지반을 별개 또는 요소의 수직 절편으로 나누어 정적인 평형상태에 대한 해석하는 방법으로 설계 시 적용되는 다양한 기하학적인 변수를 고려할 수 있으며, 지반과 보강재 사이의 거동해석이 실제와 가깝다는 장점을 가진다.
유사 프로그램	TALREN, Slope/w, Stable 5
적 용	깎기 비탈면

② 암반비탈면의 안정해석

가. 평사투영해석

기본방향	- 평사투영망(Stereonet)상에 비탈면의 방향, Daylight Envelope, 마찰각, 불연속면의 방향 등을 도시하여 비탈면의 기하학적인 안정성을 해석하는 방법 - 평면파괴와 전도파괴에 대한 해석은 극점 도시(Pole Plot)의 방법, 썰기파괴의 경우에는 대원 도시(Great Circle Plot)법을 이용
------	---



나. 평면파괴에 대한 한계평형해석(평사투영해석 결과가 불안정한 경우에 실시)

기본방향	- 평면파괴의 한계평형해석은 MIDAS사에서 개발한 Soilworks를 이용 - 해석비탈면은 절취 전 비탈면이므로 인장균열의 유무와 깊이를 인지할 수 없고 비탈면내 최대 규모의 하중 작용 시(건기 시) 파괴형태를 고려하기 위하여 적용 - 그러나 현장 시공 시 발파암 절취과정에서 인장균열이 발견될 경우, 파괴면 상의 수압에 의한 양압력(U, V)의 작용으로 비탈면 안전율이 저하될 가능성이 있으므로 반드시 비탈면 안정검토를 실시, 비탈면 경사를 조정하여야 함
------	--

인장균열을 고려하지 않는 경우의 평면파괴 한계평형해석

해석에 사용된 가정		• W, U, V 등은 미끄럼 블록의 중심을 통하여 작용 • 인장균열 고려시, 인장균열의 깊이는 수직방향으로 발달하며, zw 깊이까지 물이 차있음 • 단위두께를 가진 슬라이스로 가정 • 파괴부분의 양측면은 미끄럼 저항이 없는 자유면으로 가정
인장균열 미 고 려	건기/우기시	$F = \frac{c \cdot A + [W \cos \psi_p - U] \tan \phi}{W \sin \psi_p}$
	지진시	$F = \frac{c \cdot A + [W (\cos \psi_p - \alpha \sin \psi_p) - U] \tan \phi}{W (\sin \psi_p + \alpha \cos \psi_p)}$
인장균열 고 려	건기/우기시	$F = \frac{c \cdot A + [W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p] \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p}$
	지진시	$F = \frac{c \cdot A + [W (\cos \psi_p - \alpha \sin \psi_p) - U - V \sin \psi_p] \tan \phi}{W (\sin \psi_p + \alpha \cos \psi_p)}$

1.2 갱구 비탈면 현황

1.2.1 비탈면 현황

구 분	구 간		깎기고 (m)	지반조사 현황		비 고
				시추공	지하수위 (GL, -m)	
9공구	비봉-시점	배면 비탈면	13.0	NTB-28	-13.80 (연암)	
		좌측 비탈면	29.8	NTB-28	-13.80 (연암)	
		우측 비탈면	9.0	NTB-28	-13.80 (연암)	

구 분	구 간		깎기고 (m)	지반조사 현황		비 고
				시추공	지하수위 (GL, -m)	
10공구	청로-종점	배면 비탈면	18.1	NTB-62	-17.50 (경암)	
		좌측 비탈면	9.2	NTB-62	-17.50 (경암)	
		우측 비탈면	15.3	NTB-62	-17.50 (경암)	
	순호-시점	배면 비탈면	25.6	NTB-65	-16.30 (경암)	
		좌측 비탈면	23.1	NTB-65	-16.30 (경암)	
		우측 비탈면	16.3	NTB-65	-16.30 (경암)	

구 분	구 간		깎이고 (m)	지반조사 현황		비 고
				시추공	지하수위 (GL, -m)	
10공구	순호-종점	배면 비탈면	26.2	NTB-70	-5.00 (연암)	
		좌측 비탈면	25.9	NTB-70	-5.00 (연암)	
		우측 비탈면	36.1	NTB-70	-5.00 (연암)	
	수북-시점	배면 비탈면	23.2	NTB-73	-16.30 (경암)	
		좌측 비탈면	29.3	NTB-73	-16.30 (경암)	
		우측 비탈면	11.1	NTB-73	-16.30 (경암)	

1.2.2 분석 대상 비탈면 선정

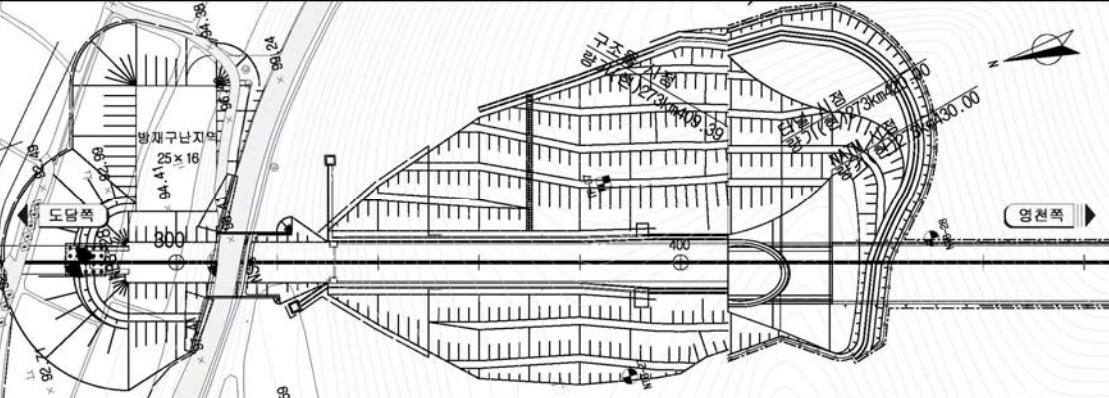
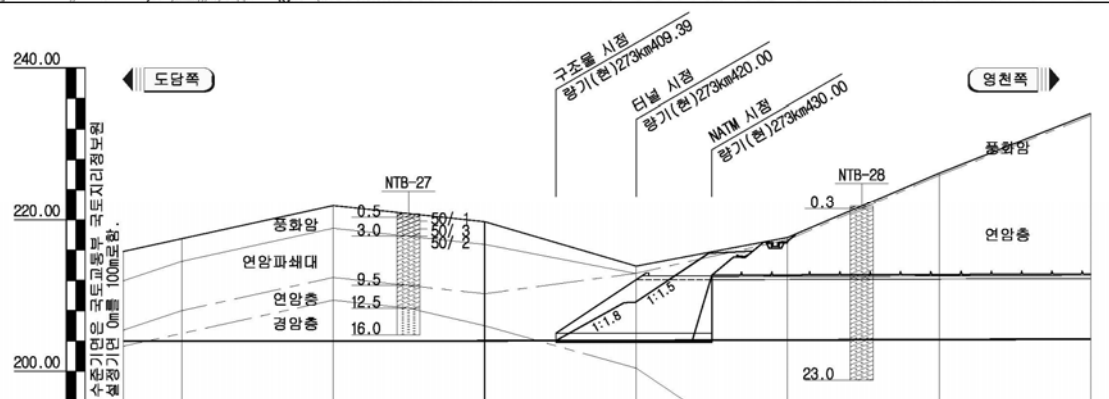
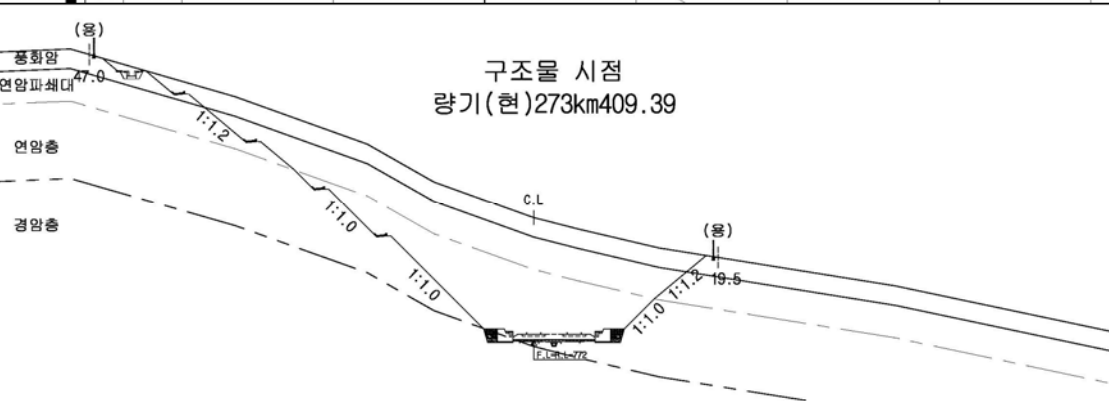
구 분	구 간		비탈면 현황(m)			분석대상		깎기 옹벽	비 고
			전체 높이	토사/ 풍화암	암반	토사/ 풍화암	암반		
9공구	비봉-시점	배면 비탈면	13.0	0.5	12.5	○	○		
		좌측 비탈면	29.8	11.8	18.0	○	○		
		우측 비탈면	9.0	4.6	4.4	○	○		

구 분	구 간		비탈면 현황(m)			분석대상			비 고
			전체 높이	토사/풍화암	암반	토사/풍화암	암반	깎기 옹벽	
10공구	청로-종점	배면 비탈면	18.1	0.5	17.6	-	○		
		좌측 비탈면	9.2	0.1	9.1	-	○		
		우측 비탈면	15.3	0.1	15.2	-	○		
	순호-시점	배면 비탈면	25.6	11.2	14.4	-	○		
		좌측 비탈면	23.1	0.5	22.6	-	○		
		우측 비탈면	16.3	1.2	15.1	-	○		

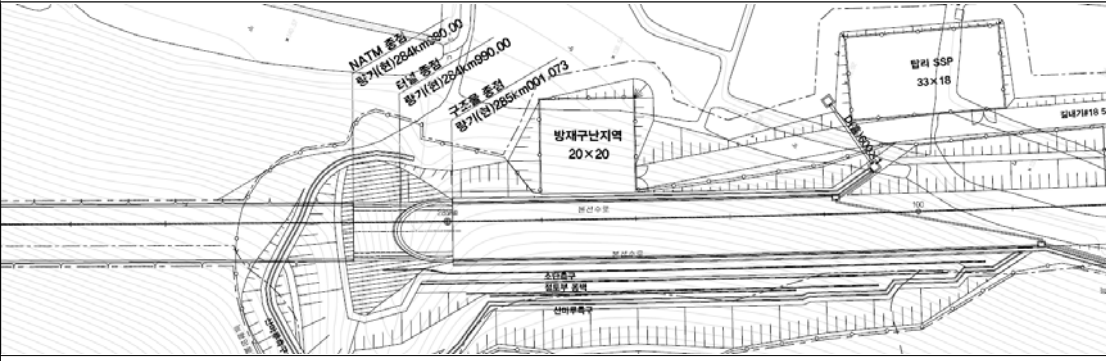
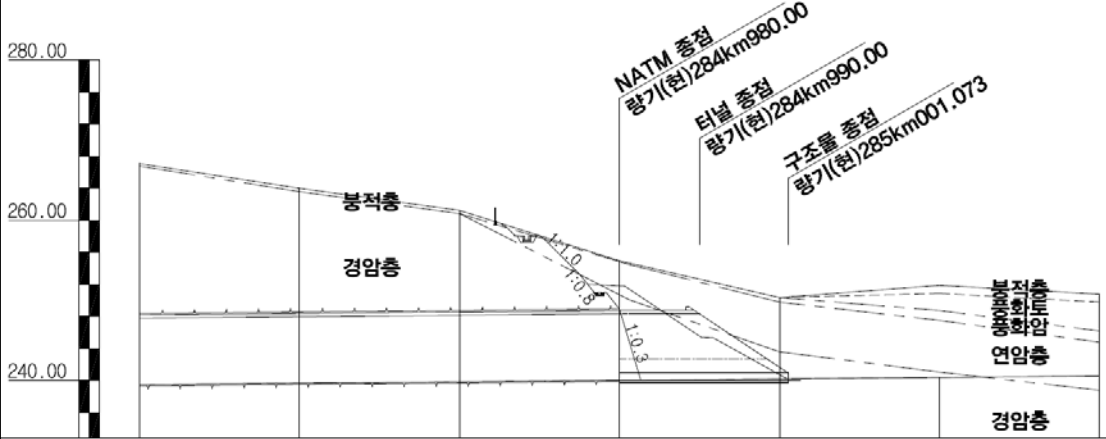
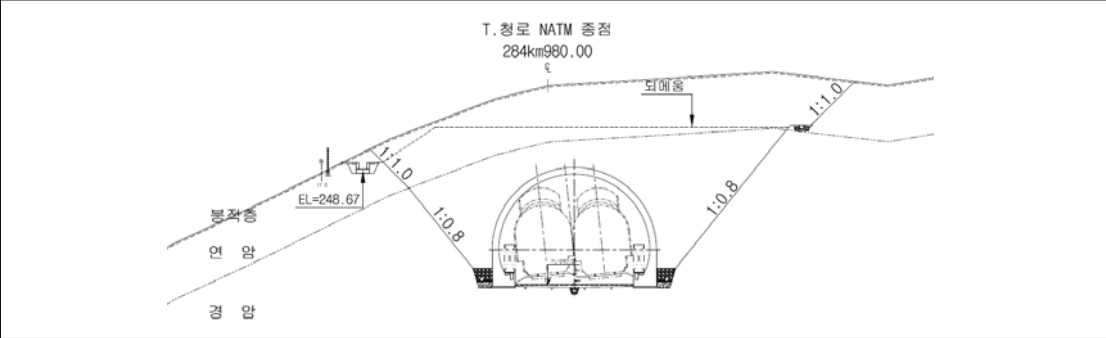
구 분	구 간		비탈면 현황(m)			분석대상			비 고
			전체 높이	토사/ 풍화암	암반	토사/ 풍화암	암반	깎기 옹벽	
10공구	순호-종점	배면 비탈면	26.2	1.0	25.2	○	○		
		좌측 비탈면	25.9	1.0	24.9	○	○		
		우측 비탈면	36.1	2.2	33.9	○	○		
	수북-시점	배면 비탈면	23.2	0.2	23.0	-	○		
		좌측 비탈면	29.3	0.3	29.0	-	○		
		우측 비탈면	11.1	0.2	10.9	-	○		

1.2.3 검토 대상 비탈면 현황

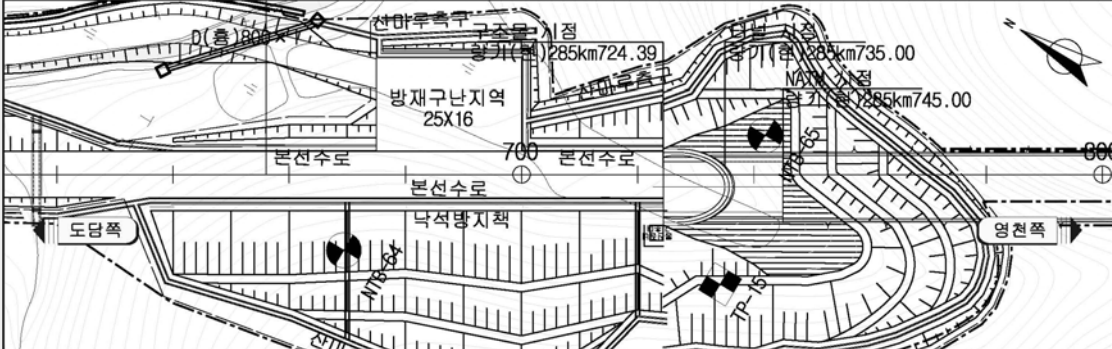
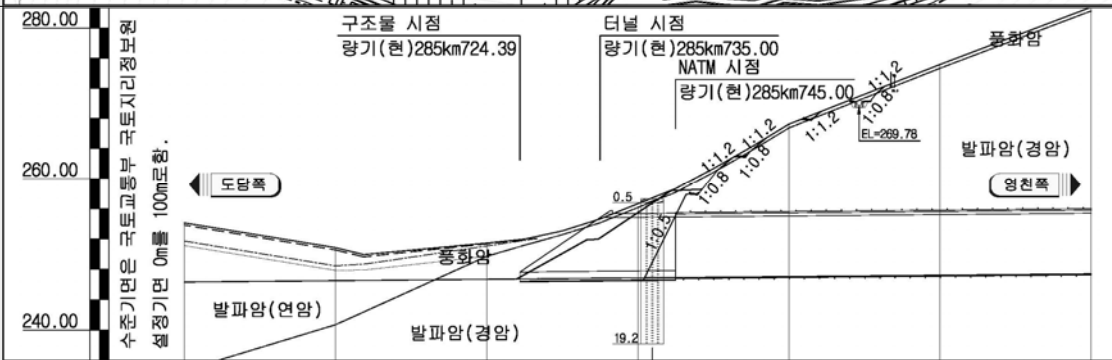
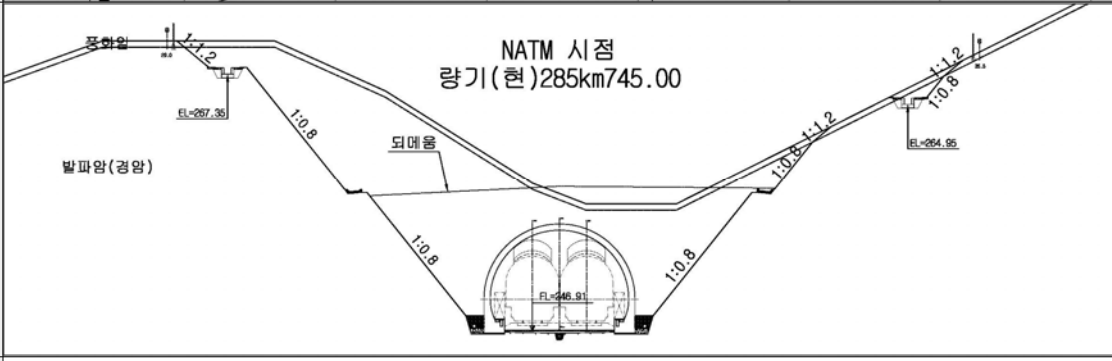
가. 비봉터널-시점부(9공구)

구 분	시점부
지형조건	• 경사가 23°로 완만하나 편경사 지형임
지층조건	• 지표면에서 풍화암 0.3~3.0m, 연암 9.5~22.7m이상, 경암 3.5m이상 확인됨
평면현황	
종단현황	
횡단현황	
갱문형식	• 원통절개형 갱문
특기사항	• NATM 시점부는 풍화암이 얇게 분포하며 이후 연암이 터널 바닥부까지 분포함
검토의견	• 비탈면내 지층 상태는 NTB-28 자료 활용 • 최대 비탈면 높이가 형성되는 지점을 대표단면으로 선정 • 해석적용 지하수위는 침투해석을 실시하여 적용

나. 청로터널-종점부(10공구)

구 분	종 점 부
지형조건	• 경사가 급한 급경사 지형임
지층조건	• 지표면에서 심도 0.1m까지 풍화토 이후 연경암 분포
평면현황	
종단현황	
횡단현황	
갱문형식	• 원통절개형(개착터널=10.0m, 갱문=10.0m)
특기사항	• NATM 종점 천단부는 봉적층 및 발파암(연암), 바닥부는 발파암(경암) 지반에 위치하고 있음
검토의견	• 비탈면내 지층 상태는 NTB-62 자료 활용 • 최대 비탈면 높이가 형성되는 지점을 대표단면으로 선정 • 해석적용 지하수위는 침투해석을 실시하여 적용

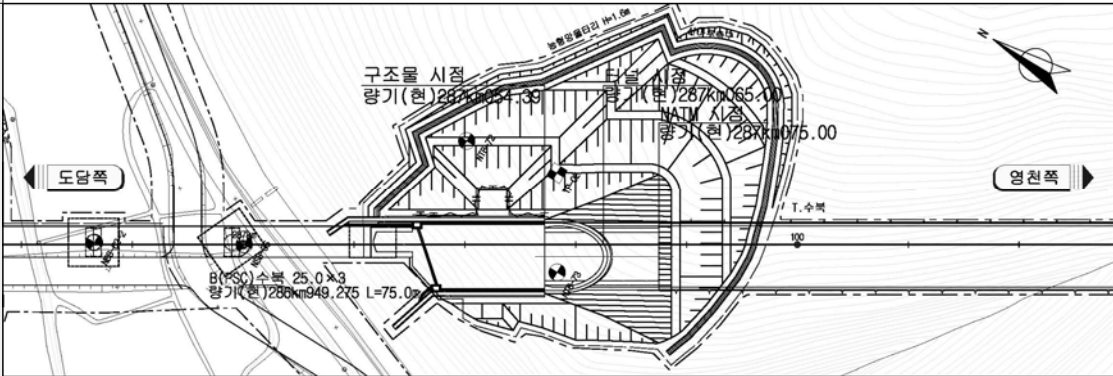
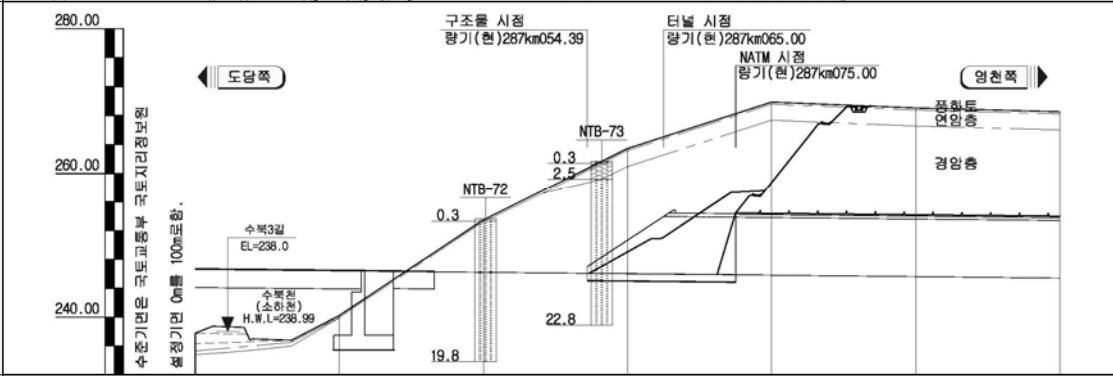
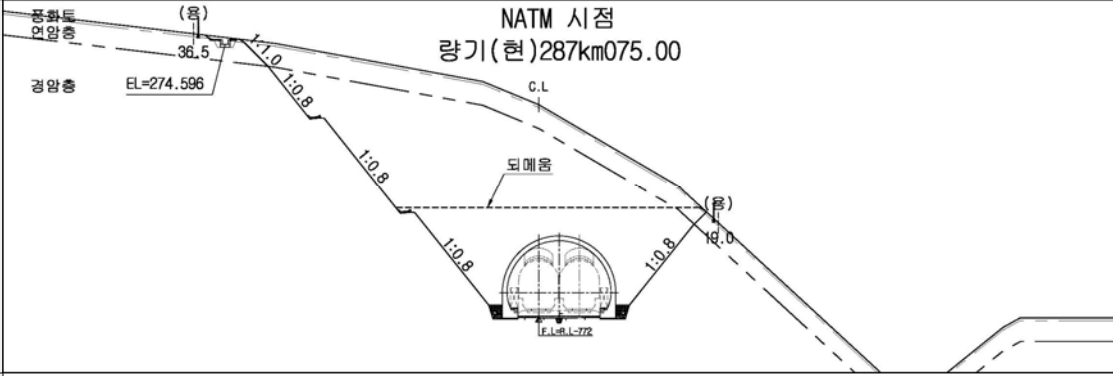
다. 순호터널-시점부(10공구)

구 분	시 점 부
지형조건	경사가 급한 급경사 지형임
지층조건	지표면에서 심도 0.5m까지 풍화암, 0.5m 이후 경암 분포
평면현황	
종단현황	
횡단현황	
갱문형식	원통절개형(개착터널=10.0m, 갱문=10.0m)
특기사항	NATM 시점 천단부는 풍화암 및 발파암(경암), 바닥부는 발파암(경암) 지반에 위치하고 있음
검토의견	- 비탈면내 지층 상태는 NTB-65 자료 활용 - 최대 비탈면 높이가 형성되는 지점을 대표단면으로 선정 - 해석적용 지하수위는 침투해석을 실시하여 적용

라. 순호터널-종점부(10공구)

구 분	종 점 부
지형조건	• 경사가 급한 급경사 지형임
지층조건	• 지표면에서 심도 0.5m까지 토사, 6.1m까지 연암, 6.1m 이후 경암 분포
평면현황	
종단현황	
횡단현황	
갱문형식	• 원통절개형 갱문
특기사항	• NATM 종점 천단부는 풍화암 및 발파암(연암), 바닥부는 발파암(경암) 지반에 위치하고 있음
검토의견	• 비탈면내 지층 상태는 NTB-70 자료 활용 • 최대 비탈면 높이가 형성되는 지점을 대표단면으로 선정 • 해석적용 지하수위는 침투해석을 실시하여 적용

라. 수북터널-시점부(10공구)

구 분	시 점 부
지형조건	• 경사가 18°로 완만하나 편경사 지형임
지층조건	• 지표면에서 풍화토 0.30m, 연암 0.0~2.2m, 경암 19.5~20.3m이상 확인됨
평면현황	
종단현황	
횡단현황	
갱문형식	• 원통절개형 갱문
특기사항	• NATM 시점부는 풍화암이 얇게 분포하며 이후 연암, 경암순이며 터널구간에 경암이 분포함
검토의견	• 비탈면내 지층 상태는 NTB-73 자료 활용 • 최대 비탈면 높이가 형성되는 지점을 대표단면으로 선정 • 해석적용 지하수위는 침투해석을 실시하여 적용

1.3 강우침투 해석으로 지하수위 상승 검토

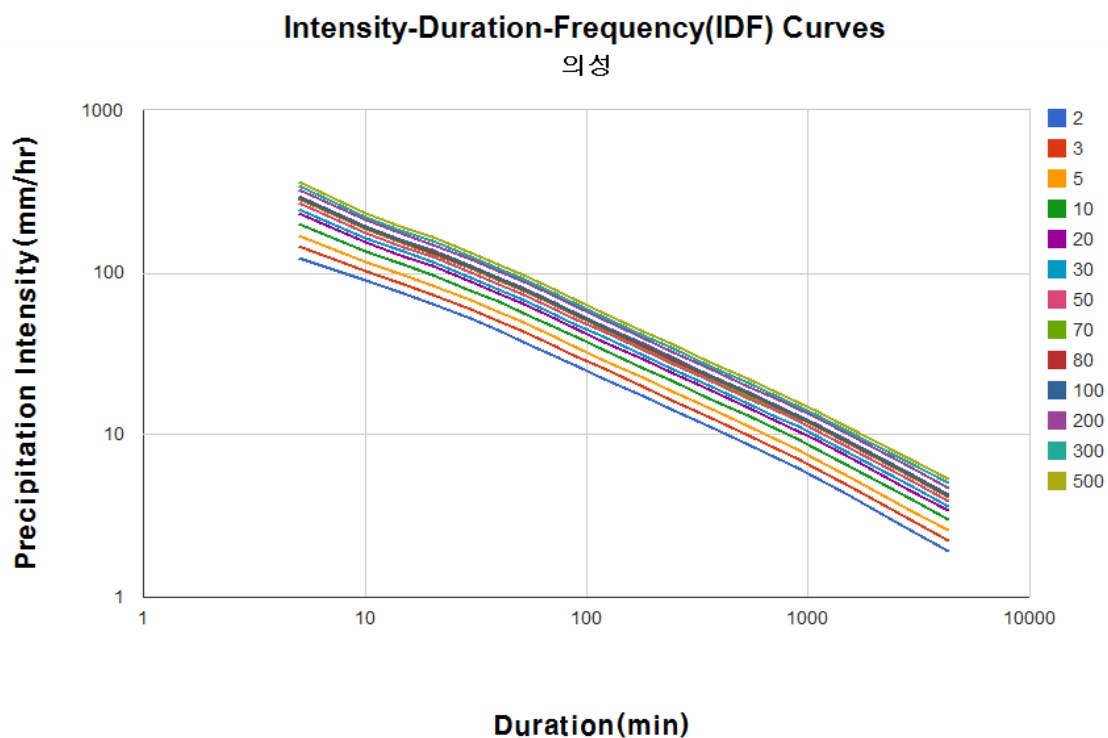
1.3.1 해석방법

- 비탈면 안정검토 시 우기시의 지하수위를 적용하기 위하여 강우침투해석 실시
- 과업구간 인근지역인 의성 기상관측 자료 이용
- 강우침투해석 방법 : 강우강도 값을 적용 강수지속시간 48hr을 적용 후 지하수위 영향 분석
- 적용프로그램 : MIDAS Soilworks
- 강우침투해석을 통해 최대 지하수위 상승고 산정
- 우기시 및 지진시에 대한 비탈면 안정성검토시 지하수위 상승을 고려하여 변경 지하수위 적용
- 강우강도 값은 한국확률강우량정보(국토교통부) 사이트 참조 (<http://www.k-idf.re.kr>)

1.3.2 적용강우 강도

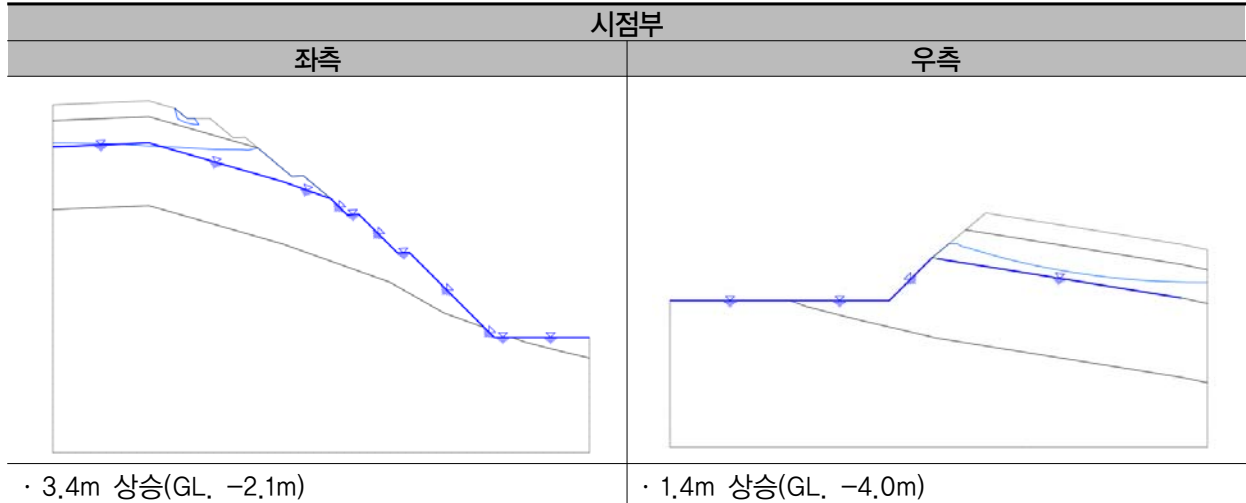
구 분	관측소	발생빈도(년)	지속시간(hr)	강우강도 (mm/hr)	비고
강우강도	의성관측소(기상청)	100	48	9.50	

의성 강우강도 그래프



1.3.3 침투 해석 결과

가. 비봉터널



나. 순호터널



1.3.4 구간별 지하수위 설계 적용현황(토사/풍화암 안정성 검토시)

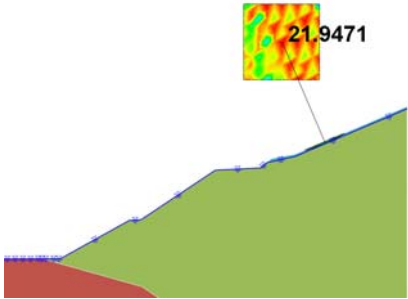
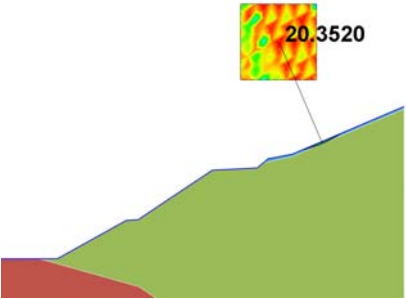
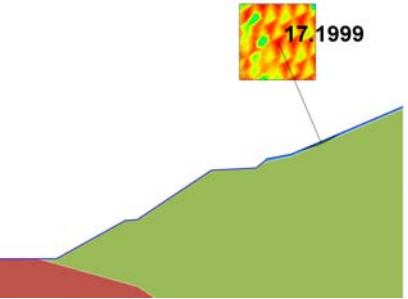
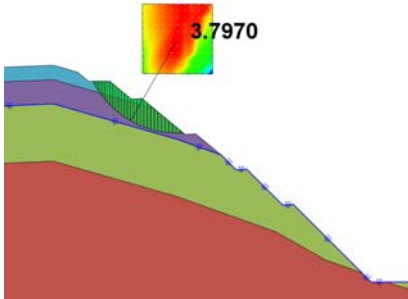
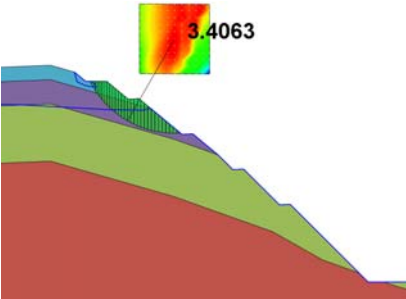
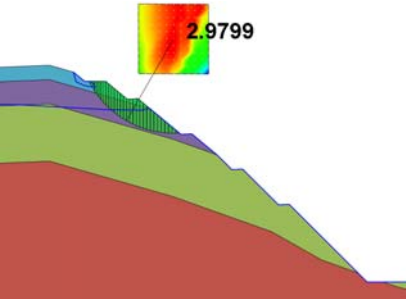
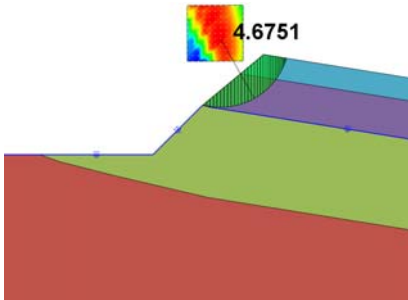
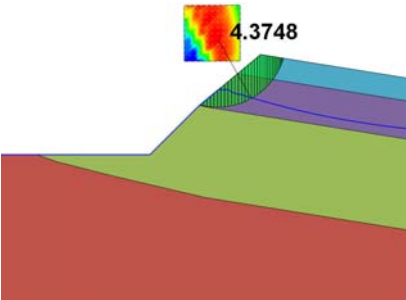
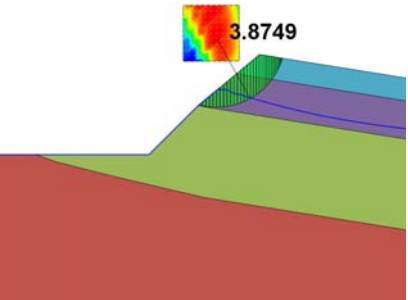
구 분			지하수위(GL. -m)		상 승 고(m)
			초기 지하수위	상승후 지하수위	
비봉터널	시점부	좌측	3.2m	2.1m	1.1m
		우측	5.5m	4.0m	1.5m

구 분			지하수위(GL. -m)		상 승 고(m)
			초기 지하수위	상승후 지하수위	
순호터널	종점부	배면	0.5m	원지반	0.5m
		좌측	1.0m	원지반	1.0m
		우측	1.0m	원지반	1.0m

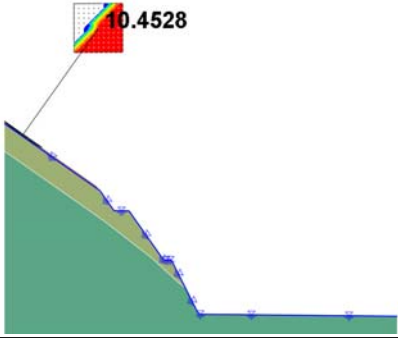
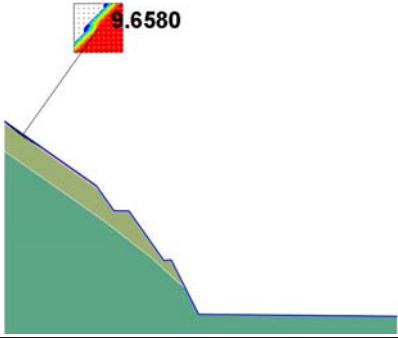
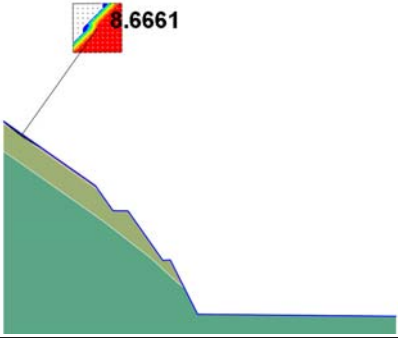
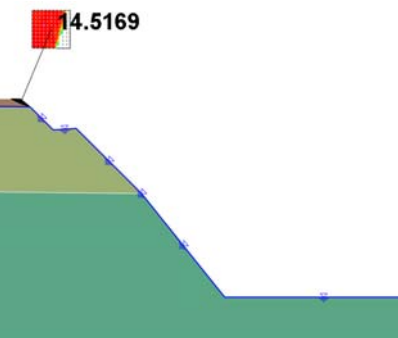
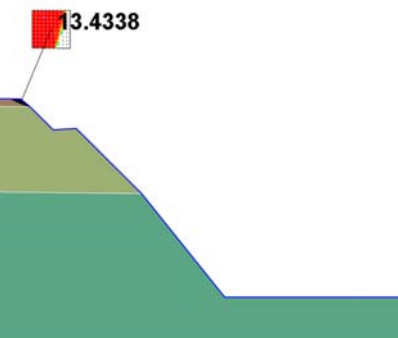
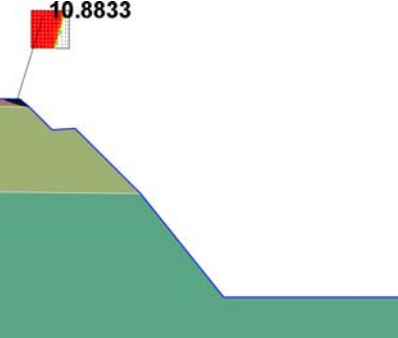
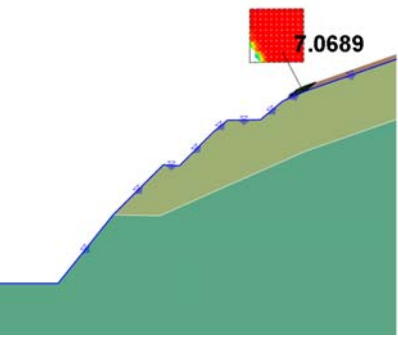
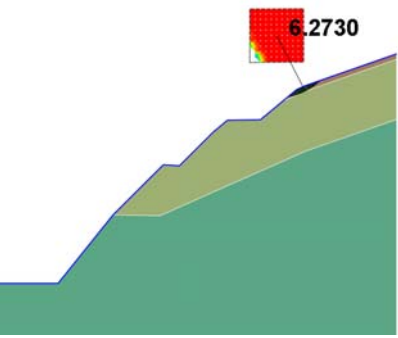
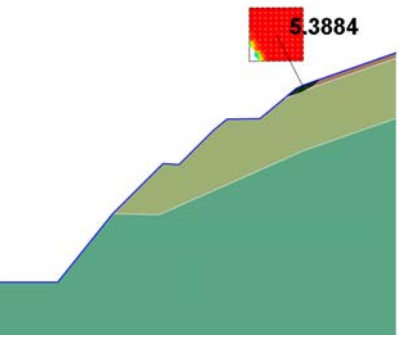
1.4 비탈면 안정성 검토

1.4.1 토사/풍화암 안정성 검토

가. 비봉터널 시점부

배면 비탈면		
건기시	우기시	지진시
		
· $F_s=21.95 > 1.5$ ∴O.K	· $F_s=20.35 > 1.3$ ∴O.K	· $F_s=17.20 > 1.1$ ∴O.K
좌측 비탈면		
건기시	우기시	지진시
		
· $F_s=3.80 > 1.5$ ∴O.K	· $F_s=3.41 > 1.3$ ∴O.K	· $F_s=2.98 > 1.1$ ∴O.K
우측 비탈면		
건기시	우기시	지진시
		
· $F_s=4.68 > 1.5$ ∴O.K	· $F_s=4.37 > 1.3$ ∴O.K	· $F_s=3.87 > 1.1$ ∴O.K

나. 순호터널 종점부

배면 비탈면		
건기시	우기시	지진시
		
· $F_s=10.45 > 1.5 \therefore O.K$	· $F_s=9.66 > 1.3 \therefore O.K$	· $F_s=8.67 > 1.1 \therefore O.K$
좌측 비탈면		
건기시	우기시	지진시
		
· $F_s=14.52 > 1.5 \therefore O.K$	· $F_s=13.43 > 1.3 \therefore O.K$	· $F_s=10.88 > 1.1 \therefore O.K$
우측 비탈면		
건기시	우기시	지진시
		
· $F_s=7.07 > 1.5 \therefore O.K$	· $F_s=6.27 > 1.3 \therefore O.K$	· $F_s=5.39 > 1.1 \therefore O.K$

1.4.2 암반 비탈면 안정성 검토

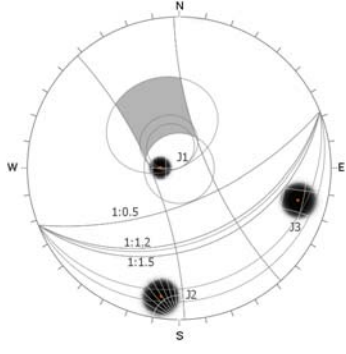
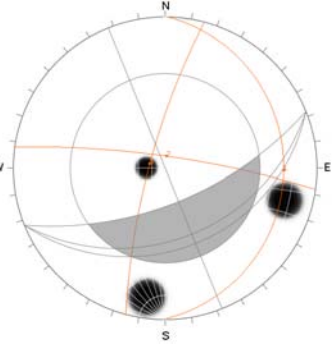
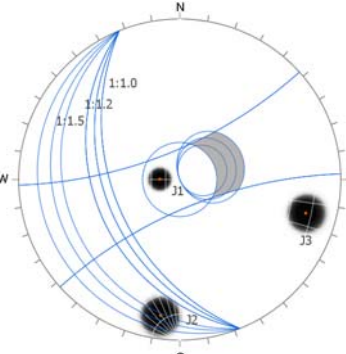
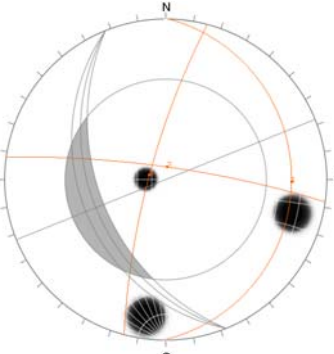
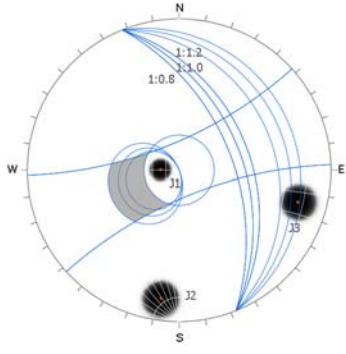
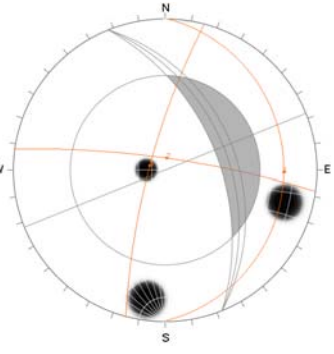
가. 비봉터널 시점부

구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
배 면 비탈면			경사방향	15	
			J1	10/121	
			J2	74/183	
			J3	80/32	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정

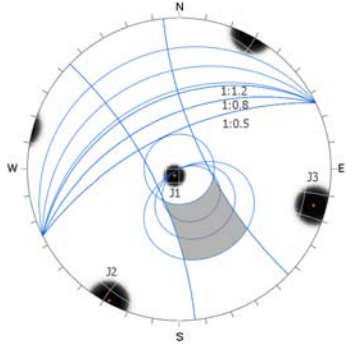
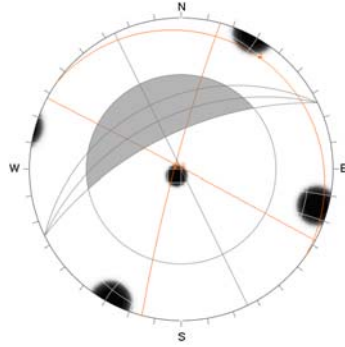
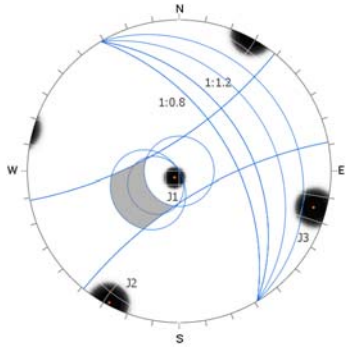
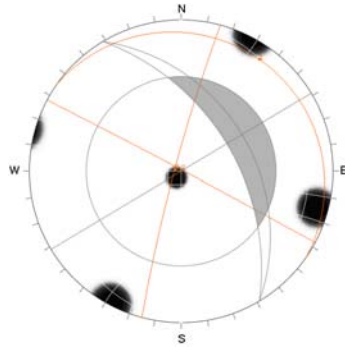
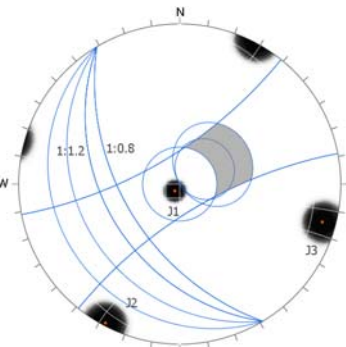
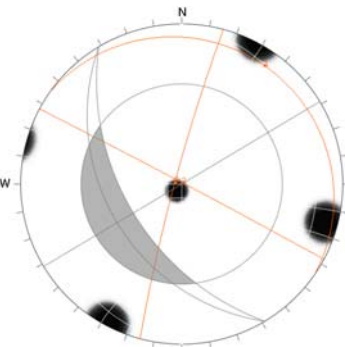
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
좌 측 비탈면			경사방향	105	
			J1	10/121	
			J2	74/183	
			J3	80/32	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정

구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
우 측 비탈면			경사방향	285	
			J1	10/121	
			J2	74/183	
			J3	80/32	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정

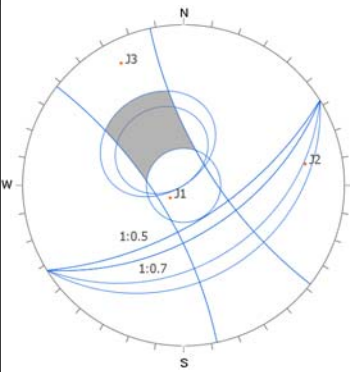
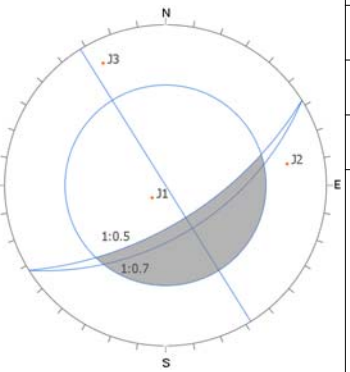
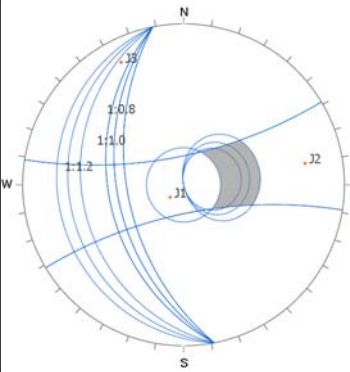
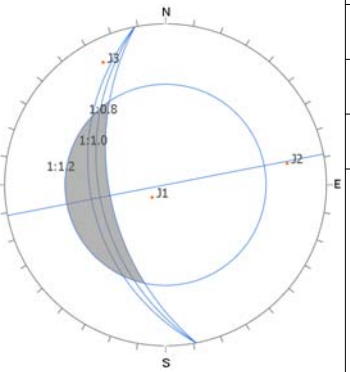
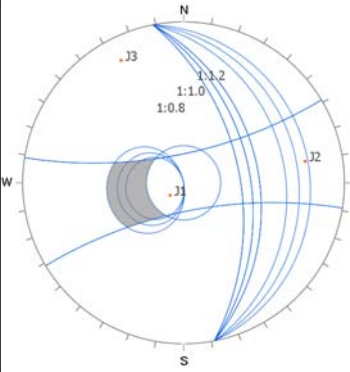
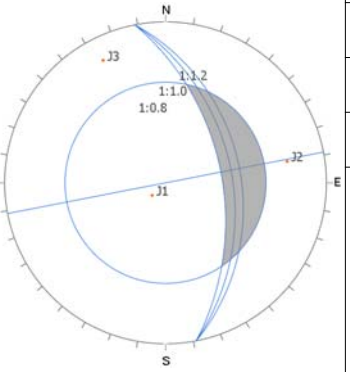
나. 청로터널 종점부

구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
배 면 비탈면			경사방향	158	
			J1	14/91	
			J2	81/8	
			J3	78/285	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
좌 측 비탈면			경사방향	248	
			J1	14/91	
			J2	81/8	
			J3	78/285	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
우 측 비탈면			경사방향	68	
			J1	14/91	
			J2	81/8	
			J3	78/285	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정

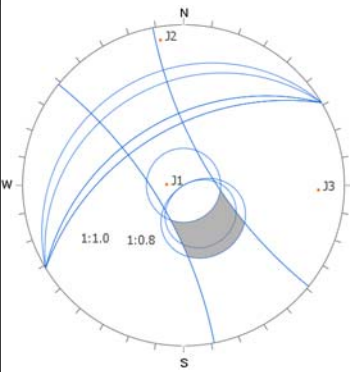
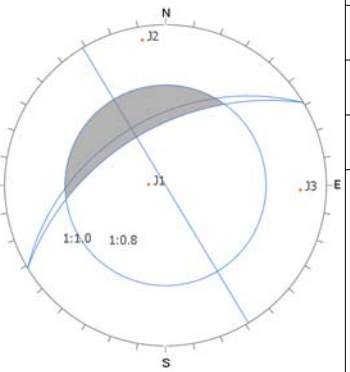
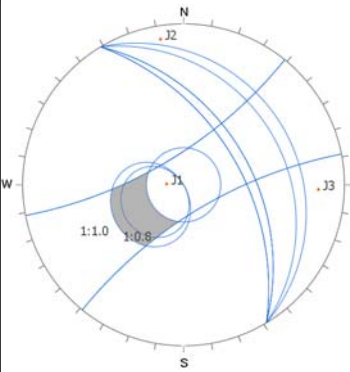
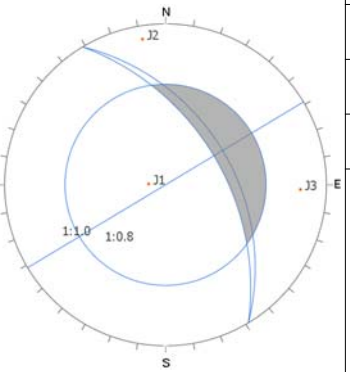
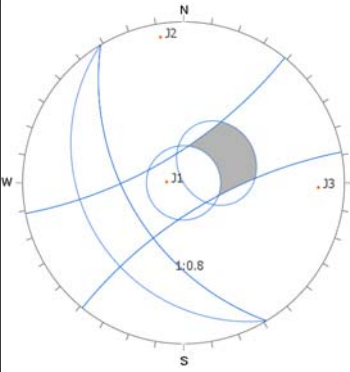
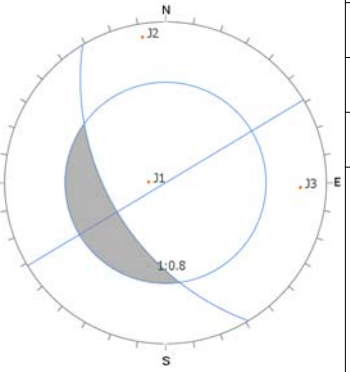
다. 순호터널 시점부

구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
배 면 비탈면			경사방향	334	
			J1	6/35	
			J2	89/28	
			J3	85/285	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
좌 측 비탈면			경사방향	59	
			J1	6/35	
			J2	89/28	
			J3	85/285	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
우 측 비탈면			경사방향	239	
			J1	6/35	
			J2	89/28	
			J3	85/285	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정

라. 순호터널 종점부

구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
배 면 비탈면			경사방향	148	
			J1	13/47	
			J2	75/260	
			J3	81/153	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
좌 측 비탈면			경사방향	259	
			J1	13/47	
			J2	75/260	
			J3	81/153	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
우 측 비탈면			경사방향	79	
			J1	13/47	
			J2	75/260	
			J3	81/153	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	불안정
				썰 기	안 정

마. 수북터널 시점부

구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
배 면 비탈면			경사방향	329	
			J1	12/93	
			J2	85/171	
			J3	80/272	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
좌 측 비탈면			경사방향	59	
			J1	12/93	
			J2	85/171	
			J3	80/272	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정
구 분	평면 및 전도파괴	썰기파괴	검 토 결 과		
우 측 비탈면			경사방향	239	
			J1	12/93	
			J2	85/171	
			J3	80/272	
			검 토	평 면	안 정
				전 도	안 정
				썰 기	안 정

1.4.3 비탈면 안정성 검토 결과

가. 토사/풍화암 비탈면 안정성 검토 결과

구 분			비탈면 안전율			평 가
			건 기(Fs)1.5)	우 기(Fs)1.3)	지진시(Fs)1.1)	
비봉터널	시점	배면	21.95 > 1.5	20.35 > 1.3	17.20 > 1.1	안정
		좌측	3.80 > 1.5	3.41 > 1.3	2.98 > 1.1	안정
		우측	4.68 > 1.5	4.37 > 1.3	3.87 > 1.1	안정

구 분			비탈면 안전율			평 가
			건 기(Fs)1.5)	우 기(Fs)1.3)	지진시(Fs)1.1)	
순호터널	종점	배면	10.45 > 1.5	9.66 > 1.3	8.67 > 1.1	안정
		좌측	14.52 > 1.5	13.43 > 1.3	10.88 > 1.1	안정
		우측	7.07 > 1.5	6.27 > 1.3	5.39 > 1.1	안정

나. 암반 비탈면 안정성 검토 결과

구 분		기울기	평사투영 해석결과			한계평형 해석결과			평가
			평면	쌓기	전도	건 기 (Fs)1.5)	우 기 (Fs)1.3)	지진시 (Fs)1.1)	
비봉터널 시점	배면	1 : 1.5	×	×	×	-	-	-	안정
		1 : 1.8	×	×	×	-	-	-	안정
	좌측	1 : 1.0	×	×	×	-	-	-	안정
		1 : 1.2	×	×	×	-	-	-	안정
	우측	1 : 1.0	×	×	×	-	-	-	안정
		1 : 1.2	×	×	×	-	-	-	안정

구 분		기울기	평사투영 해석결과			한계평형 해석결과			평가
			평면	쌓기	전도	건 기 (Fs)1.5)	우 기 (Fs)1.3)	지진시 (Fs)1.1)	
청로터널 종점	배면	1 : 0.5	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.5	×	×	×	—	—	—	안정
	좌측	1 : 1.0	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.5	×	×	×	—	—	—	안정
	우측	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.0	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
순호터널 시점	배면	1 : 0.5	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
	좌측	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
	우측	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정

구 분		기울기	평사투영 해석결과			한계평형 해석결과			평가
			평면	쌓기	전도	건 기 (Fs)1.5)	우 기 (Fs)1.3)	지진시 (Fs)1.1)	
순호터널 종점	배면	1 : 0.5	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 0.7	×	×	×	—	—	—	안정
	좌측	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.0	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
	우측	1 : 0.8	×	×	○	—	—	—	랜덤 R/B
		1 : 1.0	×	×	○	—	—	—	랜덤 R/B
		1 : 1.2	×	×	×	—	—	—	안정
수북터널 시점	배면	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.0	×	×	×	—	—	—	안정
	좌측	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정
		1 : 1.0	×	×	×	—	—	—	안정
	우측	1 : 0.8	×	×	×	—	—	—	안정

1.5 비탈면 보강 및 보호공법

1.5.1 비탈면 보강 공법

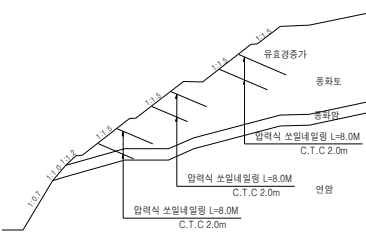
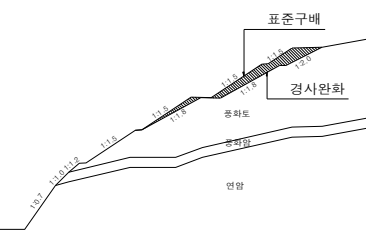
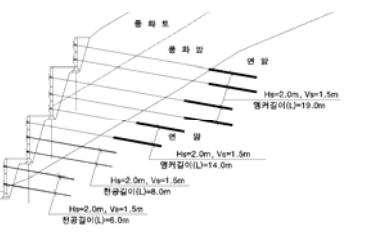
(1) 설계 기본사항

- 비탈면 보강공법의 선정에 있어서는 보강공에 기대되는 효과에 대해 충분히 파악함과 동시에 경제성, 자연환경적 차원을 고려한 최적공법을 선정하여야 한다.
- 보강공법 구간은 무한비탈면 구간 및 터널갱구부 구성에 따른 절취 최소화를 필요한 구간에 대해서 보강공법 적용 후 안정성 검토를 하여야 한다.

(2) 비탈면 보강공법의 종류 및 특징

공법종류		공 법 개 요	적 용 성
저 항 력 증 가	억지 말뚝	•활동토괴를 관통하여 말뚝을 지지층까지 일렬로 설치 → 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평하중으로 기반암에 전달 •말뚝과 주변지반 사이의 상호작용에 의해서 지지력이 결정되며 여타 억지공법과 같이 이용	•강관말뚝의 사용으로 공사비가 비싸며, 여타 보강공법과 병행시 추가적 공사비 소요 •공사비 측면상 매우 불리
	앵커 공법	•고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공내에 삽입, 그 라우트를 주입 → 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부의 하중을 정착지반에 전달	•일반적으로 사용되는 공법으로서 적용효과가 양호하며 국내 시공실적도 많으므로 적용가능
	Soil Nailing	•인장응력, 전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 지반내에 조밀한 간격으로 삽입 → 원지반의 전체적 전단력, 활동력을 증가	•비탈면의 얇은 파괴 우려시 적용 •공사비가 저렴, 시공성도 좋음
	옹벽공	•비탈면의 선단부 옹벽 설치로 안전율증가 •옹벽자체만으로도 안정성 확보가 어려운 경우 앵커나 수동말뚝과 같은 여타 보강공법과 병행	•고가의 공사비 및 시공상 어려움이 있어 적용 곤란
	록볼트	•록볼트 설치, 그라우팅 실시 → 지반변위억제 •소규모 암체의 전도파괴, Sliding에 효과적	•공사비 다소 고가, 녹화공법적용 불리 •전도 및 암반거동 발생방지 효과
	Tension Net	•표면에 고장력 와이어네트를 정착, 록볼트 병행 •볼트, 너트 응력분산 → 낙석방지 및 암반보강	•표층부 보강효과는 뛰어나지만, 심부활동에는 미비 •암반의 표층부 낙석예상구간에 효과적
활 동 력 증 가	압성토공	•비탈면의 선단부에 토사 흠쌓기 •연약지반상 흠쌓기시에 많이 적용, 산지에 위치한 비탈면의 경우 접근성이나 현장용지 문제에 있어 시공성 불리	•연약지반상에서 흠쌓기시 적용성이 양호, 산지에서는 시공성 열악함 •안정성 확보효과가 불확실
	기울기 완화	•비탈면 기울기 완만히 조정 → 토괴의 자중감소 •굴착량 과다 증대 우려 •현장 지형에 따라서 무한비탈면 발생 가능성	•적용효과가 확실, 일반적으로 도로 땅깍기비탈면에서 흔히 적용 •땅깍기량 과다발생 → 자연훼손
	깎기공	•활동토괴 중 일부를 제거하여 활동력 저감 •대규모 비탈면의 경우 굴착량이 과대, 경제성, 시공성 불리 → 중소규모의 비탈면에 적용	•적용효과가 불확실하여 자연경관 훼손이 심각

(3) 비탈면 보강공법의 선정 및 적용

구 분	Soil Nailing	기울기 완화	절토부 옹벽
공 법 개 요	보강재를 프리스트레싱 없이 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여, 원지반 자체의 전체적인 전단강도를 증대시키는 공법	절토면의 기울기를 완화시켜 활동력을 감소시킴으로써 비탈면의 안정을 도모하는 공법	보강재(네일, 앵커, 강관등)로 원지반 보강 후 PC패널에 인장력을 도입함으로써 비탈면 및 옹벽의 안정성을 확보하는 공법
개 요 도			
장 점	- Nail 1개가 부담하는 안전도가 낮으므로 부분적으로 재료품질에 문제가 발생되어도 전체 안정에 미치는 영향은 상대적으로 적음 - 시공방법이 간단하고 작업시 소음, 진동이 적어 도심 근접 시공에 적용성이 우수	- 보강공이 없으므로 공중이 단순 - 안전도모가 가장 확실 - 시거확보 및 안정감 부여 - 장래 도로확장시 시공 용이 - 문제 발생시 대책 용이 - 굴착된 토사는 유용토로 활용	- 소단을 두어 식재가 가능하므로 부드러운 이미지 연출이 가능함 - 지층 변화에 따라 네일과 앵커를 병행적으로 경제적이고 안전한 지반보강이 가능 - 다양한 크기의 기성패널 보유 및 별도 제작 가능
단 점	- 영구비탈면에 적용시 Nail의 부식방지 대책 필요. - 추가 표면처리공법이 요구됨 - 비탈면내 배수처리를 위한 수발공 필요	- 추가 땅깍기량 과다 - 추가 땅깍기 예상 부위에 기존 구조물 존재시 적용 곤란 - 추가 토지확보 필요 - 산림 및 주변경관 훼손	- 곡선선형이 클 경우 다소 부자연스러움 - 공사비 고가 - 전문시공이 필요함
적용	○	○	△
적용 계획	- 표준경사 적용시 비탈면 안정성을 확보하지 못하는 구간에 대하여 구간별 시공성, 안정성 및 경제성을 고려하여 기울기완화 및 Soil Nailing공법을 우선적으로 검토함. - 기울기완화 및 Soil Nailing공법 적용시에 대절토 비탈면이 발생하는 구간은 환경훼손 최소화 및 비탈면 안정성 확보를 위해서 절토부 옹벽을 적용함.		

※ 상기 기술된 적용계획 이외의 공법의 경우에도 비탈면 검토결과 또는 현장여건에 따라 동등이상의 공법은 적용 가능

1.5.2 비탈면 보호공법

(1) 개 요

- 장기간 방치된 비탈면은 우수에 의한 침식 및 세굴로 인하여 토사유출, 풍화작용, 동상작용 등으로 비탈면의 안정성 저하가 예상되므로 비탈면 보호공법을 계획하도록 하여야 하며, 불연속면을 따라 형성된 암괴의 이탈에 의한 낙석발생을 초기에 방지하여 안정성을 확보하도록 하여야 함
- 또한, 주변 환경과의 조화를 주목표로 설정하여 경제성, 시공성 뿐만 아니라 친환경성도 고려하여야 함
- 따라서, 장기적인 비탈면 안정성을 확보하기 위하여 다양한 지반조건에 적용이 가능하고 빠른 시일내 녹화를 도모할 수 있으며, 시공성 및 경제성 측면에서 유리한 공법을 선정함

(2) 비탈면 보호공법의 종류 및 특징

1) 비탈면 보호공법의 종류

피 복 공	• 비탈면을 식물, 인조섬유, 슛크리트 등으로 피복함으로써 우수에 의한 침식, 표층붕락, 세굴 등을 방지하며, 미관상 효과가 좋음	• 비탈면보호용 식생공법 • 암반비탈면 녹화공법
구조물공	• 침식, 세굴, 풍화 및 동상으로부터 비탈면을 보호하기 위하여 비탈면 표면에 블록이나 구조물을 설치	• 붙임공 • 콘크리트 격자공 • 콘크리트 뿔어붙이기 공법
배 수 공	• 지표로부터 우수가 지중으로 유입되는 것을 방지하고 지중에 침투한 침투수를 신속히 배제하여 비탈면의 파괴를 방지하는 공법	• 붙임공 • 콘크리트 격자공 • 콘크리트 뿔어붙이기 공법

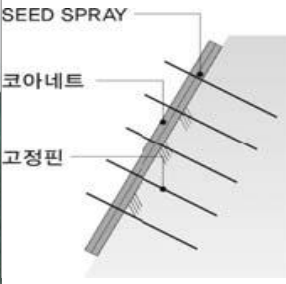
2) 비탈면 배수공

- 쌓기부와 깎기부 또는 자연 비탈면을 유하하는 표면수나 비탈면으로부터 침투한 침투수를 배제하여 지하수위의 상승이나 토괴 자중증가로 인한 비탈면의 파괴를 방지

공 법	개 요	특 징
지하 배수구	• 지표면에 가까운 침투수를 모아 배수	• 용수상황에 따라 화살형이나 W형으로 배치하고 비탈면파괴 방지를 위해 Filter Mat와 비탈격자공 등을 겸용
비탈면 망태공	• 용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈 끝에 설치	• 망태공은 지름, 길이, 간격 등이 어느 정도 자유스러워 원형, 부채형, Bedding 등의 여러 형태가 있음
수평 배수공법	• 횡방향으로 유공관 등을 삽입하여 배수	• 규모가 큰 지반 활동지대에서는 배수터널이나 여러 본의 보정공을 조합하여 처리

(3) 비탈면 보호공법 선정

1) 토사비탈면

구분	검토 1안	검토 2안	검토 3안	검토 4안
공법	평 때	줄 때	거적덮기+시드스프레이	코아네트+시드스프레이
공법 개요	• 땅깍기 비탈면 등에 평때를 붙여 일시에 녹화하는 공법	• 흙쌓기 비탈면 등 기울기가 1:1보다 완만한 비탈면에 줄때를 붙여 일시에 녹화하는 공법	• 잔디씨앗을 보조재와 함께 물에 혼합하여 비탈면에 뿌리는 공법	• 코코넛 섬유질을 이용하여 직조한 것을 시드스프레이를 시행한 면위에 덮는 공법
개념도				
안정성	• 활착 전, 우수 등의 세굴에 대한 저항성이 거의 없음	• 활착 전, 우수 등의 세굴에 대한 저항성이 거의 없음	• 활착 전, 우수 등의 세굴에 대한 저항성이 약함	• 저항성이 거적덮기+시드스프레이에 비해 40% 증가
적용토질	• 토사	• 토사	• 토사-풍화토	• 토사~풍화토
장점	• 시공과 즉시 피복 • 침식되기 쉬운 토질에 사용 • 경관이 양호	• 비탈면 조기녹화 • 시공용이 • 성장능력 우수	• 대단위 면적을 빠르게 녹화 • 작업속도가 빠름 • 시공장소의 구매를 받지 않음	• 우수에 의한 저항성 우수 • 수분 보습력이 있음 • 경량으로 시공성 양호
단점	• 토질조건에 따라 활착성 부족 • 시공후 유지관리 필요	• 대단위 시공시 잔디 수급 곤란 • 평때공보다 조기녹화 느낌	• 우수에 의한 유실가능성 있음 • 강풍예상지역 적용 불리	• 코아네트의 수축률이 큼 • 고정핀 시공시 주의
경제성	• 면적당 : 약1.3만원/M ²	• 면적당 : 약0.7만원/M ²	• 면적당 : 약0.5만원/M ²	• 면적당 : 약1.1만원/M ²
시공실적	• 일반적인 공법이나 최근 철도 시공실적이 부족	• 일반적인 공법이나 최근 철도 시공실적이 부족	• 호남고속철도 전체공구 • 울산-포항 전체공구 • 포항~삼척 1~5공구 • 성남~여주 전체공구	• 일반적인 공법이나 최근 철도 시공실적이 부족
적용계획	• 시공성과 유지관리 측면에서 유리하며, 경제성이 우수한 공법선정이 필요함 • 최근 철도 시공실적이 풍부하며, 시공성 및 경제성이 유리한 거적덮기+시드스프레이 공법 적용			

2) 암반비탈면

구분	덩굴식물 식재	식생기반재 뽐어붙이기		
	검토 1안	검토 2안	검토 3안	검토 4안
공법	덩굴식물 식재공법	녹생토공법	녹화토공법 (Texsol공법)	원지반식생정착공법 (CODRA)
공법 개요	• 등나무, 담쟁이덩굴 등을 일정간격을 두고 시공 하는 공법	• 철망 설치후 종자가 혼 합된 토양개양체를 뽐 어붙이는 공법	• 녹생토 공법과 유사하 며, 폴리에스터 장섬유 를 혼합후 시공	• 생육보조재와 종자, 접 착을 위한 고분자수지 등을 이용하는 공법(개 량 Seed Spray)
현 황 도				
적용 범위	• 풍화암, 연암, 경암	• 풍화암, 연암, 경암	• 풍화암, 연암, 경암	• 절리 및 균열이 발달한 암절개지
장 점	• 경제성 및 시공성 우수 • 장기적인 녹화효과 우수 • 급경사지 시공가능	• 조기녹화가 빠르다 • 시공적용사례가 다수임 • 강우에 대한 유실이 적음	• 조기녹화가 빠르다 • 낙석방지 효과 비교적 우수 • 암반 표면 균열 억제효 과 우수	• 절리, 균열, 요철이 발달 한곳, 용출수가 나오는 곳에 녹화효과가 탁월 • 주변 식생과 조화되는 경관 형성
단 점	• 녹화에 필요한 많은 시 간 필요 • 주변식생과의 조화 불일 치로 식생의 다양성 저 해	• 토양 고결화로 종자사용 제한적 • 토양이 고결화되어 식물 의 쇠퇴가 빠르다	• 하수오니로 인한 토양오 염 야기 • 외래 종자 사용으로 인 한 토종식물 교란 우려	• 요철이 없는 취약 암반 비탈면을 보호기능은 다소 떨어짐
경 제 성	• 면 적 당 : 약3.9만원/M	• 면 적 당 : 약4.8만원/M ²	• 면 적 당 : 약5.2만원/M ²	• 면 적 당 : 약4.3만원/M ²
시공 실적	• 호남고속철도 전체공구 • 울산-포항 전체공구 • 포항~삼척 1~5공구	• 경부고속철도 4공구 • 광교택지 부지조성공사 2,3공구	• 전라선 12공구 • 호남선(송정리~목포) 2공구 • 경인선(구로~인천) 3공구	• 경부고속철도 6-1공구 • 오창-진천 도로 확포장 공사
특허 및 신 기술		• 공단신기술 2011-0006호 (2011.12) • 특허 제10-0719099호 (2007.05)	• 특허 제06-31380호 (2006.06)	• 건설신기술 제310호 (2001.11)

2) 암반비탈면(계속)

구분	식생기반재 뽐어붙이기		
	검토 5안	검토 6안	검토 7안
공법	후리줄녹산토 녹화공법 (암반비탈면 공법)	법면녹화배토습식공법 (ASNA)	자연표토복원공법
공법 개요	•녹산토 및 향토식물 종자를 혼합하여 시공하는 공법	•P.V.C코팅망 등으로 지반안정후 배토조성물로 시공하는 공법	•자연토양을 주재료로 조성한 녹화기반 토양을 암반비탈면에 취부하는 녹화 공법
현 황 도			
적용 범위	•풍화암, 연암, 경암	•풍화암, 연암, 경암	•풍화암, 연암, 경암
장 점	•척박토사지역, 화강풍화토지역 등에 적용 가능	•경관지역 조기녹화와 낙석방지 효과	•식물생육에 적합한 상태로 재현 •주변과 조화되는 식물군락 조성
단 점	•경제성 및 시공성 불량 •식생기반재의 갈라진 틈이 없을 경우 적용 불가	•착생할 수 있는 기반재가 약함 •경암, 화강풍화암, 이암 및 사암 녹화 시 주의 필요	•공사비 다소 고가 •매끄러운 암반비탈면 적용성 다소 불리
경 제 성	•면 적 당 : 약5.6만원/M ² (동일시점 별도 견적 예정)	•면 적 당 : 약4.3만원/M ² (동일시점 별도 견적 예정)	•면 적 당 : 약7.7만원/M ² (동일시점 별도 견적 예정)
시공 실적	•인천공항철도 차량기지 •평해-기성 국도확장공사	•일산차량기지 •산인농공단지	•진주-광양 6공구 •경전선(삼랑진~진주) 1공구 •성남~여주 5공구
특허 및 신 기술	•공단신기술 2008-0022호 (2008.11) •건설신기술 제503호(2006.10)	•건설신기술 제49호(1997.02) •특허 제099279호(1993.09)	•공단신기술 2010-0013호 (2010.07) •건설신기술 제193호(1999.07) •특허 제166164호(1998.09) •특허 제166343호(1998.09)
적용 계획	•일반적인 암반비탈면 구간에는 시공이 간편하며 경제성이 우수한 덩굴식물식재 적용 •Slaking 및 차별풍화에 취약한 퇴적암(사암, 셰일) 암반비탈면 구간에는 풍화방지를 위해 조기녹화가 가능한 식생기반재 뽐어붙이기 공법을 적용하며 뽐어붙이기 두께는 현장 여건 및 비탈면 기울기 등을 고려하여 적용함 •설계도서는 덩굴식물 식재공법 및 식생기반재 뽐어붙이기 공법의 개념도 및 일반도를 제시하되, 현장특성에 따라 공사감독의 승인을 득한 후 변경이 가능하도록 도면의 NOTE 및 보고서에 수록하여 최적의 공법적용이 가능하도록 조치		