

제1편 강구 비탈면 설계

중앙선 도담~영천 철도건설(안동~영천간) 제5공구 노반 재설계

제 1 장 강 구 비 탈 면 설 계

제 1 장

갱구 비탈면 설계

중앙선 도담~영천 철도건설(안동~영천간) 제5공구 노반 재설계

- 1.1 개 요
- 1.2 갱구 비탈면 현황
- 1.3 강우침투해석으로 지하수위 상승 검토
- 1.4 비탈면 안정성 검토

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

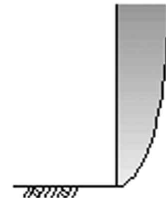
비탈면의 붕괴 특성

- 얇은 표층 붕괴 : 경사진 비탈면이 침식되기 쉬운 흙으로 구성되고 배수가 미비할 때 점차적으로 넓은 표층붕괴로 진행
- 깊은 흩쌓기 붕괴 : 고함수비의 점성토로 높은 흩쌓기를 급속히 시공하면 흩쌓기대 내부에 과잉 간극수압이 발생하여 흩쌓기의 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)

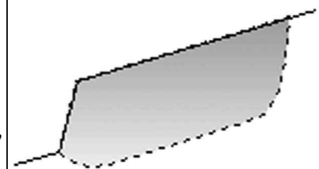
- 연직으로 깎은 비탈면의 일부가 낙하하거나 굴러서 아래로 떨어지는 현상
- 이때 떨어지는 물체와 비탈면 사이의 전단변위는 거의 없고 낙하속도가 대단히 빠름



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



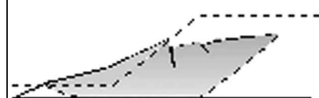
직선활동



원호활동

③ 유동(Flows)

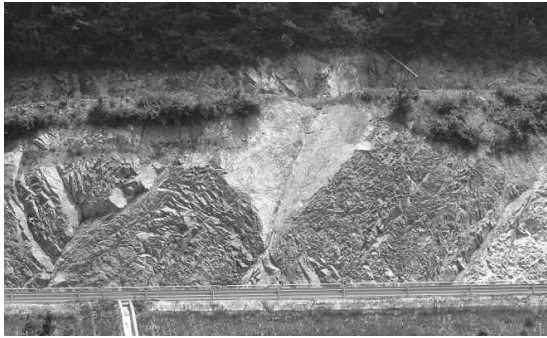
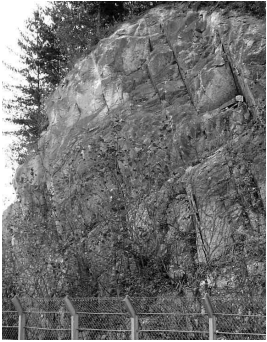
- 활동깊이에 비해서 활동되는 길이가 대단히 길며, 소성적인 활동이 지배적
- 활동속도가 대단히 느린 경우가 많으며, 지반은 Creep 변형 발생됨



복합활동

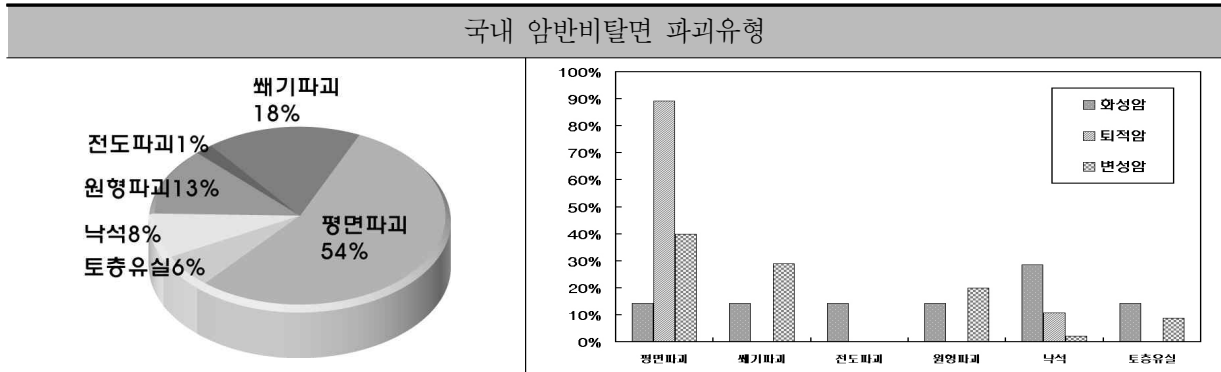
다. 암반비탈면의 파괴형태

- 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), 켜기파괴(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 위치 하학적 조건 까다로워 비교적 드물게 발생
켜기 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

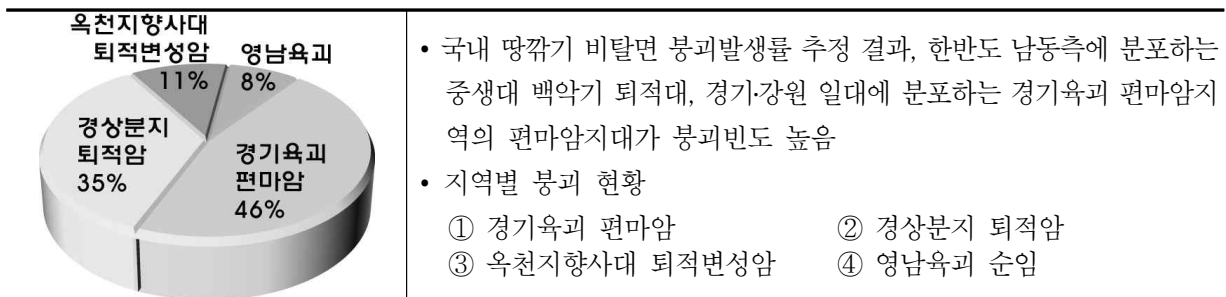
가. 국내 땅깁기비탈면 붕괴사례 분석



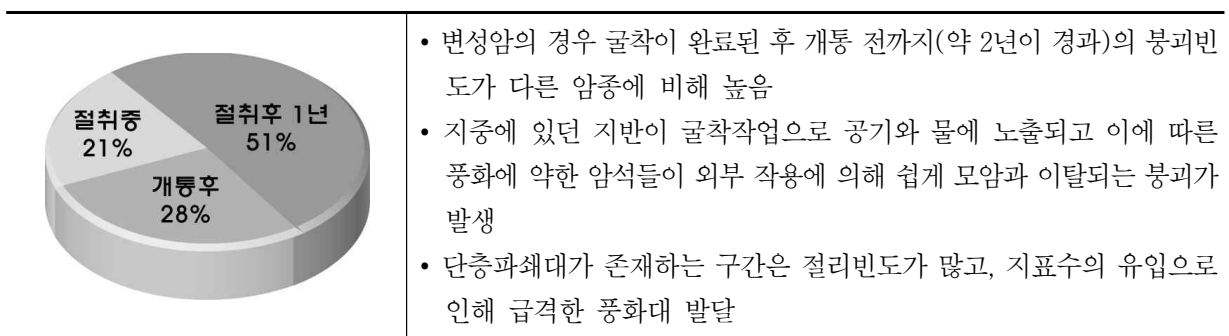
• 한국지반공학회, 1996

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

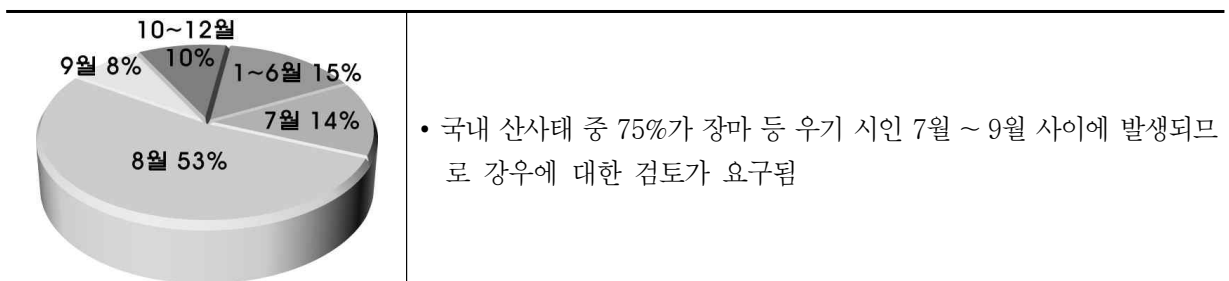
나. 지역별 붕괴 현황



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

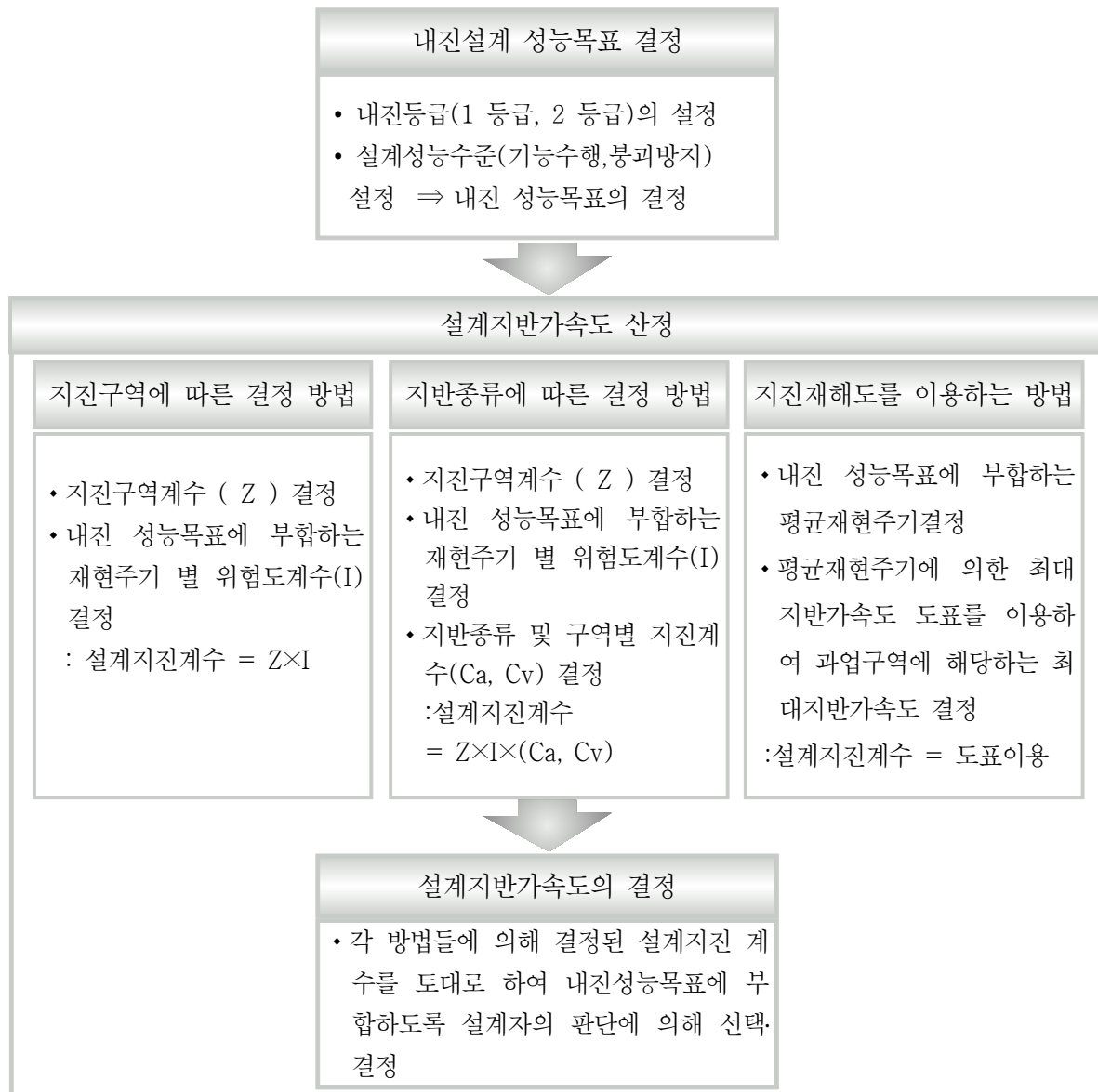
구 분	기준안전율	지하수위	적용근거
건 기 시	$F_s > 1.5$	지하수가 없는 것으로 해석	건설공사 비탈면 설계기준 (국토해양부, 2011.12)
우 기 시	$F_s > 1.2$ or $F_s > 1.3$	- 강우침투해석 결과 원지반 포화시($F_s > 1.2$) - 강우침투해석 결과 원지반 아래 수위 적용시 ($F_s > 1.3$)	
지 진 시	$F_s > 1.1$	우기시 조건과 동일하게 적용	
단 기	$F_s > 1.1$	장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용	

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	내진 II 등급	내진 I 등급	—	—	—	—
붕괴방지	—	—	—	내진 II 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

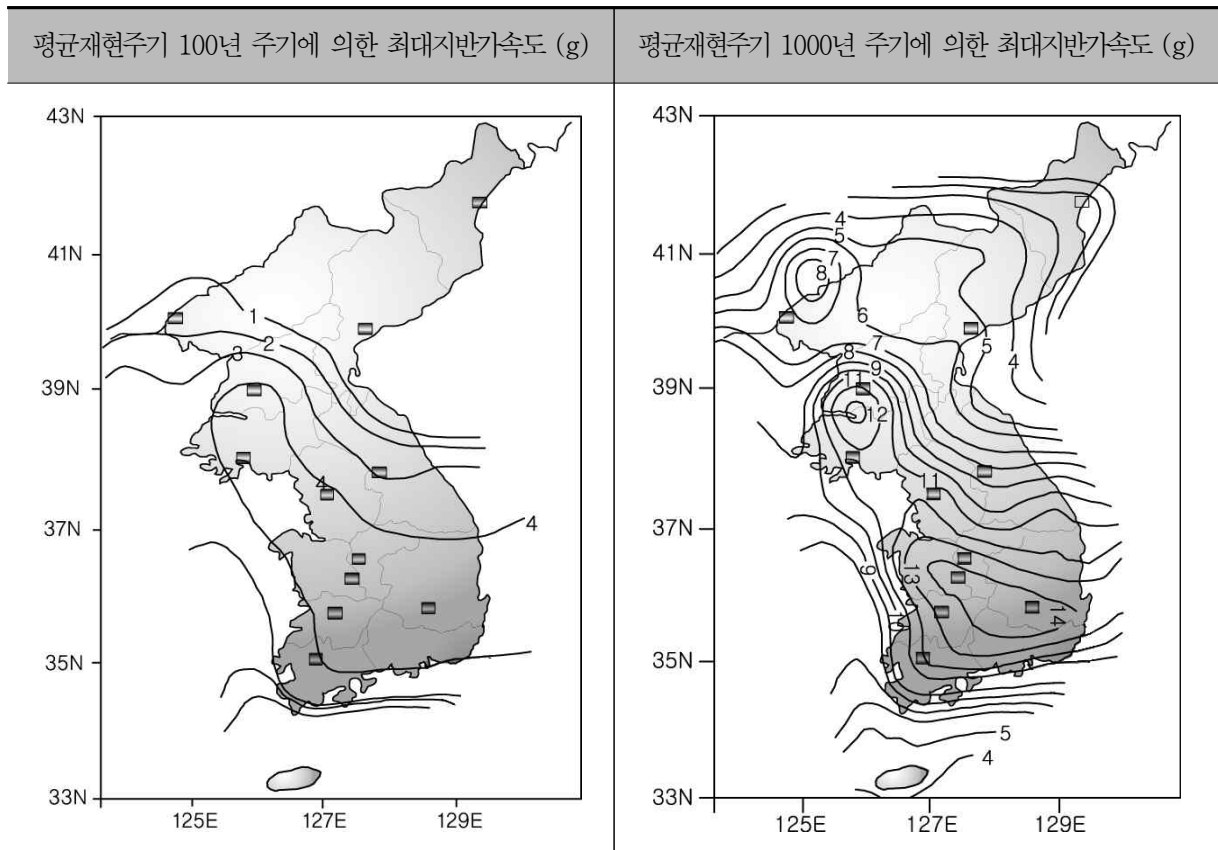
지 반 분 류	지반종류의 호칭	상부 30 m에 대한 평균 지반특성		
		전단파 속도 (m/s)	SPT N값	비배수전단강도 (kPa)
SA	• 경암 지반	1,500 초과	—	—
SB	• 보통암 지반	760~1,500		
SC	• 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360~760	> 50	> 100
SD	• 단단한 토사지반	180~360	15~50	50~100
SE	• 연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
SF	• 부지고유의 특성평가가 요구되는 지반 (액상화 가능 지반, 예민 점토, 이탄, 유기성 점토, 고소성 점토)			

－ 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	$0.154g \times 0.5$ $= 0.08 g$
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}
붕적층		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	$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + W_n \tan \phi + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{m} a(n)}{\sum_{n=1}^{n=p} (\sin a_n)}$ $ma(n) = \cos a_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin a_n}{F_s}$ • W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³) • c : 흙의 점착력(tf/m²) • ϕ : 흙의 내부 마찰각(°) • a : 경사각 (°) • b : 절편 폭(m) • ΔT : $T_n - T_{n+1}$
비 탈 면 해 석 기본원리	

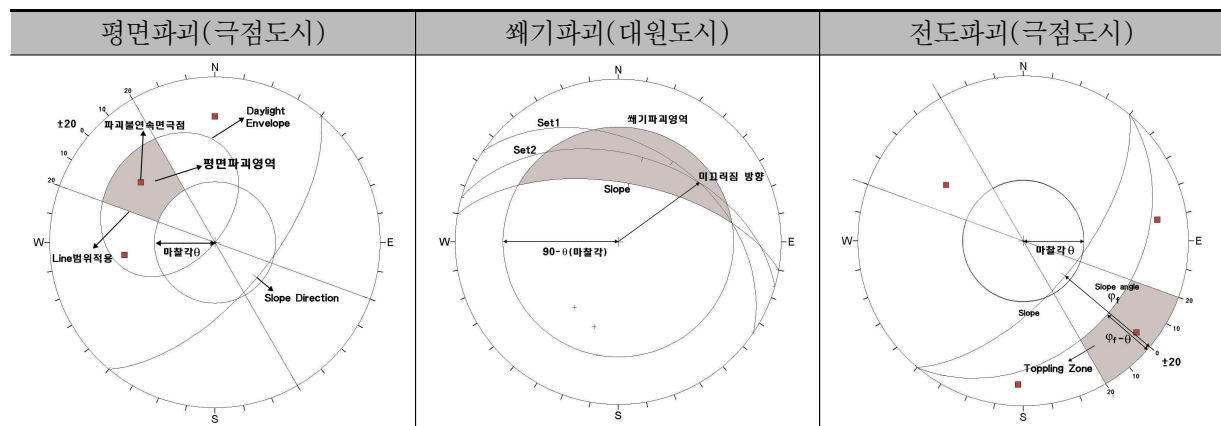
다. Soilworks 프로그램 개요

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, 켄터파괴의 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

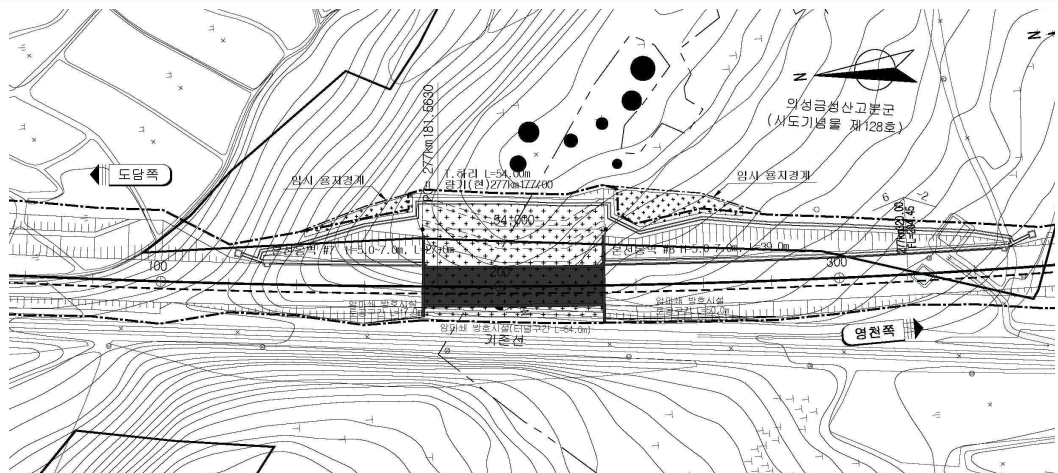
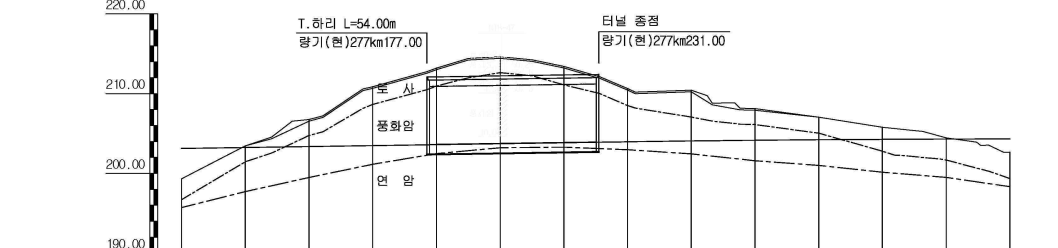
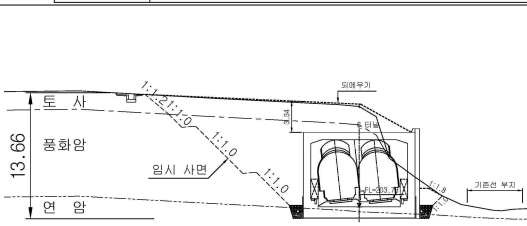
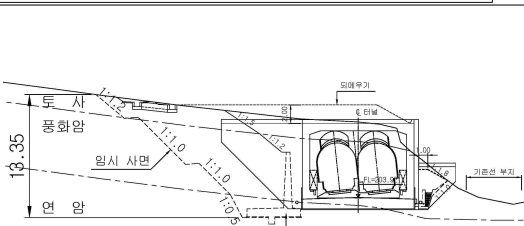
해석에 사용된 가정		• W, U, V 등은 미끄럼 블록의 중심을 통하여 작용 • 인장균열 고려시, 인장균열의 깊이는 수직방향으로 발달하며, zw 깊이까지 물이 차있음 • 단위두께를 가진 슬라이스로 가정 • 파괴부분의 양측면은 미끄럼 저항이 없는 자유면으로 가정
인장균열 미 고 려	건기/우기시	$F = \frac{c \cdot A + [W \cos \psi_p - U] \tan \phi}{W \sin \psi_p}$
	지진시	$F = \frac{c \cdot A + [W (\cos \psi_p - \alpha \sin \psi_p) - U] \tan \phi}{W (\sin \psi_p + \alpha \cos \psi_p)}$
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		깎이고 (m)	지반조사 현황		비 고
				시추공	지하수위 (GL.-m)	
하리 터널	277km+200.0	좌측	13.6	NTB-47	7.2	
	277km+231.0	좌측	13.0	NTB-47	7.2	

1.2.3 검토 대상 비탈면 현황

구 분	현 황																																																																																											
지층조건	• 풍화암 지표하 1.9~3.3m, 연암 지표하 6.5~11.5m 분포																																																																																											
평 면																																																																																												
종 단	 <table data-bbox="371 1207 1347 1420"><tr><td>절</td><td>0.22</td><td>3.39</td><td>7.38</td><td>9.60</td><td>10.91</td><td>9.57</td><td>6.68</td><td>6.37</td><td>3.97</td><td>2.83</td><td>1.52</td><td>0.16</td></tr><tr><td>성</td><td>3.80</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.65</td></tr><tr><td>계</td><td>203.13</td><td>203.25</td><td>203.37</td><td>203.49</td><td>203.61</td><td>203.73</td><td>203.85</td><td>203.97</td><td>204.07</td><td>204.16</td><td>204.22</td><td>204.27</td></tr><tr><td>지</td><td>199.33</td><td>203.47</td><td>206.76</td><td>210.67</td><td>213.21</td><td>214.64</td><td>213.42</td><td>210.65</td><td>210.44</td><td>206.13</td><td>207.05</td><td>205.79</td></tr><tr><td>반</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>고</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>선</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 277km200 PC=277km181.563	절	0.22	3.39	7.38	9.60	10.91	9.57	6.68	6.37	3.97	2.83	1.52	0.16	성	3.80											1.65	계	203.13	203.25	203.37	203.49	203.61	203.73	203.85	203.97	204.07	204.16	204.22	204.27	지	199.33	203.47	206.76	210.67	213.21	214.64	213.42	210.65	210.44	206.13	207.05	205.79	반													고													선												
절	0.22	3.39	7.38	9.60	10.91	9.57	6.68	6.37	3.97	2.83	1.52	0.16																																																																																
성	3.80											1.65																																																																																
계	203.13	203.25	203.37	203.49	203.61	203.73	203.85	203.97	204.07	204.16	204.22	204.27																																																																																
지	199.33	203.47	206.76	210.67	213.21	214.64	213.42	210.65	210.44	206.13	207.05	205.79																																																																																
반																																																																																												
고																																																																																												
선																																																																																												
횡 단	 랑기(현)277km200.00  랑기(현)277km231.00																																																																																											
특기사항	• 의성 금성산 고분군(시도기념물 제128호) 인접하여 통과 • 본선 옹벽 시공에 따른 임시 사면 적용 • 비탈면 높이 H=13.35~13.66m																																																																																											
검토의견	• 비탈면내 지층 상태는 NTB-47 자료 활용 • 최대 비탈면 높이가 형성되는 지점을 대표단면으로 선정 • 해석적용 지하수위는 침투해석을 실시하여 적용																																																																																											

1.3 강우침투 해석으로 지하수위 상승 검토

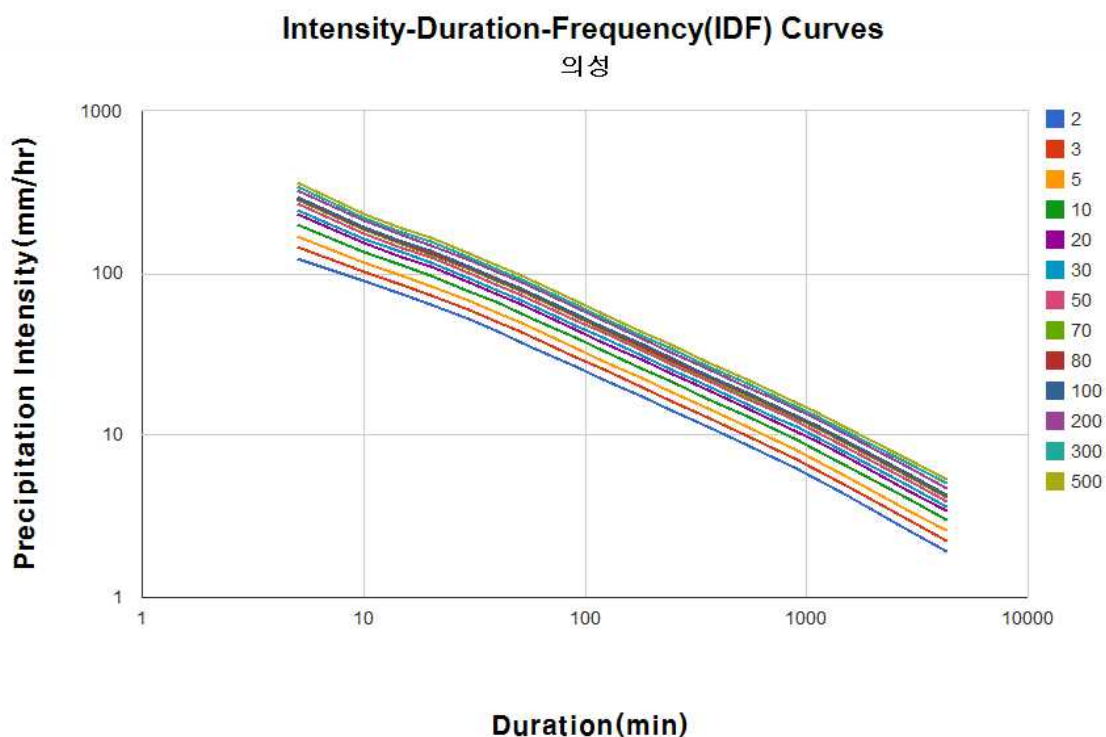
1.3.1 해석방법

- 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 : Seep/w
- 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

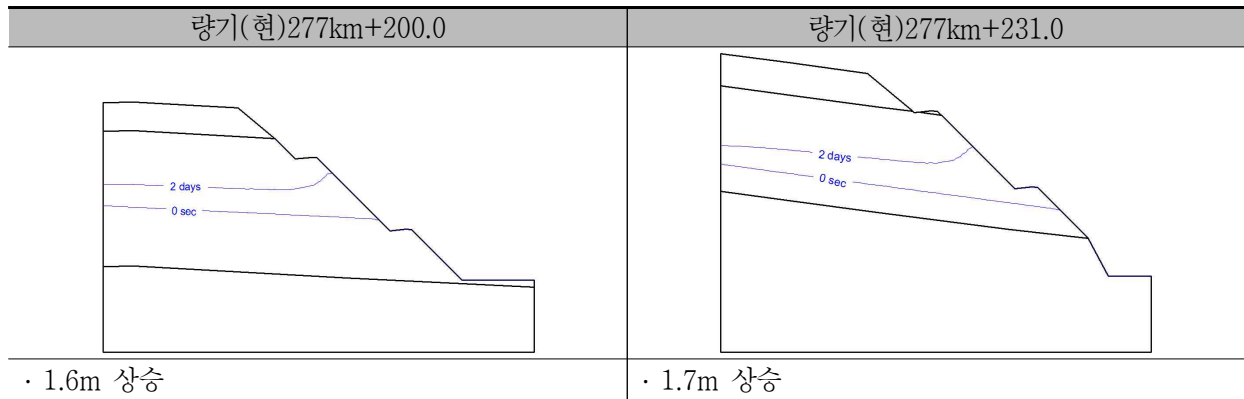
구 분	관측소	발생빈도(년)	지속시간(hr)	강우강도 (mm/hr)	비고
강우강도	의성관측소(기상청)	100	48	9.50	

의성 강우강도 그래프



1.3.3 침투 해석 결과

가. 하리터널



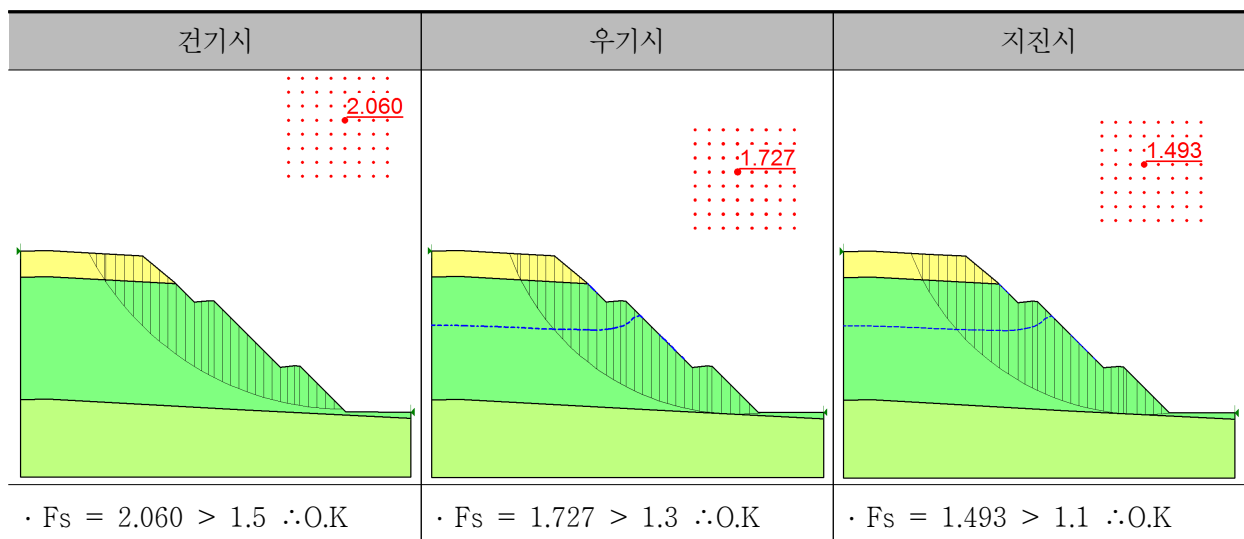
1.3.4 구간별 지하수위 설계 적용현황(토사/풍화암 안정성 검토시)

구 분		지하수위(GL.-m)		상 승 고(m)
		초기 지하수위	상승후 지하수위	
하리터널	277km+200.0	7.2	5.6	1.6
	277km+231.0	7.2	5.5	1.7

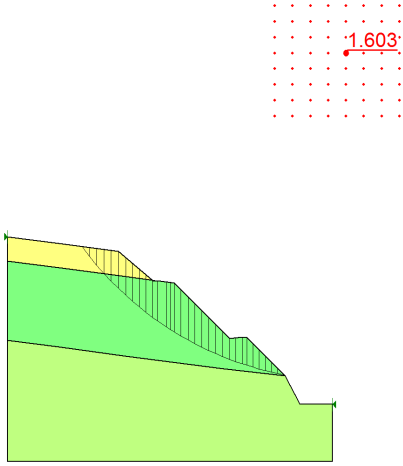
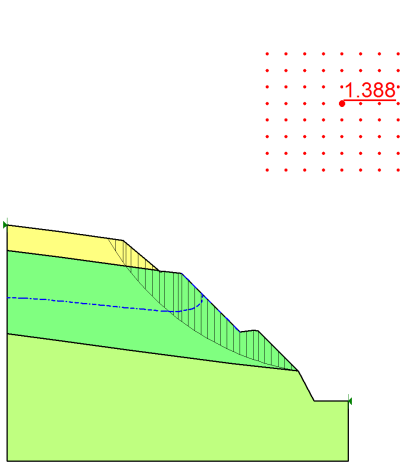
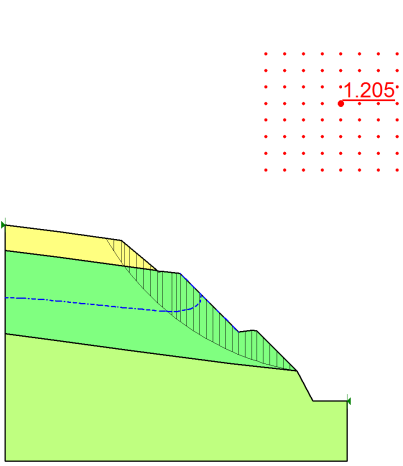
1.4 비탈면 안정성 검토

1.4.1 토사/풍화암 안정성 검토

가. 277km+200.0



나. 277km+231.0

건기시	우기시	지진시
		
· $F_s = 1.603 > 1.5 \therefore \text{O.K}$	· $F_s = 1.388 > 1.3 \therefore \text{O.K}$	· $F_s = 1.205 > 1.1 \therefore \text{O.K}$

1.4.3 비탈면 안정성 검토 결과

가. 토사/풍화암 비탈면 안정성 검토 결과

구 분		비탈면 안전율			평 가
		건 기($F_s > 1.5$)	우 기($F_s > 1.3$)	지진시($F_s > 1.1$)	
하리터널	277km+200.0	$2.060 > 1.5$	$1.727 > 1.3$	$1.493 > 1.1$	안 정
	277km+231.0	$1.603 > 1.5$	$1.388 > 1.3$	$1.205 > 1.1$	안 정
검 토 결 과		• 건기, 우기, 지진시 모두 기준안전율을 만족하여 안정한 것으로 검토됨.			