제 7 장 비탈면 안정검토

7.1 개요

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.3 비탈면 안정해석 방법

7.4 비탈면 설계기준

7.5 설계지반정수 산정

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.7 비탈면 계측

7.8 비탈면 시공시 유의사항

제 7 장 비탈면 안정 검토

7.1 개 요

7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

7.2 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m 이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

구 분	선 정 기 준
쌓 기 부	· 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 · 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 · 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) · 내진안정해석이 필요한 경우
깎 기 부	· 비탈면높이가 20m 이상인 경우 · 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우 · 비탈면 지반이 붕적토로 이루어진 경우 · 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 · 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 · 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 지질조건인 경우 · 내진안정해석이 필요한 경우 · 불안정 요인을 갖는 지형 · 지질 조건인 경우

7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

구 분		구 간 (STA.)	연 장 (m)	대 표 단 면 (STA.)	최대깎기고 및 쌓기고(m)	지층현황	조 사 내 용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
쌓기 구간	제1쌓기	0+030~ 1+220	1,190	0+660 (상주)	24.2m (23.61m)	전답토 퇴적층 풍화토 연 암	NSB-3	0+593.89 (우21.55m)	치환공법 적용구간 (0+150~ 0+200)
	제2쌓기	1+750~ 2+140	390	1+840 (영천)	19.8m (14.33m)	전답토 붕적층 풍화토 연 암	SBB-1	1+800	-
	제3쌓기	2+370~ 2+490	120	2+460 (상주)	14.7m (13.23m)	풍화토 풍화암 연 암	CBB-6	2+631.02 (좌28.56m)	-
	제4쌓기	2+790~ 4+320	1,530	4+260 (상주)	17.9m (17.77m)	매립층 퇴적층 풍화토 풍화암 연 암	BBB-30	3+147	-

구 분		구 간 (STA.)	연 장 (m)	대표 단면 (STA.)	최대 깎기고 및 쌓기고(m)	지층현황	조사내용		비 고
							공번	조사위치 (STA.)	
쌓기 구간	제5쌓기	4+690~ 5+230	540	4+811 (상주)	15.0m (12.68m)	전답토 풍화토 풍화암 연 암	BBB-34	4+810.97 (우4.31m)	치환공법 적용구간 (4+950~ 5+000)
	제6쌓기	5+770~ 6+090	320	5+880 (상주)	19.7m (20.56m)	매립층 붕적층 풍화토 풍화암	BBB-46	5+869.03 (우25.61m)	-
	제7쌓기	7+140~ 7+600	460	7+360 (상주)	14.9m (14.19m)	매립층 풍화암 연 암	SBB-7	7+440.7 (좌34.18m)	-
	제8쌓기	7+980~ 9+320	1,540	9+280 (영천)	11.5m (11.29m)	매립층 퇴적층 풍화암 연 암	SBB-10	9+307.21 (우28.80m)	치환공법 적용구간 (8+700~ 8+940)
	제9쌓기	0+580~ 0+780 (RAMP-A)	200	0+740	15.8m (15.70m)	퇴적층 풍화암 경 암	NBB-4	RAMP-E 0+191.73 (우7.95m)	-
깎기 구간	제 1깎기	1+220 ~1+740	520	(좌,우) 1+480	23.7 18.3	풍화토 풍화암 연암/경암	CBB-1 CBB-2 CBB-3	1+330 1+476 1+504	-
	제 2깎기	2+140 ~2+780	640	(좌)2+600 (우)2+300	24.0 36.7	풍화토 풍화암 연암/경암	CBB-4 CBB-5 CBB-6 CBB-7	2+269 2+275 2+631 2+650	-
	제 3깎기	4+320 ~4+690	380	(좌,우) 4+500	22.5 27.9	풍화토 풍화암 연암/경암	CBB-10 CBB-11 CBB-12 CBB-13	4+498 4+511 4+606 4+643	-
	제 4깎기	5+240 ~6+180	960	(좌)5+520 (우)5+760	22.6 22.9	풍화토 풍화암 연암/경암	CBB-14 CBB-15 CBB-16 CBB-17 CBB-18 CBB-19 CBB-20	5+360 5+531 5+530 5+680 5+7701 6+145 6+135	-
	제 5깎기	6+360 ~6+940	660	(좌,우) 6+480	20.0 24.7	풍화토 풍화암 연암/경암	CBB-23 CBB-24 CBB-25 CBB-26	6+673 6+701 6+833 6+840	-

7.3 비탈면 안정해석 방법

7.3.1 토사비탈면의 안정성 해석

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 SLOPE/W 및 TALREN97 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 기본원리는 다음 그림과 같으며 Bishop의 안전율 계산식은 다음과 같다.

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

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

W : 절편 흙의 전체중량(kN/m3)

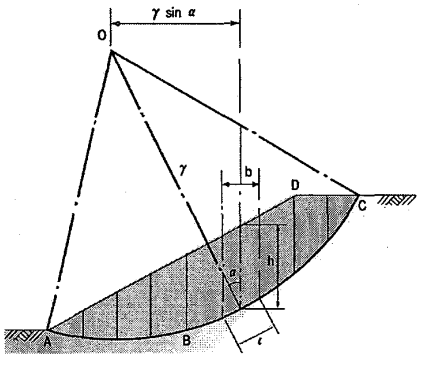
α : 경사각 (°)

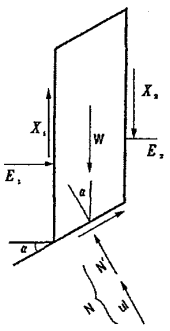
c : 흙의 점착력(kPa)

b : 절편 폭(m)

∅ : 흙의 내부 마찰각(°)

ΔT : Tn−Tn+1



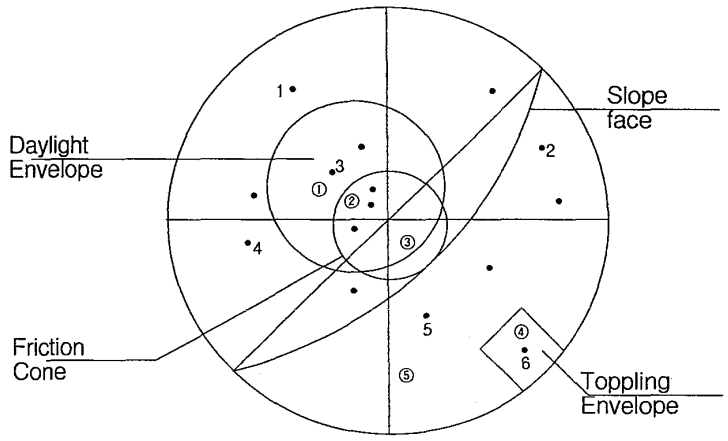


7.3.2 암반비탈면의 안정성 해석

깎기 지역에 분포하는 암반에 대하여 지표지질조사, 지구물리탐사 및 시추조사를 실시하고 그 결과를 이용하여 암반을 평가한 후 평사투영해석 및 한계평형해석을 통해 비탈면안정성을 평가하였다.

(1) 평사투영법

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

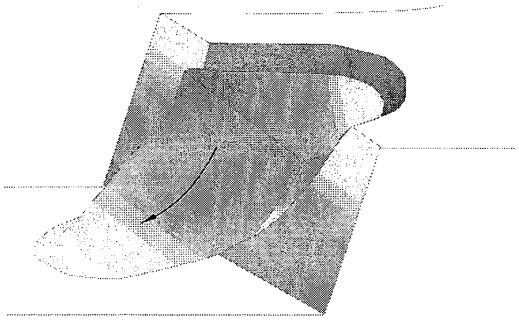
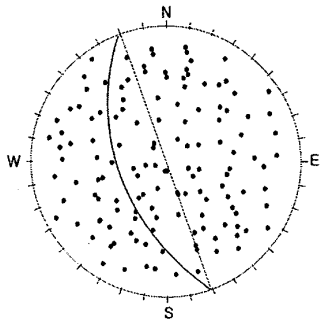
④지역 : Toppling 붕괴의 위험성이 잠재된 불안정한 지역

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 조합면 이지만 실제로 불연속면 "3"에 대한 평면형 붕괴보다는 덜 위험하다. Toppling 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 "6"이다. 참고로 암반의 붕괴 형상은 다음과 같이 구분한다.

■ 원호파괴(Circular Failure)

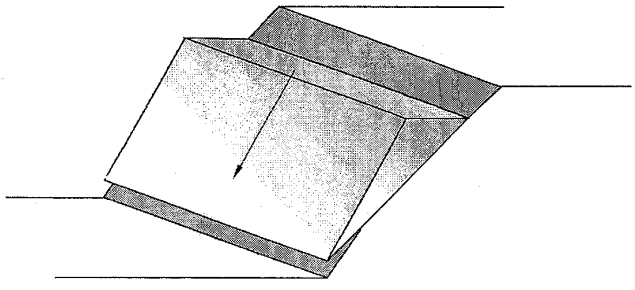
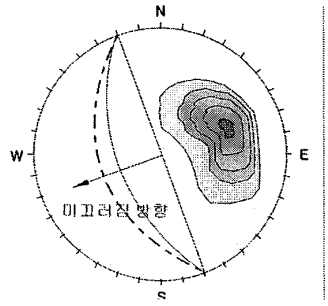
토층사면 및 불연속면이 불규칙하게 많이 발달되어 뚜렷한 구조적 특징이 없는 암반에서 원형파괴가 발생하는데 주로 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생한다.

원호 파괴 형태	평사 투영 결과
	
일정한 지질구조 형태를 보이지 않는 표토, 폐석, 심한 파쇄 암반에서의 원호파괴	

■ 평면파괴(Planar Failure)

불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능하며, 암괴가 어떤 절리면을 따라서 붕괴하려면 다음의 조건을 만족시켜야 한다.

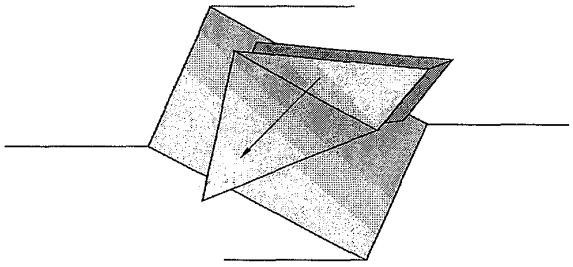
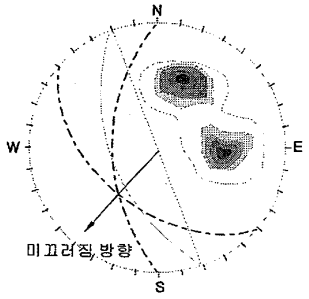
- 절개면과 절리면의 경사방향이 같아야 한다.
- 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷해야 한다. (±20°이내)
- 절리면의 주향이 절개면상에 나타나야 한다(즉, 절리면의 경사각 (α) 〈 절개면의 경사각 (βa))
- 절리면의 경사각 (α)이 절리면의 마찰각 (Φ) 보다 커야 한다.
- 붕괴는 암괴의 양쪽측면이 절단되어서 암괴가 무너지는데 측면의 영향이 적어야 한다.

평면 파괴 형태	평사 투영 결과
	
점판암같이 질서정연한 지질구조를 가지는 암반에서의 평면 파괴	

■ 쐐기파괴(Wedge Failure)

쐐기파괴는 두개의 불연속면을 따라서 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태로서 기본적인 역학관계는 평면파괴와 유사하지만, 평면파괴의 경우 경사벡터를 사용하고 쐐기파괴는 불연속면들의 교선으로 이루어지는 교선벡터를 고려하는 차이점이 있다. 쐐기파괴의 발생조건은 다음과 같다.

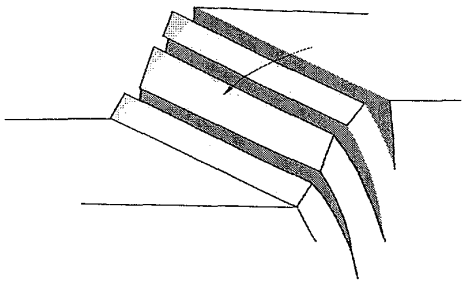
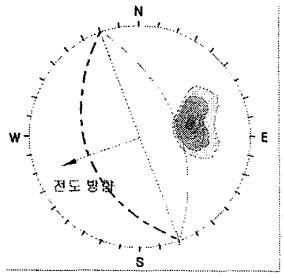
- 절리의 교선과 절개면의 경사방향이 같아야 한다.
- 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷해야 한다.
- 절개면의 경사 > 절리의 교선의 경사 > 절리의 마찰각 ($\beta a > \alpha > \Phi$)

쐐기 파괴 형태	평사 투영 결과
	
교차하는 두 불연속면 위에서의 쐐기 파괴	

■ 전도파괴(Toppling Failure)

전도파괴는 수직절리가 발달한 암반에서 발생되며, 이때 전도파괴의 발생조건은 다음과 같다.

- 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이어야 한다.
- 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷해야 한다(±25°).
- (90°- 절리면의 경사) + 절리면의 마찰각 < 절개면의 경사 ⇒ $(90°-\alpha) + \Phi < \beta a$

전도 파괴 형태	평사 투영 결과
	
급경사 불연속면에 의해 분리된 주상 구조를 형성하고 있는 경암암반에서의 전도파괴	

(2) 한계평형해석

한계평형 해석법은 암반블럭의 자중, 절리면의 마찰각 및 점착력, 절리면의 간극수압 등을 고려하여 잠재 활동파괴면을 따라 미끄러지려는 순간의 암반블록에 대한 안정성을 비탈면 안전계수(Safety Factor)로 나타내는 방법이다. 파괴면에서의 전단강도는 Coulomb의 파괴기준 $\tau = c + \sigma \tan \phi$로 표현되며, 강도는 점착력(c)과 내부마찰각(∅)으로 정의됨.

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

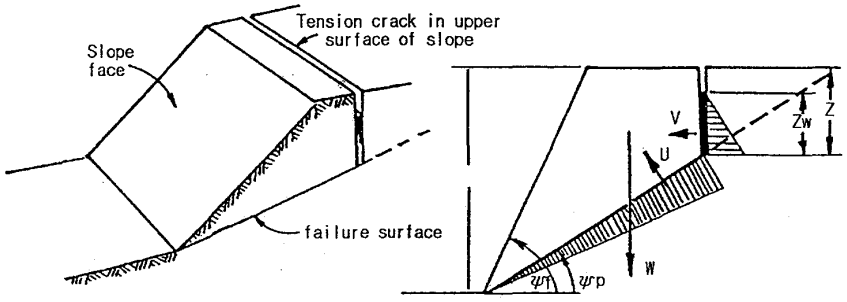
여기서 A : 파괴면의 면적 / Z : 인장균열 깊이
H : 비탈면 높이 / Φ_p : 파괴면의 경사각
W : 암괴의 중량 / U : 파괴면상의 수압에 의한 양압력
V : 인장균열 속의 수압에 의한 힘

이 해석에서 취급하는 비탈면의 형상은 다음 세 가지 경우를 고려하였다.

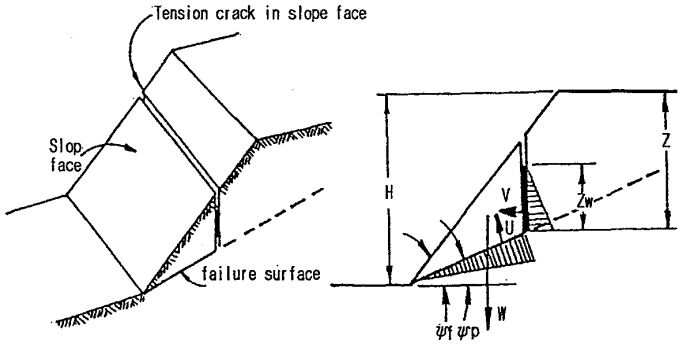
① 비탈면 정상부 쪽에 인장균열이 있는 비탈면
② 비탈면내에 인장균열이 있는 비탈면
③ 인장균열이 나타나지 않는 비탈면

또한, 해석을 위한 가정은 다음과 같다.

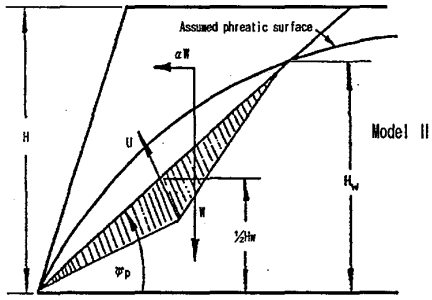
① 미끄럼 인장균열은 비탈면에 평행 즉, 주향이 동일.
② 인장균열이 연직이며, Zw 깊이까지 물로 채워졌으며 인장균열 속의 물에 의해 생기는 미끄럼면 부근의 수압분포는 아래 그림과 같음.
③ W, U 및 V 등은 미끄럼 블록의 중심을 통하여 작용.
④ 단위두께를 가진 슬라이스를 고려. 또한 파괴되는 부분의 양 측면은 미끄럼 저항이 없는 자유면이 존재하는 것으로 고려.



< 비탈면 정상부쪽에 인장균열이 있는 비탈면 >



< 비탈면 내에 인장균열이 있는 비탈면 >



< 비탈면 내에 인장균열이 없는 비탈면 >

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

$$A=(H-Z)\ \mathrm{cosec}\Phi_p \qquad U=\frac{\gamma_w Z_w (H-Z)\ \mathrm{cosec}\Phi_p}{2}$$

$$V=\frac{\gamma_w Z^2{}_w}{2}$$

첫 번째 비탈면 정상부 쪽에 인장균열이 있는 비탈면 경우

$$W=\frac{\gamma H^2\{(1-(Z/H)^2)\cot\Phi_p-\cot\Phi_f\}}{2}$$

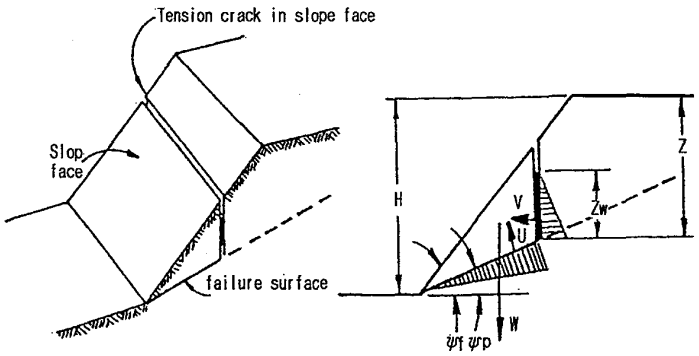
두 번째 비탈면내에 인장균열이 있는 비탈면의 경우

$$W=\frac{\gamma H^2\{1-(Z/H)^2\}\cot\Phi_p(\cot\Phi_p\tan\Phi_f-1)}{2}$$

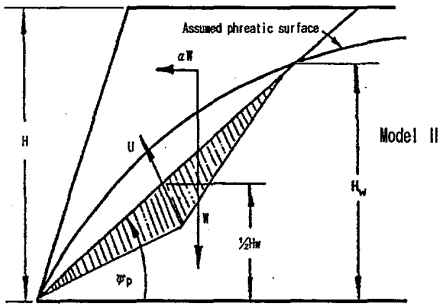
한편 인장균열이 비탈면에 존재하지 않는 경우는

$$U=\frac{\gamma_w (H_w)^2\mathrm{cosec}\Phi_p}{4}$$ 를 , V = 0을 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 기울기를 조정한다.



< 비탈면 내에 인장균열이 있는 비탈면 >



< 비탈면 내에 인장균열이 없는 비탈면 >

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

$$A=(H-Z)\ \mathrm{cosec}\Phi_p \qquad U=\frac{\gamma_w Z_w (H-Z)\ \mathrm{cosec}\Phi_p}{2}$$

$$V=\frac{\gamma_w Z^2_w}{2}$$

첫 번째 비탈면 정상부 쪽에 인장균열이 있는 비탈면 경우

$$W=\frac{\gamma H^2\{(1-(Z/H)^2)\cot\Phi_p-\cot\Phi_f\}}{2}$$

두 번째 비탈면내에 인장균열이 있는 비탈면의 경우

$$W=\frac{\gamma H^2\{1-(Z/H)^2\}\cot\Phi_p(\cot\Phi_p\tan\Phi_f-1)}{2}$$

한편 인장균열이 비탈면에 존재하지 않는 경우는

$$U=\frac{\gamma_w (H_w)^2 \mathrm{cosec}\Phi_p}{4}$$ 를 , V = 0을 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 기울기를 조정한다.

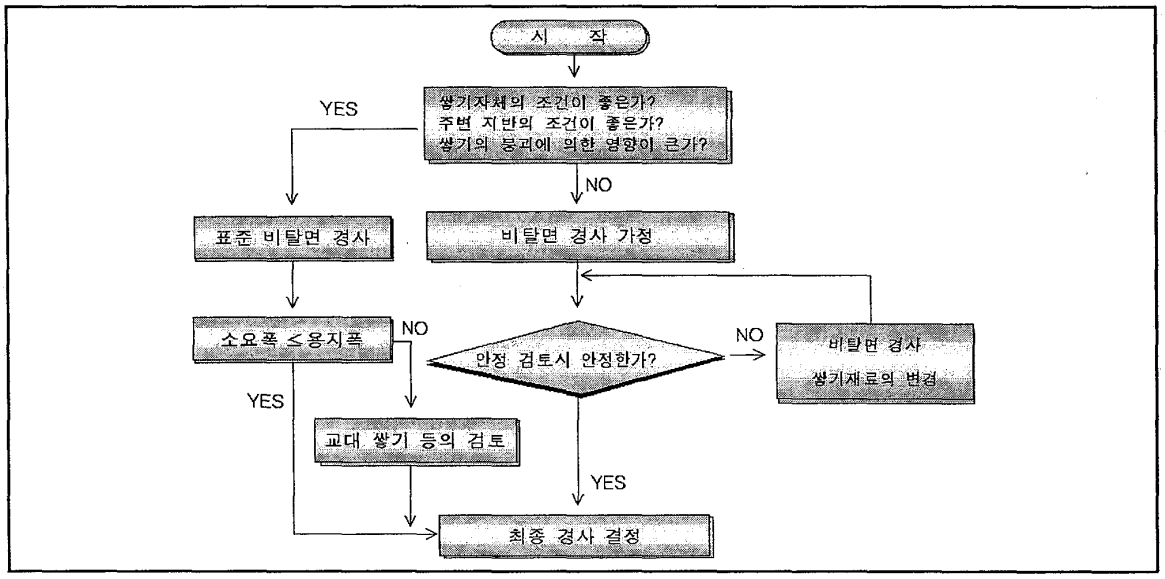
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면기울기 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

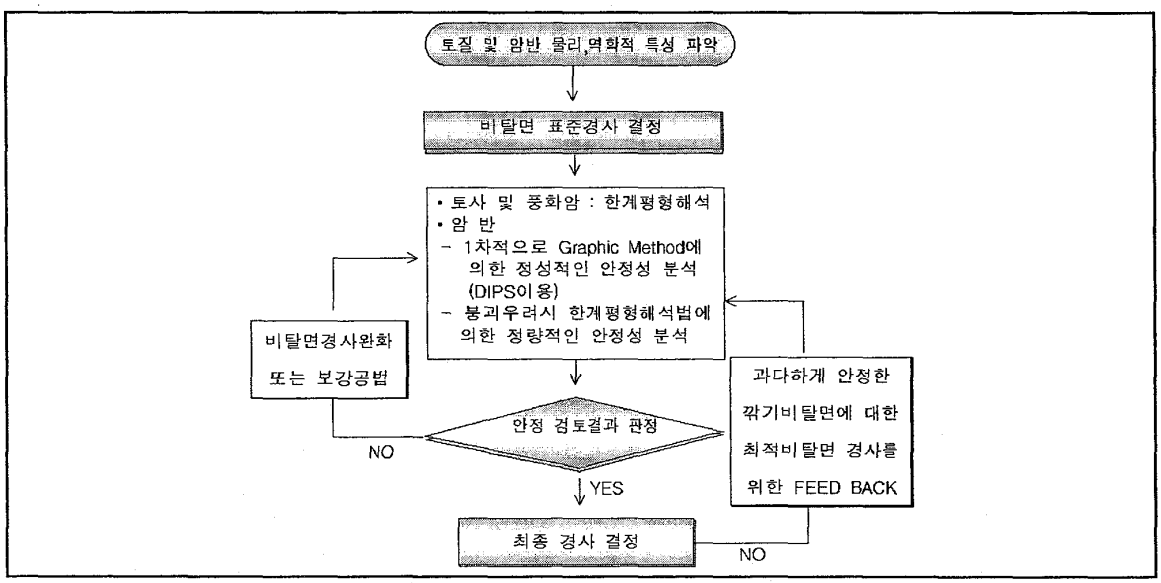
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도



(2) 깎기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도



나. 쌓기 비탈면

쌓기 지역의 비탈면 기울기는 쌓기 지반의 토질조건, 쌓기고, 쌓기 재료의 다짐, 쌓기재의 구성 등에 따라 변할 수 있으나 일반적인 쌓기 재료에 따른 국내 비탈면 기울기 기준은 아래와 같다.

본 설계에서 쌓기 높이에 따른 쌓기비탈면의 기울기는 건설교통부 건설공사비탈면 설계기준(2006.4)에서 제시한 토질종류별 표준기울기의 적용을 원칙으로 하였으며, 쌓기 높이가 10.0m 이상인 구간에 대하여는 한계평형해석법에 의한 비탈면의 안정성 분석을 실시하여 구간별 설계 기울기를 결정하였다.

[쌓기재료에 따른 비탈면 기울기 범위]

쌓 기 재 료	비탈면높이(m)	비탈면 상하부에 고정 시설물이 없는 경우 (도로, 철도 등)	비탈면 상하부에 고정시설물이 있는 경우 (주택, 건물등)
입도분포가 좋은 양질의 모래, 모래자갈암괴,암버력	0 ~5	1:1.5	1:1.5
	5 ~ 10	1:1.8	1:1.8 ~ 1:2.0
	10 초과	별도검토	별도검토
입도분포가 나쁜모래, 점토질사질토, 점성토	0 ~ 5	1:1.5	1:1.8
	5 ~ 10	1:1.8	1:2.0
	10초과	별도검토	별도검토
*1)상기표는 기초지반의 지지력이 충분한 경우에 적합함. 2)비탈면높이는 비탈어깨에서 비탈끝가지 수직높이임.			

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

[쌓기재료에 따른 비탈면 기울기 범위]

쌓 기 재 료	쌓기높이	기울기	흙 의 분 류
입도분포가 좋은 모래, 자갈 및 자갈섞인 모래	0 ~ 6m	1:1.5	GW, GP, GM GC, SW
	6 ~ 15m	1:1.8	
입도분포가 나쁜 모래	0 ~ 10m	1:1.8	SP
암괴, 암버력	0 ~ 6m	1:1.5	SW, GP, GM
	6m 이상	1:1.8	
사질토, 굳은 점질토, 굳은 점토	0 ~ 6m	1:1.5	SM, SC, CL, OL
	6m 이상	1:1.8	

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

토 질 조 건		비탈면높이(m)	기울기	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	SW, SP
사 질 토	밀실한 것	5 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5~10	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁨	5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토	밀실하고 입도분포가 좋음	10 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10~15	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨	10 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10~15	1:1.2 ~ 1:1.5	
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5	
풍 화 암		-	1:1.0 ~ 1:1.2	시편이 형성되지 않는 암

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기 범위]

원지반의 토질		땅 깎 기 높 이	기 울 기	분 류 기 호 (통일분류)
붕적토	강우시에도 지하수위가 설계고보다 낮은 경우		1 : 1.2	
	강우시에도 지하수위가 설계고보다 높아질 경우		1 : 1.5	
	상시 지하수위가 설계고 보다 높은 경우		1 : 1.8~2.0	
모 래	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	-	1:1.5 이상	SW, SP
사질토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SP
		5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁜것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	
자갈 또는 암괴섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋은것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0	SM, SC
		10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁜것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	
		10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5	
점성토		0 ~ 10m	1:0.8 ~ 1:1.2	ML, MH, CL, CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2	GM, GC
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5	

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

[암반비탈면의 절취기울기]

암석종류 (강 도)	암반 파쇄상태 (NX 시추시) T.C.R	R.Q.D	굴 착 난 이 도	기울기	소 단 설 치
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리핑암반	1:1.0 ~ 1:1.2	H=5m마다 소단 1m폭 (리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~40%	10~25%	발파암반 (연암반)	1:0.8 ~ 1:1.0	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	40~60%	25~50%	발파암반 (보통암반)	1:0.7	H= 10m 마다 소단 1~2m 폭
	60% 이상	50% 이상	발파암반 (경암반)	1:0.5	H= 20m 마다 소단 3m 폭

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

[암석별 깎기 적정 기울기 (토목지질학)]

암석명			표준 적정기울기	비 고
화성암	심성암	화강암	1 : 0.3 ~ 1 : 0.7	
		화강암(풍화한 것)	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0	
		섬록암	1 : 0.5	
	반심성암	석영반암	1 : 0.8	
		석영반암(균열이 많은 것)	1 : 0.75 ~ 1 : 1.0	
	화산암	석영조면암	1 : 0.3 ~ 1 : 0.7	
		석영조면암(풍화된 것)	1 : 0.8 ~ 1 : 1.1	
		안산암	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2	
		안산암(풍화된 것, 또는 균열이 많은 것)	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2	
		현무암	1 : 0.7	
변성암	동력변성암	녹니편암	1 : 0.5 ~ 1 : 0.7	
		석영편암	1 : 0.5 ~ 1 : 1.0	
		천매암	1 : 0.35 ~ 1 : 0.8	
	열변성암	규암	1 : 0.7	
퇴적암		석회암	1 : 0.5	
		사암(풍화된 것)	1 : 0.5 ~ 1 : 0.7	
		사암(균열이 많은 것 또는 풍화된 것)	1 : 0.7 ~ 1 : 1.0	
		응회암, 응회질혈암, 응회질사암	1 : 1.0	
		혈암(풍화가 심한 것)	1 : 1.5	
		혈암(풍화된 것)	1 : 1.2	
		혈암(양호한 것)	1 : 0.5 ~ 1 : 1.0	

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

구 분	기관 및 규정명	소단적용 기준
국 내	건설공사 비탈면 설계기준 (2006)	· 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치 · 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치
	한국도로공사 도로설계요령 (2002)	· 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m · 발파암 RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m
	건설부 도로시설기준	· H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m
	한국토지공사	· H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m
일 본	도로공단 설계요령	· H = 7m 마다 소단설치
	국유철도토목구조물 표준시방서	· 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치
	철도설계요령	· H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m. 기울기3%

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

• 쌓기 비탈면

쌓기 비탈면 지하수위는 건기시에는 지하수위를 고려하지 않고 우기시에는 원지반까지 포화될 것을 가정하여 적용.

• 깎기 비탈면

깎기 비탈면의 지하수위는 가장 불리한 상태로 가정하여 건기시애는 지하수위를 고려하지 않고 우기시에는 지표면까지 포화되는 것으로 함.

[비탈면 안정해석시 지하수위 적용 방법]

구 분		지 하 수 위
쌓기비탈면	건기	· 지하수위 미고려
	우기시	· 일반적인 쌓기비탈면은 별도의 지하수위 조건없음. 한쪽쌓기 한쪽깎기 비탈면에서는 측정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위 이용하여 해석 · 쌓기표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려함
	지진시	· 지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
깎기비탈면	건기	· 지하수위 미고려
	우기시	· 암반비탈면은 인장균열의 1/2심도까지 지하수 위치 토층 및 풍화암은 지표면에 지하수 위치
	지진시	· 지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위

(건설공사 비탈면 설계기준, 건설교통부, 2006)

[비탈면 안정해석시 지하수위 적용 방법]

구 분		지 하 수 위
건기시	토사 및 풍화암	· 지하수위 미고려
	암 반	· 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음
우기시	토사 및 풍화암	· 지하수위는 지표면에 위치 · 지표면이 포화상태로 안정해석 실시
	암 반	· 인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 Hw=1/2H로 가정하여 적용

(한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년)

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 연약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분		최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor)	
건설교통부	건설공사 비탈면 설계기준 (2006년)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
		우기시	Fs ≥ 1.3
		지진시	Fs ≥ 1.1
한 국 도 로 공 사		도로설계요령	Fs ≥ 1.3
항 만 협 회		항만시설 기술상의 기준, 동해설	Fs ≥ 1.5

나. 깎기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 깎기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 깎기 비탈면 최소안전율 적용기준]

구 분	최 소 안 전 율	
건설공사 비탈면 설계기준(2006)	건기시(지하수가 없는 것으로 해석)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석)	Fs ≥ 1.2
	지진시	Fs ≥ 1.1
도로설계요령 (2000)	건기시(지하수위 미고려)	Fs ≥ 1.5
	우기시(지하수위는 지표면에 위치)	Fs > 1.1~1.2
	지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준)	Fs > 1.1~1.2
미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975)	실내시험에 의해 강도를 구할 경우	1.5 > Fs > 1.3
	최대지진가속도를 고려할때	1.2 > Fs > 1.0
NAVFAC - DM 7.1-329	하중이 오래 작용할 경우	Fs > 1.5
	구조물 기초인 경우	Fs > 2.0
	일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시	Fs > 1.35 or 1.25
	지진하중이 작용하는 경우	Fs > 1.2 or 1.15

7.4.5 설계기준 선정

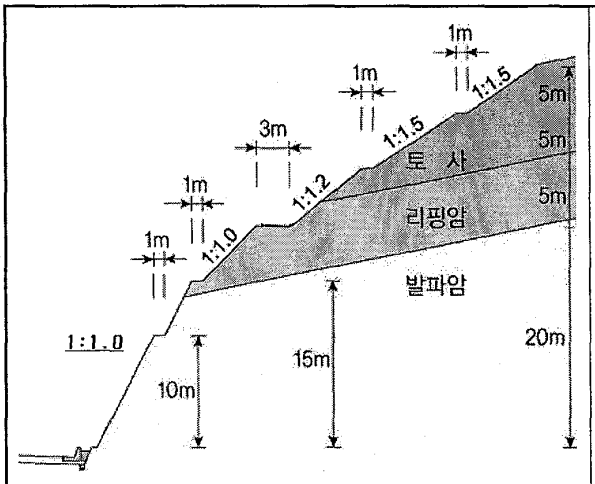
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 7.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

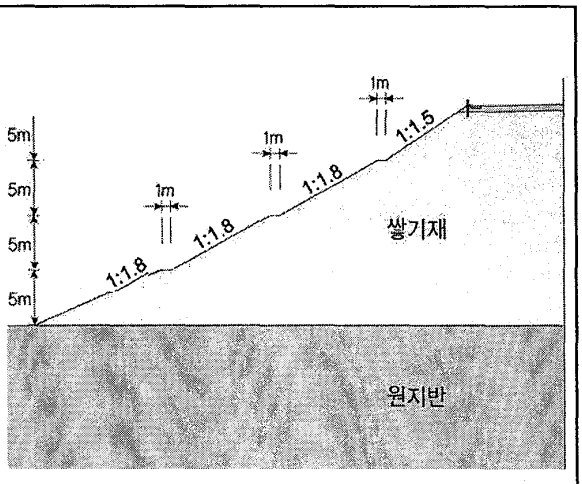
아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

[비탈면 기울기 설계기준]

비탈면 구분	토 질	적 용 경 사	소 단 설 치
땅깎기 비탈면	토 사 층	1 : 1.2~1.5	• 토사 및 리핑암 - 땅깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치 • 발파암 : - 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치 (1:0.7~1:1.0 기울기 적용시) • 땅깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치 • 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음
	리 핑 암	1 : 1.0	
	발 파 암	1 : 1.0	
쌓기 비탈면	쌓 기 재	1 : 1.5~1.8	• 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치



깎기비탈면 표준 기울기



쌓기비탈면 표준 기울기

[암반비탈면의 깎기 기울기]

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태 (NX 시추시)		굴 착 난 이 도	경 사	비 고
	T.C.R	R.Q.D			
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리핑암반	1:1.0	
반야월층 (셰일 및 이암 퇴적층)	-	-	발파암반	1:1.0	
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~40%	10~25%	발파암반 (연암반)	1:0.8 ~ 1:1.0	
	40~60%	25~50%	발파암반 (보통암반)	1:0.7	
	60% 이상	50% 이상	발파암반 (경암반)	1:0.5	

나. 비탈면 기준안전율 및 지하수위 적용 기준

최소안전율은 지역과 공사내용에 따라 매우 상이하게 적용하고 있으므로 설계기준으로서는 건설교통부 건설공사 비탈면 설계기준(2006)을 적용하였으며 아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이다.

구 분		적용안전율	비 고
깎기 비탈면	건 기	Fs ≥ 1.5	· 지하수위 : 미고려
	우 기	Fs ≥ 1.2	· 지하수위 : 지표 포화시
쌓기 비탈면	건 기	Fs ≥ 1.5	· 일반 성토부 적용, 교통하중 q=1.3tf/m 고려
	우 기	Fs ≥ 1.3	· 편성토부 발생시 적용, 교통하중 q=1.3tf/m 고려

본 검토에서는 상기와 같은 내용을 고려하여 깎기비탈면의 안정해석은 건기시 최소안전율은 1.5 이상으로 적용하였으며, 우기시는 최소안전율 1.2 이상으로 적용하였다. 깎기비탈면의 암반에 있어서 건기시는 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않는 것으로, 우기시는 인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 Hw=1/2H로 가정하여 적용하였다. 토사 및 풍화암의 건기시 해석은 지하수위를 고려하지 않았으며, 우기시는 지하수위를 지표면에 위치한 것으로 가정하여 적용하였다.

7.5 설계지반정수 산정

토공구간에 대하여 설계지반정수를 산정하기 위하여, 본 과업내에 실내시험 및 현장시험을 실시하였으며, 그 결과에 따라 아래와 같이 설계지반정수를 산정하였다

(제6장 토공구간 지반특성 분석 및 설계적용 참조)

7.5.1 쌓기재 설계지반 정수

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)	비 고
흙쌓기 재료	19.0	15.0	25	-
암버력 쌓기(치환)	20.0	0.0	40	-

7.5.2 원지반 설계지반정수

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)	적용투수계수 (cm/sec)	비 고
풍화토	18.0	14.0	28.0	5.00×10^{-5}	-
풍화암	20.0	30.0	30.0	1.00×10^{-5}	-

7.5.3 기반암 설계지반정수

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)	비 고
연 암	25.0	200.0	25.0	
경 암	26.0	900.0	30.0	
파쇄암반 (파쇄대)	25.0	20.0	33.0	

7.5 설계지반정수 산정

토공구간에 대하여 설계지반정수를 산정하기 위하여, 본 과업내에 실내시험 및 현장시험을 실시하였으며, 그 결과에 따라 아래와 같이 설계지반정수를 산정하였다

(제6장 토공구간 지반특성 분석 및 설계적용 참조)

7.5.1 쌓기재 설계지반 정수

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)	비 고
흙쌓기 재료	19.0	15.0	25	-
암버력 쌓기(치환)	20.0	0.0	40	-

7.5.2 원지반 설계지반정수

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)	적용투수계수 (cm/sec)	비 고
풍화토	18.0	14.0	28.0	5.00×10^{-5}	-
풍화암	20.0	30.0	30.0	1.00×10^{-5}	-

7.5.3 기반암 설계지반정수

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)	비 고
연 암	25.0	200.0	25.0	
경 암	26.0	900.0	30.0	
파쇄암반 (파쇄대)	25.0	20.0	33.0	

7.6 비탈면 안정해석 및 검토

7.6.1 개요

가. 깎기구간

본 지역에서의 깎기비탈면 안정해석은 깎기구간 중 깎기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 깎기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면기울기의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

• 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 1.5 이상, 우기시 1.2 이상으로 적용하였다.

• 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.

• 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 깎기 기울기는 암석별 깎기 적정기울기를 기준으로 암반비탈면 기울기를 결정하였다.

• 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 기울기방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 편측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 전답토로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 Hand Auger Boring을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

7.6.2 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

가. 지질 및 암종특성

(1) 지질특성

- 본 과업노선은 경상분지의 퇴적암 지역에 위치하며 미세립의 니질암을 90%이상 함유한 춘산층이 주로 분포함
- 퇴적암 중 이암과 세일로 구성된 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 빠른 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

(2) 암종특성

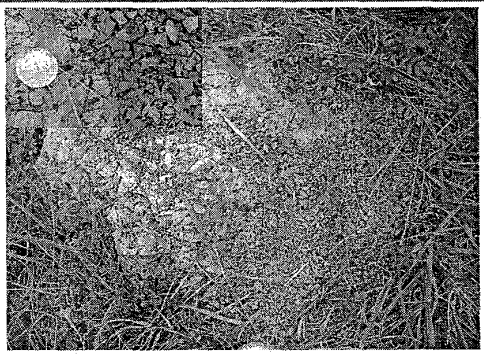
- 본구간의 니질암 암종특성 및 풍화특성파악을 위해 XRD, 현미경분석, 산침수에 의한 분말화 시험 및 내구성 시험 등 각종분석 실시
- XRD 및 현미경 분석결과 주구성광물은 석영과 방해석, 그리고 미립의 점토로 구성되었으며, 입자간 교결물질이 방해석인 것으로 판단
- 산침수에 의한 분말화 시험결과 층리에 따른 쪼개짐과 분말화가 상당히 진행됨
- 따라서, 깎기 비탈면 시공시 우수와 지표수에 노출되면 입자간 교결물질인 방해석의 용탈이 발생하여 암반사면이 빠르게 풍화될 것으로 판단

구 분	일축강도(kg/cm²)		XRD분석	현미경분석		NP시험
	니질암	사암	점토광물(%)	실트(%)	점토(%)	방해석함량(%)
10공구	339~852	958~1,317	27.2~41.8	31.6	68.4	29.7~39.9
9공구	395~814	433~884	28.2~39.7	52.6	47.4	5.8~16.8
8공구	535~1,066	654~1,345	36.4~43.6	21.1	78.9	22.7~28.1

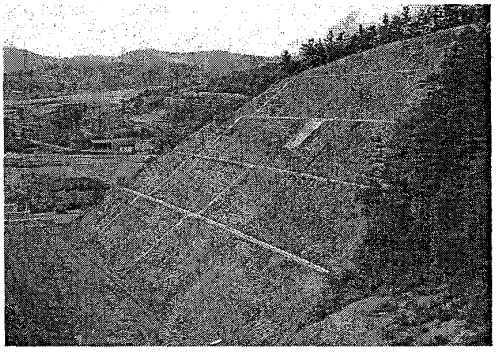
주) XRD : X-선 회절분석, NP시험 : 중화잠재(Neutralization Pontential) 시험

나. 인근비탈면조사

- 사업노선과 교차하는 4 개소의 고속도로(경부, 대구-포항, 중앙, 중부내륙) 및 기존 도로(국도 및 지방도)의 비탈면 기울기 적용 현황 조사



- 위치 : 신령~영천 현장사무소
- 설명 : 풍화되어 부피가 1/3로 축소됨



- 위치 : 신령~영천 덕산마을 인근
- 설명 : 1:1.0절취, 국부적 붕락발생

도 로 명	조 사 내 용
경부 고속도로	• 일부 화강암 구간을 제외하고 법면 Shotcrete 보강(퇴적암 구간으로 추정) • 비탈면 경사는 대부분 1 : 0.8, 1.0으로 다양하게 적용
대구-포항 고속도로	• 비탈면 기울기는 1:0.7, 0.8, 1.0 정도로 하여 일부 Sotcrete 보강적용 • 과업 구간과 교차하는 STA. 20+400 구간은 1:0.8 적용
중앙 고속도로	• 문헌 조사시 기울기가 1 : 0.7로 적용되어 있으나, 실측시 0.84(50°) 적용 • 육안 판정결과 셰일과 사암이 혼재되어 분포
중부내륙고속도로	• 낙동 JCT 인접지역 조사 • 화강암 분포 지역으로 1:0.8 기울기 적용
신녕-영천 국도 (인접비탈면 조사구간)	• 시공시 비탈면 법면 파괴에 의해 기울기 1 : 1.0 적용후 조기식생 • 반야월층(춘산층) 셰일 구간으로 노출시 급격한 강도저하 특성 • 신녕-영천 국도 가중평균 TCR/RQD=90/48
경부고속철도 노반시설공사 제11-2공구(토공4구간)	• 발파암 1:0.8~1:1.2, 리핑암, 토사 1:1.5 절취 완료 • 기반암은 퇴적암인 셰일과 안산암질 관입암 분포 • 특히, 셰일층의 경우 Fissility의 발달로 급속풍화가 예상되어 안정검토시 풍화대 물성치 적용 • 고속철도 운행시 보수, 보강의 어려움과 안정성을 감안 사면보호 및 보강공 추가 => Cone Nail 보강

다. 문헌조사

• 과업노선에 인접한 고속도로의 기술자문 사례 및 관련 논문에서의 시공 및 연구사례 조사

(1) 과업인근 비탈면 문헌조사

공 사 구 간			암 종	시공시 적용기울기	비 고
공 사 명	공구	STA.			
중앙고속도로 주1)	1	10+420~650	Shale/사암	1:0.7(사암층) 1:1.0(Shale층)	
		12+300~560	Shale/사암	1:1.4~1.2	
		13+000~240	Shale/사암	1:0.7(사암층) 1:1.0(Shale층)	
	2	3+040~300	Shale/사암	1:1.5	
	3	0+280~440	Shale/사암	1:0.7(사암층) 1:1.0(Shale층)	
		0+780~920	Shale/사암	1:0.7(사암층) 1:2.0(Shale층)	
		11+780~980	Shale/사암	1:1.2	
	3-2	9+440~620	Shale/사암	1:1.0~1.2	
		10+700~820	Shale/사암	1:1.2	
경부고속도로 구미-동대구간 8차선 확장공사 주2)	0+640~0+760(하)		Shale/사암	1:0.5(보강공법)	
	3+880~4+080(하)		Shale/사암	1:0.8(보강공법)	
	4+080~4+220(하)		Shale/사암	1:0.8(보강공법)	

주1) 1997 기술자문 사례집 1999. 6. 한국도로공사 p164~197
주2) 1999 기술자문 사례집 2000. 6. 한국도로공사 p123~172

(2) 관련 논문 조사

- 붕괴사면의 붕괴특성에 관한 연구(중앙고속도로를 중심으로), 황평주(2005. 2), 전남대학교 대학원 석사학위 논문
  - 중앙고속도로 붕괴 암반사면 94개에 대하여 지질학적 요인과 지형학적 요인 등 총 16개항목에 대한 붕괴특성 분석 및 평가 실시
  - 암석의 성인별 붕괴특성은 국내의 경우 화성암, 변성암, 퇴적암 순이나, 중앙고속도로에서는 퇴적암 및 석회암이 70%를 차지하여 퇴적암류 사면에서 많이 발생
  - 붕괴사면에 대한 풍화도 분석결과 심한풍화(HW)가 약38%, 보통풍화(MW)가 약 34%로서 심한풍화(HW), 보통풍화(MW)에서 약 70%이상을 차지
  - 붕괴사면의 식생상태 분석결과 식생상태가 불량일 때 72%, 조밀은 17%, 보통은 11%정도를 차지해서 식생상태가 불량일 때 붕괴가 상당히 많이 발생

라. 기본설계 VE 결과(암반비탈면 기울기 조정)

- 기본설계시 암종 및 암질(TCR/RQD) 기준에 부합하지 않고 일률적으로 0.5~0.7경사 적용
- 분포 암종의 지질 특성과 암질(TCR/RQD)기준을 고려하여 구간별 차등 경사 적용
- VE 결과 노선 전체에 대하여 약 65억의 공사비 증액이 발생하였으며, 8~10공구에서만 약 17억이 증액됨
- 암반기울기 조정 결과(기본설계 노선에 대한 VE결과임)

공 구	기울기		토공 증감량(m^3)	토공 공사비(원)	용지 보상비(원)
	기본 설계	VE 결과			
10 공구	-	-	9공구 토공량 증가에 따른 순성운반비감소	감893,902,015	-
9 공구	1:0.7	1:1.0	토 사 : 42,464 발파암 : 76,143	증1,653,207,656	증159,593,400
8 공구	1:0.5~ 1:0.7	1:1.0	토 사 : 16,162 리핑암 : 1,256 발파암 : 133,252	증989,631,088	증22,004,880
합 계			토 사 : 58,626 리핑암 : 1,256 발파암 : 209,395	증1,748,936,729	증181,598,280

마. 암반비탈면 기울기 적용

앞에서 검토한 내용을 요약하면 다음과 같다.

• 본구간의 분포암종은 생성기원상 경상분지 퇴적암으로 미세립분 함유량 90%이상인 니질암으로 구성되어 있음

• 암종특성상 미립의 점토로 구성되어 있으며, 입자간 교결물질이 방해석으로, 비탈면 시공시 우수와 대기중에 노출되면 방해석의 용탈이 발생하여 빠른 풍화가 예상됨

• 인근 비탈면 조사결과 대부분 완경사를 적용하였고 추가적인 사면보강 및 보호공법을 적용하였으며, 특히 인접한 반야월층(춘산층) 셰일 분포구간은 1:1.0이상의 완경사와 식생에 의한 보호공법를 적용하였음

• 문헌 및 논문조사결과 "한국도로공사 기술자문 사례"에서는 중앙고속도로의 셰일층 암반비탈면은 시공시 1:1.0~1:2.0의 완경사를 적용하였으며,

• 관련논문의 연구결과에서는 붕괴사면의 식생상태 분석결과 식생상태 불량 일 때가 72%로 상당히 많은 붕괴가 발생하였음

• 또한, 기본설계 VE에서도 관련 자료에 근거하여 반야월층(춘산층) 셰일분포 구간인 8~10공구는 전체적으로 1:1.0 경사로 변경 적용하였음

• 따라서, 경상분지의 니질암 분포구간인 본 구간의 장기적인 비탈면 안정확보를 위해서는 1:1.0이상의 완경사를 적용하고, 시공시 조기피복이 가능하도록 식생에 의한 법면 보호공법을 적용하여야 할 것임

구 분	검 토 내 용
지 질 특 성	· 춘산층(반야월층)의 니질암인 셰일 분포구간
암 종 특 성	· 미립의 점토입자간 교결물질이 풍화에 취약한 방해석으로 빠른 풍화예상
인근비탈면 조사	· 인접한 춘산층 셰일분포구간에 1:1.0이상의 완경사 및 식생보호공법 적용됨
문헌자료 조사	· 셰일층 암반비탈면 1:1.0~2.0의 완경사
관련논문 연구결과	· 붕괴사면에 대한 조사결과 식생상태 불량시 72%의 비탈면에 붕괴가 발생
기본설계 VE결과	· 춘산층 셰일 분포구간인 8~10공구 암반비탈면 경사 1:1.0으로 변경 적용함
춘산층 암반비탈면 기울기 적용	**· 대기에 노출시 빠른 풍화가 예상되는 춘산층 셰일분포구간의 암반비탈면의 경사는 안정성을 고려하여 1:1.0으로 적용**

7.6.3 비탈면 기울기 현황

가. 깎기 비탈면 기울기 현황

시추조사시 채취된 암반코아를 대상으로 TCR 및 RQD를 얻었으며, 암반의 파쇄상태에 따른 깎기기울기 평가 및 검토를 암석별 깎기 적정기울기 기준으로 실시하면 다음 표와 같다.

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 기울기 검토]

구분 / 구간	검토 구간 (STA.)	대표 단면	시추 번호	심도 (GL.-m)	암반 특성에 따른 비탈면 기울기					적용 기울기
					구분	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 기울기	RQD에 의한 기울기	
깎기 1구간	1+220 ~1+740	1+480(암반)	CBB-1	0.5~26.0	발파암	79~100	10~93	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-2	0.8~1.9	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				1.9~22.0	발파암	64~100	9~97	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-3	1.0~2.4	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				2.4~27.0	발파암	87~100	13~77	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
깎기 2구간	2+140 ~2+780	2+600(암반) 2+300(암반)	CBB-4	1.5~35.0	발파암	100	0~100	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-5	0.8~1.6	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				1.6~26.0	발파암	100	42~100	1:0.5	1:0.7	1:1.0
			CBB-6	6.0~7.3	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				7.3~36.0	발파암	17~100	0~63	1:0.8~1:1.0	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-7	2.0~3.2	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				3.2~36.0	발파암	96~100	35~92	1:0.5	1:0.7	1:1.0
깎기 3구간	4+320 ~4+690	4+500(암반)	CBB-10	0.4~1.0	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				1.0~33.0	발파암	73~100	0~75	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-11	1.3~1.7	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				1.7~30.0	발파암	82~100	0~93	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-12	2.0~3.3	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				3.3~17.0	발파암	87~100	29~62	1:0.5	1:0.7	1:1.0
			CBB-13	3.5~19.0	발파암	87~100	29~62	1:0.5	1:0.7	1:1.0
깎기 4구간	5+240 ~6+180	5+520(암반) 5+760(암반)	CBB-14	4.0~4.5	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				4.5~22.0	발파암	8~93	0~21	1:0.8~1:1.0	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-15	2.0~3.0	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				3.0~22.0	발파암	77~100	31~67	1:0.5	1:0.7	1:1.0
			CBB-16	1.0~2.5	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				2.5~28.0	발파암	49~100	7~70	1:0.7	1:0.8~1:1.0	1:1.0

[암반 파쇄 상태에 따른 깎기비탈면 기울기 검토- 계속]

구분 / 구간	검토 구간 (STA.)	대표 단면	시추 번호	심도 (GL.-m)	암반 특성에 따른 비탈면 기울기					적용 기울기
					구분	TCR(%)	RQD(%)	TCR에 의한 기울기	RQD에 의한 기울기	
깎기 4구간	5+240 ~6+180	5+520(암반) 5+760(암반)	CBB-17	0.5~27.0	발파암	70~100	7~88	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-18	0.5~1.0	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				1.0~28.0	발파암	40~100	0~88	1:0.7	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-19	0.7~19.0	발파암	90~100	20~70	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-20	0.5~15.8	발파암	89~100	26~57	1:0.5	1:0.7	1:1.0
깎기 5구간	6+360 ~6+940	6+480(암반)	CBB-23	2.0~2.5	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				2.5~22.0	발파암	93~100	22~85	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-24	2.0~3.3	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				3.3~21.0	발파암	83~100	45~86	1:0.5	1:0.7	1:1.0
			CBB-25	0.4~1.0	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				1.0~33.3	발파암	100	13~93	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0
			CBB-26	1.0~3.0	리핑암	-	-	-	-	1:1.0
				3.0~22.0	발파암	93~100	23~72	1:0.5	1:0.8~1:1.0	1:1.0

1) 검토 결과

• 암반 비탈면 절취 기울기 (한국도로공사, 도로설계요령, 제2권 토공 및 배수편, 2002년) 검토 결과, 본 과업내 TCR 및 RQD에 의한 수치는 상대적으로 적게 검토되었다.

• 이는 기반암이 미립의 점토로 구성되어 다소 풍화가 진행 중인 것으로 판단되며, 입자간 교결물질이 방해석으로, 비탈면 시공시 우수와 대기중에 노출되면 방해석의 용탈이 발생하여 빠른 풍화가 될 것으로 판단된다.

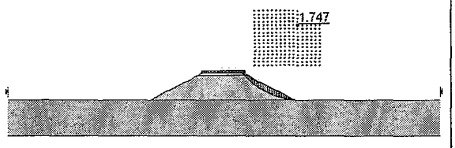
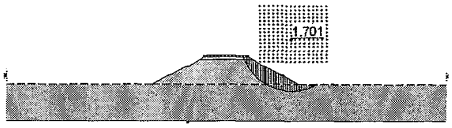
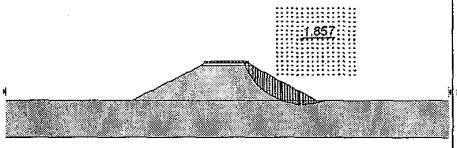
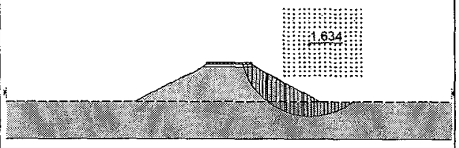
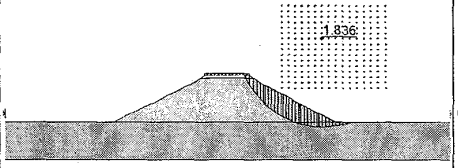
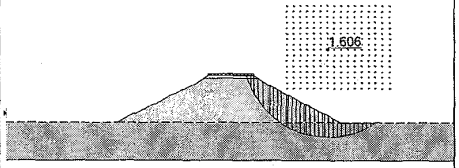
• 그러므로, 경상분지의 니질암 분포구간인 본 구간의 장기적인 비탈면 안정확보를 위해서는 1:1.0 이상의 완경사를 적용하는 것은 타당한 것으로 판단된다.

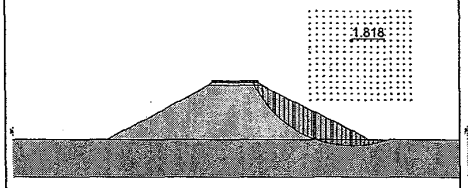
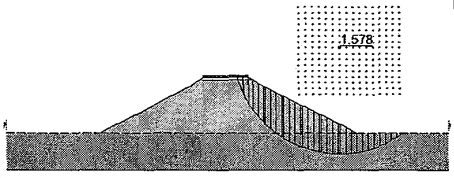
나. 쌓기 비탈면 표준기울기 검토

쌓기비탈면의 경사는 쌓기재료의 종류, 비탈면의 높이에 따라서 표준경사를 적용할 수 있으나, 표준경사와 다른 경우 또는 높이가 10m를 초과하는 경우는 표준경사 선정을 위하여 별도의 비탈면 안정해석이 필요하므로 본과업구간의 성토고가 10m이상인 경우에 대한 높이별 쌓기 비탈면의 안정성을 다음과 같이 검토하였다.

쌓기비탈면 표준기울기 및 안정성 검토조건
o 본 과업구간은 성토재료로 사용될 깎기구간의 층후가 토사층이 얕고 대부분 암으로 구성되어 있으므로 공사시 쌓기구간은 현장 유용암을 이용한 암버력 성토로 계획하였다. o 따라서, 쌓기 비탈면 기울기 및 안정성 검토는 현장여건을 고려한 암버력 성토에 대한 검토이다. o 비탈면의 기울기는 표준경사(0~5m 1 : 1.5, 5m 이상 일때는 1 : 1.8)를 적용하여 검토하였다. o 쌓기재(암버력) 설계지반 정수는 단위중량 : 20kN/㎥, 점착력 : 0.0kPa, 내부마찰각 : 40°를 적용하였다.(설계지반정수 산정 결과 참조) o 상부하중(교통하중)은 13kN/m 를 적용하였다.

1)해석결과(표준경사 적용)

구 분	건기시	우기시	비 고
H=15m (0~5m 1:1.5 5m이상 1:1.8 적용)			
	FS=1.747 > 1.5 ∴안정	FS=1.701 > 1.3 ∴안정	
H=20m (0~5m 1:1.5 5m이상 1:1.8 적용)			
	FS=1.857 > 1.5 ∴안정	FS=1.634 > 1.3 ∴안정	
H=25m (0~5m 1:1.5 5m이상 1:1.8 적용)			
	FS=1.836 > 1.5 ∴안정	FS=1.606 > 1.3 ∴안정	

구 분	건기시	우기시	비 고
H=30m (0~5m 1:1.5 5m이상 1:1.8 적용)			
	FS=1.818 > 1.5 ∴안정	FS=1.578 > 1.3 ∴안정	

2)검토 결과

o 암버력 성토를 고려하여 표준경사시 쌓기체에 대하여 쌓기 높이별 안정성을 검토한 결과, 성토고가 30m까지 표준경사를 높이 0~5m까지는 1 : 1.5, 높이 5m 이상 일때는 1 : 1.8로 적용하여도 안정성을 확보하는 것으로 검토되었다.

o그러나, 상기 검토결과는 원지반이 일반토사구간일 경우에 대한 검토이므로 쌓기구간의 원지반에 연약층이 존재할 경우에는 시공전에 해당지층을 고려한 추가 안정성검토가 필요하다.

3)시공시 주의 사항

o 본과업구간의 쌓기비탈면의 기울기 및 안정성은 암버력을 기준으로 검토한 것이다. 따라서 **시공시 쌓기재료로서 토사만을 사용할 경우에는 별도의 안정성검토를 실**시하여 쌓기기울기를 결정하여야 한다.

o 쌓기 시공시에는 관련시방서에 따라 암버력 사이의 간극을 돌부스러기 등으로 밀실하게 채우는 등 **암버력 쌓기에 따른 다짐방법 및 관리방안을 철저히 이행**하여야 한다.

o 암쌓기는 노체 완성면 60cm 하부에만 허용될 수 있으며, 암 덩어리의 최대치수는 60cm를 초과할 수 없다. 다만, 본 과업처럼 풍화암이나 이암, **세일**, 실트스톤, 천매암, 편암 등 암석의 역학적 특성에 의해 쉽게 부서지거나, 수침 반복 시 연약해지는 **암버력의 최대치수는 30cm 이하**로 한다.

o 암버력에 의한 흙쌓기 경우에는 석축 쌓는 부분을 제외하고 **흙쌓기 비탈면이 암 버력이 노출되지 않도록 양질의 토사로 덮어 식생이 가능하도록** 조치하여야 하며, 비탈면 다짐을 실시하여야 한다.

o **암쌓기 작업시 다짐에 대한 검사는 KS F 2310에 의해 지지력계수(K30)가 침하량 0.125cm일 때 196.1MN/m^3(20kgf/cm^3) 이상으로 관리**하여야 한다.

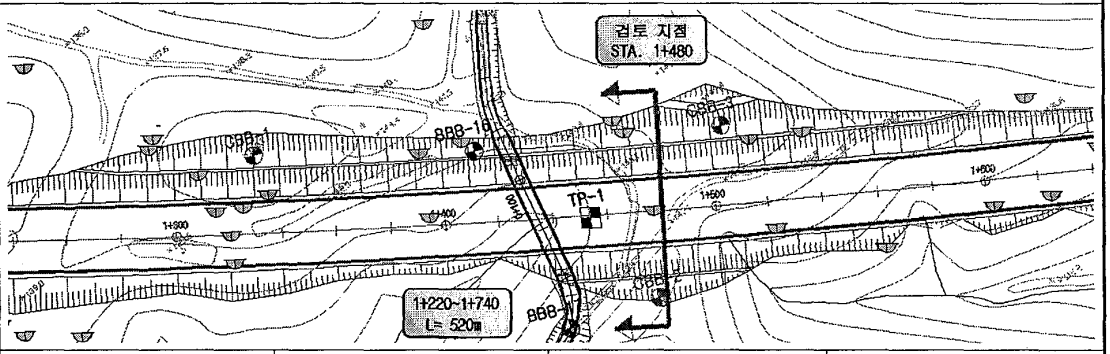
7.6.4 비탈면 안정검토

가. 깎기 비탈면 구간

(1) 깎기 1구간

비탈면현황

평 면 도



검토구간(STA.)	1+220~1+740	연장	520m

지 반 특 성

◦ 구성암석 : 셰일

◦ 지층구성 :

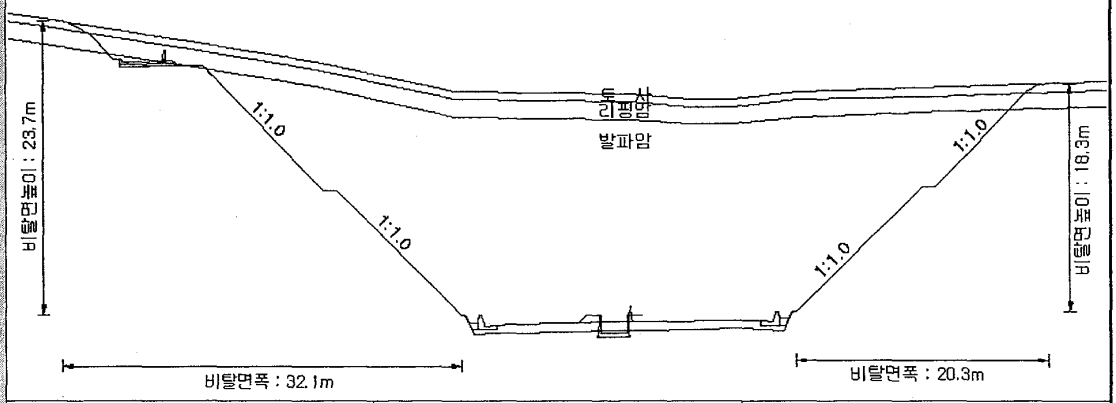
구 분	풍화토	풍화암	연암	경암
CBB-1	0.0~0.5m	-	0.5~9.0m	9.0~26.0m
CBB-2	0.0~0.8m	0.8~1.9m	1.9~14.1m	14.1~22.0m
CBB-3	0.0~1.0m	1.0~2.4m	2.4~18.0m	18.0~27.0m

◦ 주불연속면 : J1:07/067, J2:80/162, J3:83/256 (주절리는 인근 CBB-4 BIPS 자료인용)

◦ TCR : 64~100(86~96) -----> 1:0.5

◦ RQD : 9 ~ 97(39~59) -----> 1:0.5~1:0.7 *( )는 가중평균값

대 표 횡 단 면(Station : 1+480)

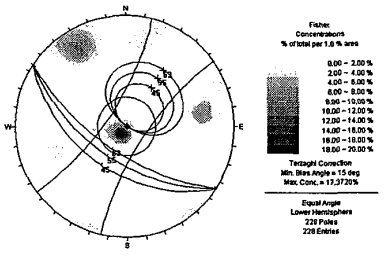
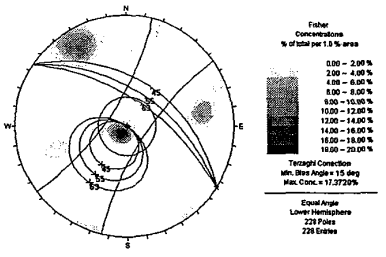
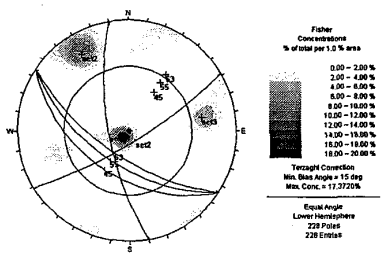
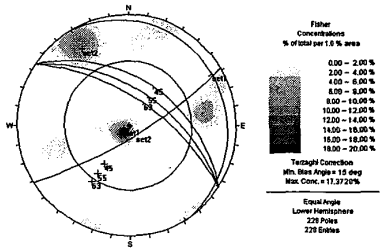


지반고 : 142.89 m	계획고 : 124.49 m	최대절취고 : 23.7/18.3m

비탈면 안정성 검토

깎기구간 안정성 검토

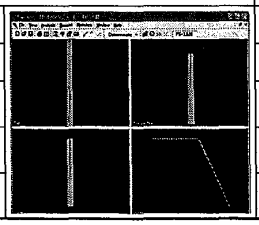
암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	발 생	안 정	국부적 발생	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	국부적 발생	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	국부적 발생	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	쐐기파괴			쐐기파괴		
	건기	우기		건기	우기	
1:0.5	3.93	3.63		–	–	–
1:0.7	–	–		–	–	
1:1.0	–	–		–	–	

평 가

◦ 암반층 평사투영 해석결과 평면파괴 가능성은 없으나, 상주방향에서 1:0.5 기울기에서 쐐기파괴 가능성이 있는 것으로 판단되었음.

◦ 따라서 상주방향의 쐐기파괴에 대해서는 한계평형 해석을 실시하였으며, 안전율 Fs=3.93/3.63 (건기/우기)로 안정한 것으로 재검토되었음.

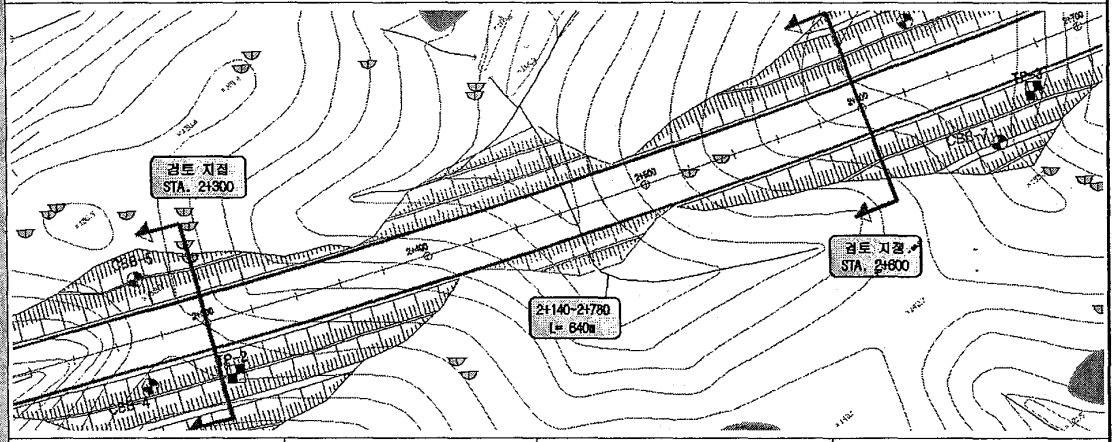
◦ 또한, 평사투영 해석결과 전도파괴가 국부적으로 발생할 것으로 판단되므로 이에대한 보완으로서 **낙석방지망 및 낙석 방지책**을 적용하였다.

◦ 하지만, 이는 제한된 노두관찰 및 한정된 시추조사에 의한 검토결과므로, 시공시 절취된 사면의 지층분포가 설계시와 상이할 경우에는 확인시추 및 전문가에 의한 비탈면 안정성 검토를 실시하여야 한다.

(2) 깎기 2구간

비탈면현황

평 면 도



검토구간(STA.)	2+140~2+780	연장	640m

지 반 특 성

◦ 구성암석 : 셰일

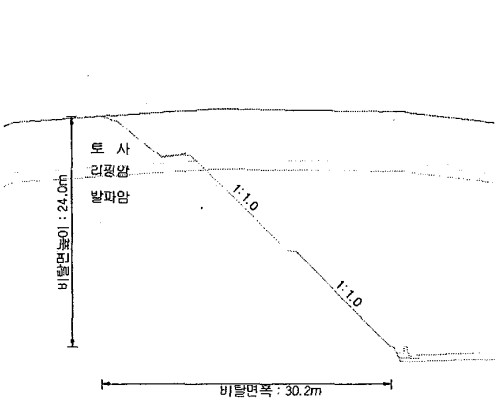
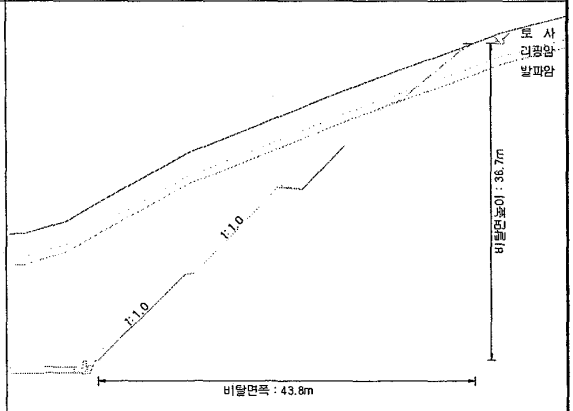
◦ 지층구성 :

구 분	풍화토	풍화암	연암	경암
CBB-4	0.0~1.5m	-	1.5~6.3m	6.3~35.0m
CBB-5	0.0~0.8m	0.8~1.6m	1.6~6.4m	6.4~26.0m
CBB-6	0.0~6.0m	6.0~7.3m	7.3~36.0m	-
CBB-7	0.0~2.0m	2.0~3.2m	3.2~12.0m	12.0~36.0m

◦ 주불연속면 : J1:07/067, J2:80/162, J3:83/256 (주절리는 CBB-4 BIPS 자료인용)

◦ TCR : 17~100(81~100)----> 1:0.5

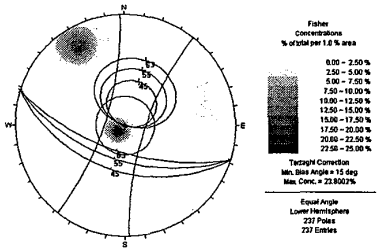
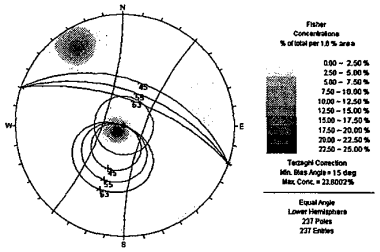
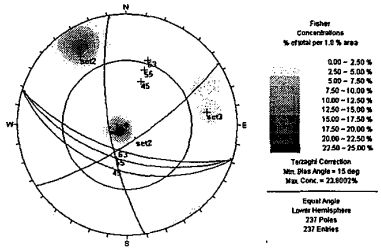
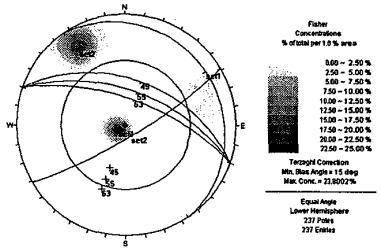
◦ RQD : 0~100(28~84) ----> 1:0.5~1:0.7 *( )는 가중평균값

대 표 횡 단 면(Station : 2+600)			대 표 횡 단 면(Station : 2+300)		
					
지반고 : 151.87m	계획고 :128.29m	최대절취고 : 24.0m	지반고 :147.43m	계획고 : 132.01m	최대절취고 : 36.7m

비탈면 안정성 검토

깎기구간 안정성 검토

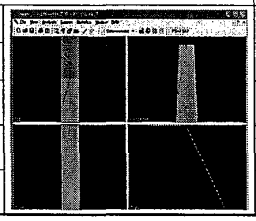
암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	발 생	안 정	안 정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	쐐기파괴			쐐기파괴		
	건기	우기		건기	우기	
1:0.5	16.37	7.52		-	-	-
1:0.7	-	-		-	-	
1:1.0	-	-		-	-	

평 가

◦암반층 평사투영 해석결과 평면파괴 가능성은 없으나, 상주방향에서 1:0.5 기울기에서 쐐기파괴 가능성이 있는 것으로 판단되었음.

◦따라서, 상주방향의 쐐기파괴에 대한 한계평형 해석을 실시하였으며, 안전율 Fs=16.37/7.52 (건기/우기)로 안정한 것으로 재검토되었음.

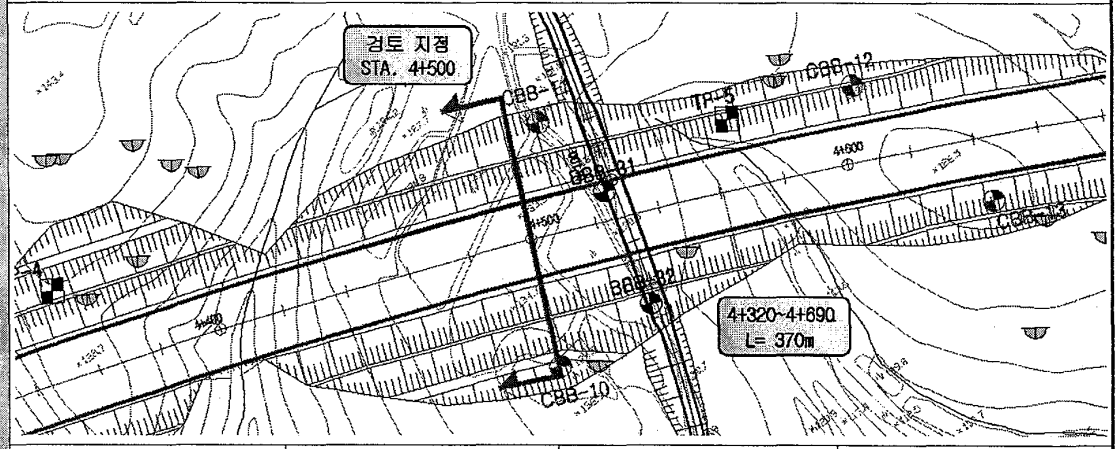
◦또한, 해당 구간에 대하여 추가적인 현장 조사 결과 암반파괴 가능성은 미약한 것으로 판단되나 세일층 암반의 파쇄등에 대한 안전성확보를 위하여 **낙석방지망 및 낙석 방지책**을 적용하였다.

◦하지만, 이는 제한된 노두관찰 및 한정된 시추조사에 의한 검토결과므로, 시공시 절취된 사면의 지층분포가 설계시와 상이할 경우에는 확인시추 및 전문가에 의한 비탈면 안정성 검토를 실시하여야 한다.

(3) 깎기 3구간

비탈면현황

평 면 도



검토구간(STA.)	4+320~4+690	연장	370m

지 반 특 성

◦ 구성암석 : 셰일

◦ 지층구성 :

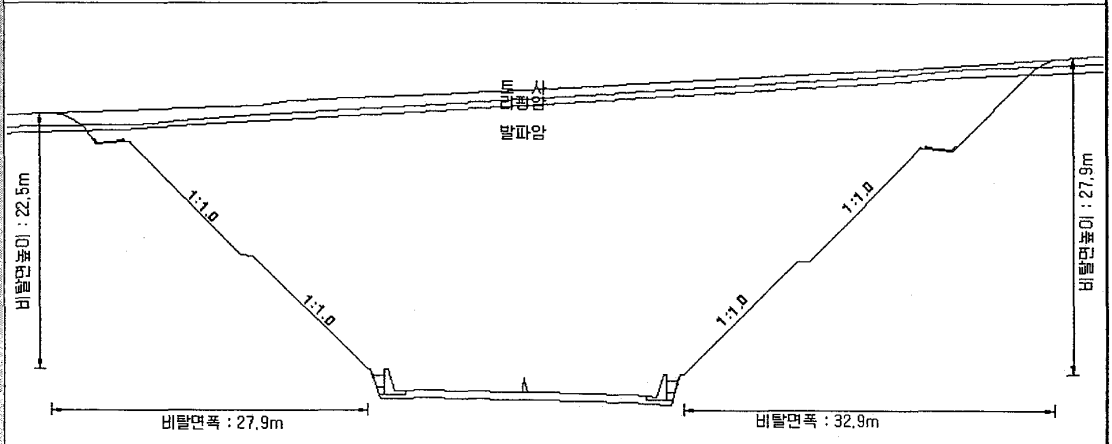
구 분	풍화토	풍화암	연암	경암
CBB-10	0.0~0.4m	0.4~1.0m	1.0~21.0m	21.0~33.0m
CBB-11	0.0~1.3m	1.3~1.7m	1.7~15.0m	15.0~30.0m
CBB-12	0.0~2.0m	2.0~3.3m	3.3~9.0m	9.0~17.0m
CBB-13	0.0~3.5m	-	-	3.5~19.0m

◦ 주불연속면 : J1:09/088, J2:79/279, J3:87/180 (주절리는 SC 6-5 자료인용)

◦ TCR : 73~100(95~96)----> 1:0.5

◦ RQD : 0~93(37~66) -----> 1:0.5~1:0.7 *( )는 가중평균값

대 표 횡 단 면(Station : 4+500)

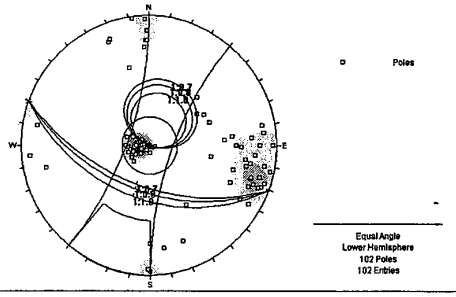
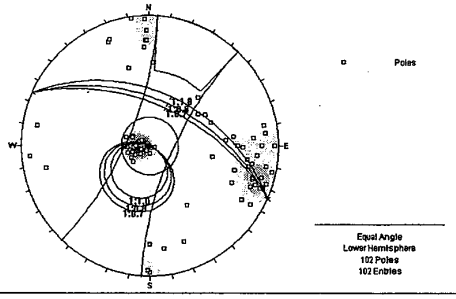
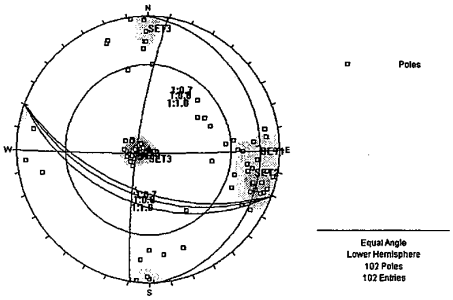
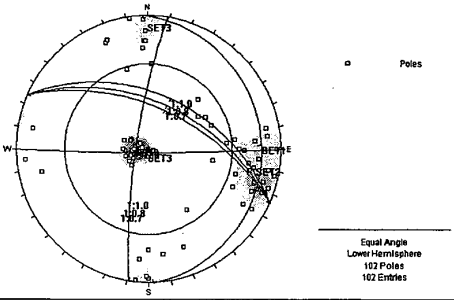


지반고 : 133.44 m	계획고 : 106.81 m	최대절취고 : 22.5/27.9m

비탈면 안정성 검토

깎기구간 안정성 검토

암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정
1:0.7	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정
1:1.0	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향				영천방향			
	평면파괴		쐐기파괴		평면파괴		쐐기파괴	
	건기	우기	건기	우기	건기	우기	건기	우기
1:0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1:0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
1:1.0	-	-	-	-	-	-	-	-

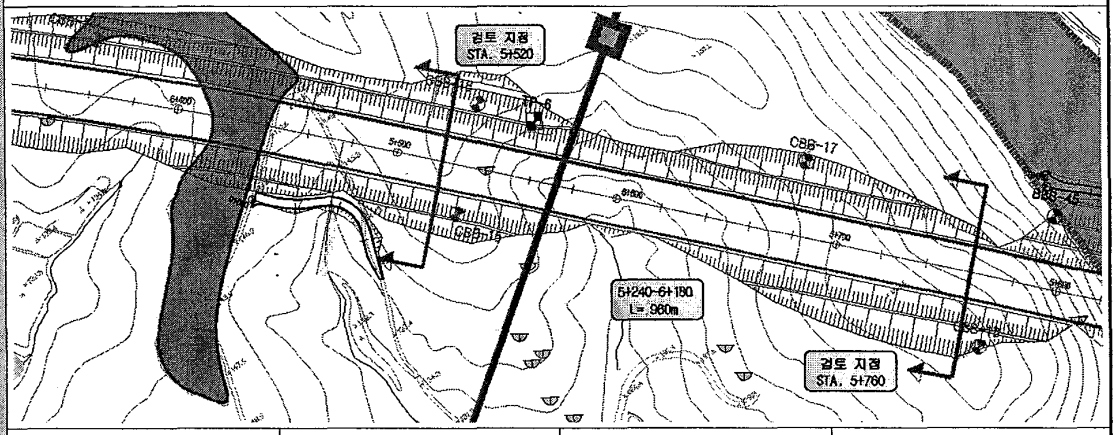
평가

◦암반층 평사투영 해석결과 평면 및 쐐기파괴, 전도파괴는 발생가능성은 없는 것으로 판단되었음.
◦또한, 해당 구간에 대하여 현장조사 결과에서도 암반파괴 가능성은 미약한 것으로 판단되나, 세일층 암반으로 인한 암반의 파쇄등에 대한 안전성확보를 위하여 **낙석방지망 및 낙석 방지책**을 적용하였다.
◦하지만, 이는 제한된 노두관찰 및 한정된 시추조사에 의한 검토결과므로, 시공시 절취된 사면의 지층분포가 설계시와 상이할 경우에는 확인시추 및 전문가에 의한 비탈면 안정성 검토를 실시하여야 한다.

(4) 깎기 4구간

비탈면현황

평 면 도



검토구간(STA.)	5+240~6+180	연장	960m

지 반 특 성

◦ 구성암석 : 셰일

◦ 지층구성 :

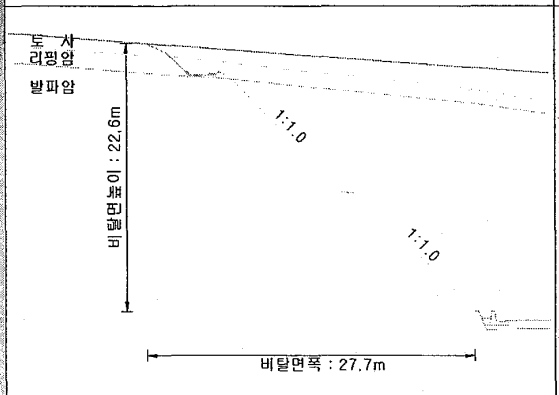
구 분	풍화토	풍화암	연암	경암
CBB-14	0.0~4.0m	4.0~4.5m	4.5~22.0m	-
CBB-15	0.0~2.0m	2.0~3.0m	3.0~17.9m	17.9~22.0m
CBB-16	0.0~1.0m	1.0~2.5m	2.5~11.8m	11.8~28.0m
CBB-17	0.0~0.5m	-	0.5~9.0m	9.0~27.0m
CBB-18	0.0~0.5m	0.5~1.0m	1.0~12.0m	12.0~28.0m
CBB-19	0.0~0.7m	-	0.7~8.5m	8.5~19.0m
CBB-20	0.0~0.5m	-	0.5~11.7m	11.7~15.8m

◦ 주불연속면 : J1:52/344, J2:04/194, J3:50/198 (주절리는 CBB-16 BIPS 자료인용)

◦ TCR : 8~100(58~99)----> 1:0.5~1:0.7

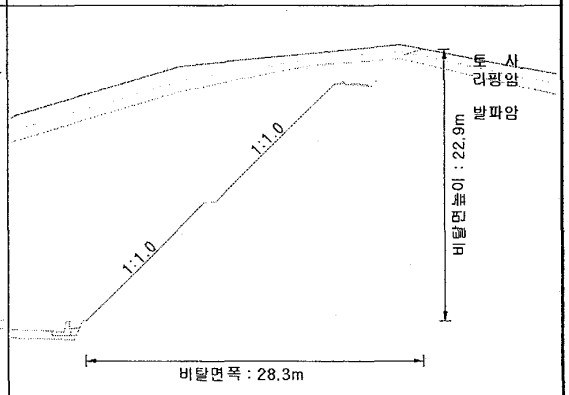
◦ RQD : 0~88(8~54) ----> 1:0.5~1:1.0 *( )는 가중평균값

대 표 횡 단 면(Station : 5+520)



지반고:155.16m	계획고:134.53m	최대절취고:22.6m

대 표 횡 단 면(Station : 5+760)

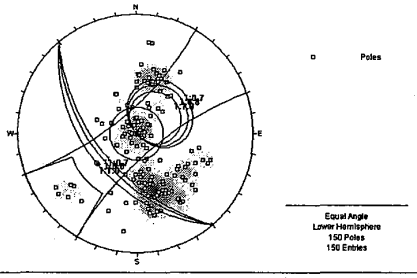
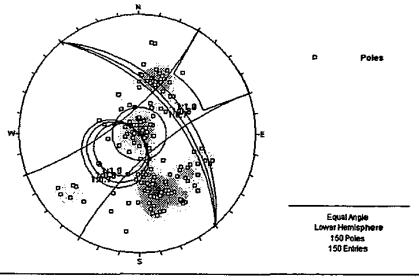
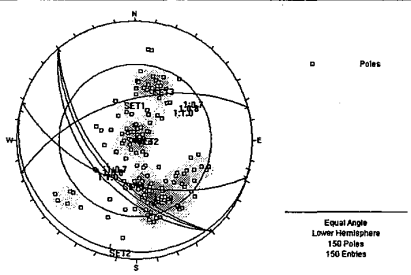
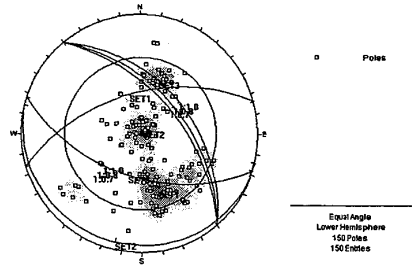


지반고:152.91m	계획고:137.56m	최대절취고:22.9m

비탈면 안정성 검토

깎기구간 안정성 검토

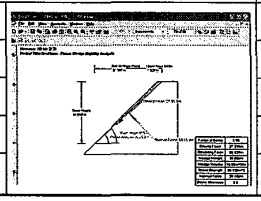
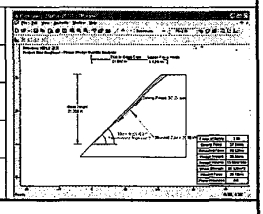
암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	발 생	국부적 발생	안 정	발 생	안 정	안 정
1:0.7	발 생	국부적 발생	안 정	발 생	안 정	안 정
1:1.0	발 생	국부적 발생	안 정	발 생	안 정	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면파괴			평면파괴		
	건기	우기		건기	우기	
1:0.5	0.97	0.69		0.96	0.74	
1:0.7	1.20	0.93		1.12	0.95	
1:1.0	2.96	2.96		2.96	2.96	

평가

◦ 암반층 평사투영 해석결과 평면파괴는 1:0.5~1.0 기울기 적용시 양측 비탈면 모두 발생 가능할 것으로 판단되며, 쐐기파괴는 양측 비탈면 모두 안정할 것으로 판단된다.

◦ 평면파괴에 대한 한계평형 해석결과, 비탈면 기울기 1:0.5~1:0.7 경사에서 우기시 안전율이 Fs=0.69~0.95로 불안정한 것으로 검토되었으나, 비탈면 기울기를 1:1.0으로 조정시 허용 안전율을 만족하는 것으로 판단되었으므로, 본 구간의 암반비탈면 기울기 1:1.0은 적절한 것으로 판단되었다.

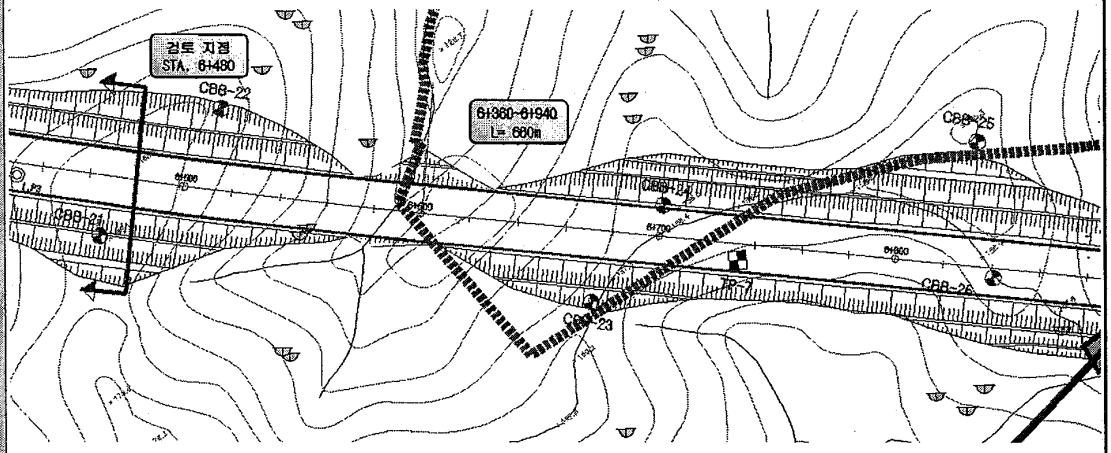
◦ 그리고, 해당 구간에 대하여 현장조사 결과에서도 암반파괴 가능성은 미약한 것으로 판단되나, 세일층 암반으로 인한 암반의 파쇄 등에 대한 안전성확보를 위하여 **낙석방지망 및 낙석 방지책**을 적용하였다.

◦ 하지만, 이는 제한된 노두관찰 및 한정된 시추조사에 의한 검토결과므로, 시공시 절취된 사면의 지층분포가 설계시와 상이할 경우에는 확인시추 및 전문가에 의한 비탈면 안정성 검토를 실시하여야 한다.

(5) 깎기 5구간

비탈면현황

평 면 도



검토구간(STA.)	6+360~6+940	연장	660m

지 반 특 성

◦ 구성암석 : 셰일

◦ 지층구성 :

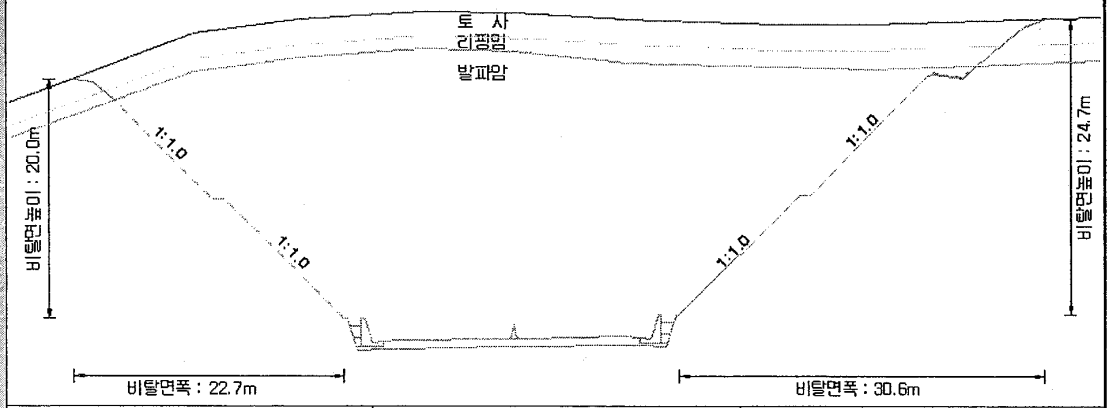
구 분	풍화토	풍화암	연암	경암
CBB-23	0.0~2.0m	2.0~2.5m	2.5~5.7m	5.7~22.0m
CBB-24	0.0~2.0m	2.0~3.3m	3.3~9.0m	9.0~21.0m
CBB-25	0.0~0.4m	0.4~1.0m	1.0~8.5m	8.5~33.3m
CBB-26	0.0~1.0m	1.0~3.0m	3.0~12.0m	12.0~22.0m

◦ 주불연속면 : J1:89/238, J2:03/015, J3:89/321, J4:83/020 (주절리는 SC 5-5 자료인용)

◦ TCR : 83~100(95~100)-----> 1:0.5

◦ RQD : 13~93(61~66) -----> 1:0.5 *( )는 가중평균값

대 표 횡 단 면(Station : 6+480)

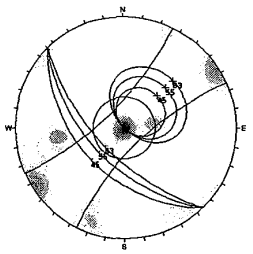
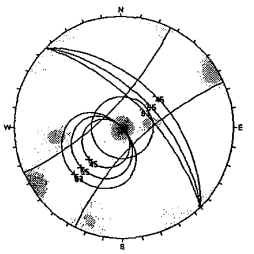
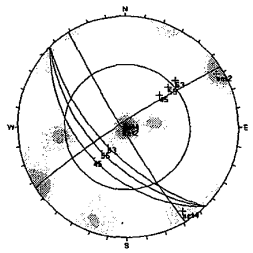
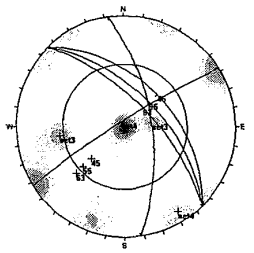


지반고 : 168.27 m	계획고 : 141.04 m	최대절취고 : 20.0/24.7m

비탈면 안정성 검토

깎기구간 안정성 검토

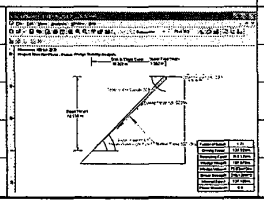
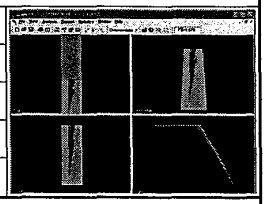
암 반 비 탈 면

구 분	상주방향	영천방향
평면 및 전도파괴 분석도		
쐐기파괴 분석도		

평 사 투 영 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면	전도	쐐기	평면	전도	쐐기
1:0.5	발 생	국부적 발생	안 정	안 정	국부적 발생	발 생
1:0.7	발 생	국부적 발생	안 정	안 정	국부적 발생	안 정
1:1.0	발 생	국부적 발생	안 정	안 정	국부적 발생	안 정

한 계 평 형 해 석

구 분	상주방향			영천방향		
	평면파괴			쐐기파괴		
	건기	우기		건기	우기	
1:0.5	1.04	0.71		1.68	1.28	
1:0.7	1.26	0.98		-	-	
1:1.0	1.71	1.45		-	-	

평가

◦암반층 평사투영 해석결과 평면파괴는 1:0.5~1.0 기울기 적용시 상주방향 비탈면에서 발생 가능할 것으로 판단되며, 쐐기파괴는 영천방향에서는 1:0.5 기울기 적용시 발생 가능한 것으로 판단됨.

◦평면파괴에 대한 한계평형 해석결과, 비탈면 기울기 1:0.5~1:0.7 경사에서 우기시 안전율이 Fs=0.71~0.98로 불안정한 것으로 검토되었으나, 비탈면 기울기를 1:1.0으로 조정시 허용 안전율을 만족하는 것으로 판단되었으므로, 본 구간의 암반비탈면 기울기 1:1.0은 적절한 것으로 판단되었다.

◦그리고, 해당 구간에 대하여 현장조사 결과에서도 암반파괴 가능성은 미약한 것으로 판단되나, 세일층 암반으로 인한 암반의 파쇄 등에 대한 안전성확보를 위하여 **낙석방지망 및 낙석 방지책**을 적용하였다.

◦하지만, 이는 제한된 노두관찰 및 한정된 시추조사에 의한 검토결과므로, 시공시 절취된 사면의 지층 분포가 설계시와 상이할 경우에는 확인시추 및 전문가에 의한 비탈면 안정성 검토를 실시하여야 한다.

나. 비탈면 보강공법

1) 비탈면 안정대책공법의 종류

본 과업내에서는 깎기비탈면에 대하여 안전성 검토 결과, 별도의 비탈면 보강대책공법은 불필요할 것으로 판단되었다.

그러나, 암기육교, 도림1육교, 도림2육교는 구조물 계획시 비탈면 경사 조정이 불가피한 지역에 대한 보강으로써, 교량 기초 하단부 및 경사 조정 구간에 Rock-Bolt를 계획하였다.

비탈면활동에 대한 대책공법은 기능별로 안전율 감소방지법과 안전율 증가법으로 구분된다. 안전율 감소방지법은 현재 비탈면의 안전율이 소요 안전율을 만족시키는 위치에서 우수나 융설수에 의한 비탈면표면의 침식과 비탈면의 공기중 노출에 의한 풍화작용으로 비탈면안전율이 감소될 우려가 있는 경우 적용되는 공법으로 피복공, 블록공 및 표층안정공법과 지중에 침투한 물을 배수하는 배수공법등이 있다.

안전율 증가법은 비탈면의 절취로 비탈면의 소요 안전율이 확보되지 못하는 구간에서 적용되는 공법으로 비탈면경사를 완만하게 조정하거나 옹벽공, 말뚝공, 앵커공 등의 억지공으로 이들의 저항력을 이용하여 불안전한 비탈면의 안전율을 증가시키는 공법이다.

이들 공법들은 또한 조합하여 이용되기도 하는데, 비탈면활동의 방지를 위한 원리별 대책공법은 다음과 같이 분류된다.

<비탈면안정 대책공법의 원리별 분류>

구 분	원 리	공 법	비 고(1)	비 고(2)
응급 대책	비탈면단면수정	절 토 공	경사완화방법	억 제 공
		성 토 공	압성토방법	
	간극수압감소	지하수차단공	배수 공법	
		지하수배제공		
		지표수배제공		
	토 성 개 량	치 환 공 법		
		다 짐 공 법		
		동 결 공 법		
		소 결 공 법		
항구 대책	토 류 공 법	옹 벽		억 지 공
		억 지 말 뚝		
		뿌 리 말 뚝		
		Nailing		
		Earth Anchor		
		Bite Machine Nail		
	암 반 보 강	Rock Bolt, Nail		암반보강공법
		Rock Anchor		
		FRP 보강그라우팅		
		Fence		낙석방지공법
		Wire Mesh		
		Shotcrete		

<비탈면활동에 대한 대책공법의 지질 및 지형특성별 적용성>

대 책 공 법	지 질 및 지 형 특 성
Earth Anchor	두꺼운 붕적층, 파쇄심한 풍화잔류토와 풍화암 지역에서 원형활동이 우려되는 지역, 지층간 경계가 뚜렷하고 작은 활동현상이 일어난 지역 및 개방구간에 단층점토와 경면, 인장균열 등으로 쐐기활동이 우려되는 지역에 적용
Earth Anchor 옹벽 (앵커벽)	점토, 층진절리, 전단파쇄대, 인장균열에 의한 얕은 활동 및 쐐기활동이 발생되는 지역, 절리면경사가 비탈면경사와 비슷하고, 엽리로 인한 평면활동이 우려되는 지역, 활동암이 하단부에 지지되어 있고 충진절리, 차변풍화 및 박리작용으로 핵석이 존재하는 지역, 수류에 의한 비탈면하단부의 침식방지 및 붕적층의 활동과 연약층위에 쌓기된 비탈면에 적용
Nailing	토사비탈면이 암반의 활동 및 단층파쇄대 등으로 쐐기활동이 우려되는 구간, 편마암대의 잔류토와 풍화가 심한 암반으로 구성된 대깎기 풍화암지역 및 인장균열, 층리 또는 절리면이 비탈면경사와 비슷하여 평면활동이 우려되고 용출수가 있어 얕은 활동에 대한 대비책이 필요한 지역에 적용
Bite Machine Nailing	종래의 Soil Nail 공법을 개량시킨 방법으로 Nail의 선단부에 별도의 앙카정착장치를 도입하여 지반의 전단저항력을 극대화시킨 공법
억지말뚝공법	지반활동을 적접 억제하는 억제기능과 이동층과 부동층 사이에 쐐기를 박아 지방활동을 억제하는 쐐기기능을 가지는 것으로서, 기초부 암반이 토압으로 활동현상이 발생한 지역, 토층사이의 경계면에서 평면활동이 발생하거나 풍화암층의 유실과 침식으로 표면파괴의 우려가 있는 지역 또는 급경사 토사비탈면의 경사완화가 불가하거나 단층파쇄대 구간으로서 지하수위가 낮고 침투수 영향이 적은 구간에 적용
뿌리말뚝공법	비탈면상부에 주요 구조물이 존재하는 쌓기구간이 파괴하거나 비탈면이 활동한 지역으로 인장균열, 층리 및 절리면이 비탈면과 비슷하거나 용출수가 있는 비탈면 등 깊은 활동이 우려되는 구간에 적용
Rock Bolt 공법	다양한 절리, 단층점토대 및 전단파쇄대의 블록이 조합되어 쐐기활동이 예상되는 지역, 암반이 뜬 상태로 있어 이를 기반암에 고정시키거나 대규모 단층파쇄대가 존재하고 비탈면상부는 주향이 비탈면경사와 비슷하여 평면활동이 우려되는 지역, 필요시 낙석방지망과 조합으로 시공
Rock Anchor 공법	쐐기활동이 발생한 급경사 비탈면에서 암괴가 뜬 상태로 존재하여 이를 모암에 고정시키기 위한 지역에 적용
FRP 보강그라우팅	공극이 많은 토사 및 절리가 발달된 암반, 파쇄대 등에 보강재(FRP)삽입과 Grouting을 실시하여 주변지반을 일체화 동시에 전단강도 증대 효과
활동방지턱 (콘크리트블럭 +Dowel Bar)	크고 작은 부석이 암괴에 걸려있거나 활동층면상에 존재할 때 이를 고정시키기 위한 지역에 적용
Shotcrete 공법	과발파로 2차균열이 발생한 지역, 부석, 낙석 또는 뜬 돌이 다량 발생한 지역, 전단파쇄대 지역의 풍화구간 등의 여굴 또는 표면처리에 적용, Rock Anchor 또는 Rock Bolt와 조합하여 시공

2) 공법의 선정

(1) 개요

안정공법을 적용할때는 다음과 같은 기본적인 세가지 사항을 고려해야 한다.

- 비탈면의 높이나 경사를 줄여 활동력을 감소시키는 방안
- 내외부에 배수공법을 적용하여 침투수압 조절시키는 방안
- 저항력을 증대시킬 수 있는 공법의 적용

본 과업에서 공법 선정함에 있어 상기의 여러 조건중 현장의 지질조건과 위험정도, 발생가능성과 공법의 경제성, 시공성, 적합성 등을 고려하여 공법을 선정하고자 한다.

(2) 공법선정의 선행조건

비탈면을 처리하는 목적은 ①현재비탈면의 불안정성을 방지하고, ② 파괴가 발생한 비탈면에 대하여 보강하는 것으로 구분할 수 있다. 기후조건 등의 예측할 수 없는 요인을 고려한 경험적으로 비탈면파괴의 가능성도 고려하고 다음과 같은 조건을 고려가 이루어져야 한다.

① 비탈면파괴예측

- 시공, 기후조건 및 지진에 대한 파괴형태 및 크기 등의 파괴이력
- 지질적인 조건과 이와 연관된 파괴형태 및 해석방법
- 전단강도의 적합성, 변화가능성
- 비탈면형상, 침투력, 강수량 및 파괴체적 등의 자료
- 포행, 함몰흔적, 침투 발생지점 및 인장균열과 같은 지표면 조사기록
- 현재 비탈면의 활동정도
- 최근 기후자료와 장기적인 기후 변화조건, 지하수위 변화.

② 비탈면조건

재해와 위험정도에 연관된 안정과 불안정 자연비탈면, 깎기비탈면에 따라 파괴발생 가능성 분석 후 대책공법 강구하여야 한다.

(3) 공법 비교

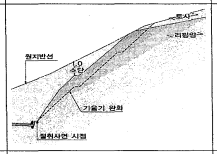
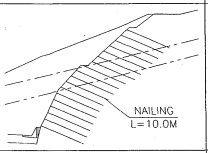
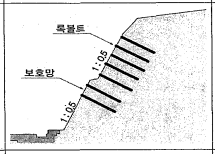
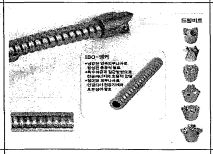
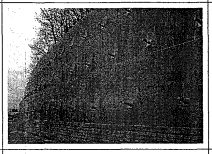
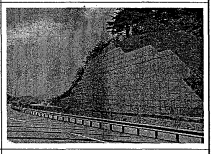
본 구간의 비탈면안정을 위해 적용 가능한 공법을 나열하면 다음표와 같다.

그러나, 본 과업의 비탈면은 대부분 암반비탈면이며, 대기에 노출시 빠른 풍화가 예상되는 춘산층 셰일 분포 구간이므로, 파괴는 국부적으로 발생할 것으로 판단됨에 따라 암기육교, 도림1육교, 도림2육교(암반비탈면 경사조정 구간) 구간에 대해서는 록볼트 보강을 적용하여, 시공중 사면안정검토를 통한 불안정구간에 보강을 수행할 수 있도록 시스템(C.T.C=1.2 X 1.2) 록볼트를 최종적으로 적용하였다.

그러나, 보강재의 배치간격 및 보강재의 길이는 한정된 시추조사 및 지표지질조사에 의해 결정된 것이므로, 시공시 암반상태를 확인하여, 기초안정성 검토에 따라 보강재의 간격, 길이, 설치 위치등을 변경할 수 있다.

② 비탈면 보강공법

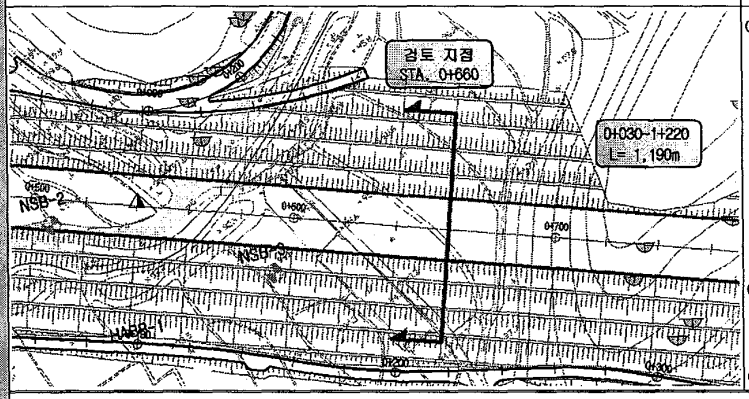
본 과업에서 비탈면 보강공법은 지형 및 지반조건, 토공계획을 고려한 경제성 측면과 환경성 측면 등 다양한 조건에 부합하는 최적의 공법을 선정하여 적용하였다.

구 분	일반토사 및 풍화암 구간		암반 구간	붕적층구간	무한 비탈면 발생 구간 프리캐스트패널 보강재 공법	
	기울기 완화 공법	중력식 Soil Nailing	Rock Bolt	자천공 Soil Nailing	토사구간	암반구간
공 법 개 요	표준기울기 적용시 비탈면 안정 확보가 곤란하여 기울기를 완화 하므로써 비탈면에 발생하는 전단응력을 감소시켜 안정을 확보하는 공법	보강재를 프리스트레싱 없이원지반에 삽입하여 지반에 일체화시켜 활동토압에 저항하여 사면의 안정성을 확보하고 변위를 억제하는 Top Down 방식의 절토면 보강 공법	층리나 절리가 있는 암반에서 고강도 강재를 보강재로하여 시추공내에 삽입하고 그라우팅함으로써 사면을 안정시키는 공법으로 이완암반과 모암의 일체화를 목적으로 혹은 불연속면을 경계로 하는 여러층을 일체화하기 위한 목적으로 사용한다.	공법의 원리는 Soil Nailing과 동일, 나사식 중공관으로 된 Nail체와 드릴 비트를 일체화 하여 천공과 동시에 Nail을 삽입하고 그라우팅 하는 공법	원지반에 보강재(영구앵커)를 설치한 후 전면판인 PC Panel에 Pre-stress를 가하여 전단저항력을 증가시키는 주동보강공법으로, Top Down 및 Bottom-Up이 모두 가능한 공법	보강재(강관, 어스볼트)을 활용하여 원지반 및 전면 PC panel 뒤채움부 공간의 강도를 증대시켜 보강재와 PC패널이 지반과의 완전한 밀착을 이루어 옹벽을 설치하는 공법
개요도						
장 · 단점	• 비탈면 안정 기울기를 유지하여 절취하므로 공사비 저렴 • 특별한 장비가 필요 없음 • 시공이 빠름 • 장기비탈면 표층붕괴 발생 가능 • 자연훼손 과다발생 • 비탈면 식재 과다발생 • 상세 안정해석 필요	• NAIL 1개가 부담하는 안전도가 낮으므로 국부적인 품 질 문제가 전체안정에 미치는 영향이 작다 • 시공이 간단하며 재료의 구입이 용이 • 특허 등의 제한 사항이 없어 시공 시 선택의 폭이 넓고 실행측면에서 유리 • 지반변형에 따른 보강철근의 인장력이 발생하는 수동 적인 공법임 • 금속 보강재는 부식성 지반 에서 부식에 대한 방지대책 이 필요.	• 추가 토지확보가 불필요 • 얕은 지표보강이 간단하고 보강효과 양호 • 1본당 시공단가 매우 저렴 • 정착부에 견고한 암반이 분포할 경우에만 적용가능 • 연암, 사질토에 시공 곤란 • 급경사 높은 위치의 시공은 발판의 확보, 기계 반출입 경비가 비교적 고가	• 시공중 천공 홀의 붕괴가 우려되는 지반에 별도의 케이싱 없이 천공이 가능 • 천공과 동시 NAIL 삽입 • 나사식 중공관을 이용한 동 시 그라우팅 • 자재비(NAIL)가 다소 높음 • 중공관 외부의 그라우팅 두 께가 얇아 시멘트밀크 주입에 의한 개량효과 확인 등 시공 품질 확인 곤란	• Top Down 및 Bottom-Up이 모두 가능한 공법 • 원지반의 절취를 최소화함으로서 환경친화적임 • 소단부의 식재가 가능함 • 적극적 보강으로 보강효과 우수 • 급 곡선부 시공은 어려움 • Panel이 커서 운양 필요	• 단계별 Top Down 시공으로 지반이완 최소화 • Earth Bolt에 의한 절리면 봉합효과와 Grouting 충진으로 암반층 전단강도 증대 • 공장제작 PC Panel 및 조경으로 미관 양호 • 수동적 보강으로 대규모 비탈면 붕락이 예상되는 구간에는 지보효과 의문
적 용 구 간	• 용지보상등의 민원발생우려가 적고 과다 절토부 발생에 따른 환경훼손문제가 발생하지 않는 경우 적용	• 비탈면 보강공법 중 가장 보편적인 공법으로 안정 미확보구간에 우선적으로 적용	• 절토사면 표면의 얇은 위치에 견고한 암반이 존재할 경우 적용가능	• 큰 입자의 전석과 자갈로 구성되어 천공 시 케이싱 설치가 힘들고 네일 시공을 위한 공벽유지가 어려운바 자천공 네일닝공법 적용	• 토사비탈면 급경사구간 적용	• 암반 비탈면 급경사구간 적용
적 용			◎ (암기육교,도림1,2육교 경사조정구간)			

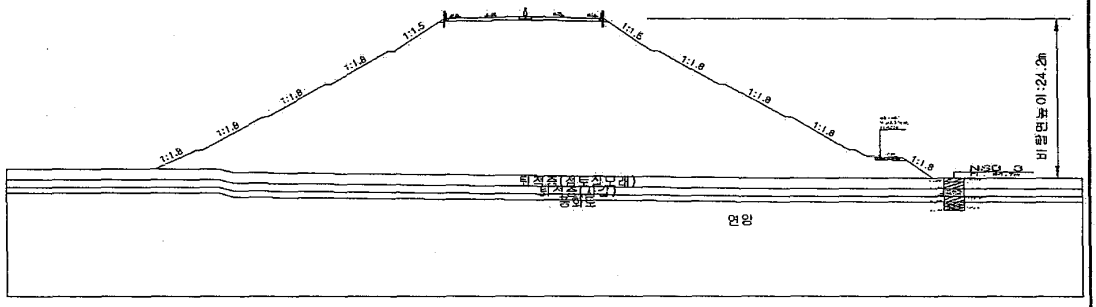
다. 쌓기 비탈면 구간

(1) 쌓기 1구간 (STA.0+030～1+220, L= 1,190.0m, 영천방향 우측)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(NSB-3) 전답 : 0.5m 퇴적층(모래) : 1.1m, 퇴적층(자갈) : 1.2m, 풍화토 : 0.9m 연암 : GL-3.7m o 표준관입시험(N치) : 6/30～50/15 o 지하수위 : GL-0.5m

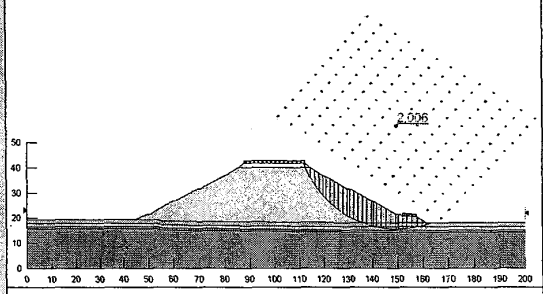
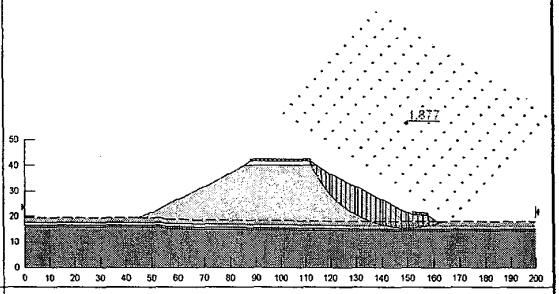
대 표 단 면(STA. 0+660)



지반고 : 95.63m	계획고 : 119.24m	최대쌓기고 : 24.2m

쌓기 비탈면 검토결과

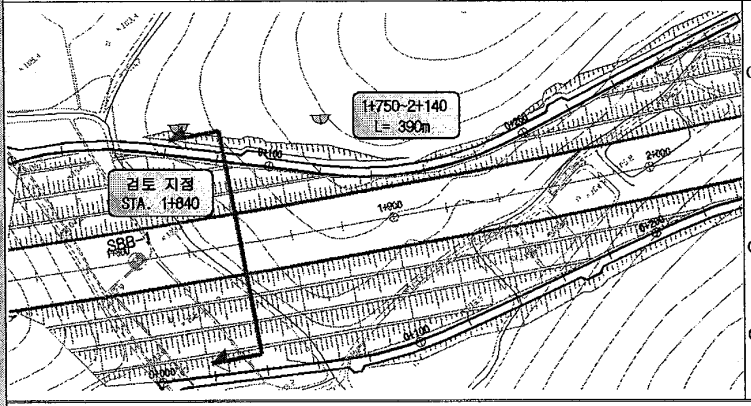
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=2.006 > 1.5 ∴안정	FS=1.877 > 1.3 ∴안정

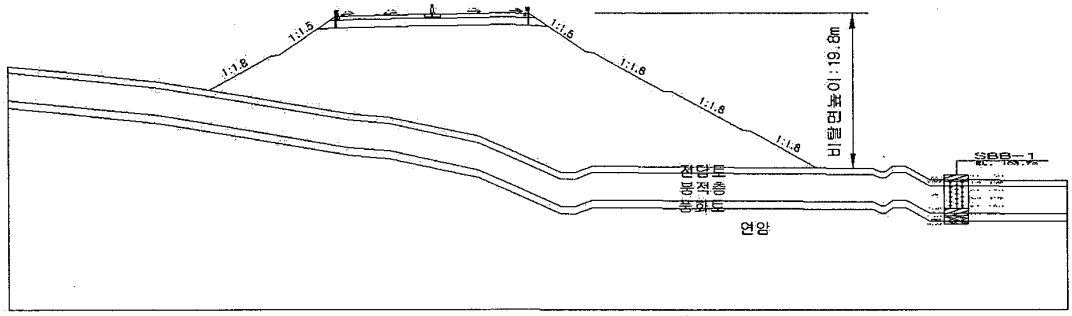
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0～5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(2) 쌓기 2구간 (STA.1+750~2+140, L= 390.0m, 영천방향 우측)

쌓기비탈면현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(SBB-1) 전답토:0.8m, 붕적층:3.5m, 풍화토:1.0m 연 암:GL -5.3m o 표준관입시험(N치) : 1/30 ~ 50/13 o 지하수위 : GL-1.0m

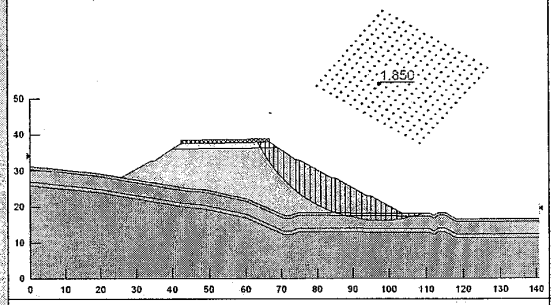
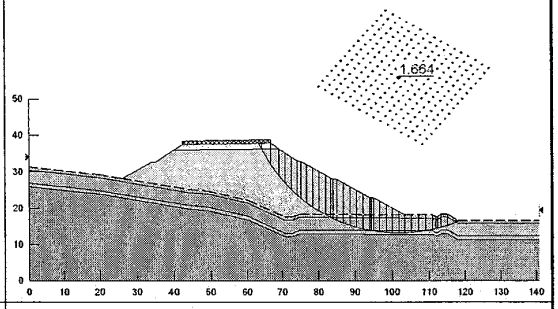
대 표 단 면(STA. 1+840)



지반고 : 108.52m	계획고 : 122.84m	최대쌓기고 : 19.8m

쌓기비탈면검토결과

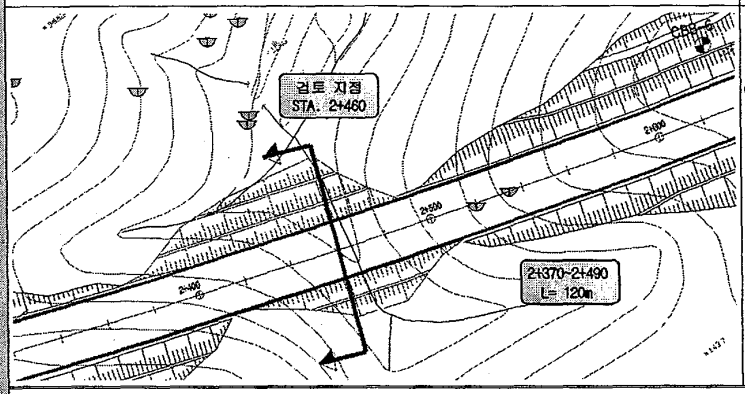
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=1.850 > 1.5 ∴ 안정	FS=1.664 > 1.3 ∴ 안정

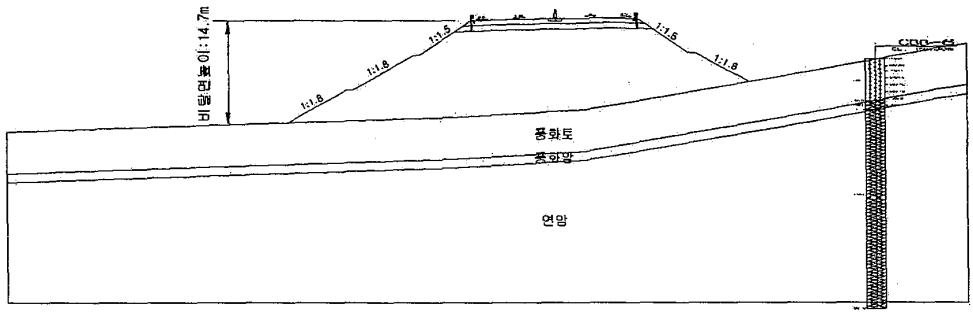
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(3) 쌓기 3구간 (STA.2+370~2+490, L= 120.0m, 상주방향 좌측)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(CBB-6) 풍화토:6.0m 풍화암:1.3m 연암 : GL -7.3m o 표준관입시험(N치) : 20/30~50/7 o 지하수위 : GL-m

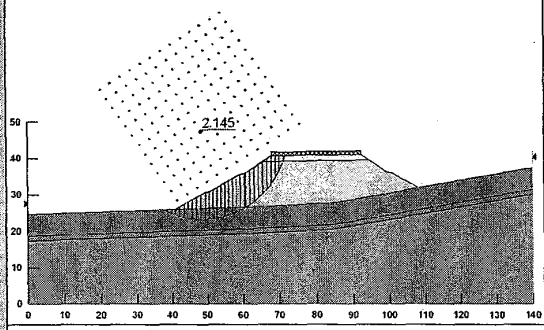
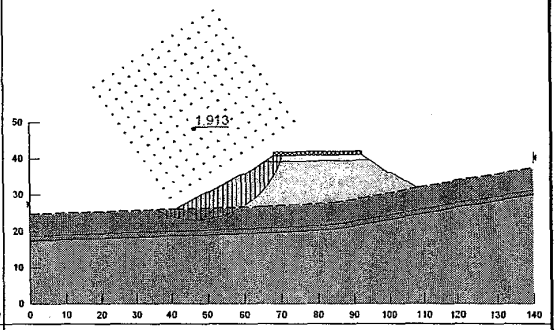
대 표 단 면(STA. 2+460)



지반고 : 118.08m	계획고 : 131.31m	최대쌓기고 : 14.7m

쌓기 비탈면 검토결과

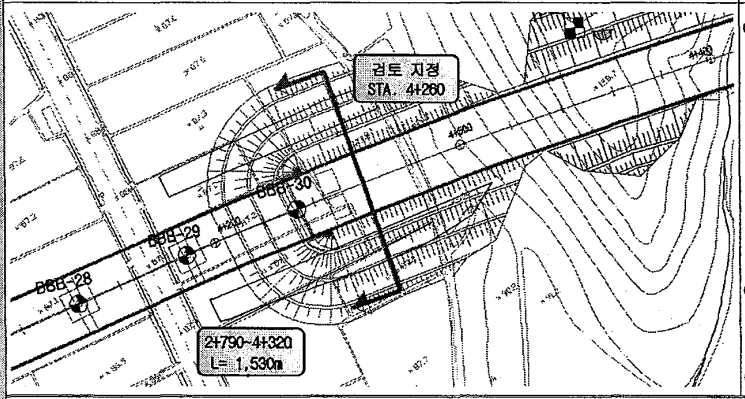
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=2.145 > 1.5 ∴안정	FS=1.913 > 1.3 ∴안정

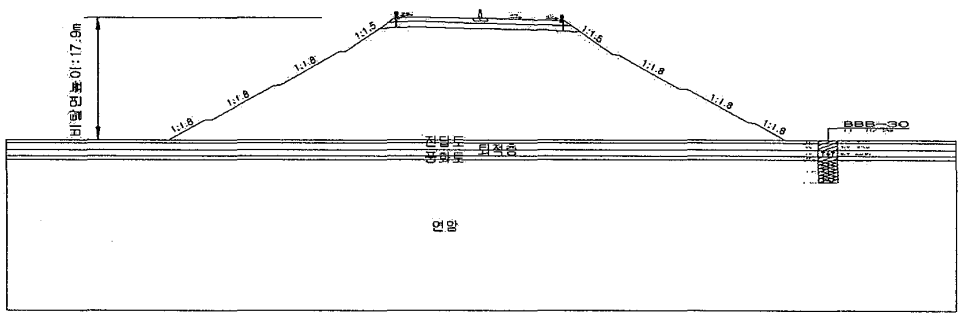
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(4) 쌓기 4구간 (STA.2+790～4+320, L= 1,530.0m, 상주방향 좌측)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(BBB-30) 전답토:0.5m 퇴적층(실트질점토):1.0m 퇴적층(자갈):0.9m, 풍화토:0.5m -연암 : GL -2.9m o 표준관입시험(N치) : 4/30～50/15 o 지하수위 : GL-0.1m

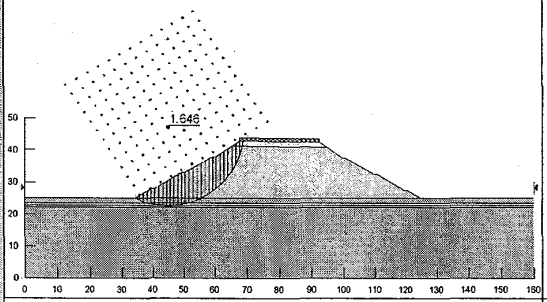
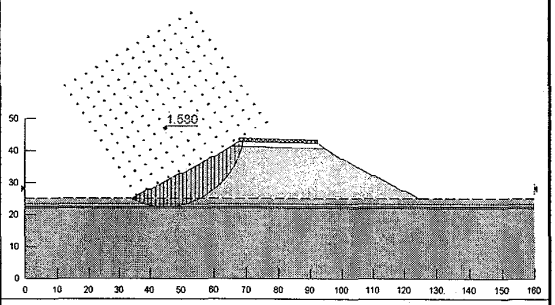
대 표 단 면(STA. 4+260)



지반고 : 87.47m	계획고 : 105.24m	최대쌓기고 : 17.9m

쌓기 비탈면 검토결과

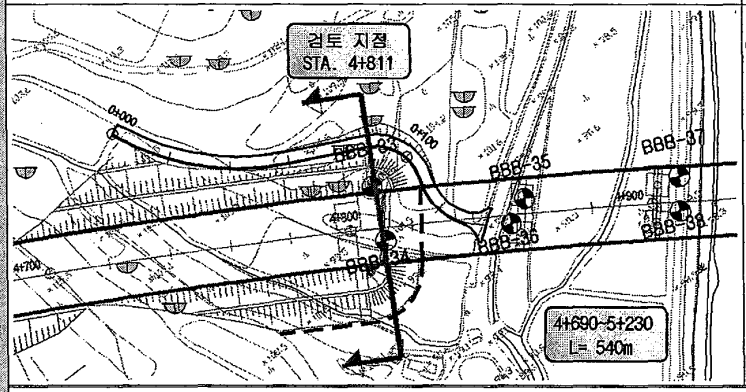
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=1.646 > 1.5 ∴ 안정	FS=1.580 > 1.3 ∴ 안정

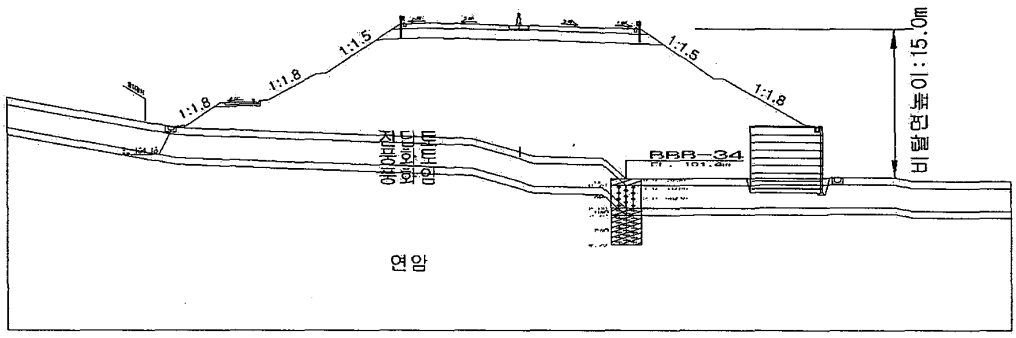
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0～5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(5) 쌓기 5구간 (STA.4+690~5+230, L= 540.0m, 영천방향 우측)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(BBB-34) 전답토:0.7m 풍화토:2.3m, 풍화암:0.7m, 연 암: GL -3.7m o 표준관입시험(N치) : 5/30 ~ 50/9 o 지하수위 : GL-2.1

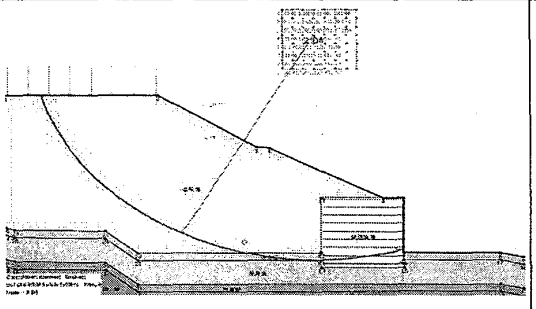
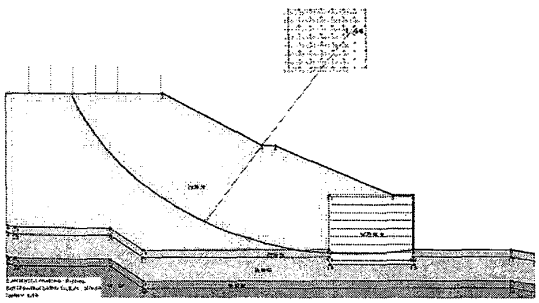
대 표 단 면(STA. 4+811)



지반고 : 102.06m	계획고 : 114.74m	최대쌓기고 : 15.0m

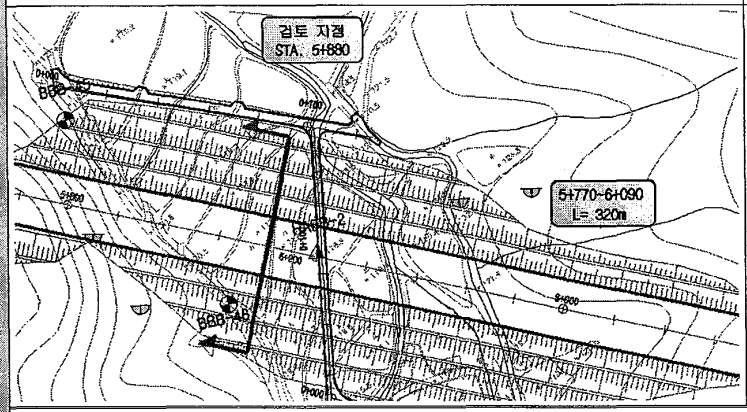
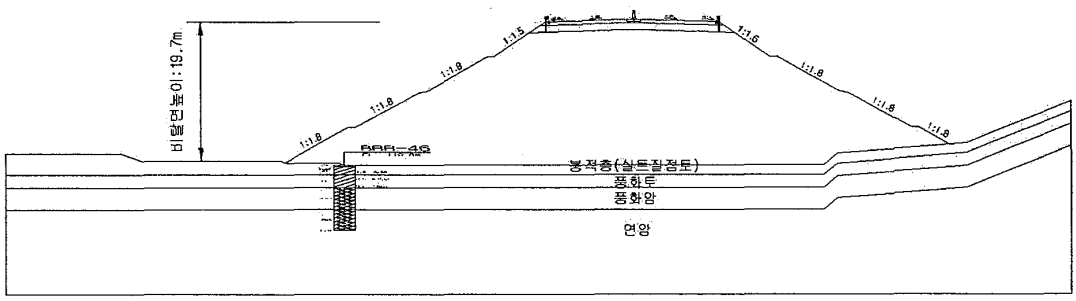
쌓기 비탈면 검토 결과

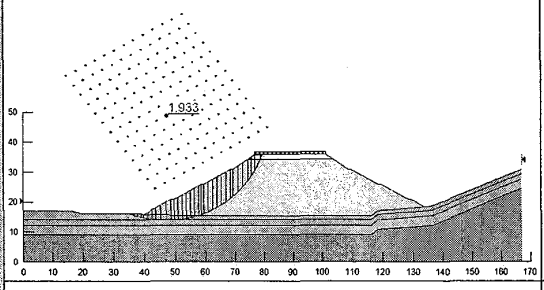
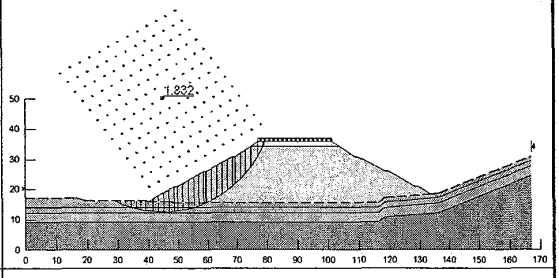
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=2.04 > 1.5 ∴ 안정	FS=1.44 > 1.3 ∴ 안정

평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

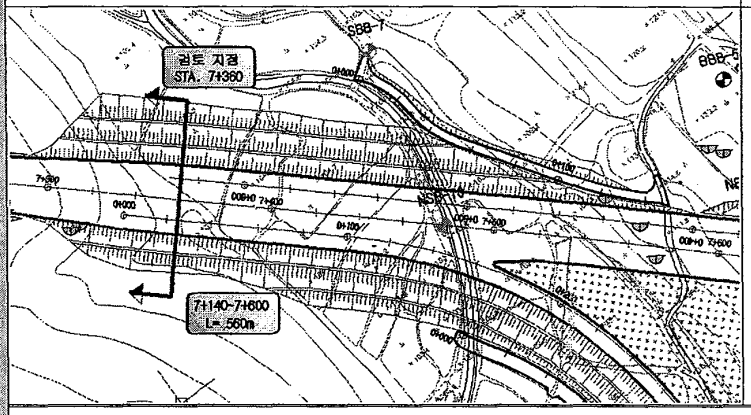
(6) 쌓기 6구간 (STA.5+770~6+090, L= 320.0m, 상주방향 좌측)

쌓기 비탈면 현황	평 면 도	지반현황
		o 시추 조사 결과(BBB-46) 붕적층:1.4m, 풍화토:1.8m 풍화암:3.1m 연암 : GL -6.3m o 표준관입시험(N치) : 9/30~50/8 o 지하수위 : GL-1.0m
	대 표 단 면(STA. 5+880)	
		
지반고 : 117.60m	계획고 : 138.16m	최대쌓기고 : 19.7m

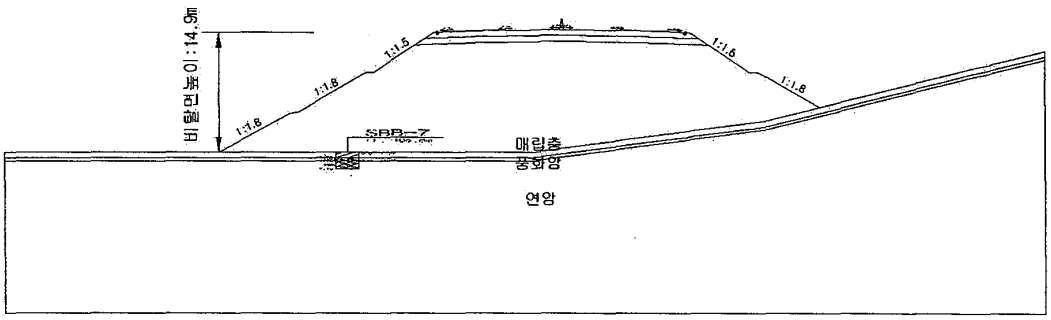
쌓기 비탈면 검토결과	안 정 성 검 토			
	건기시		우기시	
				
	FS=1.933 > 1.5 ∴안정		FS=1.832 > 1.3 ∴안정	
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용		적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(7) 쌓기 7구간 (STA.7+140~7+600, L= 560.0m, 상주방향 좌측)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(SBB-7) 매립:0.7m, 풍화암:0.4m 연암 : GL -1.1m o 표준관입시험(N치) : 7/30~50/6 o 지하수위 : GL-0.6m

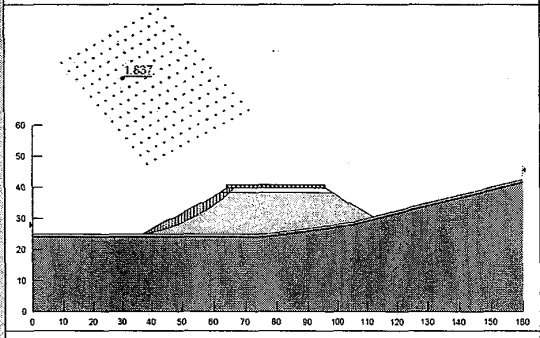
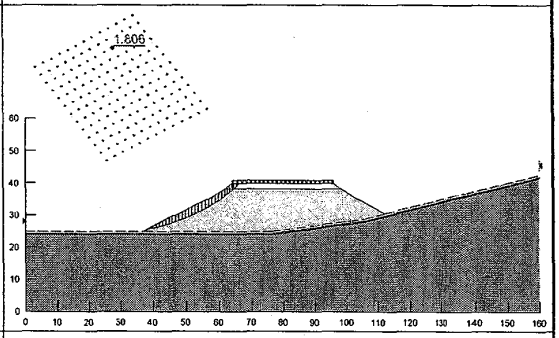
대 표 단 면(STA. 7+360)



지반고 : 106.12m	계획고 : 120.32m	최대쌓기고 : 14.9m

쌓기 비탈면 검토결과

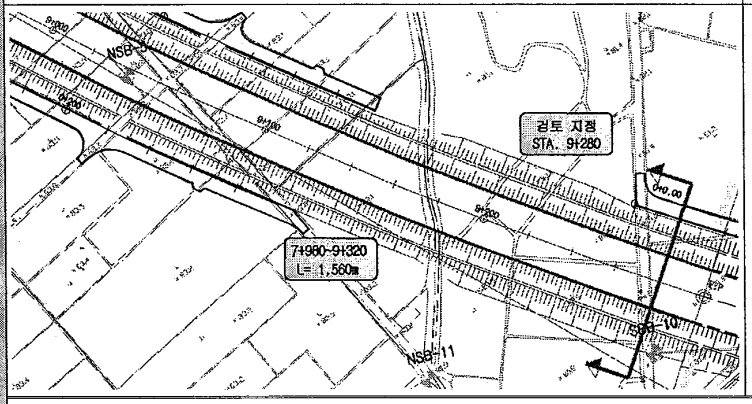
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=1.837 > 1.5 ∴안정	FS=1.806 > 1.3 ∴안정

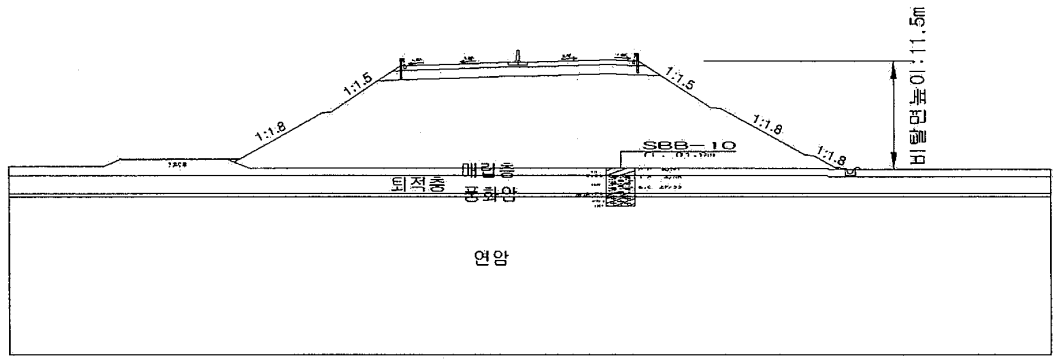
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(8) 쌓기 8구간 (STA.7+980~9+320, L= 1,560.0m, 영천방향 우측)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(SBB-10) 매립:0.8m, 퇴적층:1.9m, 풍화암:0.3m 연 암:GL - 3.0m o 표준관입시험(N치) : 4/30~27/30 o 지하수위 : GL-1.0m

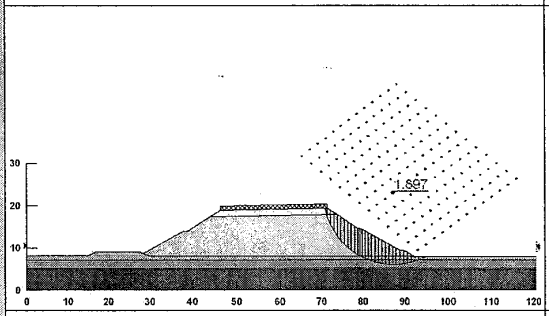
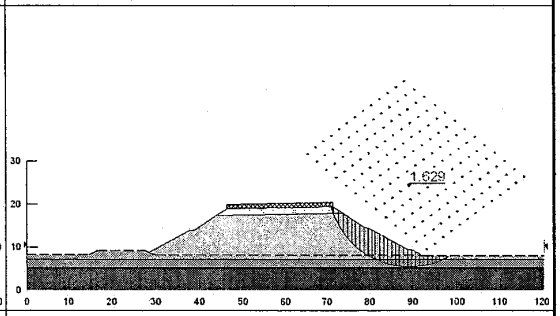
대 표 단 면(STA. 9+280)



지반고 : 81.03m	계획고 : 92.23m	최대쌓기고 : 11.5m

쌓기 비탈면 검토결과

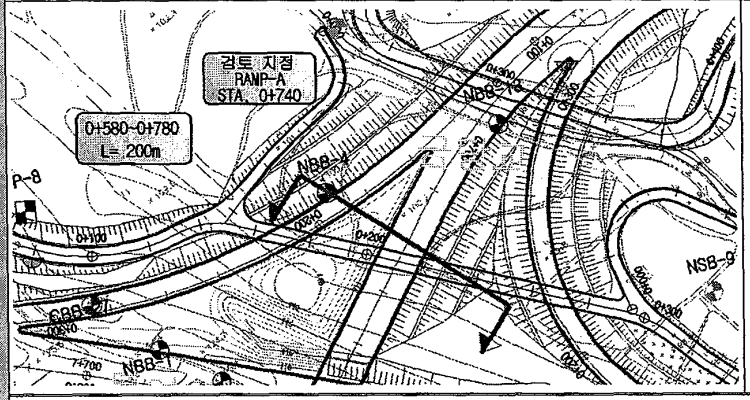
안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=1.897 > 1.5 ∴ 안정	FS=1.629 > 1.3 ∴ 안정

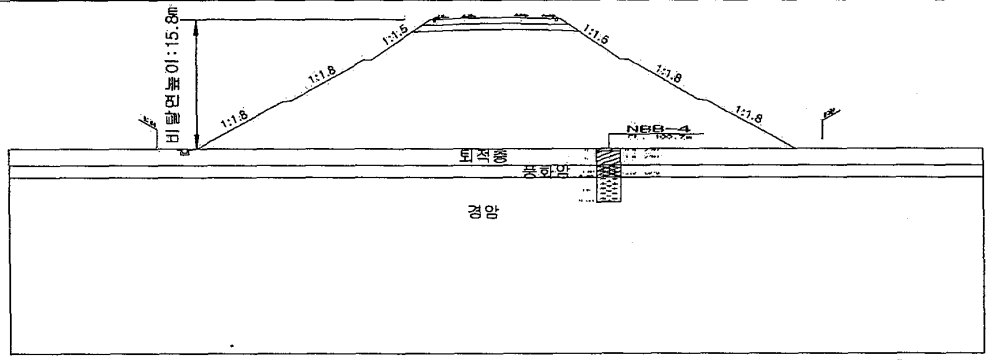
평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

(9) 쌓기 9구간 (STA.0+580~0+780, L= 200.0m, RAMP-A)

쌓기 비탈면 현황

평 면 도	지반현황
	o 시추 조사 결과(NBB-4) 퇴적층:2.0m, 풍화암:1.5m 경 암:GL - 3.5m o 표준관입시험(N치) : 7/30~50/3 o 지하수위 : GL-1.1m

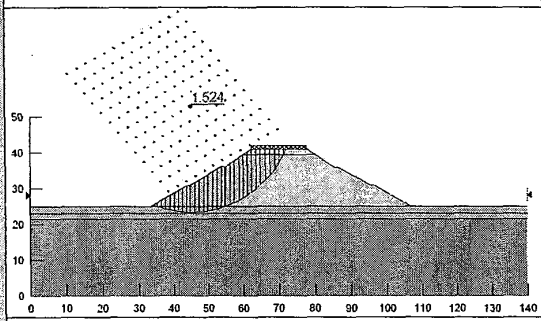
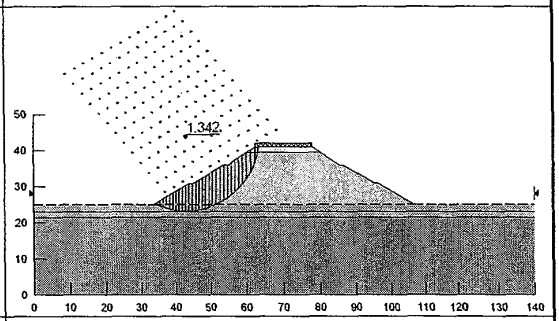
대 표 단 면(STA. 0+740)



지반고 : 99.90m	계획고 : 115.60m	최대쌓기고 : 15.8m

쌓기 비탈면 검토결과

안 정 성 검 토

건기시	우기시
	
FS=1.524 > 1.5 ∴안정	FS=1.342 > 1.3 ∴안정

평가	· 기준안전율을 만족함 → 표준기울기 적용	적용 기울기	0~5.0m=1:1.5 5.0m이상=1:1.8

7.6.5 비탈면 안정대책 및 기울기 종합검토

본 계획노선의 깎기지역 비탈면은 시추조사 결과를 토대로 암질상태(T.C.R, R.Q.D)에 따라 암반 특성에 따른 비탈면 기울기를 기준으로 깎기지역의 지표지질조사 결과에 의한 평사투영 해석, 한계평형 해석결과와 종합, 구간별 특성을 고려하여 조정하였다.

[비탈면 안정 해석결과 및 적용기울기]

구분		방향	구간 (STA.)	시추조사	비탈면 높이(m)		토사 비탈면		암반 비탈면			적용기울기			보강
					보강전	보강후	한계평형		T.C.R / R.Q.D	평사투영	한계평형 (우기)	토사	리핑암	발파암	
							건기	우기							
깎기구간	제1깎기부	상주	1+220 ~1+740	CB-1 CB-3	22.6	-	-	-	96/59 93/39	쐐기	-	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
		영천		CB-2	18.2	-			86/49	-	-	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
	제2깎기부	상주	2+140 ~2+780	CB-5 CB-6	24.0	-	-	-	100/84 81/28	쐐기	-	1:1.5	1:1.0	1:1.0	-
		영천		CB-4 CB-7	36.7	-	-	-	100/77 99/74	-	-	1:1.5	1:1.0	1:1.0	-
	제3깎기부	상주	4+320 ~4+690	CB-11 CB-12	22.8	-	-	-	96/66 96/49	쐐기	-	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
		영천		CB-10 CB-13	27.3	-	-	-	95/37 96/49	-	-	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
	제4깎기부	상주	5+240 ~6+180	CB-14 CB-16 CB-17 CB-19	22.6	-	-	-	58/8 87/38 90/54 97/50	평면	2.96	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
		영천		CB-15 CB-18 CB-20	22.9	-	-	-	90/42 86/49 99/43	평면	2.96	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
	제5깎기부	상주	6+360 ~6+940	CB-24 CB-25	20.0	-	-	-	95/65 100/66	평면	1.45	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-
		영천		CB-23 CB-26	24.7	-	-	-	98/61 100/66	쐐기	1.28	1:1.2~1.5	1:1.0	1:1.0	-

주) 암기육교, 도림1육교, 도림2육교는 구조물 계획시 비탈면 경사 조정이 불가피한 지역에 대한 보강으로써, 교량 기초 하단부 및 경사 조정 구간에 Rock-Bolt를 계획하였음.

구분		방향	구간 (STA.)	시추 조사	최대비탈면높이 (m)	적용경사
쌓기구간	제1쌓기부	상주	0+030~1+220	NSB-3	24.2	1:1.5~1:1.8
	제2쌓기부	영천	1+750~2+140	SBB-1	19.8	1:1.5~1:1.8
	제3쌓기부	상주	2+370~2+490	CBB-6	14.7	1:1.5~1:1.8
	제4쌓기부	상주	2+790~4+320	BBB-30	17.9	1:1.5~1:1.8
	제5쌓기부	상주	4+690~5+230	BBB-34	15.0	1:1.5~1:1.8
	제6쌓기부	상주	5+770~6+090	BBB-7	19.7	1:1.5~1:1.8
	제7쌓기부	상주	7+140~7+600	SBB-7	14.9	1:1.5~1:1.8
	제8쌓기부	영천	7+980~9+320	SBB-10	11.5	1:1.5~1:1.8
	제9쌓기부	RAMP-A	0+580~0+780	NBB-4	15.8	1:1.5~1:1.8

7.6.6 옹벽 비탈면 안정성 검토

가. 보강토옹벽 적용구간

아래와 같은 구간에 보강토 옹벽을 적용하였으며, 이중 STA. 0+170, 3+693, 4+811을 대표단면으로 선정, 안정성 검토를 실시하였다.

[보강토 옹벽 적용구간]

구 분	적용구간(STA.)	연 장(m)
본선	0+090.0 ~ 0+160.0	70.0
	3+586.0 ~ 3+693.9	107.7
	4+774.0 ~ 4+821.3	47.3

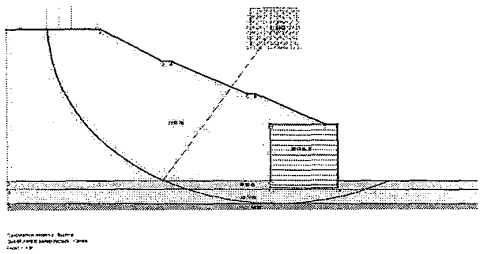
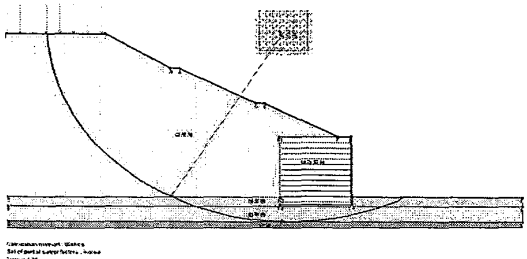
나. 적용 물성치

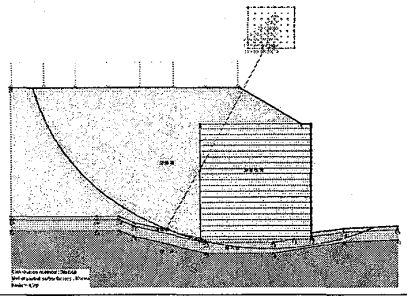
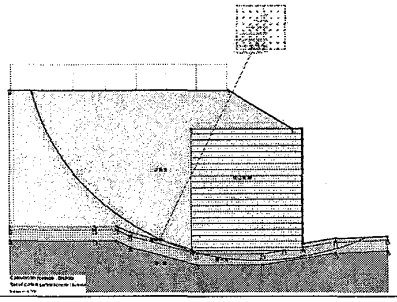
본 검토에서 가장 높은 단면의 최소 안전율 확보 여부를 판단하기 위해 전산해석을 실시하였다. 활동형태는 기존에 많은 이론이 제시되었으나 크게 전도, 활동, 퍼짐 및 흐름의 형태로 대별할 수 있을 것이다.

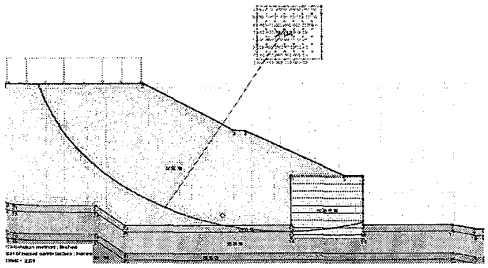
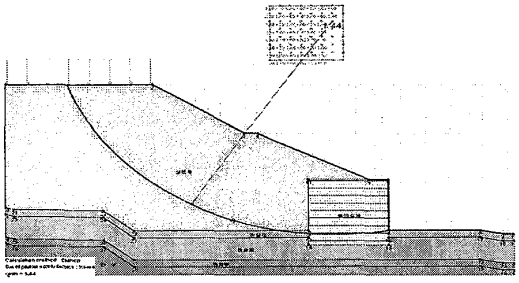
[적용 물성치]

구 분	단위중량 (γ_t, kN/㎥)	점착력 (c, kPa)	내부마찰각 (ϕ, °)
배면토체	20	0	40
보강토체	20	0	40
매립 및 붕적층	17	12	27
전답토(퇴적층)	17	20	-
풍화토	19	15	29
풍화암	20	30	30
발파암	25	200	30

다. 비탈면 안정성 검토

STA. 0+170	
건 기 시	우 기 시
	
Fs = 1.90 > 1.5 ∴ 안정	Fs =1.35 > 1.3 ∴ 안정

STA. 3+693	
건 기 시	우 기 시
	
Fs = 1.79 > 1.5 ∴ 안정	Fs =1.32 > 1.3 ∴ 안정

STA. 4+811	
건 기 시	우 기 시
	
Fs = 2.04 > 1.5 ∴ 안정	Fs =1.44 > 1.3 ∴ 안정

라. 결과 정리 및 분석

이상과 같이 본 검토에서 실시한 단면에 대한 안정해석 결과를 정리하면 다음과 같다.

구 분	해 석 결 과		비 고 (판 정)
	건기시 FS≥1.5	우기시 FS≥1.3	
STA.0+170	1.90	1.35	OK
STA.3+693	1.79	1.32	OK
STA.4+811	2.04	1.44	OK

위 표에서 보는 바와 같이 해석결과 검토 단면의 안전율이 최소기준안전율을 상회하는 안전한 상태로 평가되었다.

7.7 비탈면 계측

7.7.1 비탈면의 계측계획

가. 계측계획의 수립시 고려사항

- 사전에 공사의 진척상황에 대응하는 계측계획을 수립 작성하고, 계측의 목적, 계측방법, 관리기준치에 관한 기본적 사항을 정해 둘 필요가 있음.
- 주어진 모든 조건이나 각종 제약 중에서 문제가 되는 지반의 거동을 정확히 모니터링하여 얻어진 데이터를 종합적으로 해석한 다음에 기준치와의 비교와 실제의 지반 거동과의 해석, 검토 등의 결과 판정을 해야 함.
- 토사비탈면의 변형이나 붕괴형태를 정확히 예상하고, 파악한 다음에 계측의 목적을 명확히 하여 그 목적에 맞는 계측기기의 선정이나 배치, 계측의 방법, 관리기준치 등을 검토하여 실시계획을 작성할 필요가 있음.
- 계측이 장기간에 걸치는 경우나 토사비탈면의 상황이 크게 변화되는 경우에는 계측내용의 재고를 하고 항상 적절한 계측관리가 실시되도록 노력해야 함.

나. 계측계획의 목적

현장계측은 토사비탈면의 붕괴에 이르는 초기의 토사 변상현상을 계측기기로 파악하고, 이것들을 바탕으로 적절한 대책을 취해 토사비탈면의 붕괴를 미연에 방지하거나 붕괴에 의한 피해를 최소한으로 억제하는 것을 기본적인 목적으로서 실시

주 요 평 가 사 항

· 변상기구나 규모의 조사, 해명	· 비탈면의 안정성의 평가
· 붕괴의 예지 · 예측	· 대책공의 효과 판정
· 안전확보(대피경보 등의 조치를 위해)	· 시공관리(정보화 시공을 포함)

다. 계측대상 범위

- 변상현상이 발생되거나 혹은 예상되는 범위
- 피해가 예상되는 범위
- 2차 붕괴의 파급이 예상되는 범위
- 공사의 시공범위

7.7.2 계측방법

가. 계측기기 및 계측항목

계측기기	암반비탈면의 붕괴형태등 주요한 계측대상 항목	응력개방현상	붕락현상	평면활동붕괴	쐐기변형붕괴	원호활동붕괴	복합활동붕괴	토플링	버클링
지표면 신축계	텐션부 부근의 머리부 변위량			○	○	◎	◎	○	
지반경사계	활동머리부・중간부・말단부의 표면경사량					◎	◎	△	
광파측거법	지표면 변위량(수평・수직성분)	○		△	△	△	○	○	△
소폭판측량	지표면 변위량(수평・수직성분)			△	△	△	△	△	
파이프변형계	활동면 위치의 검출과 변형누적경향			△	△	△	△		
삽입식 지중경사계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			○	○	○	◎	△	
고정식 지중경사계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○		
지중신축계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○	△	
다단식 지중신축계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○	△	
지중변위계	지중변위량(수평・수직성분)	○		○	○	○	○	△	△
검지선식 낙석감지기	낙석의 감지		◎						
전도스위치	지반, 암괴의 경사량(전도, 회전)							△	
GPS 측량	지표면 변위량(수평・수직성분)						△		
지하수위계	지하수 동태 관측과 비탈면 안정도의 검토	○		○	○	○	○	△	△
간극수압계	비탈면부근의 간극수압 측정			△	△	△	△		
우설량계	비탈면부근의 간극수압 측정	○	○	○	○	◎	◎	○	○
적설심계	우량데이타 수집(비탈면안정과 적설의 관계)	△					△		
유량계	우량데이타 수집(비탈면안정과 강우의 관계)						○		

(기호설명) ◎ : 가장 적합한 것, ○ : 약간 적합한 것, △ : 적합한 케이스와 적합하지 않은 케이스가 있는 것

(시행・연구 단계의 것), 무기입 : 적합하지 않은 것으로 생각되는 것

2020. 6. 25.

나. 계측기간과 계측빈도

(1) 계측빈도 고려사항

• 계측의 목적에 따라 가능한 한 자주 실시하는 것이 좋으나, 한편 그 경우에는 계측 작업에 노력을 요하는 비용의 증가가 예상되므로 비탈면의 변동상황, 위험도, 계측기기의 특성이나 내구성, 현지조건 등을 합리적으로 고려하여 적절하게 설정해야 한다.

• 보통비탈면에 변동현상이 발생하여 시공중의 작업원의 안전확보가 우선되는 경우나 강우시 등에는 치밀한 빈도로 하고 공사 완료후나 대책공 시공후 등의 경우에는 빈도를 줄이는 것을 기본으로 한다.

• 지하수위와 같이 그 피크치가 문제가 되는 경우에는 피크치의 관측 누설을 막기위해 계측빈도는 밀실이 취할 필요가 있으며, 가급적 자기기록 방식으로 하는 것이 좋다.

• 암반붕괴나 비탈면의 활동이 호우, 융설, 지진 등의 자연요인이 발생된 경우에는 당초의 계측계획으로 설정된 계측빈도에 구애받지 않고 계측빈도를 자주 실시한다.

(2) 계측기간 고려사항

• 계측의 기간은 비탈면의 변상 규모와 그 영향도, 보전대상 구조물의 중요도, 대책공의 유무, 공사의 진척도 등에 따라 결정해야 한다.

• 암반비탈면의 변동 상황은 강우나 융설 등의 기상 요인의 영향을 크게 받으므로 그 동태를 정확히 파악하기 위해서는 적어도 필요 최적 기간으로서 1년을 통하여 계측을 계속할 필요가 있다.

• 계측개시에 대한 기본적 사항에는 다음과 같은 것이 있다.

① 암반비탈면에 육안 확인이 되는 변상이 생긴 시기부터 개시한다.

② 사전의 현지답사, 암반 조사에서 불안정 혹은 위험 비탈면으로 판단된 경우 공사 시공 전부터 개시한다.

③ 대책공 시공 후부터 개시한다.

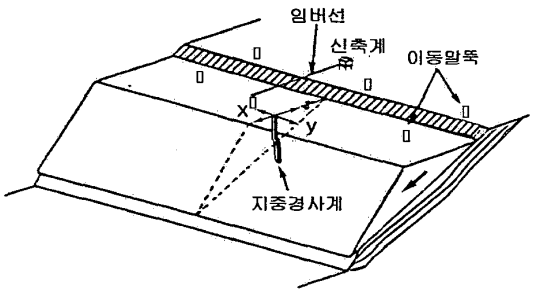
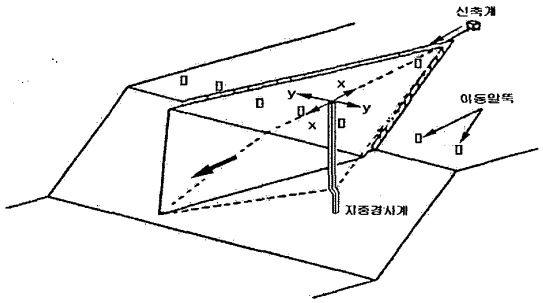
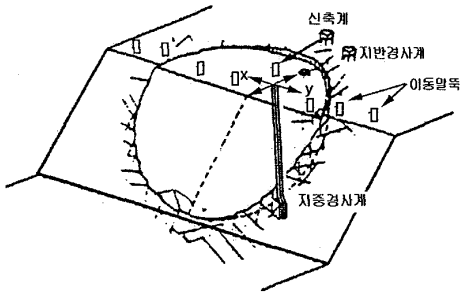
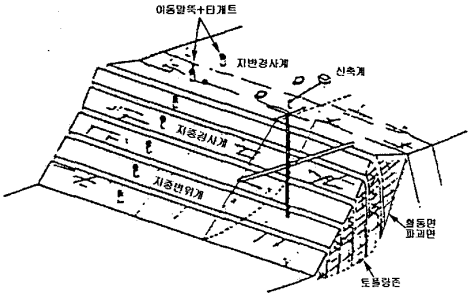
• 계측의 완료시기에 대해서, 기본적으로는 암반비탈면의 변동이 계측되지 않게 된 시점을 기준으로서 그 후 1년간 계측을 계속하고, 그 중간에 있어서도 변동이 보이지 않게 된 것을 확인하여 완료로 하는 것이 바람직하다.

1/1

[계측항목 및 빈도]

계측기기		계측대상	계측빈도		
			깎기 중	1~3개월	3개월 이후
시공 중	지중경사계	활동면의 위치 확인과 암괴이동량	2회/주	1회/주	1회/월
	지하수위계	지하수 상태 관측과 안정성 검토	2회/주	1회/주	1회/월
	지표침하계	비탈면 지표침하 측정	2회/주	1회/주	1회/월
무선 자동화 계측 시스템	지중경사계	활동면의 위치 확인과 암괴이동량	상 시 계 측		
	지표침하계	비탈면 지표침하 측정	상 시 계 측		
	신축변위계	인장균열 발생 부근의 머리부 변위량	상 시 계 측		

다. 계측기기 배치 예

평면 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치	쐐기 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치
	
원호 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치	토플링 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치
	

라. 계측위치 및 수량

• 토사비탈면의 변동 상황을 최소의 계측기기로 효과적으로 파악하기 위해서는 우선 토사비탈면의 변동사항을 파악하여야 한다.

• 계측기기의 배치 밀도는 토사비탈면의 변상규모나 위험도에서 판단하여 적절한 것이 될 수 있도록 유의하여야 한다.

• 구체적인 계측기기의 배치에 대해서는 상세한 현지조사나 지질조사 등을 하여 변동 블록과 붕괴 형태를 최종적으로 결정하여야 한다.

[계측위치 및 수량]

구 분		비탈면방향	지중경사계 (개소)	지표면 변위측정(개소)	지하 수위측정(개소)
깎기1구간	1+220~1+740	상 주	1	1	1
		영 천	1	1	1
깎기2구간	2+140~2+780	상 주	1	1	1
		영 천	1	1	1
깎기3구간	4+320~4+690	상 주	1	1	1
		영 천	1	1	1
깎기4구간	5+240~6+180	상 주	1	1	1
		영 천	1	1	1
깎기5구간	6+360~6+940	상 주	1	1	1
		영 천	1	1	1
합 계			10	10	10

7.8 비탈면 시공시 유의사항

본 비탈면안정검토는 토질 및 암반 역학적인 관점에서 정량적인 접근방법에 의해 합리적으로 수행되었으며 시공시 유의사항을 기술하면 다음과 같다.

• 제한된 노두관찰에 의한 지표지질조사와 한정된 시추조사로서 공사 대상 전지역의 토사 및 암반의 특성을 완전하게 파악하기는 어려우며 부분적으로 확인되지 않은 단층이나 파쇄대등과 같은 붕괴요인을 갖는 지질을 수반하는 경우가 있으므로 시공시 절취된 비탈면의 면밀한 조사가 이루어져야 한다.

• 본 검토에서 적용된 비탈면 경사는 차후 시공 시 비탈면 굴착과 병행하여 정밀조사를 수행하므로서 설계 시와 상이한 경우가 발생된 경우는 현장 감독자와 협의하여 대책을 강구하여야 한다.

• 특히, 설계에 적용된 비탈면 안정공법과 관련하여 정부 또는 관련 기관에서 인정한 신기술 및 특허 공법등을 감독자의 승인하에 시험 시공을 통해 현장조건 및 제반상황을 고려, 별도 적용할 수 있다.

• 시공 중 안정해석을 위한 조사는 비탈면 시공 중에 파괴를 유발시킬 수 있는 잠재적인 요인을 찾거나 파괴가 발생한 경우에 실시한다. 조사방법은 기본적으로 깎기면 현황도 작성(face mapping)을 실시하고, 위험요인이 있는 경우에는 지형조건, 비탈면규모, 지질상태, 토질 및 암반상태에 따라 본조사의 방법을 조합하여 실시한다.

• 시공 중 안정해석을 위한 조사는 지반조건 및 비탈면의 규모에 따라 조사빈도를 다르게 수행할 수 있다. 일반 깎기비탈면(연직높이 20m 미만)은 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상 실시하고, 대규모 깎기비탈면(연직높이 20m 이상)은 중간정도 높이(약 20m 내외)까지 깎았을 때 1회, 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상을 실시한다.