

## 제 2 장 비 탈 면

### 2.1 비탈면 안정해석

#### 2.1.1 쌓기 비탈면

##### (1) 적용범위

- ① 본 지침은 쌓기 비탈면의 안정해석에 적용하며, 연약지반상 쌓기공사의 설계에는 적용하지 않는다.
- ② 본 지침은 비탈면 안정해석을 위한 기본적인 내용만을 언급하므로 세부 해석방법은 전문서적을 참고한다.

##### (2) 적용기준

- ① 쌓기 비탈면 조건이 다음에 해당하는 경우 안정해석을 시행한다.
  - 가. 비탈면 높이 10m 이상
  - 나. 비탈면 경사가 표준경사보다 급한 경우
  - 다. 쌓기재료의 함수비가 높고, 전단강도가 낮은 경우
  - 라. 붕괴시 피해가 크고 복구비용 및 기간이 많이 소요되는 경우
  - 마. 쌓기체 내로 지하수가 지속적으로 유입되는 경우 (경사지반, 계곡부 쌓기)
  - 바. 홍수시 비탈면 침수 및 침식이 예상되는 경우
  - 사. 비탈면 하부 원지반의 강도가 낮은 경우
  - 아. 내진해석이 필요한 경우
  - 자. 위 조건 외에 설계자가 필요하다고 판단하는 경우
- ② 기준안전율은 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2006)을 준용한다.

[표 2.1.1] 쌓기비탈면 안정해석시 적용하는 기준안전율

구 분	기준안전율	참 조
건기	FS > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	FS > 1.3	•일반적인 쌓기 비탈면은 별도의 지하수위 조건 없음 •한쪽쌓기 한쪽깎기 비탈면에서는 측정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 •쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	FS > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
단기	FS > 1.0~1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

- 주 1) 도로, 단지, 철도 등의 포장체가 형성되는 쌓기비탈면의 경우에는 필요시에 우기시 안전율을 검토하고 건기시의 안전율도 만족하도록 설계함
- 2) 강도정수를 최대강도가 아닌 잔류강도로 해석한 경우 : 위 기준에서 0.1 감소
  - 3) 비탈면 상하부 파괴범위 내에 가옥, 건물 등의 고정시설물이 있는 경우: 위 기준에서 0.05 증가
  - 4) 비탈면 상부 파괴범위 내에 1,2중 시설물의 기초가 있는 경우: 별도검토
  - 5) 상기 조건을 중복 적용하여 FS<1.0인 경우에는 최소안전율 1.0 적용

(3) 주요 고려사항

- ① 비탈면의 파괴형태는 지형 및 원지반 조건과 쌓기 재료의 특성에 따라 달라지므로 안정해석 시 파괴형태의 적용이 중요하다.
  - 가. 표층파괴 : 비탈면이 침식성 토질로 구성되거나 배수가 불량한 경우
  - 나. 저부파괴 : 함수비가 높은 점성토를 이용한 급속성토
  - 다. 원지반파괴 : 원지반이 경사지거나 전단강도가 낮은 경우
- ② 한계평형해석시 해석조건과 지반정수는 현장의 배수조건에 적합한 조건과 정수를 적용한다.

[표 2.1.2] 비탈면 안정해석에 사용되는 전단강도, 수압, 단위중량

구분	공사 직후의 안정성	장기 안정성
배수가 잘 되는 흩에 대한 해석	c'와 $\phi'$ 이용한 유효응력해석	c'와 $\phi'$ 이용한 유효응력해석
배수가 잘 안되는 흩에 대한 해석	현장시험, 삼축시험(UU/CU)에서 얻은 c(또는 Su)와 $\phi$ 를 이용한 전응력해석	c'와 $\phi'$ 이용한 유효응력해석
내부 간극 수압	전응력해석에서는 간극수압 무시( $u=0$ ) 유효응력해석에서는 간극수압고려	간극수압고려
외부 수압	고려	고려
단위 중량	습윤단위중량	습윤단위중량

- ③ 내진설계는 파괴범위 내에 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령에 규정된 1, 2종 시설물이 위치하거나 내진설계가 요구되는 주요 구조물이 있는 경우에 시행한다. [2종 시설물 : 연직높이 50m 이상(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 깎기부로서 단일 수평연장 200m 이상인 깎기비탈면]

(4) 안정해석방법

- ① 쌓기 비탈면의 안정해석은 한계평형해석법을 이용하며, 중요도가 큰 경우에는 유한요소법이 나 유한차분법 등의 해석을 시행하여 보완한다.
- ② 한계평형해석
  - 가. 한계평형해석은 절편법을 이용하며, 해석방법별 가정조건과 추천방법은 다음과 같다.

[표 2.1.3] 비탈면안정 해석방법의 특징

방 법	경사각 $\theta$ 는 모든 절편에서 동일	파괴 형태	한계평형조건		
			모멘트	수직력	수평력
Fellenius	절편의 축방향은 절편의 저면과 평행, 절편저면의 수직방향 힘의 평형만 고려	원 호	○	×	×
Bishop 간편법	축방향의 수직성분 합력은 Zero, 수직 방향의 힘의 평형만 고려	원 호	○	○	×
Janbu	횡방향의 작용 위치를 가정	비원호	○	○	○
MorgensternPrice	축방향의 경사각은 $\theta = \lambda f(x)$ 로 표시( $\lambda$ :상수)	비원호	○	○	○
Spencer방법	경사각 $\theta$ 는 모든 절편에서 동일	비원호	○	○	○
GLE	$X/E = \lambda f(x)$	비원호	○	○	○

주) X와 E는 각각 절편에 가해지는 힘들의 수직과 수평성분이다.

(가) Fellenius방법은 단일층의 전응력 조건에 적용한다.

(나) Bishop방법은 파괴면이 원호인 경우에 적용한다.

(다) 파괴면이 비원호인 경우에는 Janbu, Morgenstern-Price 및 Spencer방법 등을 이용한다.

③ 유한요소해석 및 유한차분해석

가. 유한요소해석 및 유한차분해석을 이용한 안정해석은 강도감소나 응력증가법 등의 해석기법을 적용하여 안전율을 산정한다.

나. 유한요소 및 유한차분해석등의 수치해석 결과는 적용모델과 지반정수에 좌우되므로 한계 평형해석의 보완이나 검증에 활용한다.

## 2.1.2 깎기 비탈면

### (1) 적용범위

① 본 지침은 깎기 비탈면의 안정해석에 적용하며, 자연비탈면의 설계에는 적용하지 않는다.

② 본 지침은 비탈면 안정해석에 필요한 기본적인 내용만을 언급하므로 세부 해석방법은 전문서적을 참고한다.

### (2) 적용기준

① 깎기 비탈면 조건이 다음에 해당하는 경우는 안정해석을 시행한다.<sup>1)</sup>

가. 비탈면 높이 10m 이상

나. 비탈면 경사가 표준경사보다 급한 경우

다. 비탈면이 붕적으로 구성되거나 붕괴이력이 있는 경우

라. 임반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우

마. 붕괴시 피해가 크고 복구비용 및 기간이 많이 소요되는 경우

바. 주변에 기존 구조물(철탑 등)에 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우

사. 내진안정해석이 필요한 경우

아. 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우

자. 위 조건 외에 설계자가 필요하다고 판단하는 경우

② 기준안전율은 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2006)의 안전율을 준용한다.

1) 절토 비탈면 설계변경 최소화대책(안)(건설관리처-1841, 2008.06)

[표 2.1.4] 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

구 분	기준안전율	참 조
건기	FS > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS > 1.2 또는 FS > 1.3	•임반비탈면은 인장균열의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석수행. 토층 및 풍화암층의 안정해석시 지하수 조건은 지반 및 지형조건 등 현장여건을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건으로 설계하되, 지하수 조건을 정확히 판단하는 것이 불가능할 경우에는 지표면에 지하수를 위치시켜 안전측으로 해석수행 (FS=1.2 적용) •강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우(FS=1.3 적용) •위 두가지 조건중 선택적으로 1가지 조건을 만족시켜야 함
지진시	FS > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 실제측정 또는 평상시의 지하수위 측정
단기	FS > 1.0	•기간 1년 미만의 단기간의 안정성 검토시

- 주 1) 강도정수를 한계강도가 아닌 잔류강도로 해석한 경우 : 위 기준에서 0.1 감소  
 2) 비탈면 상하부 파괴범위 내에 가옥, 건물 등의 고정시설물이 있는 경우: 위 기준에서 0.05 증가  
 3) 비탈면 상부 파괴범위 내에 1,2중 시설물의 기초가 있는 경우: 별도검토  
 4) 상기 조건을 중복 적용하여 FS<1.0인 경우에는 최소안전율 1.0 적용

③ 지하수위 조건

가. 우기시 토사 및 풍화암층의 안정해석시 지하수 조건은 지반 및 지형조건 등 현장 여건을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건으로 설계하되, 지하수 조건을 정확히 판단하는 것이 불가능할 경우에는 지표면에 지하수를 위치시켜 안전측으로 해석을 수행한다.

나. 임반 비탈면의 지하수위 조건은 다음과 같이 적용한다.

- (가) 인장균열이 있는 경우 : 인장균열 깊이의 1/2
- (나) 인장균열이 없는 경우 : 지표면 이하 2m 심도

④ 내진설계는 파괴범위 내에 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령에 규정된 1, 2중 시설물이 위치하거나 내진설계가 요구되는 주요 구조물이 있는 경우에 시행한다. [2중 시설물 : 연직높이 50m 이상(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 깎기부로서 단일 수평연장 200m 이상인 깎기비탈면]

(3) 주요 고려사항

- ① 깎기 비탈면의 경사는 안정해석에 의해 최종 결정한다.2)
- ② 안정해석은 비탈면의 파괴원인을 고려하여 시행하여야 하며, 주요 파괴원인은 다음과 같다.
  - 가. 용력조건 변화 : 비탈면 하부 굴착, 상부 쌓기, 구조물 증설 등
  - 나. 지하수의 증가 : 강우로 인한 침투, 배수조건 변화 등

2) 대절토부 붕괴예방을 위한 조사, 기준검토(설계일 16210-307, 1995.12.13)

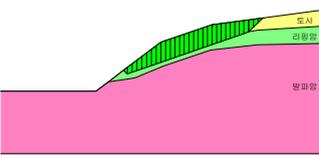
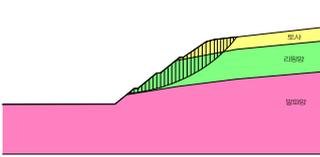
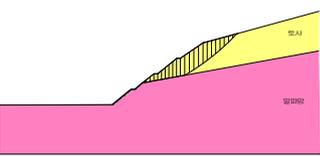
- 다. 지반상태 변화 : 풍화 등으로 인한 비탈면 재료의 상태 변화
- 라. 지진동 하중 : 발파진동, 지진과 같은 동적하중
- ③ 깎기 비탈면의 파괴형태는 비탈면 종류, 지층조건 및 외부원인에 따라 달라지는것을 고려한다.
  - 가. 토 사 : 원호활동, 직선활동, 복합활동 및 비탈면 침식 등
  - 나. 암 반 : 평면, 썩기, 전도, 원호파괴 및 낙석 등
- ④ 토사와 암반의 중간상태의 지반에서는 파괴형태가 복합적으로 발생할 수 있다.
- ⑤ 불연속체 해석시 전단강도는 불연속면의 전단강도를 사용한다.
- ⑥ 비탈면의 변형이 발생되거나 파괴가 진행중인 경우에는 잔류강도를 적용한다.

(4) 해석방법

① 토사비탈면

- 가. 안정해석은 한계평형해석을 이용하며, 해석방법은 "2.1.1 쌓기비탈면"의 해석방법을 참조한다.
- 나. 실무시 파괴형태를 원호로 가정하는 경우가 많으나 파괴형태는 지형 및 지층특성을 고려하여 가정한다.

[표 2.1.5] 지형 및 지층조건에 따른 파괴형태

직 선 파 괴	원 호 파 괴	복 합 파 괴
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경사지형, 토층이 얇은 경우</li> <li>· 침식성 토질</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비교적 균질한 지층</li> <li>· 토층의 두께가 두꺼운 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토층두께가 비교적 두껍고 지층이 경사진 경우</li> </ul>

- 다. 비탈면의 중요도가 큰 경우 유한요소법해석이나 유한차분해석 등의 수치해석에 의해 보완할 수 있다.

② 암반비탈면

가. 해석과정

- (가) 불연속면과 비탈면의 특성(방향성, 암질)을 고려하여 SMR분류와 평사투영해석에 의해 파괴가능성과 파괴유형을 검토한다.
- (나) 평사투영해석에서 파괴 가능성이 예측된 경우에는 한계평형해석에 의해 안전성 확보 여부를 판단한다.
- (다) 한계평형해석은 암질의 변화를 고려하기 어려우므로 안정 여부의 최종 판단은 암질 (TCR, RQD)을 고려하여 결정한다.

나. 평사투영해석

(가) 원형파괴(circular failure)

암반의 파쇄나 풍화가 심한 경우에는 토사와 같은 원호파괴가 발생한다.

(나) 평면파괴(plane failure)

비탈면 경사와 불연속면의 경사방향이 나란한 경우(비탈면방향과 같은 방향에 극점이 집중)에 주로 발생하며, 발생조건은 다음과 같다.

- 비탈면과 불연속면의 방향이 비슷한 경우
- 비탈면 주향이 절개면상에 존재하는 경우 (절리면 경사각 < 비탈면 경사각)
- 암괴의 측면이 절단되어서 암괴가 붕락하는데 측면의 영향이 없는 경우

(다) 썩기파괴(wedge failure)

암반블록이 썩기형태로 미끄러지는 파괴유형으로 발생조건은 다음과 같다.

- 절리의 교선과 절개면의 경사방향이 동일한 경우
- 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷한 경우
- 절개면의 경사 > 절리의 교선의 경사 > 절리의 미찰각

(라) 전도파괴(toppling failure)

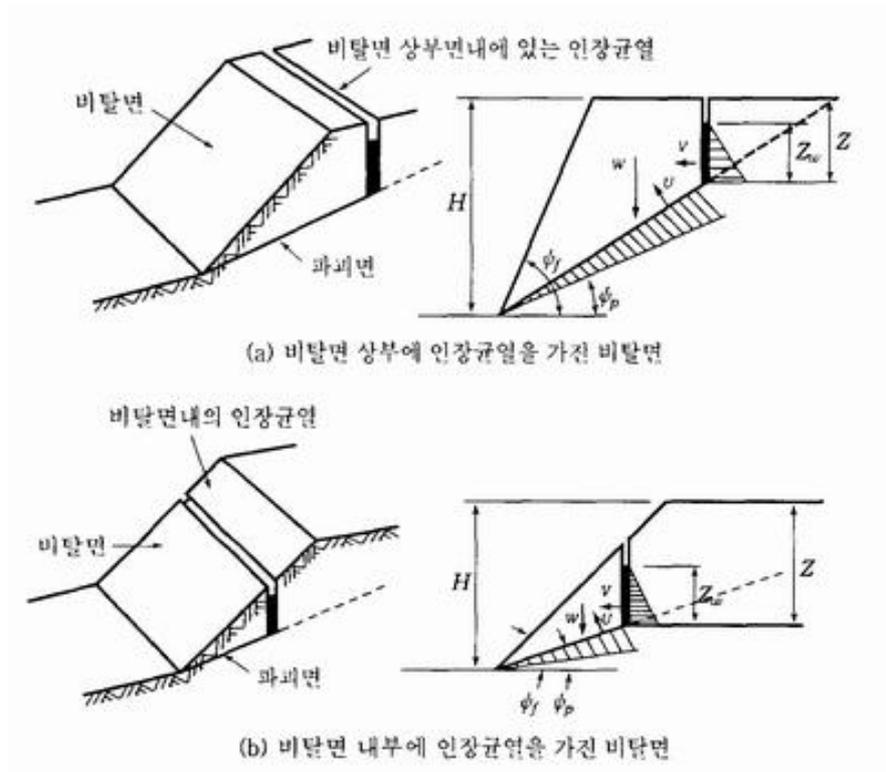
비탈면과 절리면의 경사방향이 반대인 경우에 주로 발생하며, 발생조건은 다음과 같다.

- $(90^\circ - \text{절리면의 경사}) + \text{절리면의 미찰각} < \text{절개면의 경사} : (90^\circ - \alpha) + \phi < \beta$

다. 한계평형해석

(가) 평면파괴

- 평면파괴의 기하학적 조건은 다음과 같다.



<그림 2.1.1> 평면파괴에 대한 기하학적 조건

- 평면파괴에 대한 안전율과 수압에 의한 작용력(U, V) 다음과 같다.

$$F = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p} \quad [\text{식 2.1.1}]$$

여기서,  $c$  : 절리면의 점착력,  
 $A$  : 활동면의 면적( $(H-z) \operatorname{cosec} \psi_p$ )  
 $W$  : 암괴의 자중  
 $\psi_p$  : 활동면의 경사각  
 $\psi_f$  : 비탈면의 경사각  
 $U$  : 파괴면에 작용하는 수압  
 $V$  : 인장균열에 작용하는 수압  
 $\phi$  : 활동면의 마찰각

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w (H-z) \operatorname{cosec} \psi_p \quad [\text{식 2.1.2}]$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2 \quad [\text{식 2.1.3}]$$

여기서,  $\gamma_w$  : 물의 단위중량( $\text{kN/m}^3$ )  
 $z_w$  : 인장균열 H의 높이(m)  
 $H$  : 비탈면의 높이(m)  
 $\psi_p$  : 활동면의 마찰각( $^\circ$ )

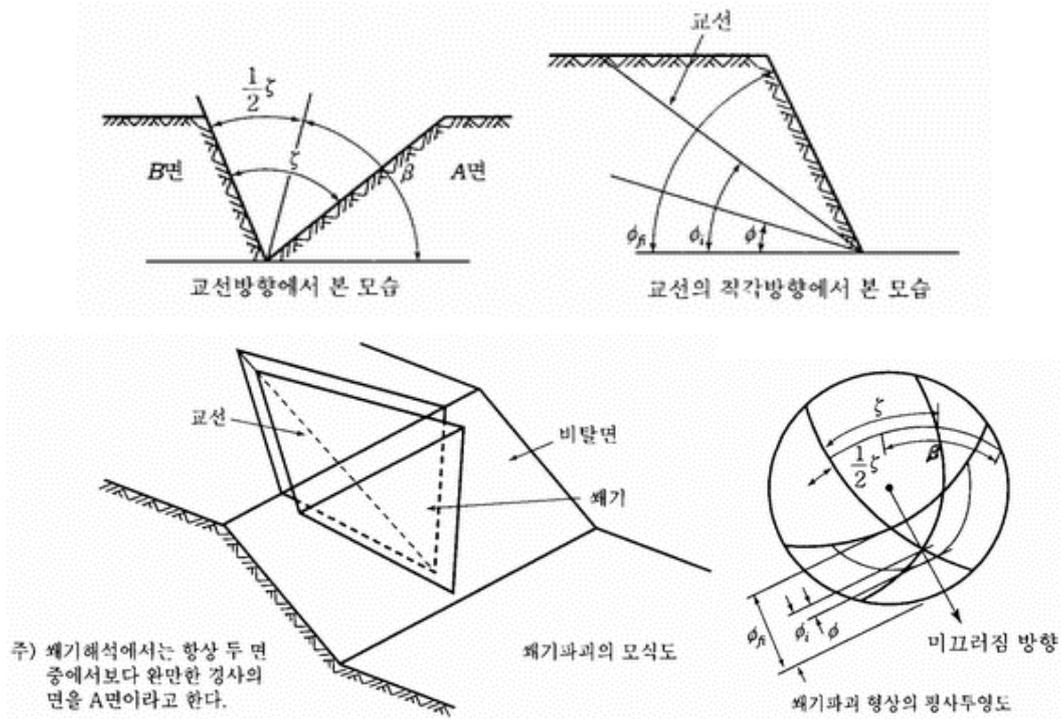
#### (나) 썩기파괴

- 썩기파괴를 유발하는 두 절리면의 마찰각이 같은 경우 안전율은 다음과 같이 표시한다.

$$F = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \sin \psi_i} \quad [\text{식 2.1.4}]$$

여기서,  $R_A, R_B$  : A, B면상의 수직반력  
 $W$  : 썩기를 이루는 암반의 중량  
 $\phi$  : 비탈면의 마찰각  
 $\psi_i$  : 교선의 경사각

-  $\beta$  와  $\xi$  는 다음 그림과 같이 평사투영망을 이용하여 결정한다.



<그림 2.1.2> 빼기파괴의 기하학적 형상

(다) 전도파괴

- 주로 수직 절벽이나 불연속면의 경사가 수직에 가까운 경우에 발생한다.
- 안전율은 평형상태를 유지하는데 필요한 마찰각의 경사( $\tan\phi_{required}$ )에 대한 암반에 작용하는 마찰각의 경사( $\tan\phi_{available}$ )의 비로 표시한다.

(라) 원호파괴 해석방법은 토사비탈면에서 적용하는 해석방법을 이용한다.

## 2.2 깎기 비탈면 안정대책

### 2.2.1 대책공법

(1) 적용범위

- ① 본 지침은 불안정 비탈면의 안정성을 확보하기 위한 대책공법의 선정에 적용한다.
- ② 비탈면 안정대책은 공법의 원리 및 종류별로 다양한 공법이 있으나 본 지침은 특정 종류의 공법은 포함하지 않는다.

(2) 공법종류

① 보강공법 및 경사완화

- 가. 지반보강 : Nail, Anchor, Rock Bolt 및 억지말뚝 등
- 나. 구조물공 : 옹벽, 석축, 피암터널 등
- 다. 경사완화 : 비탈면 안정에 필요한 최소한의 경사

② 보호공법

가. 구조물공 : 콘크리트 블록, 돌붙임, 숯크리트

나. 식생공 : 식재 파종(때), 식생기반재 취부, 네트

③ 배수공

가. 지표수 배수 : 산마루측구, 소단배수공, 도수로, 망암거 등

나. 지하수 배수 : 수평배수공, 수직배수공 등

(3) 주요고려사항

- ① 불안정 비탈면의 문제점(강도부족, 침식 및 이완에 의한 강도저하 등)을 고려하여 적용 가능한 공법을 검토한다.
- ② 적용가능한 공법중 지형 및 지반특성, 비탈면 높이, 주변여건, 경제성, 시공성 및 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 최종 결정한다.
- ③ 비탈면 안정대책은 보강공법과 보호 및 배수공법을 조합하여 비탈면의 장기 안정성이 확보 되도록 한다.
- ④ 낙석이 빈번한 급경사 지역이나 애추(Talus) 지역은 선형 조정이나 터널 및 개착구조물(피암 터널) 등의 대책을 우선적으로 검토한다.

(4) 안정대책의 선정

- ① 비탈면 안정대책은 비탈면 특성과 이에 따른 파괴유형을 고려하여 적정 공법을 선정하여야 한다.
- ② 안정대책은 적용 가능한 2~3개의 공법중 지반조건에 따른 적용성과 경제성, 시공성 및 환경훼손 범위 등을 고려하여 결정한다.
- ③ 안정대책은 경사완화를 우선적으로 검토하되 경사완화가 경제적, 지형적으로 불합리한 경우에는 보강공법을 선정한다.<sup>3)</sup>

[표 2.2.1] 안정대책의 비교(예)

경사완화	보강공	구조물공
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 완만한 구릉지형 (지형경사 30° 이내)</li> <li>• 경사완화시 깎기 범위 증가가 적은 경우</li> <li>• 비탈면이 붕적층, 애추, 침식성 토질로 구성되어 보강공법 적용시 보강효과가 적은 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지형경사 40° 이상의 급경사 지형</li> <li>• 지층 및 지반특성 변화가 적은 경우</li> <li>• 보강시 소정의 보강효과를 기대할 수 있는 경우</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지형경사 40° 이상의 급경사 지형</li> <li>• 구조물 설치시 깎기범위 감소가 큰 편각기 및 확장구간</li> <li>• 구조물 설치시 시거에 대한 문제가 없는 경우</li> </ul>

3) 대절토부 조사설계기준 검토(설계일 16210-380, 1996.11)

- ④ 안정대책 선정시 공법별 주요 고려사항은 다음과 같다.
  - 가. Nail공법은 연약점토나 용수지역에서는 충분한 보강효과를 기대하기 어렵다.
  - 나. 긴장력에 의해 안정을 유지하는 Anchor공은 긴장력 손실이 발생하지 않도록 구조물에 의한 피복공(보호공)과 병행하는 것이 바람직하다.
  - 다. 침식성 토질이나 파쇄가 심한 암반, 팽창성 암반은 보강공법의 적용 보다는 구조물공에 의해 안정을 유지하는 것이 바람직하다.
  - 라. 세립분이 적은 경질 마사토는 식생의 활착이 어려워 우기시 침식 및 세굴 등의 문제가 발생하므로 보호공 선정에 유의하여야 한다.
  - 마. 비탈면 붕괴는 대부분 우기에 집중적으로 발생하므로 지표수 및 지하수 조건과 지반의 투수성 등을 고려하여 적정 배수대책을 강구한다.

### 2.2.2 Nail

#### (1) 적용범위

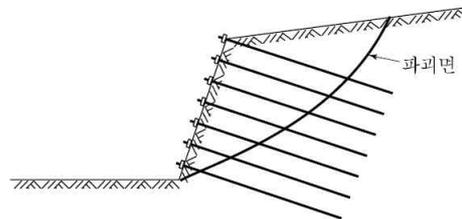
- ① 본 지침은 비탈면에 설치하는 Nail공법의 설계에 적용하며, 본 지침에 언급되지 않은 사항은 전문서적이나 타 기관의 지침을 준용한다.
- ② Nail공법은 Nail의 재질과 천공 및 충전방법에 따라 여러 종류가 있으나 본 지침은 특정종류의 Nail에 대한 설계방법은 포함하지 않는다.

#### (2) 적용기준

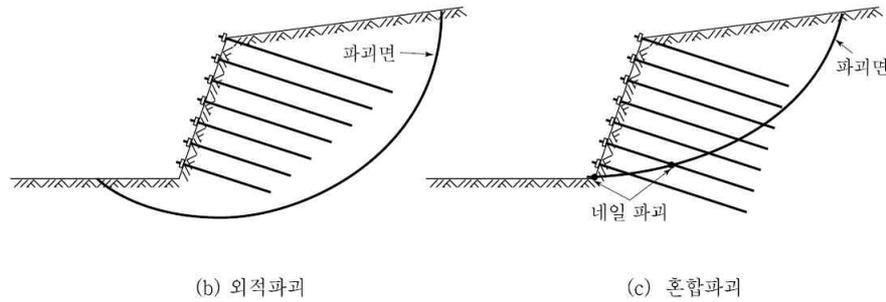
- ① 다음의 지반은 보강재와 지반의 충분한 마찰저항을 기대할 수 없으므로 Nail공법을 적용하지 않는다.
  - 가. 공벽 자립이 어려운 경우 (순수 모래 및 자갈 지반)
  - 나. 지하수위가 높고 용수가 발생하는 경우
  - 다. 예민비(sensitivity)가 큰 점성토 지반
- ② 기준안전율
  - 가. 안정해석시 네일의 극한인발력에 대한 안전율은 상시 3.0, 지진시 2.0을 적용한다
  - 나. 실제 현장에서 충분한 인발시험에 의해 극한인발력을 측정할 경우에는 상기값 보다 작은 안전율을 적용할 수 있다.

#### (3) 주요 고려사항

- ① Nail로 보강된 비탈면은 각각의 파괴형태에 대하여 안전성이 확보되도록 한다.



(a) 내적파괴



<그림 2.2.1> 네일 파괴형태(CLOUTERRE, 1991)

- ② 외적 안정성(비탈면 안정성) 검토시 네일의 인발저항력은 네일의 파단과 인발저항력중 작은 값을 적용한다.
- ③ Nail의 전단저항을 고려할 경우에는 최대인발저항력이 발휘될 때 Nail에서 발휘되는 전단력을 적용한다.
- ④ Nail 재료는 파단, 인발 및 전단 등의 내적안정성을 확보하여야 한다.

#### (4) 사용재료

##### ① 네일 및 정착판

- 가. 사용재료는 KS D 3504 (철근콘크리트용 봉강) 7002 및 KS D 3505에 규정된 강재이거나 공인인증시험기관에서 적합성이 보증된 것을 사용한다.
- 나. 네일재료는 방청처리를 시행하거나 부식에 의한 단면감소를 고려하여 설계인장강도를 결정한다.

$$T_l = A_s \cdot f_y \quad \text{[식 2.2.1]}$$

여기서,  $T_l$  : 장기인장강도 (kN)

$A_s$  : 장기 부식두께를 고려한 보강재의 단면적(m<sup>2</sup>)

$f_y$  : 보강재의 항복강도(kPa)

- 다. 정착판은 Nail에 발생하는 장기 하중을 지지할 수 있어야 하며, 일반적으로 150×150mm, 두께 6mm 규격을 많이 사용한다.

##### ② 그라우트

- 가. KS L 5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트나 조강 시멘트를 사용하며, 소요 강도와 내구성을 지녀야 한다.
- 나. 그라우트재는 28일 강도 21MPa, 물시멘트비(w/c) 30~50%를 표준으로 하며, 필요에 따라 급결재, 팽창재, 유동화제 및 감수제 등의 혼화재를 사용한다.

#### (5) 네일 보강 비탈면의 설계

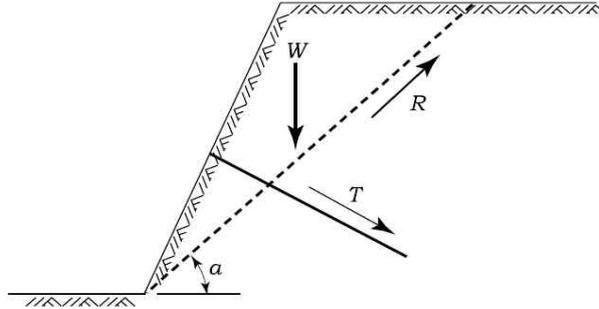
##### ① 비탈면의 안정

- 가. 네일로 보강된 비탈면의 안정해석은 한계평형해석이나 유한요소해석법을 이용한다.
- 나. 네일의 간격, 설치길이 및 각도는 비탈면의 안정과 내적안정이 모두 확보되도록 한다.4)

다. 한계평형해석시 파괴형태는 원호, 이중썰기, 단일썰기 등으로 가정하며, 각각의 형태별 해석방법은 다음과 같다.

(가) 단일썰기법

- 파괴면을 직선( $\alpha=45^\circ \sim 45^\circ + \phi/2$  범위)으로 가정하여 활동면 보다 깊은 보강재의 인장력과 전단력을 고려하여 안전율을 결정한다.

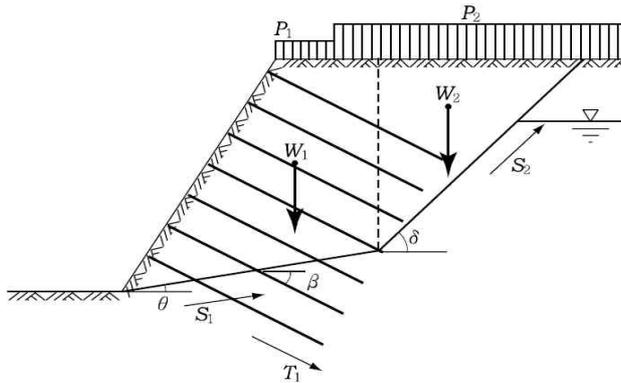


<그림 2.2.2> 단일 썰기파괴에 대한 안정계산

- 단일썰기법은 계산이 간편하기는 하나 실제 비탈면의 파괴형태가 직선이 아닌 경우가 많으므로 적용이 제한적이다.

(나) 이중썰기

- 활동토괴를 2개의 썰기(이중썰기)로 가정하고 활동면보다 더 깊은 보강재의 인장효과를 고려하여 안전율을 산정한다.
- 활동썰기의 경사( $\theta, \delta$ )에 따른 안전율중 작은 값을 최소안전율로 결정한다.



<그림 2.2.3> 이중썰기에 대한 안정계산

파괴썰기의 중량 :  $W_1, W_2$   
 지표면에 작용하는 상재하중 :  $P_1, P_2$   
 각 파괴썰기의 하부에서 발휘되는 전단저항력

$$S_1 = (W_1 + \sum P_1 - U) \cdot \cos\theta \cdot \tan\phi_1 + c_1 \cdot L_1 \quad \text{[식 2.2.2]}$$

$$S_2 = (W_2 + \sum P_2 - U) \cdot \cos\delta \cdot \tan\phi_2 + c_2 \cdot L_2 \quad [\text{식 2.2.3}]$$

안전율 계산

$$FS = \frac{\sum S_1 + S_2 \cdot \cos(\delta - \theta) + \sum T \cos(\theta - \beta)}{(W_1 + \sum P_1) \sin\theta + (W_2 + \sum P_2) \sin\delta \cos(\delta - \theta)} \quad [\text{식 2.2.4}]$$

여기서,  $L_1, L_2$  : 각 썰기의 파괴면의 길이(m)

$c_1, c_2$  : 각 썰기의 파괴면 저면에 작용하는 점착력

$\phi_1, \phi_2$  : 각 썰기의 파괴면 저면에 작용하는 내부마찰각

$\beta$  : 보강재의 타설각도( $^\circ$ )

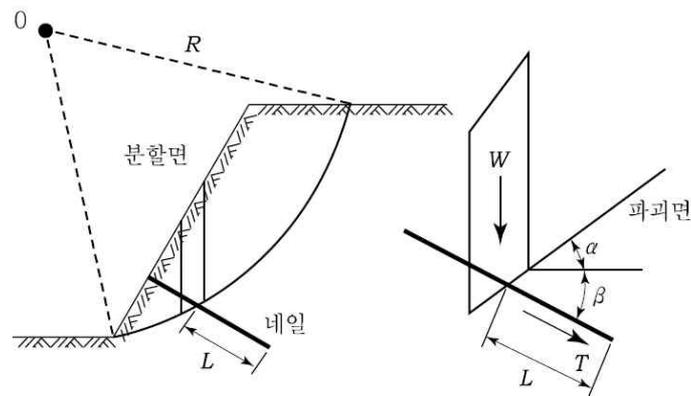
$U$  : 각 썰기의 파괴면에 작용하는 수압

$T$  : 분할면 저면에 작용하는 보강재의 인장력(kN)

- 이중썰기법은 내부파괴를 명확히 고려하지 않으므로 적용에 제한적이다.

(다) 원호파괴

- 활동면을 원호로 가정하여 활동면보다 더 깊은 보강재의 인장저항을 고려하여 안전율을 산정한다.



<그림 2.2.4> 원호활동면에 대한 안정계산

$$FS = \frac{\sum (W \cdot \cos\alpha - U \cdot L) \tan\phi' + T \cdot \cos\beta + c' L}{W \cdot \sin\alpha} \quad [\text{식 2.2.5}]$$

여기서,  $FS$  : 비탈면의 안전율

$W$  : 활동면 토체의 중량(kN)

$L$  : 활동면 아래 네일의 길이(m)

$c'$  : 지반의 유효점착력(kN/m $^2$ )

$\phi'$  : 유효내부 마찰각( $^\circ$ )

$U$  : 분할면 저면에 작용하는 간극수압(kN/m $^2$ )

$\alpha$  : 분할면 저면의 경사각( $^\circ$ )

$\beta$  : 분할면 저변과 보강재가 이루는 각( $^\circ$ )

$T$  : 분할면 저변에 작용하는 보강재의 인장력(kN)

- 해석시 네일의 전단력을 고려할 경우에는 최대 소성일의 원리와 트레스카 파괴기준에 의해 네일의 저항력을 산정한다.

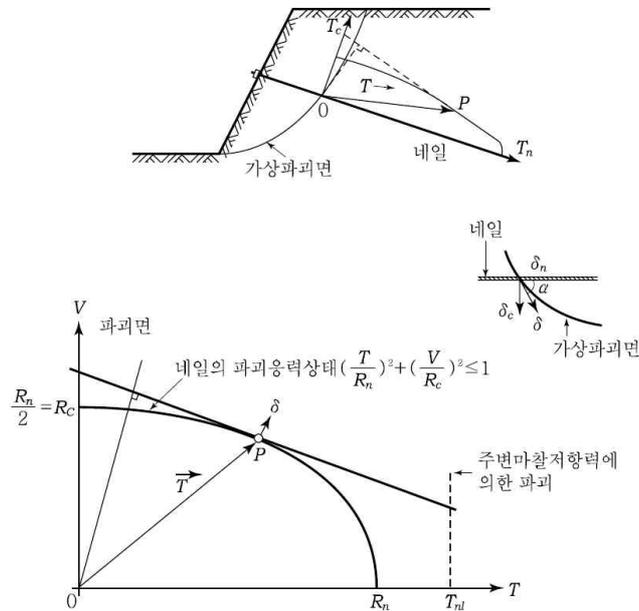
$$\left(\frac{T}{R_n}\right)^2 + \left(\frac{V}{R_c}\right)^2 \leq 1 \quad \text{[식 2.2.6]}$$

여기서,  $T$  : 파괴면에서 네일에 발생하는 인장력

$V$  : 파괴면에서 네일에 발생하는 전단력

$R_n$  : 네일의 인장강도

$R_c$  : 네일의 전단강도 (=  $R_n/2$ )



<그림 2.2.5> 파괴면에서 네일에 의한 전단력과 인장력의 계산

- 전단력을 고려한 네일의 저항력은 [식 2.2.7]을 이용하여 산정하며, 네일의 저항은  $\alpha$  가 작은 경우에는 인장저항,  $\alpha$  가  $\pi/2(90^\circ)$ 에 근접하게 되면 전단저항이 주를 이룬다.

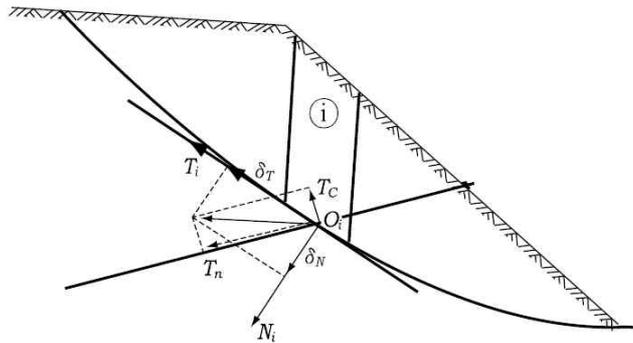
$$V_f = \frac{T_{\min}/2}{\sqrt{1 + 4 \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}} \quad \text{[식 2.2.7]}$$

$$T_f = 4 V_f \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \quad \text{[식 2.2.8]}$$

여기서,  $T_{\min}$  : 네일 인발저항력과 네일 인장강도 중 작은 값

$V_f$  : 파괴시 네일에 발생하는 전단력  
 $T_f$  : 파괴시 네일에 발생하는 인장력  
 $V$  : 파괴면에서 네일에 발생하는 전단력  
 $\alpha$  : 파괴면과 네일 사이의 각도

- 안전율 산정은 네일의 저항력( $T_n, T_c$ )의 합력을 파괴면에 수직인 힘( $N_i$ )과 나란한 힘( $T_i$ )으로 재분배하여 힘의 평형조건을 이용하여 결정한다.



<그림 2.2.6> 파괴면에서의 힘의 재분배

## ② 내적안정

가. 네일에 작용하는 인장력은 네일의 설계인장강도 보다 작아야 하며, 네일의 설계인장강도는 허용인장강도와 허용인발강도 중 작은 값으로 한다.

나. 네일의 허용인장강도는 재료의 허용인장강도에 부식에 의한 단면감소를 고려한다.

다. 허용인발강도는 [식 2.2.9]와 [식 2.2.10]에 의한 값 중 작은 값을 적용한다.

$$T_{ag} = \frac{1}{F_s} \tau_u \cdot \pi \cdot D \cdot L_e \quad [\text{식 2.2.9}]$$

$$T_{af} = \tau_{af} c d p t \pi \cdot d \cdot L_e \quad [\text{식 2.2.10}]$$

여기서,  $T_{ag}$  : 지반과 그라우트 사이의 허용인발저항력(kN)

$T_{af}$  : 보강재와 그라우트 사이의 허용인발저항력(kN)

$D$  : 천공직경(m)

$d$  : 보강재의 유효직경(m)

$L_e$  : 마찰저항력을 발휘하는 보강재의 길이(m)

$\tau_u$  : 지반과 그라우트 사이의 극한주면마찰저항(kN/m<sup>2</sup>)

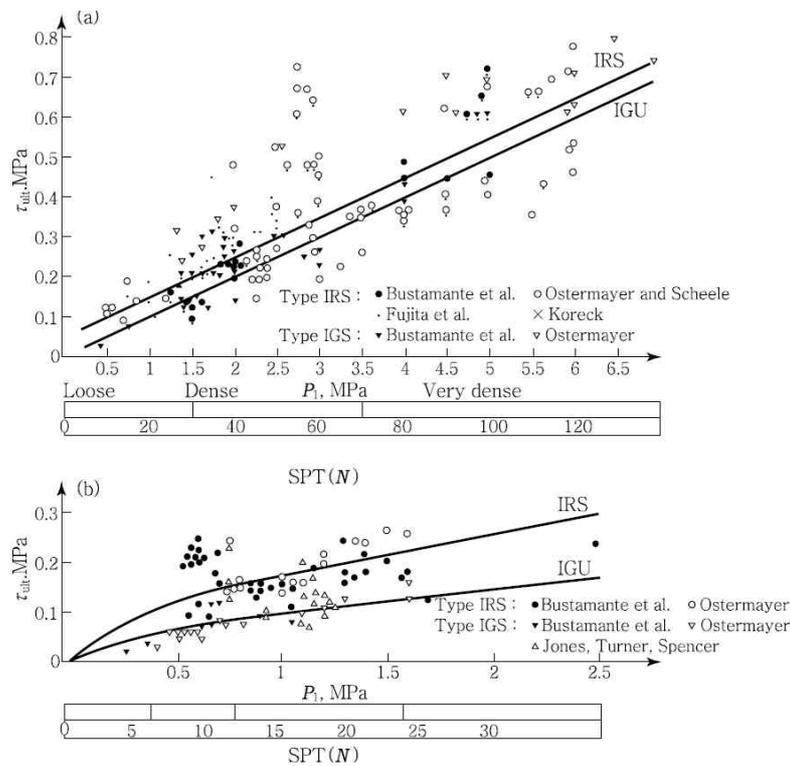
$\tau_{af}$  : 보강재와 그라우트 사이의 허용부착응력(kN/m<sup>2</sup>)

라. 지반과 그라우트의 극한마찰저항은 [표 2.2.2]나 <그림 2.2.6>을 참고하거나 실제 인발 시험에서 측정된 값을 사용한다.

[표 2.2.2] 시공방법 및 지반종류에 따른 극한단위주면마찰저항력(Elias and Juran, 1991)

적용지반	시공방법	토사/암 종류	극한마찰저항력 (kPa)	
압	로터리 천공	이회암/석회암	300 ~ 400	
		천매암	100 ~ 300	
		백악	500 ~ 600	
		연약한 백운석	400 ~ 600	
		열화된 백운석	600 ~ 1000	
		풍화된 사암	200 ~ 300	
		풍화된 세일	100 ~ 150	
		풍화된 편암	100 ~ 175	
		현무암	500 ~ 600	
		점판암/견고한 세일	300 ~ 400	
비점착성 토사 (사질토)	로터리 천공	모래/자갈	100 ~ 180	
		실트질 모래	100 ~ 150	
		실트	60 ~ 75	
		산기슭 잔류토	40 ~ 120	
		세립 붕적토	75 ~ 150	
	천공후 케이싱 사용	모래/자갈	토피가 얇은 경우	190 ~ 240
			토피가 깊은 경우	280 ~ 430
		조밀한 빙퇴석		380 ~ 480
		붕적토		100 ~ 180
	오거천공	실트질 모래 매립토		20 ~ 40
		실트질 세립 모래		55 ~ 90
		실트 및 점토질 모래		60 ~ 140
	젯 그라우트	모래		380
		모래/자갈		700
	세립 토사 (점성토)	로터리 천공	실트질 점토	
천공후 케이싱 사용		점토질 실트		90 ~ 140
오거천공		황토		25 ~ 75
		연약한 점토		20 ~ 30
		견고한 점토		40 ~ 60
		견고한 점토질 실트		40 ~ 100
		석회질의 모래질 점토		90 ~ 140

Notes: Convert values in kPa to psf by multiplying by 20.9  
 Convert values in kPa to psi by multiplying by 0.145



<그림 2.2.7> 한계압에 따른 네일의 단위주면마찰저항력

## 2.2.3 Rock Bolt

### (1) 적용범위

- ① 본 지침은 암반 비탈면에서 소규모 암괴의 붕락 또는 이탈을 방지하고 초기변형을 억제하기 위해 설치하는 Rock Bolt 설계에 적용한다.
- ② Rock Bolt공법은 그라우트 종류, 강재의 강도 및 형상 등에 따라 여러 종류가 있으나 본 지침은 일반적으로 사용되는 콘크리트용 강재를 이용한 전면접착식 Rock Bolt 설계에 적용한다.

### (2) 주요고려사항

#### ① 적용형식

록볼트는 보강이 필요한 부분의 상태 또는 규모에 따라 보강되는 부분의 안정성이 확보되도록 랜덤볼트 또는 패턴볼트 형식으로 설계한다.

#### 가. 랜덤볼트

큰 암석이 걸려있는 경우와 같이 국부적인 보강이 필요한 경우에는 랜덤볼트 형태로 필요한 구간에만 설치하여 안정성을 확보한다.

#### 나. 패턴볼트

일정한 방향의 불연속면에 의해 암반의 탈락이 예상되는 비탈면에서는 패턴볼트를 적용하여 전반적인 보강을 실시한다.

- ② 현장이용한 록볼트 재료는 원래 록볼트의 인장력을 발휘하는지 확인하여야 하며, 가급적 현장 이음한 록볼트는 사용하지 않는다.

(3) 재료의 특성

① 사용강재

- 가. 비탈면 보강용 록볼트는 소요강도 이상을 가지는 이형봉강을 사용하며, 원칙적으로 현장 이음은 시행하지 않는다.
- 나. 일반적으로 SD300, SD350 정도의 재질을 사용하며, 직경 D22~D25 정도를 많이 사용한다.
- 다. 특별한 경우를 제외하고는 천공경은 38~51mm를 적용한다.<sup>5)</sup>

② 정착판

- 가. 정착판은 록볼트를 임반과 밀착시키는 역할을 하는 부재로 록볼트에 발생하는 하중을 장기적으로 견딜 수 있어야 한다.
- 나. 일반적인 정착판 규격은 150×150mm(t=6mm)를 많이 사용하며, 팽창성 지반이나 록볼트의 축력이 큰 경우에는 규격에 대한 검토를 시행한다.

③ 그라우트

- 가. 그라우트는 조기 접착력과 내구성이 커야 하며, 일반적으로 수지형과 시멘트 그라우트형을 사용한다.
- 나. 발포성을 가한 수지를 사용할 경우에는 발포배율에 따른 주변마찰저항의 감소 여부를 검토한다.
- 다. 시멘트 그라우트는 KS L 5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트나 조강 시멘트 등을 사용한다.
- 라. 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 경우에는 초기에 접착능력을 발휘할 수 있도록 캡슐형 급결재나 동등 이상의 품질을 지닌 급결재를 사용한다.

(4) 록볼트 보강 비탈면의 설계

① 비탈면 안정

- 가. 록볼트에 의한 보강효과는 저항력의 증가로 고려하며, 특별한 경우를 제외하고는 강재의 전단저항은 고려하지 않는다.

$$FS = \frac{c \cdot A + (W \cos \theta - U) \tan \phi + T \cos \alpha}{W \sin \theta} \quad [\text{식 2.2.11}]$$

여기서, FS : 기준안전율

T : 암괴 또는 파괴체를 지지하기 위한 전체 보강력

c : 파괴면의 점착력

$\phi$  : 파괴면의 마찰각

A : 파괴면의 면적

W : 파괴암괴 중량

U : 파괴면에 작용하는 수압

$\theta$  : 파괴면이 수평면과 이루는 각도

$\alpha$  : 록볼트와 파괴면 사이의 각도

5) 깎기비탈면 보강 록볼트 설계기준 검토(설계처 2311, 2007.08)

나. 록볼트에 의한 보강력은 재료의 허용인장강도와 지반과 록볼트의 허용인발강도 중 작은 값으로 한다.

다. 파괴면과 비탈면의 기하학적 형상을 고려하여 상세 검토를 하는 경우에는 록볼트에 의한 보강효과를 고려하여 프로그램을 이용한 해석을 시행한다.

## ② 내적안정

가. 록볼트에 발생하는 인장 및 전단단응력은 재료의 허용응력보다 작아야 한다.

나. 록볼트의 허용인발저항력은 보강재와 지반의 허용인발저항력( $T_{af}$ )과 지반과 그라우트의 허용인발저항력( $T_{ag}$ )중 작은값을 적용한다.

$$T_{ag} = \frac{1}{F_s} \tau_u \cdot \pi \cdot D \cdot L_e \quad [\text{식 2.2.12}]$$

$$T_{af} = \tau_f \cdot \pi \cdot d \cdot L_e \quad [\text{식 2.2.13}]$$

여기서,  $T_{ag}$  : 지반과 그라우트 사이의 허용인발저항력(kN)

$T_{af}$  : 보강재와 그라우트 사이의 허용인발저항력(kN)

D : 천공직경(m)

d : 보강재의 유효직경(m)

$L_e$  : 마찰저항력을 발휘하는 보강재의 길이(m)

$\tau_u$  : 지반과 그라우트 사이의 극한주면마찰저항(kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_f$  : 보강재와 그라우트 사이의 허용부착응력(kN/m<sup>2</sup>)

## 2.2.4 Anchor

### (1) 적용범위

- ① 본 지침은 비탈면의 안정성 증진을 위해 적용하는 마찰형 앵커의 설계에 적용한다.
- ② 본 지침에 언급되지 않은 사항은 전문서적이나 타 기관의 지침이나 시방서를 준용한다.
- ③ 마찰형 앵커는 재질, 하중전달 및 두부 정착방식에 따라 여러 종류가 있으나 본 지침은 특 정종류의 앵커에 대한 내용은 포함하지 않는다.

### (2) 적용기준

- ① 정착지반이 다음에 해당되는 경우에는 충분한 마찰저항을 기대하기 어려우므로 적용하지 않거나 적용시 주의가 필요하다.
  - 가. N치 10이하의 느슨한 모래지반
  - 나. N치 6이하의 연약한 점토지반
  - 다. 지하수위가 높고 다량의 용수가 발생하는 지반
- ② 앵커의 극한인발력에 대한 안전율은 상시 3.0 이상, 지진시 1.5~2.0 이상을 적용한다.
- ③ 앵커의 허용인장력은 다음 값 중 작은값으로 한다.

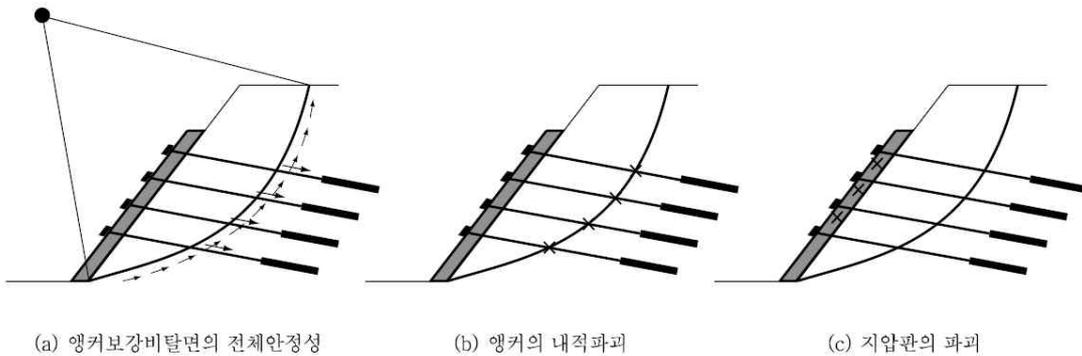
[표 2.2.3] 앵커의 허용인장력

구 분	긴장재 극한하중( $T_{us}$ )에 대하여	긴장재 항복하중( $T_{ys}$ )에 대하여
정상시	0.60 $T_{us}$	0.75 $T_{ys}$
지진시	0.75 $T_{us}$	0.90 $T_{ys}$

(3) 주요고려사항

① 안정조건

가. 앵커로 보강된 비탈면은 각각의 파괴형태별로 안정성을 확보하여야 한다.



<그림 2.2.8> 앵커보강 비탈면에서의 파괴형태

- 가. 앵커의 긴장력, 배치간격 및 설치길이 등은 비탈면 전체의 안정성이 확보되도록 한다.
- 나. 긴장재의 파단, 강선과 그라우트재의 인발 및 지반과 그라우트재의 인발파괴 등의 내적 안정성을 확보하여야 한다.
- 다. 앵커의 지압판은 앵커에 발생하는 긴장력과 동일한 힘이 작용되므로 전단 또는 모멘트에 의해 지압판이 파괴되지 않도록 한다.

② 설치간격 및 길이

- 가. 앵커체 정착부는 서로 영향을 미치지 않도록 충분한 간격을 유지하여야 한다.
  - (가) 수평간격 : 앵커체 직경의 4배 이상
  - (나) 수직간격 : 앵커체 직경의 3.5배 이상
- 나. 앵커의 정착부의 토피두께가 적으면 구속용력이 낮아 충분한 저항을 기대하기 어려우므로 최소 토피고는 다음과 같이 확보한다.
  - (가) 토사지반 : 최소 5m 이상
  - (나) 신선한 임반 : 최소 1.5m 이상
- 다. 앵커의 자유장 및 정착장은 충분한 지반저항을 기대할 수 있도록 다음과 같이 적용한다.
  - (가) 자유장 : 최소 3m 이상 또는 예상파괴면 1m 이상
  - (나) 정착장 : 토사층 4.5m 이상, 최대 10m 이내

## (4) 재료의 특성

## ① 긴장재와 정착구

가. PC강선은 KS D 7002의 SWPC 7B, PC강봉은 KS D 3505 규격에 규정하는 PS강재를 사용하여거나 공인인증시험기관에서 재질의 적합성이 검증된 것을 사용한다.

[표 2.2.4] PC강선의 종류 및 기호

종 류		기 호		비 고
PC 강선	원형선	A종	SWPCIAN, SWPCIAL	○
		B종	SWPCIBN, SWPCIBL	○
	이형선		SWPD1N, SWPD1L	○
PC 강연선	2연선		SWPC2N, SWPC2L	○○
	이형3연선		SWPD3N, SWPD3L	○○○
	7연선	A종	SWPC7AN, SWPC7AL	○○○ ○○○
		B종	SWPC7BN, SWPC7BL	○○○ ○○○
	19연 선		SWPC19N, SWPC19L	○○○○○ ○○○○○ ○○○○○

[표 2.2.5] PC강선의 시험편 채취 및 시험(KS D 7002)

기 호	호 칭	0.2%영구 연신율에 대한 하중, kN	인장하중, kN	연신율 %	렐렉세이션값 %	
					N	L
SWPCIAN SWPCIAL SWPCIBL SWPCIBL	(2.9mm)	11.3 이상	12.7 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	(3.5mm)	14.2 이상	16.2 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	(4.0mm)	18.6 이상	21.1 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	(4.5mm)	22.6 이상	25.5 이상	4.0 이상	8.0 이하	2.5 이하
	5.0mm	27.9 이상	31.9 이상	4.0 이상	8.0 이하	2.5 이하
	(6.0mm)	38.7 이상	44.1 이상	4.0 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7.0mm	51.0 이상	58.3 이상	4.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	8.0mm	64.2 이상	74.0 이상	4.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	9.0mm	78.0 이상	90.2 이상	4.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
SWPD1N SWPD1L	5.0mm	29.9 이상	33.8 이상	4.0 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7.0mm	54.9 이상	62.3 이상	4.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	8.0mm	69.1 이상	78.8 이상	4.5 이상	8.0 이하	2.5 이하

기 호	호 칭	0.2%영구 연신율에 대한 하중, kN	인장하중, kN	연신율 %	렐렉세이션값 %	
					N	L
SWPC2N SWPC2L	2.9mm 2연선	22.6 이상	25.5 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
SWPD3N SWPD3L	2.9mm 3연선	33.8 이상	38.2 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
SWPC7AN SWPC7AL	(7연선 6.2mm)	33.8 이상	40.2 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	(7연선 7.9mm)	54.9 이상	64.7 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 9.3mm	75.5 이상	88.8 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 10.8mm	102 이상	120 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 12.4mm	136 이상	160 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 15.2mm	204 이상	240 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
SWPC7BN SWPC7BL	7연선 9.5mm	86.8 이상	102 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 11.1mm	118 이상	138 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 12.7mm	156 이상	183 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 15.2mm	222 이상	261 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
SWPC19N SWPC19L	7연선 17.8mm	330 이상	387 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 19.3mm	387 이상	451 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 20.3mm	422 이상	495 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 21.8mm	495 이상	573 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하
	7연선 28.6mm	807 이상	949 이상	3.5 이상	8.0 이하	2.5 이하

나. 앵커 정착구는 버튼, 뼈기, 너트식 등이 있으며, 긴장력 감소가 적고 재긴장이 용이한 구조를 사용한다.

다. 비탈면의 안정성 확보를 목적으로 적용하는 앵커는 영구앵커로 볼 수 있으므로 특별한 경우를 제외하고는 부식방지형 앵커를 사용한다.

② 그라우트

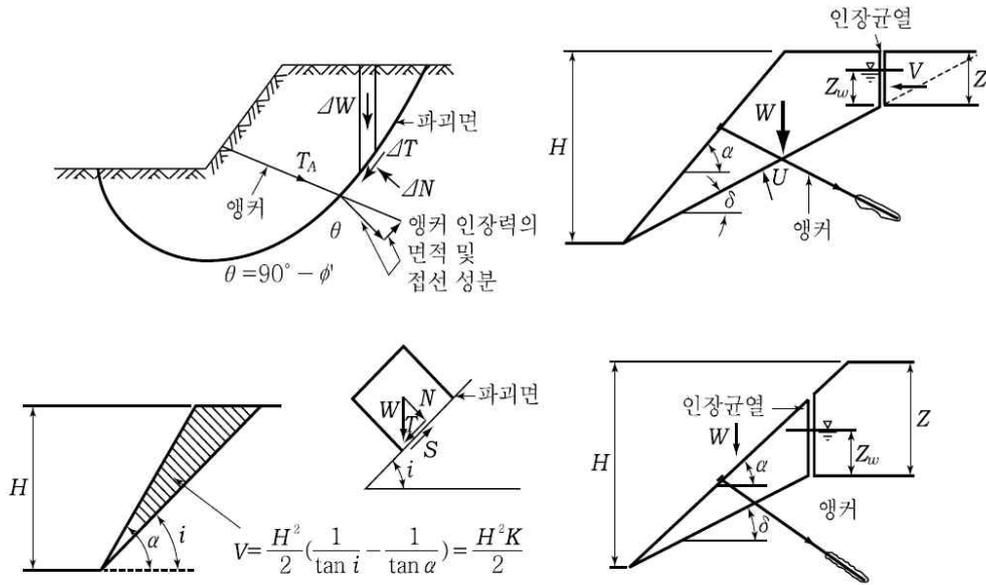
가. 그라우트재는 KS L 5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트 또는 조강 시멘트를 사용하며, 물시멘트비(w/c) 45% 이하, 7일 압축강도는 17MPa 이상이어야 한다.

나. 그라우트는 긴장재에 가해진 하중을 주면지반에 전달하고 부식물질로부터 긴장재를 보호하는 역할을 하므로 소요 강도와 내구성을 지켜야 한다.

(5) 앵커 보강 비탈면의 설계

① 비탈면의 안정해석

가. 비탈면 안정해석시 보강효과는 앵커의 저항력(설계인장력)을 파괴면과 나란한 분력으로 환산하여 활동력의 감소로 고려한다.



<그림 2.2.9> 앵커보강 비탈면의 해석방법

나. 비탈면 안정해석에 적용하는 앵커의 설계인장력은 강재의 허용인장력과 지반과 그라우트 재의 허용마찰저항중 작은 값을 적용한다.

② 내적안정

- 가. 앵커체는 긴장재의 파단, 그라우트와 주변지반의 인발, 그라우트와 긴장재의 인발 등의 파괴모드에 대하여 기준 안전율을 확보하여야 한다.
- 나. 그라우트와 지반의 마찰저항은 극한마찰저항에 소정의 안전율을 고려하여 산정하며, 극한마찰저항은 기존의 경험 값이나 실제 인발시험에 의한 측정 값을 적용한다.

$$T_{ag} = \frac{T_{ug}}{FS} \geq P \quad \text{[식 2.2.14]}$$

여기서,  $T_{ag}$  : 그라우트와 지반사이에서 발휘되는 허용인발저항력  
 $T_{ug}$  : 그라우트와 지반사이에서 발휘되는 극한인발저항력  
 $P$  : 긴장력

$$T_{ug} = \tau_u \cdot \pi \cdot D \cdot l_e \quad \text{[식 2.2.15]}$$

여기서,  $T_u$  : 단위극한주면마찰저항력  
 $D$  : 앵커의 천공직경  
 $l_e$  : 앵커정착장

[표 2.2.6] 앵커의 극한주면마찰저항

지반의 종류			극한주면마찰저항( $\tau_u, kN/m^2$ )
암반	경암		1500~2500
	연암		1000~1500
	풍화암		600~1000
	파쇄대		600~1200
모래자갈	N값	10	100~200
		20	170~250
		30	250~350
		40	350~450
		50	450~700
모래	N값	10	100~140
		20	180~220
		30	230~270
		40	290~350
		50	300~400
점성토			1.0c (c는 점착력)

주) 무가압형 지반앵커에서는 위표의 값을 사용하지 말고 별도의 경험치 또는 분석이 필요하다.

다. 인장형 앵커는 긴장재와 그라우트의 부착에 대한 검토를 시행하여야 한다.

$$T_{ab} = c_b \cdot U \cdot l_e \geq P \quad \text{[식 2.2.16]}$$

여기서,  $T_{ab}$  : 긴장재와 그라우트와 부착력

$c_b$  : 긴장재와 그라우트 사이의 부착응력

U : 긴장재의 원주면 길이

[표 2.2.7] 철근콘크리트의 허용부착응력(kN/m<sup>2</sup>)

긴장재 종류		그라우트 설계압축강도				
		15000	18000	24000	30000	40000 이상
일시앵커	PS 강선	800	1000	1200	1350	1500
	PS 강연선					
	이형 PS 강봉	1200	1400	1600	1800	2000
영구앵커	PS 강선	-	-	800	900	1000
	PS 강연선					
	이형 PS 강봉	-	-	1600	1800	2000

[표 2.2.8] 시험으로 측정된 허용부착응력(kN/m<sup>2</sup>)

긴장재의 종류	일시 앵커		영구 앵커	
	그라우트의 압축강도( $\sigma_{28}$ )		그라우트의 압축강도( $\sigma_{28}$ )	
	15000 이상 25000 미만	25000 이상	20000 이상 35000 미만	35000 이상
PS 강선, PS 강봉	500	700	500	700
PS 강연선	800	1100	800	1000
이형 PS 강봉	1100	1500	1000	1200

라. 강재의 허용인장강도는 극한인장강도의 60%와 항복인장강도의 75% 중 작은 값으로 한다.

### ③ 긴장력

가. 긴장력은 비탈면의 안정에 필요한 축력에 정착장치, 강선의 Relaxation, 정착지반의 Creep 등을 고려하여 결정한다.

나. 긴장재 정착시 긴장재의 미끄러짐에 의해 긴장력이 감소하므로 정착장치에 의한 긴장력 감소를 고려한다.

다. Relaxation에 의한 감소량은 재료에 따른 고유값이며, 일반적으로 PS강선은 5%, PS강봉은 3%를 적용한다.

라. 지반의 Creep에 의한 감소량은 장기인장시험에 의해 측정된 Creep감소량을 적용하거나 긴장력을 설계 앵커력의 1.2~1.3배로 적용할 수 있다.

### ④ 지압판 설계

가. 지압판은 앵커 긴장력에 의해 변형이 발생하지 않도록, 충분한 면적으로 설계한다.

나. 지압판과 앵커의 설치 방향은 직각을 이루어 긴장재의 휨 및 전단파괴나 지압판의 미끄러짐이 발생하지 않도록 한다.

다. 일반적으로 사용하는 지압판의 종류는 다음과 같으며, 신선한 암반은 판구조의 지압판을, 풍화암이나 토사는 격자블럭식을 적용하는 것이 바람직하다.

[표 2.2.9] 지압판의 종류

구분	격자블럭 식	판구조 식
종류	현장타설 콘크리트 격자블럭 뿔어붙이기 격자블럭	독립지압판 연속지압판

## 2.2.5 억지말뚝

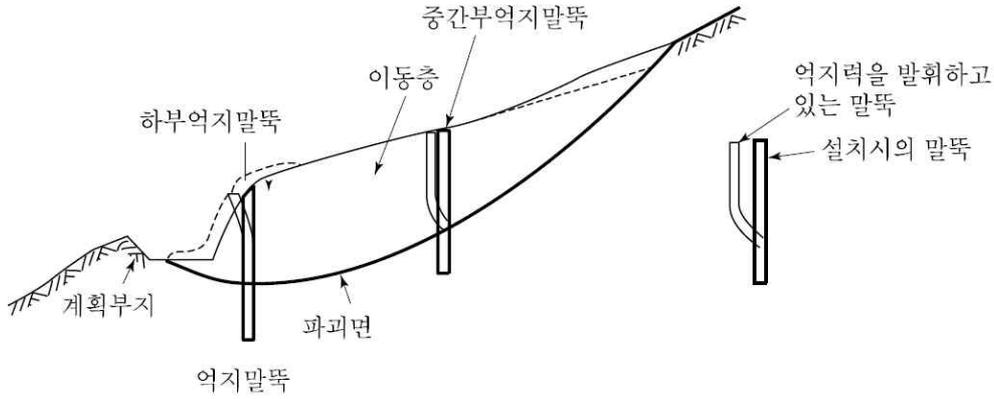
### (1) 적용범위

- ① 본 지침은 비탈면 활동을 억제하기 위해 설치하는 억지말뚝의 설계에 적용하며, 일반적인 내용만을 언급한다.
- ② 억지말뚝 설계시 가장 중요한 요소는 말뚝에 작용하는 토압의 예측이며, 이에 대한 산정방법은 전문서적이나 타 기관의 지침 및 시방서를 준용할 수 있다.

(2) 적용기준

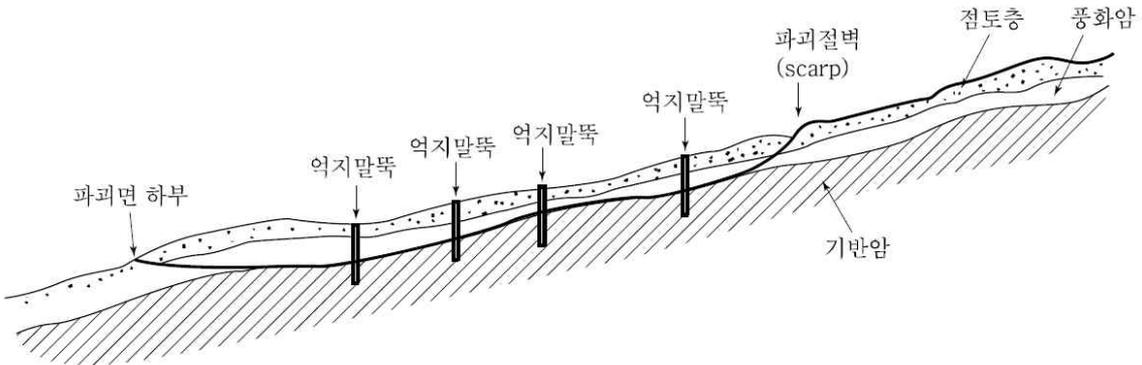
① 말뚝의 설치

가. 억지말뚝은 말뚝의 열이 활동방향에 직각이 되도록 파괴토체의 중간 또는 하부에 설치한다.



<그림 2.2.10> 억지말뚝 설치 위치

나. 말뚝을 군말뚝 형태로 설치할 경우에는 파괴토체를 여러 개의 블록으로 구분하여 각각의 블록에 설치된 말뚝이 저항하는 개념으로 설계할 수 있다.



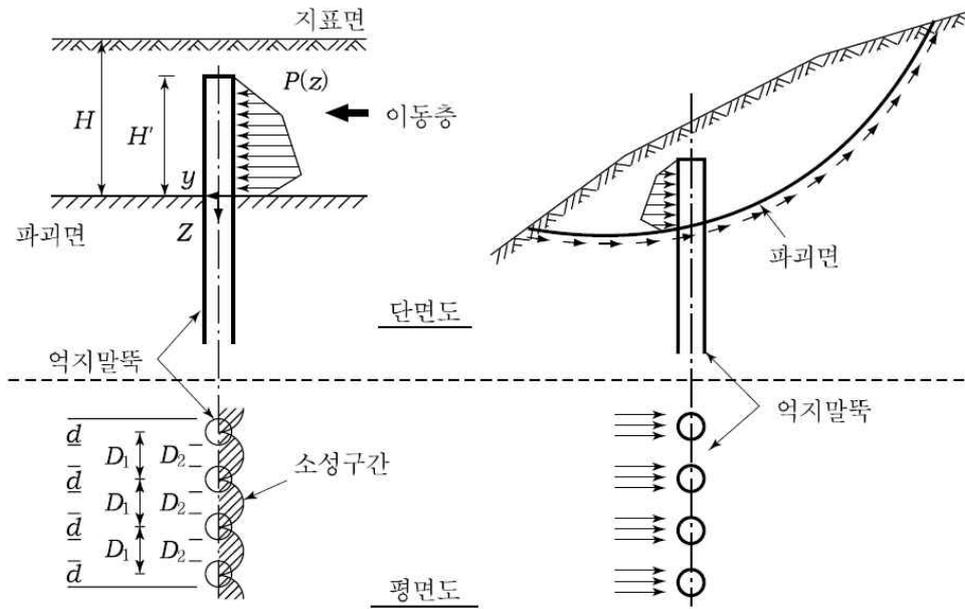
<그림 2.2.11> 억지말뚝의 다단 시공 예

다. 말뚝의 두부는 강결시켜 두부의 변위를 억제하는 것이 바람직하며, 앵커를 설치하는 경우 앵커의 정착지반은 파괴면 하부의 견고한 지반으로 한다.

② 말뚝에 발생하는 응력은 허용응력 이하로 하며, 말뚝의 수중파괴에 대한 안전율은 2.0을 적용한다.

(3) 주요 고려사항

① 억지말뚝의 설계에서 말뚝의 저항은 줄말뚝에 작용하는 토압(반력)이나 전단저항을 적용한다.



(a) 말뚝의 내적안정성

(b) 역지말뚝 보강사면의 안정성

<그림 2.2.12> 역지말뚝의 비탈면 안정해석 개념도

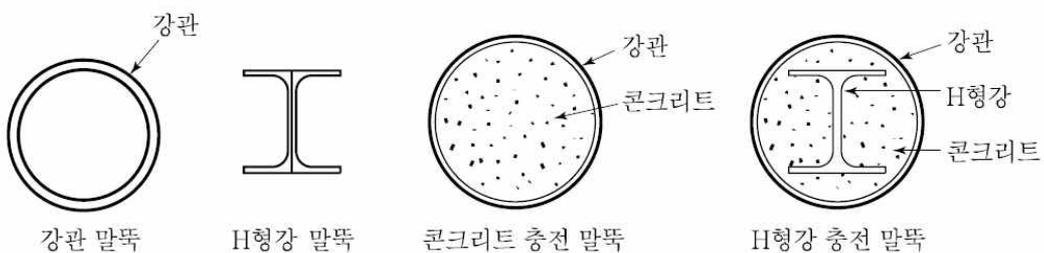
- ② 역지말뚝은 비탈면 안정과 말뚝의 안정이 모두 확보되도록 하여야 한다.
- ③ 역지말뚝은 횡방향 지지력이 확보되는 깊이까지 충분히 근입시켜야 한다.

(4) 재료의 특성

① 역지말뚝

가. 말뚝재료는 KS F 4602에 규정된 강관말뚝, KS F 4603에 규정된 H형강, 현장타설 콘크리트 말뚝 등을 사용한다.

나. 역지말뚝은 모멘트와 전단력으로 비탈면의 대규모 활동력에 저항하므로 휨강성이 크고 내구성과 부식저항이 큰 재료를 사용한다.



<그림 2.2.13> 역지말뚝의 재료와 단면 종류

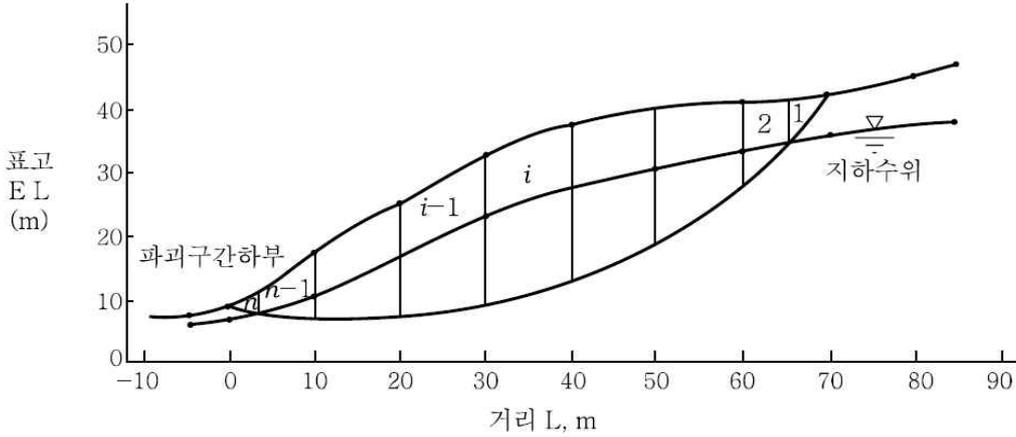
② 콘크리트

역지말뚝 내부를 충전할 경우 KS F 4009 규정에 적합한 콘크리트를 사용하며, 별도의 강도 기준이 없을 경우에는 24MPa 이상으로 한다.

(5) 역지말뚝의 설계

① 비탈면의 안정

가. 비탈면의 안정해석시 역지말뚝으로 인한 역지효과는 저항력의 증가효과로 고려한다.



<그림 2.2.14> 안정해석을 위한 파괴토체 분할도

$$FS = \frac{\sum \{(N_k - U_k) \tan \phi + c \cdot L_k\} + R_p}{\sum T_k} \quad [\text{식 2.2.17}]$$

여기서,  $N_k$  : k번째 절편 파괴면에서의 연직하중

$U_k$  : k번째 절편 파괴면에서의 부력

$c$  : 파괴면에서의 점착력

$L_k$  : k번째 절편의 파괴면 길이(m)

$T_k$  : k번째 절편의 활동력

$R_p$  : 역지말뚝의 파괴면에서의 저항력

나. 역지말뚝으로 인한 저항력은 말뚝의 허용전단응력을 적용하거나 아칭현상을 고려한 토압 (줄말뚝에 작용하는 토압)을 적용한다.

다. 말뚝의 허용전단응력을 역지말뚝의 저항력으로 할 경우에는 [식 2.2.18]을 이용하여 산정한다.

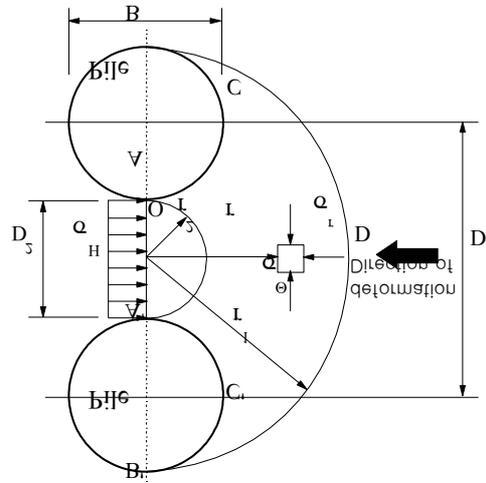
$$R_p = S_n \cdot \cos \theta \quad [\text{식 2.2.18}]$$

여기서,  $R_p$  : 역지말뚝의 저항력(수평설치 간격 고려)

$S_n$  : 역지말뚝의 허용전단력

$\theta$  : 역지말뚝과 파괴면 사이의 각도

라. 아칭현상을 고려한 말뚝에 작용하는 토압을 산정하는 방법은 여러 학자에 의해 제시되었으며, 원주공동확장이론을 적용할 경우 [식 2.2.19]와 같이 표시할 수 있다.



<그림 2.2.15> 원주공동확장이론을 적용한 해석

$$\begin{aligned}
 p &= p_{BB'} - p_{AA'} = \sigma_{r_1} \cdot D_1 - \sigma_H \cdot D_2 \\
 &= \left\{ \left( \sigma_H + \frac{2cN_\phi^{1/2}}{N_\phi - 1} \right) \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^{N_\phi - 1} - \frac{2cN_\phi^{1/2}}{N_\phi - 1} \right\} \cdot D_1 - \sigma_H \cdot D_2 \\
 &= \sigma_H \left[ \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^{N_\phi - 1} \cdot D_1 - D_2 \right] + \left[ \frac{2cN_\phi^{1/2}}{N_\phi - 1} \left\{ \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^{N_\phi - 1} - 1 \right\} \right] \cdot D_1 \\
 &= \sigma_H \left[ \left( \frac{D_1 + d}{D_2} \right)^{N_\phi - 1} \cdot D_1 - D_2 \right] + \left[ \frac{2cN_\phi^{1/2}}{N_\phi - 1} \left\{ \left( \frac{D_1 + d}{D_2} \right)^{N_\phi - 1} - 1 \right\} \right] \cdot D_1
 \end{aligned}$$

[식 2.2.19]

여기서,  $\sigma_H$  : Rankine의 주동토압,  $N_\phi = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$ ,  $c$  : 점착력

$D_1$  : 말뚝의 중심간격(m),  $D_2$  : 말뚝의 순간격(m),  $d$  : 말뚝의 직경

## ② 내적안정

- 가. 내적안정은 말뚝을 탄성 또는 탄소성 지반에 설치된 보(기둥)로 가정하여 해석한다.
- 나. 억지말뚝에 발생하는 응력(모멘트, 전단력)은 말뚝재료의 허용응력 보다 작아야 한다.

## ③ 말뚝의 설치간격 및 심도

- 가. 억지말뚝의 간격은 비탈면의 안정과 말뚝의 내적안정이 모두 확보되도록 결정한다.
- 나. 말뚝의 설치심도는 횡방향 하중의 영향이 없는 파괴면 하부의 견고한 지층에 충분히 근접시켜야 한다.

## 2.3 비탈면 보호공

### 2.3.1 일반사항

#### (1) 적용범위

- ① 본 지침은 비탈면의 안정성 유지를 위해 적용하는 비탈면 보호공의 선정에 적용한다.
- ② 본 지침에 언급되지 않은 사항은 전문서적이나 타 기관의 지침 및 시방서를 준용하며, 특정 종류의 보호공에 대한 내용은 포함하지 않는다.

#### (2) 보호공의 선정

- ① 비탈면 보호공은 지형, 지반상태, 기후조건, 설치목적, 미관, 경제성, 시공성, 유지보수 등을 고려하여 선정하여야 하며, 보호공의 종류와 목적은 다음과 같다.

[표 2.3.1] 비탈면 보호공과 목적

구분	보 호 공	주 요 목 적
식 생 공	떼붙이기, 중자분사파종공법, 벗집거적덮기, 얇은식생기반재 취부공법, 두꺼운 식생기반재 취부공법, 덩굴식물식재, 자생종묘식재+식생기반재 취부	식생에 의한 비탈면 보호, 녹화, 구조물에 의한 비탈면 보호공과의 병용
구 조 물 공	콘크리트 블럭 격자공, 모르타르 뿔어 붙이기공, 블럭 붙임공, 돌붙임공	비탈표면의 풍화 침식 및 동상 등의 방지
	현장타설 콘크리트 격자공, 콘크리트붙임공	비탈 표면부의 붕락 방지, 약간의 토압을 받는 흩막이
	비탈면 돌망태공, 콘크리트 블록공	용수가 많거나 부등침하가 예상되는 곳, 흩막이
	블록쌓기공, 돌쌓기공	흩막이

- ② 비탈면 보호공은 식생공을 우선적으로 검토하고, 식생공 적용이 어려운 경우에는 구조물에 의한 보호공을 적용한다.
- ③ 용출수가 발생하는 경우에는 필터층, 맨암거 등의 용출수 배수시설과 이에 적합한 보호공을 선정하여야 한다.

### 2.3.2 식생공

#### (1) 적용범위

- ① 본 지침은 고속도로건설로 인해 발생하는 비탈면의 자연생태환경의 복원과 녹화공사에 적용한다.
- ② 본 지침은 비탈면의 자연생태환경의 복원과 녹화공사에 필요한 기본적인 내용만을 언급하므로 세부 사항은 “도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(국토해양부, 2009)” 을 준용한다.

(2) 주요 고려사항

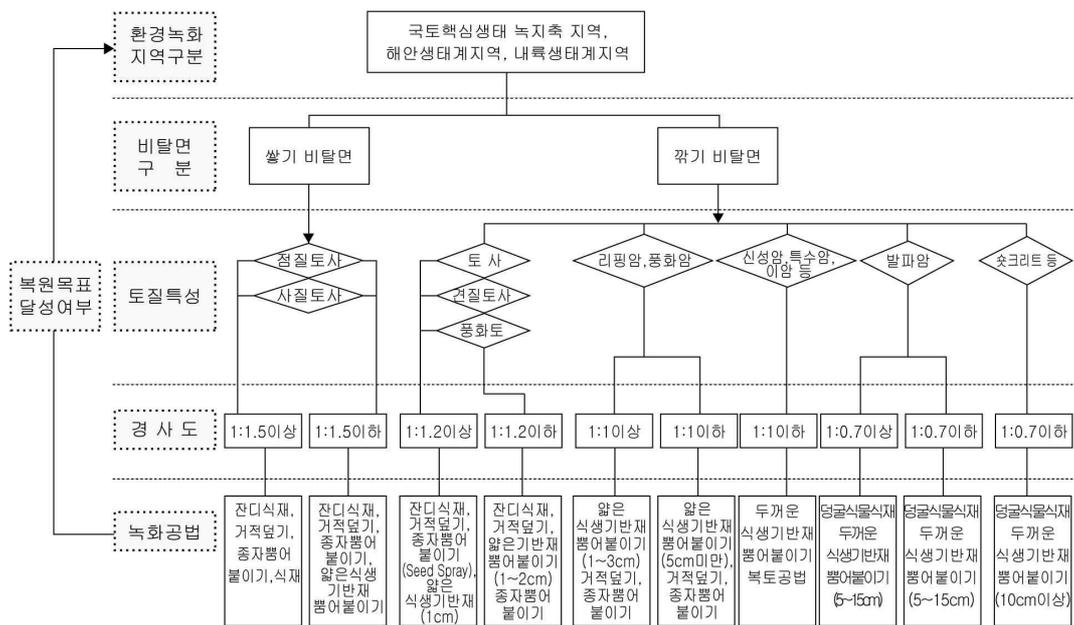
- ① 녹화의 복원목표와 공법선정은 생태자연도(추후 국토환경성평가도), 환경녹화지역별 특성, 비탈면의 입지환경(지역, 기후, 토질 및 암질) 등을 고려하여 결정한다.
- ② 녹화공법은 보편화된 공법을 반영하는 것이 원칙이며, 특별한 경우를 제외하고는 특정공법은 반영하지 않는다.
- ③ 토사 및 리핑암은 중자분사파종공법의 적용을 원칙으로 하되, 특별한 경우(적박한 토양, 세굴 예상 지역 등)에는 기타 공법이나 거적(Net)덮기를 적용한다.
- ④ 식생기반재 취부공법은 경관상 주요지역(인터체인지, 휴게소 및 영업소 등)이나 적박한 토양 지역에 적용한다.

(3) 사용재료

- ① 비탈면 녹화에 사용하는 종자, 식생기반재, 거적(Net), 피복재, 침식방지안정제 등의 주요재료는 “도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(국토해양부, 2009)” 의 기준을 준용한다.
- ② 시공시 파종식물 선정은 감독원(조경감독 또는 녹화전문 감독)의 승인을 얻거나 자연생태 복원전문가의 자문을 받아 결정한다.

(4) 녹화공법의 설계

- ① 비탈면녹화 계획을 위해서는 해당 지역의 환경인자를 상세히 조사한다.
  - 가. 입지인자 : 경사(°), 방위, 비탈면 길이(m), 비탈면 높이(m), 비탈면의 형태, 비탈면 위치 등
  - 나. 토양인자 : 토양산도(pH), 토양경도(mm), 토양습도(%), 암질 상태, 배수 상태, 유기물 함량(%), 토성, 중화민감도 등
  - 다. 기상인자 : 연평균 기온(°C), 연평균 강우량(mm) 등
- ② 비탈면 녹화공법의 선정은 다음의 흐름도를 기준으로 한다.



<그림 2.3.1> 비탈면 녹화공법 선정 흐름도

- ③ 녹화공법은 비탈면 경사, 종류 및 상태 등을 종합적으로 고려하여 결정하며, 일반적인 녹화 공법의 적용 예는 다음과 같다.

[표 2.3.2] 녹화공법의 적용(예)<sup>6)</sup>

구 분	쌍 기	깎 기
토 사	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 보통토사 : Seed Spray</li> <li>· 마사토등 세굴예상 구간 : Seed Spray+거적덮기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 보통토사 : Seed Spray</li> <li>· 심각한 세굴우려구간 : Seed Spray+거적덮기</li> <li>· 건조 척박한 토양, 견고한 점토질 : 식생기반 재취부공법</li> <li>※ 지질조건 : 모래, 실트질모래, 화강풍화토 지역</li> </ul>
리 평 압	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Seed Spray</li> <li>· 균열절리가 심한구간 : 식생기반재 취부공법</li> <li>※ 지질조건 : 이암, 응회암, 셰일, 절판암</li> </ul>
발 파 압	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미관이 중요시되는 구간, 균열절리가 심한 구간 : 식생기반재 취부공법</li> <li>※ 지질조건 : 화강편마암, 편암류</li> </ul>

- ④ 경질마사토, 암질이 불량하거나, 풍화진행이 빠른 암반 등은 식생기반재 취부공법의 적용을 검토한다.
- ⑤ 종자분사파종공법(seed spray)에 적용하는 재료 및 장비의 적용은 건설공사 표준품셈을 기초로 하여 다음과 같이 적용한다.

[표 2.3.3] 종자분사파종공법 재료 및 장비 적용기준

구 분	규 격	단 위	적 용	비 고
피복제	화이버 또는 펄프류	kg	18	
침식방지안정제	합성접착제	kg	10	
종자살포기	2,500~3,000 l	시간	-	장비 미등재에 따른 유사장비 반영
펌 프	φ 50mm	시간	-	
취부기	25 l	시간	0.37	
물탱크	5,500 l	시간	0.37	
덤프트럭	4.5ton	시간	0.37	
특별인부	-	인	0.07	
보통인부	-	인	0.07	

※ 종자량은 환경녹화 지역별 배합량에 따라 조정

6) 깎기비탈면 설계기준 개선 (설계처-2692, 2008.10.17)

- ⑥ 거적덮기 공법은 거적의 종류에 따라 론생공법, Coir-mesh, Jute-mesh, Green-fix 등이 있다.
- ⑦ 설계시 암 비탈면 녹화에 사용되는 여러 종류의 공법과 사용재료는 각각 식생기반재 취부공법과 식생기반재로 표준화(단일화)하여 적용한다.

[표 2.3.4] 암 비탈면 녹화에 사용되는 공법과 사용재료

식생기반재 취부공법	식생기반재
· 암절면보호식재공, 암절개면보호식재공, 중비토 뿔어붙이기, SF분사공법, 유기질토 취부공, CODRA공법 등	· 녹생토, 배합토, 녹지토 등

- ⑧ 식생기반재 취부공법의 시공두께 및 적용기준은 다음을 적용한다. 7)

[표 2.3.5] 식생기반재 취부공법의 시공두께 및 적용기준

시공두께 (mm)	적 용 대 상 지 역	비 고
T= 10	· 경사 1 : 1 이하의 완만한 양질토 지역	1 : 1 보다 완만한 지역은 망설치 생략 가능
T= 30	· 경사 1 : 1 이하의 완만한 일반토사 지역	
T= 50	· 경사 1 : 1 이하의 완만한 경질토 또는 자갈섞인 토사 지역	
T= 70	· 경사 1 : 1 내외의 점질토·마사토·호박돌 섞인 지역 및 자갈 섞인 지역 · 모래, 실트질 모래, 화강풍화토 지역	
T=100	· 경사 1 : 0.7 내외의 완만한 풍화암·연암지역,보통암이 약간 혼재된 지역 및 경암지역 · 이암, 용회암, 세일, 점판암	
T=150	· 경사 1 : 0.5 내외의 보통암 또는 경암지역 · 화강편마암, 편암류	경사 1 : 0.3 이상의 지역은 식생이 극히 불량

주) 특기사항 : 대상지 환경조건 및 현장조사 결과에 따라 시공두께 조정 가능

- ⑨ 보호망 설치시 양카핀과 착지핀의 설치 기준은 다음을 적용한다.

[표 2.3.6] 양카핀과 착지핀의 설치 기준<sup>8)</sup>

구 분	규 격	매입깊이	설치갯수	
			리핑암	발파암
양카핀	$\phi = 16\text{mm}$ , L=300mm	200mm	2.3개/10m <sup>2</sup>	4.6개/10m <sup>2</sup>
착지핀	$\phi = 16\text{mm}$ , L=200mm	100mm	5개/10m <sup>2</sup>	

- ⑩ 비탈면 녹화공법당 100~200m<sup>2</sup> 범위 내에서 시험시공을 시행한다.

7) 깎기비탈면 설계기준 개선 (설계처-2692, 2008.10.17)

8) 암절토비탈면 녹화식재공의 양카핀 설치기준 검토(설계일, 13201-875, 1999.09)

### 2.3.3 구조물공

#### (1) 돌쌓기 및 돌붙임

##### ① 적용범위 9)

- 가. 본 지침은 비탈면의 표면보호를 위한 돌붙임 및 돌쌓기공 설계에 적용한다.
- 나. 돌쌓기공은 비탈면 경사가 1:1보다 급한 경우에 적용한다.
- 다. 돌붙임공은 비탈면 경사가 1:1보다 완만한 구간중 침식이 예상되는 부분에 적용한다.

##### ② 설치기준

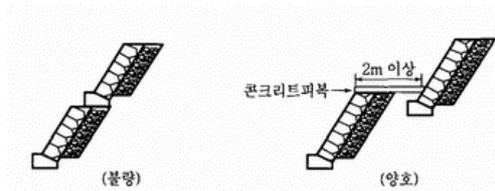
###### 가. 돌쌓기

- (가) 비탈면 경사가 1:1보다 급한 구간은 비탈면 하부의 소규모 붕괴를 방지하기 위해 토압이 작은 곳에 적용한다.
- (나) 돌쌓기공의 표준치수는 도로공사기준과 비탈면 설계기준을 준용한다.

[표 2.3.7] 쌓기 비탈면에서 돌(블록)쌓기 용벽 표준치수 (국토해양부)

비탈면 높이(m)	구분		경사		흙쌓기재 료	쌓기 방법	뒷길이 (mm)	뒤 채움 콘크리트 두께(mm)	뒤채움두께(mm)	
	전면	배면	전면	배면					상부	하부
1.5 이하	1:0.3	1:0.2	양호	“	350	메쌓기	-	-	200	330
			보통	“					300	450
			불량	“					400	570
1.5~3.0	1:0.4	1:0.3	양호	“	350	찰쌓기	50	100	200	460
			보통	“					300	600
			불량	“					100	740
3.0~5.0	1:0.5	1:0.4	양호	“	350	“	150	-	200	630
			보통	“	350				300	800
			불량	“	450				400	990

- (다) 돌쌓기 높이가 5m 이상인 경우에는 중력식 옹벽으로 간주하여 안정해석을 시행한다.
- (라) 돌쌓기를 다단으로 설치할 경우에는 2m 이상의 소단을 설치하고 표면부는 콘크리트로 피복한다.



<그림 2.3.2> 다단시공에서의 돌(블록)쌓기 옹벽의 적용

9) 비탈면 보호공 설치기준 검토(설계기 13201-260, 2001.05.14)

## 나. 돌붙임

(가) 비탈면 경사가 1:1보다 완만한 구간중 구성토질이 점착력이 없어 붕괴되기 쉬운 구간이나 비탈면의 조건이 다음에 해당될 경우에 적용한다.<sup>10)</sup>

- 일반적인 쌓기 비탈면에서 용수나 배수불량이 예상되는 경우
- 쌓기 높이 12m 이상의 편절·편성 구간 중 상부로부터 3단 이하 비탈면
- 저수지 및 하천을 통과하거나 인접한 쌓기 비탈면

(나) 비탈면 내부에 배수공(맹암거)을 설치할 경우에는 돌붙임 설치를 생략할 수 있다. <sup>11)</sup>

(다) 경관을 고려할 필요가 있는 경우에는 식생과 병행할 수 있다.<sup>12)</sup>

## (2) 격자블록

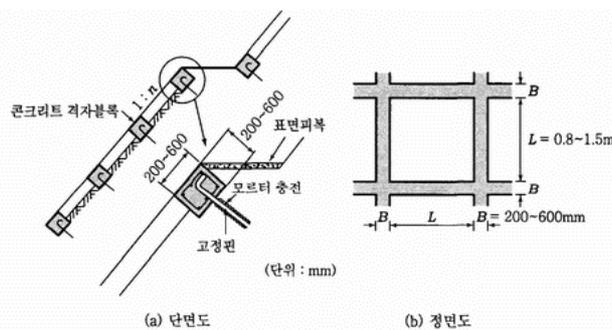
## ① 적용범위

본 지침은 비탈면 표면에 설치하여 우기시 비탈면 유실 및 세굴을 방지하기 위해 적용하는 격자블록의 설계에 적용한다.

## ② 격자블록의 설계

가. 격자블록을 적용하는 조건과 일반적인 단면형상은 <그림 2.3.3>과 같다.

- (가) 강우시 표면수에 의해 침식되기 쉬운 지반조건인 비탈면
- (나) 규모가 큰 쌓기, 깎기비탈면의 하부
- (다) 안정화된 비탈면이 부분적으로 용수가 있는 경우
- (라) 식생 도입이 곤란한 토질조건인 비탈면(경도 25이상)



<그림 2.3.3> 격자블록공법

나. 격자블록은 활동이나 토입에 대해서는 저항할 수 없으므로 붕괴 위험성이 있는 비탈면에는 보강공법과 병행한다.

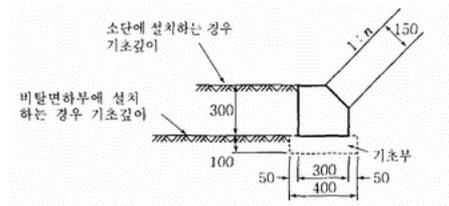
다. 격자블록의 안정해석은 ① 가로부재 검토 ② 최하단 세로부재 검토 ③ 기초의 활동과 지지력 검토를 포함하며, 부재의 설계는 콘크리트구조설계기준(국토해양부, 2003)을 준용한다.

라. 격자블록 기초의 근입심도는 지표하 0.3~1.0m 정도로 한다.

10) 성토 비탈면 돌붙임 설치 방안(건이삼 15105-301, 1999.09.21)

11) 성토 비탈면 돌붙임 개선방안(건설술 10105-131, 2002.10.09)

12) 고속도로 성토비탈면 돌붙임 시공구간 녹화방안(시설조 12308-122, 2001.03.15)



<그림 2.3.4> 격자블록공법의 기초예 (단위 : mm)

마. 격자블록의 속채움은 비탈면 경사, 비탈면표면의 지반조건, 용수여부, 표면수의 유입여부를 고려하여 결정한다.

[표 2.3.8] 격자블록 채움재의 종류

종 류	설 명	개 요 도
토사 채우기	· 격자 내부에 토사를 채움	
흙포대 채우기	· 포대에 토사를 채워 격자 내에 쌓음	
녹화기반재 봄어붙이기	· 격자내에 녹화용 기반재를 50~100 mm 정도의 두께로 봄어 붙임.	
돌채우기	· 격자내에 자갈돌을 고르게 부설, 콘크리트로 간극을 채우는 경우는 배수구멍 설치	
블록 깔기	· 격자내에 프리캐스트 콘크리트 블록을 부설하는 공법. 배수구멍 설치	
봄어붙이기	· 격자내에 현장치기 콘크리트 또는 모르터 봄어붙이기를 적용. 배수구멍 설치	

(3) 콘크리트 뽀어붙이기

① 적용범위

본 지침은 비탈면 표면의 풍화와 암반 이탈을 방지하기 위해 적용하는 콘크리트 뽀어붙이기 공법의 설계에 적용한다.

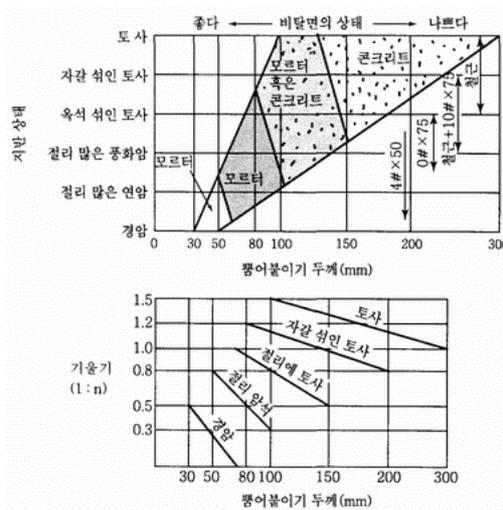
② 적용기준 및 설계

가. 콘크리트 뽀어붙이기공법은 미관이 불량하므로 다음 조건에 해당되는 경우에만 제한적으로 적용한다.

- (가) 넓은 면적의 암반 탈락이나 소규모 붕락이 예상되는 경우
- (나) 요철이 심하고 바위가 돌출된 급경사지
- (다) 급한 경사면에 단층파쇄대의 풍화진행으로 움푹 패인구간

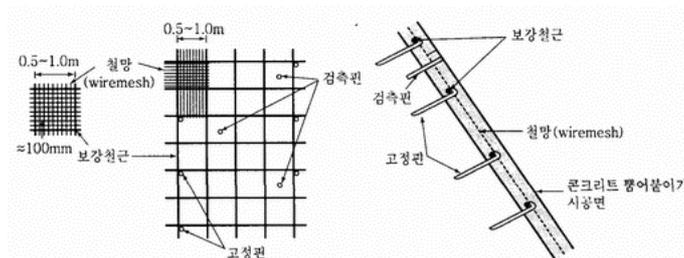
나. 주로 흙시멘트, 모르터, 콘크리트 및 섬유보강콘크리트 등의 재료가 사용되며, 비탈면의 상태 및 경사, 지하수 조건 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.

다. 시공두께는 비탈면 종류 및 경사, 암질, 기상조건, 요철정도, 적용사례 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.



<그림 2.3.5> 지반상태와 비탈면 경사에 따른 뽀어붙이기 두께선정

라. 균열 및 박리를 방지하기 위해 일정간격으로 철망(wiremesh)과 고정판을 설치한다.



<그림 2.3.6> 콘크리트 뽀어붙이기 철망

마. 수량 산정시 손실을 10%, 할중 10%를 기준으로 한다. 13)

### 2.3.4 비탈면 배수공

(1) 적용범위

본 지침은 비탈면 내부로 침투한 침투수와 지하수의 배수를 위해 설치하는 지하 배수공 설계에 적용한다.

(2) 지하배수공의 선정

- ① 지하 배수공은 비탈면의 투수성과 및 지하수(용수) 특성을 고려하여 배수공의 종류를 선정하여야 하며, 주요 배수공의 종류 및 기능은 다음과 같다.

[표 2.3.9] 지하 배수공의 종류 및 기능

배수공의 종류	기능
지하 배수구 (암거)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비탈면내부 또는 하부에 설치하여 비탈면내부로 흐르는 지하수 및 침투수를 배수시킨다.</li> <li>· 지하배수구는 암거라고도 하며 유공관과 배수성골재를 부직포로 싸서 만든다.</li> </ul>
수평 배수층	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 쌓기토체 내부 및 원지반과 쌓기의 경계부에 설치하며, 쌓기토체 내부의 지하수 또는 원지반과 쌓기 경계부로 흐르는 지하수의 유로를 인공적으로 형성하여 지하수 및 침투수를 배제시킨다.</li> <li>· 배수성 모래 및 자갈을 부직포로 싸서 만든다.</li> </ul>
돌망태 배수공	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 깎기비탈면에서 용수가 발생하는 구간 또는 쌓기비탈면의 비탈끝에 설치하며, 토사의 유출 및 비탈끝의 파괴를 방지한다.</li> <li>· 수평배수층과 같이 사용할 수 있다.</li> </ul>
수평 배수공	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 깎기 비탈면에서 용수가 발생하는 구간 또는 기대기옹벽, 뽐어붙이기 등의 공법을 적용할 때 지하수 배수를 신속히 하기 위하여 설치하며, 용수를 비탈면 밖으로 신속히 배수시키는 역할을 한다.</li> <li>· 비탈면에 천공한 후에 유공관 및 배수용토목섬유를 삽입하여 만든다.</li> </ul>
수직 배수공 (집수우물)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수위가 높은 비탈면 또는 대규모 파괴시 지하수위를 신속히 저하시키기 위하여 비탈면 상부 또는 중간에 설치한다.</li> <li>· 우물내부에는 수평배수공을 방방향으로 설치하여 지하수위 모은다.</li> </ul>

- ② 깎기와 쌓기 경계부나 편쌓기 내부에는 지하배수구를 설치하여 침윤선이 비탈면에 위치하지 않도록 한다.
- ③ 깎기비탈면의 조건이 다음과 같은 경우에는 수평배수공 설치를 검토한다.
  - 가. 지하수위가 높고 용수가 예상되는 경우
  - 나. 투수층과 불투수층의 경계로 침투수의 용수가 예상되는 경우
  - 다. 비탈면에 콘크리트 뽐어붙이기를 시행한 경우
- ④ 지하배수시설에서 흘러나오는 지하수는 지표수 배수시설 또는 자연배수로로 연결 되도록 한다.

13) 비탈면 보호용 슛크리트에 대한 뽐어붙이기 단가적용 검토(설계처-2940, 2007.10)