

KR C-04030

Rev.3, 12. December 2022

# 꺆 기

2022. 12. 12.



꺆가철도공단

## REVIEW CHART

[illegible]

## 경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

## 일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.  
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

# 목 차

<b>1. 용어의 정의</b>	<b>1</b>
<b>2. 일반사항</b>	<b>1</b>
2.1 깎기 비탈면 기울기	1
2.2 소단설치	1
2.3 깎기 지반분류	2
2.4 깎기 구간의 원지반	3
2.5 깎기 비탈면 안정검토	3
2.6 사토처리	3
<b>3. 깎기 및 본바닥</b>	<b>4</b>
3.1 깎기	4
3.2 본바닥	5
<b>4. 깎기비탈면 보호공법</b>	<b>6</b>
4.1 일반사항	6
4.2 비탈면 보호공법	7
4.3 비탈면 보호공법의 선정	7
<b>5. 깎기비탈면 보강공법</b>	<b>7</b>
5.1 비탈면 돌망태공법	7
5.2 암반 비탈면 보강공법	8
<b>해설 1. 일반사항</b>	<b>10</b>
1. 깎기 구간의 원지반	10
2. 깎기 비탈면 안정검토	10
3. 배수계획	10
<b>해설 2. 깎기 및 본바닥</b>	<b>11</b>
1. 깎기	11
1.1 깎기 비탈면의 형상	11
1.2 깎기 비탈면 안정검토	11
2. 본바닥	11
2.1 요구조건 및 설계	11
<b>해설 3. 토사 비탈면 보호공</b>	<b>13</b>



1. 일반	13
2. 토사 비탈면의 붕괴	13
2.1 토사 비탈면의 붕괴요인	13
2.2 토사 비탈면의 붕괴형태	15
3. 토사 비탈면 보호공의 설계흐름	17
3.1 토사 비탈면 보호공의 설계순서	17
3.2 토사 비탈면 보호공의 설계 시 고려사항	18
4. 토사 비탈면의 조사	19
4.1 예비조사	19
4.2 본조사	21
5. 토사 비탈면의 기준 및 안정해석	22
5.1 토사 비탈면의 기울기 및 안전율 기준	22
5.2 토사 비탈면의 안정해석	22
6. 토사 비탈면 보호공	29
6.1 토사 비탈면 보호공의 선정기준	29
6.2 토사 비탈면 보호공의 선정	32
6.3 토사 비탈면 보호공의 종류	33
6.4 격자틀공의 설계	43
7. 토사 비탈면 계측	48
<b>해설 4. 암반 비탈면</b>	<b>50</b>
1. 일반	50
2. 암반 비탈면 붕괴형태	50
3. 암반 비탈면 설계흐름	52
4. 암반 비탈면의 기준 및 안정해석	53
4.1 암반 비탈면의 기울기 및 안전율 기준	53
4.2 평사투영법에 의한 비탈면의 안정성해석	54
4.3 한계평형해석에 의한 암반비탈면 안정성해석	56
4.4 암반비탈면 안정성해석 시 유의사항	62
4.5 암반 비탈면 보호공	64
4.6 암반 비탈면의 계측계획	65
<b>RECORD HISTORY</b>	<b>66</b>

## 1. 용어의 정의

- (1) 깎기 : 원지반을 깎아 시공기면을 형성하는 작업.
- (2) 돌망태(Gabion) : 와이어메쉬로 구성된 격자망 속에 쇠석이나 자갈을 넣어 지반의 침식을 방지하거나 토류구조물을 형성하는 공법.
- (3) 땅깎기 : 원지반면을 제거하여 확정된 선형, 기울기 및 치수나 공사시방서의 규정에 부합되도록 땅을 깎아 시공기면을 형성하는 작업.
- (4) 땅깎기 비탈면 : 땅깎기에 의해 조성된 비탈면.
- (5) 보호공 : 흙쌓기 비탈면과 땅깎기 비탈면을 안정되게 조성하고, 보전하기 위한 각종 보호공법 또는 보수보강공법.
- (6) 본바닥 : 쌓기 및 깎기를 하지 않고 원지반이 그대로 상부노반이 되는 상태.
- (7) 비탈끝 : 비탈면의 아래 쪽 끝부분을 말한다.
- (8) 비탈면 : 지반의 경사진 면을 말하며 형성 기원에 따라 쌓기 또는 깎기로 만들어진 인공비탈면과 원래 지형이 경사진 자연비탈면으로 구분.
- (9) 비탈어깨 : 비탈면의 최상부.
- (10) 사토 : 깎기 작업에서 발생한 지반 재료 중 쌓기에 부적합한 재료이거나 유용하고 남은 재료.
- (11) 소단 : 비탈면의 점검 및 유지관리를 위하여 비탈면 가운데 일정한 높이 간격으로 설치하는 수평단.
- (12) 절리 : 갈라진 틈, 암석에서 볼 수 있는 좀 규칙적인 틈.
- (13) 층리 : 퇴적암을 이루는 퇴적물의 겹쳐진 상태.
- (14) 토사 비탈면 : 비탈면이 흙으로 이루어진 것으로, 통상 흙쌓기 비탈면과 땅깎기 비탈면으로 나뉜다.

## 2. 일반사항

### 2.1 깎기 비탈면 기울기

- (1) 깎기 비탈면 기울기는 지반조사 및 시험성과, 시추조사 시 코아회수율(TCR) 및 암질지수(RQD), 불연속면의 특성, 풍화 정도 등을 고려하여 구간별로 안정성 해석을 실시하여 결정해야 한다.
- (2) 깎기 비탈면 기울기는 <표 1>의 값을 기준으로 하여 안정성 해석을 실시하여 변경할 수 있다.
- (3) 연암 이상 암반비탈면의 경사는 암반 내에 발달하는 단층 및 주요 불연속면의 경사 및 방향, 충전물 상태를 이용한 평사투영해석을 실시하고 발생가능한 파괴형태에 대한 안정해석을 실시하여 비탈면의 경사를 결정하여야 한다. 다만, 해당 구간 불연속



면 등의 암반특성을 정확히 파악할 수 없을 경우 시추조사에 의해 파악된 암반특성 (TCR, RQD 등)을 고려하여 암반비탈면의 경사를 결정할 수 있으나 반드시 시공중 조사 및 이를 반영한 안정해석을 통해 안정성을 확인하여야 한다.

## 2.2 소단설치

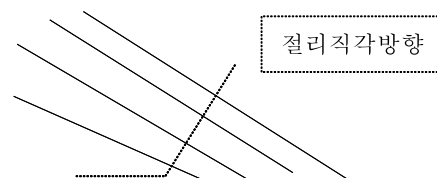
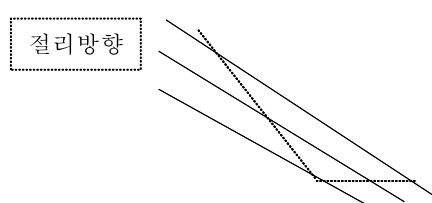
- (1) 리핑암 및 흙 비탈면의 경우 소단 폭은 1.5m로 하고 비탈면 높이가 10m 이상일 경우에는 매 5.0m마다 설치하도록 한다. 또한 비탈면 높이에 관계없이 흙과 암과의 경계나 투수층과 불투수층과의 경계에는 필요에 따라 소단을 설치한다.
- (2) 발파암 비탈면의 경우에는 10m 또는 20m마다 1.5m 폭의 소단을 설치하도록 한다. 그리고 리핑암과 발파암의 경계와 암반의 특성이 급격히 변화하는 곳에도 1.5m 폭의 소단을 설치한다.
- (3) 소단은 외측으로 향하여 5%의 횡단 기울기로 한다.

## 2.3 깎기 지반분류

- (1) 깎기 지반분류는 <표 1>에서 정한 기준에 따라 분류한다.
- (2) 특수한 경우는 별도로 분류할 수 있다.

표 1. 깎기 비탈면 기울기 표준

토 질		깎기 높이	기울기		비고
			절리방향	절리직각방향	
암괴, 호박돌을 함유한 점성토		5m 이하	1:1.0~1.2		GM, GC
		5~10m	1:1.2~1.5		
점성토		0~5m	1:1.0~1.5		ML, MH, CL, OL, CH
자갈	조밀하고 입도가 양호한 경우	10m 이하	1:1.0		GW, GM, GC, GP
		10~15m	1:1.0~1.2		
	조밀하지 못하고 입도가 불량한 경우	10m 이하	1:1.0~1.2		
		10~15m	1:1.2~1.5		
세립분이 함유된 모래	조밀한 경우	5m 이하	1:1.0		SM, SC
		5~10m	1:1.0~1.2		
	조밀하지 않은 경우	5m 이하	1:1.0~1.2		
		5~10m	1:1.2~1.5		
모래			1:1.5 이상		SW, SP
풍화암			1:1.0~1.2 이상		시편 미형성 암
연암			1:1.2	1:1.0	
경암			1:0.8	1:0.5	



## 2.4 깎기 구간의 원지반

- (1) 깎기 구간의 원지반은 상부노반 및 하부노반의 설계기준을 만족해야 하며 노반 조건에 부적절하다고 판단되는 경우에는 원지반 안정처리를 해야 한다.
- (2) 깎기 구간의 원지반은 지지력과 허용잔류침하 기준을 만족해야 한다.
- (3) 깎기 구간의 원지반에는 유입 또는 침출하는 지표수와 지하수가 고이지 않도록 배수 시설을 설치해야 한다.
- (4) 원지반면은 노반의 측구를 향하여 5%의 횡단 기울기를 두어야 한다.
- (5) 원지반에 상시 지하수위가 있을 경우에는 모세관 현상으로 유발되는 지하수위 상승에 의한 강도저하 가능성을 사전에 검토해야 한다.

## 2.5 깎기 비탈면 안정검토

- (1) 자연지반은 매우 복잡하고 불균질하며, 깎기 비탈면은 시간에 따라 점차로 불안정하게 되고 강우 등의 주변 환경 변화에 따라 안정성이 영향을 받으므로 이들을 고려한 안정성 검토 및 보호대책이 이루어져야 한다.
- (2) 풍화가 빠른 암반, 균열이 많은 암반, 바둑판 모양의 균열이 있는 암반, 구조선이 있는 지질 등의 붕괴성 요인을 갖는 암반 비탈면의 경우에는 반드시 이를 고려한 비탈면 안정성을 검토해야 한다.
- (3) 중요한 깎기 비탈면의 경우에는 「KR C-02040 내진설계」의 내진등급을 고려한 비탈면 안정해석을 수행해야 한다.

## 2.6 사토처리

- (1) 깎기에서 발생한 재료는 그 재료의 사용 가능성 여부를 판단하기 위한 토질시험을 수행한 후 최대한 활용하도록 한다.
- (2) 깎기에서 발생하는 사토 및 잔토는 적절히 처리될 수 있도록 해야 하며 사토 작업이 완료된 구간의 사토 비탈면은 1:2보다 완만한 기울기로 한다.
- (3) 사토장은 우수로 인한 토사유출 및 붕괴 위험 방지를 위해 비탈면 배수, 기존 수로에 대한 대책, 옹벽 등의 보호공사 및 환경영향을 고려한 방재대책을 검토하여 사토장이 안정하도록 해야 한다.





### 3. 깎기 및 본바닥

#### 3.1 깎기

##### 3.1.1 깎기 비탈면의 형상

- (1) 비탈면 기울기, 소단 등 깎기 비탈면의 형상은 지형, 지질(흙, 암반)의 특성을 검토한 후 깎기 비탈면이 안정될 수 있도록 배수공법을 고려하여 결정해야 한다.
- (2) <표 1>과 <표 2>는 비탈면 기울기의 기준이며, 연직 및 수평 방향으로 변화가 크거나 주변에 기존 깎기 비탈면의 붕괴가 발생한 흔적이 있는 곳에서는 별도의 적절한 비탈면 안정조치가 필요하다.
- (3) <표 3>과 같이 붕괴성 요인을 갖는 경우는 반드시 지반조사를 철저히 수행하여 비탈면 기울기에 대하여 면밀히 검토하고 필요한 경우 비탈면 안정대책을 마련해야 한다.
- (4) 깎기 비탈면의 어깨 및 양단부는 모서리 정리를 하고 그 형상은 매끄러운 원형(라운드)으로 한다.

표 3. 붕괴성 요인을 갖는 지질

붕괴성 요인을 갖는 지질	대표 지질
풍화가 빠른 암석	이암, 응회암, 셰일, 점판암, 사문암, 편암류 등
균열이 많은 암석	편암류, 셰일, 사문암, 화강암, 찰트, 안산암 등
바둑판 모양의 균열이 있는 암석	층리, 절리가 경사면의 경사방향과 비슷한 편암류, 점판암 등
구조적 약선이 있는 지질	단층 파쇄대, 지반활동지역, 붕괴지 등

##### 3.1.2 깎기 비탈면 안정검토

- (1) 깎기 비탈면의 기울기, 소단 등은 주어진 지반의 조건을 면밀히 검토하고 안정성과 배수성 등을 고려하여 설계해야 한다.
- (2) 비탈면 기울기를 결정하는 경우 일반적인 지반조건이라면 기준 비탈면 기울기의 범위로서 거의 문제가 없지만 그렇다 하더라도 설계 시 반드시 주어진 비탈면에 대한 안정성을 검토해야 한다.
- (3) 붕괴성 요인을 갖는 지반조건이거나 주변 환경변화로 인한 비탈면의 안정성이 공사 후 변화될 여지가 있는 경우에는 반드시 이를 고려하여 비탈면 안정성을 별도로 검토해야 한다.
- (4) 붕적토 지반은 지반이 치밀하지 못하고, 지하수의 통로역할을 하는 경우가 많아 지속적인 문제가 발생하므로, <표 4>와 같은 경험적 기울기를 적용할 수 있다.

표 4. 붕적토 지반에서의 비탈면 기울기

지하수 조건	기울기
강우 시 지하수위가 설계에서 고려한 높이보다 낮은 경우	1:1.2
강우 시 지하수위가 설계에서 고려한 높이보다 높아질 경우	1:1.5
평상 시 지하수위가 설계에서 고려한 높이보다 높은 경우	1:1.8~1:2.0

- (5) 각 현장의 토량 배분계획이나 용지의 제약조건 및 적설 한랭지 특유의 제반조건 등을 고려하여, 기준의 비탈면 기울기만으로 설계하지 말고 시공성, 경제성 및 유지관리도 포함해서 충분히 안정성 및 경제성을 확보할 수 있도록 비교, 검토해야 한다.
- (6) 깎기 비탈면의 최종 기울기는 주어진 지반의 강도 등을 고려하여 안정성 해석을 수행한 후 결정해야 하며, 시공 시 설계와 변경된 지반조건 및 강도 등이 발견되었을 경우에는 반드시 재설계를 수행해야 한다.
- (7) 깎기 비탈면에 대한 기준안전율은 「건설공사 비탈면 설계기준(국토교통부, 2011)」에 준하여 <표 5>와 같이 적용해야 한다.

표 5. 깎기 비탈면 안전율 기준

구분		기준안전율	참조
건기		FS>1.5	· 지하수가 없는 것으로 해석
장기	우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2 심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용</li> <li>· 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능</li> <li>· 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)</li> <li>· 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용)</li> </ul>
	지진시	FS>1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴</li> <li>· 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용</li> </ul>
단기		FS>1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성 (시공중 포함)</li> <li>· 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용</li> </ul>
· 비탈면 상부 파괴범위 내에 1, 2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토			

- (8) 특별히 중요한 깎기 비탈면의 경우 그 중요도에 따라「KR C-02040 내진설계」의 내진등급을 고려한 비탈면 안정해석을 수행해야 한다.

## 3.2 본바닥

### 3.2.1 요구조건 및 설계

- (1) 본바닥은 2.4항에 기술한 깎기 구간의 원지반 조건을 만족해야 한다.
- (2) 원지반면에는 노반 측구를 향하여 5%의 횡단배수 기울기를 설치하고, 평탄하게 마무리해야 한다. 또한 원지반면은 굴착이나 정지작업에 의해 교란되거나, 느슨해지기도 하므로 깎기 시공의 종료 시에 다짐장비로 마무리해야 한다.



- (3) 일반적인 경우 원지반 위 또는 원지반 측방에 배수공이 설치되므로 배수공 설계에 따라서 원지반의 형상을 결정해야 한다.

### 3.2.2 검사사항

- (1) 평탄하게 마무리된 원지반면의 검사는 평판재하시험법에 의하며, 직경 300mm의 재하판을 이용, 필요한 값 이상이 되도록 다음 각 위치에서 확인해야 한다. 측정 요령은 쌓기의 경우와 같다.

가. 검사단면은 시공연장 약 50m마다 한다.

나. 검사단면에서의 측정위치는 원지반면 강도의 균질성을 조사할 수 있도록 선로 당 1~2개소를 고려한다.

다. 50m 이내에서 지질조건이 다른 경우는 그 때마다 대표 장소에서 검사를 한다.

라. 각 검사단면에서 단선일 때는 침목 양 끝부분, 복선 이상일 때는 각 선로 간 중심 및 가장 바깥 측의 침목 바깥 끝에서 시험을 실시해야 한다.(<그림 1> 참조)

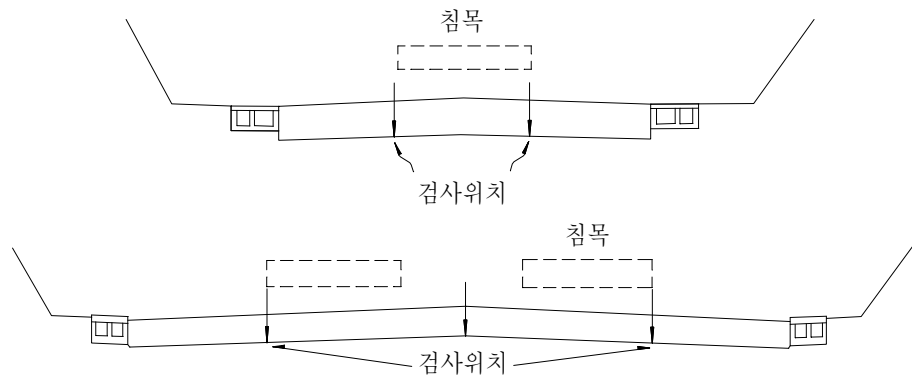


그림 1. 깔기 원지반면의 검사위치

## 4. 깔기 비탈면 보호공법

### 4.1 일반사항

- (1) 깔기 비탈면에는 표면의 침식방지, 표층토의 강화, 암석의 풍화방지, 토사 및 암반비탈면의 보호 등을 위하여 비탈면 보호공법을 실시해야 한다.
- (2) 비탈면 보호공법은 비탈면이 우수나 침식 등에 의해 지표가 열화 되는 것을 방지하거나 부분 열화되어도 표면유실이 발생하는 것을 방지하기 위해 식생이나 구조물로 보호하는 공법이며 원지반의 토질, 시공지, 시공시기 등을 고려하여 선정해야 한다.

### 4.2 비탈면 보호공법

- (1) 비탈면 보호공법에는 식생공법, 콘크리트붙임공법, 블록붙임공법, 돌붙임공법, 격자틀공법, 건나이트(Gunite)공법, 쏫크리트(Shotcrete)공법 등이 있다. 비탈면 보호공법의 선택에 있어서는 본바닥의 지질, 비탈면의 규모, 기울기 등을 고려하여 가장 적절한 것을 선정해야 한다.

- (2) 흙 비탈면에 사용하는 비탈면 보호공법의 종류에는 식생공법, 콘크리트붙임공법, 블록붙임공법, 돌붙임공법, 격자틀공법 등이 있다.
- (3) 암반 비탈면의 비탈면 보호공법은 암석의 풍화방지와 균열의 확대 등에 의한 암석의 붕락방지를 목적으로 설치한다. 암반 비탈면에 유효한 비탈면 보호공법의 종류에는 콘크리트붙임공법, 건나이트공법, 슛크리트공법 및 현장타설 격자틀공법이 있다.
- (4) 시공 후 암반 비탈면 거동, 붕괴 시 절리방향성 파악 등을 위한 경우는 비탈면이 보이게 철망 또는 담쟁이넝쿨 등을 고려 할 수 있다.

#### 4.3 비탈면 보호공법의 선정

- (1) 비탈면 보호공법의 선정은 통상 기본설계, 실시설계, 시공 등 각 시점에서 검토해야 한다.
- (2) 동일 비탈면 내에도 토질이나 용수의 상태가 반드시 일정치 않은 경우가 많아서 각각의 조건에 적합한 공종을 선택해야 하지만 가능한 한 유사한 공종을 선정해야 한다.
- (3) 비탈면 보호공법의 공종을 결정함에 있어서 시험시공으로 사전에 동일 지질의 비탈면에 여러 가지 보호공법을 실시하여 그 결과를 가지고 보호공법을 선정해야 한다.

### 5. 비탈면 보강공법

#### 5.1 비탈면 돌망태공법(Gabion)

- (1) 비탈면 돌망태공법은 비탈면에 용수가 있어서 토사가 유출할 위험성이 있는 경우, 또는 붕괴한 곳을 복구할 경우, 동상으로 비탈면이 붕괴할 위험이 있는 경우, 비탈면이 수로와 접하는 경우에 사용한다.
- (2) 안정상 상당한 중량을 필요로 하는 경우는 방석망태가 좋다.(<그림 2> 참조)

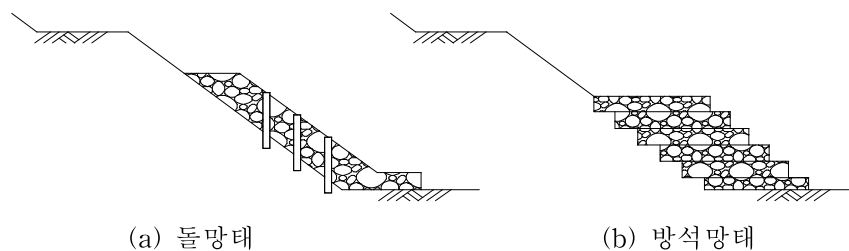


그림 2. 비탈면 돌망태 및 방석망태의 예

#### 5.2 암반 비탈면 보강공법

- (1) 암반 비탈면에서 암반의 층리(Bedding Plane), 절리(Joint) 및 엽리(Foliation) 등으로 탈락(Rock Fall), 전도(Toppling) 및 활동(Sliding) 등이 유발될 수 있는 곳에는 암반 비탈면의 안정성을 높이기 위하여 보강공법을 실시한다. 보강공법의 종류에는 록볼트(Rock Bolt)공법, 록앵커(Rock Anchor)공법 등이 있다.



## (2) 록앵커공법

① 앵커공법은 단독으로 사용하는 것보다 현장타설 콘크리트 격자틀공법, 옹벽, 말뚝공법 등과 병용하는 것이 바람직하다.

② 앵커공법의 설계에서는 다음 조건을 만족해야 한다.

가. 설계 앵커력은 극한 인발력을 다음에 표시한 안전율로 제한한 값 이하이어야 한다.

(가) 2년 미만의 가설앵커 : 1.5

(나) 2년 이상의 영구앵커(평상시) : 2.5

(다) 2년 이상의 영구앵커(지진시) : 1.5~2.0

나. 극한 인발력은 주로 지반 조건에 좌우되며 파괴가 유발되는 힘을 말한다.

다. 안전율은 크리프 변형이 문제가 되는 지반이나, 반복하중을 받는 경우에는 지질조건을 충분히 검토하여 결정해야 한다.

라. 인장재와 주입재와의 부착응력이 허용부착응력 이상이어야 한다. 허용부착응력은 철근 콘크리트의 부착강도를 고려하는 방법을 따르고, 이 경우 PS강선 등은 이형 철근으로, 보통의 PS강봉 등은 환강에 준하는 것으로 해야 한다.

마. 인장재의 인장응력은 <식 (1)>, <식 (2)>로 구해지는 허용인장응력( $\sigma_{ap}$ ) 이하이어야 한다.

$$\sigma_{ap} \leq 0.6\sigma_{up} \quad (1)$$

$$\sigma_{ap} \leq 0.75\sigma_{yp} \quad (2)$$

여기서,  $\sigma_{up}$  : 인장재의 인장강도

$\sigma_{yp}$  : 인장재의 항복응력

바. 앵커의 총 길이는 설계 길이(자유 길이+정착 길이)에 긴장 및 정착을 위한 여유장(1m)을 고려해야 한다.

③ 앵커가 영구적으로 설치되는 경우에는 인장강재 및 앵커머리에 방청 대책을 고려해야 한다.

④ 앵커체의 그라우트가 소정의 강도에 달한 후에 앵커 총 개수의 5% 이상, 또는 3개 이상에 대하여 인장시험을, 또 잔여 전 개수에 대해서 확인시험을 해야 한다. 인장시험은 설계 앵커력의 1.2~1.3배의 하중을, 또 확인시험에서는 1.0~1.2배의 하중을 최대하중으로 해야 한다.

## (3) 록볼트공법

① 록볼트는 암반과 기반암의 일체화, 혹은 불연속면을 갖는 여러 암반층을 일체화하여 보강하는 것을 목적으로 사용해야 한다.

② 록볼트는 부식하기 쉽고, 강산성 토양 지반이나 변전소 부근 등 지중으로 흐르는 전류가 발생하기 쉬운 곳에서의 사용은 피해야 한다.

- ③ 록볼트를 사용하는 경우에는 비탈면 표면의 얇은 위치에 견고한 암반이 존재해야 한다.
- ④ 록볼트의 정착력을 정확히 추정하는 것은 곤란한 경우가 많기 때문에 시공 시 인발 시험을 실시하여 정착범위를 확인해야 한다.
- ⑤ 본 기준에 명시하지 않은 사항은 「건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)」에 따른다.



## 해설 1. 일반사항

### 1. 깎기 구간의 원지반

- (1) 한랭지에서 원지반 흙이 동상을 일으키기 쉬운 토질인 경우에는 동결깊이까지 동결로 인한 문제를 유발시키지 않는 재료로 치환해야 한다.

### 2. 깎기 비탈면 안정검토

- (1) 깎기에 의해 형성된 비탈면의 경우 쌓기와 동일한 안전율을 기준으로 설계한다.
- (2) 깎기 비탈면의 기울기를 결정하는 요소로는 흙의 종류, 토층 구성 및 형태, 지반강도, 투수성, 용수 상황, 함수비에 따른 강도저하, 우수 및 표면수에 의한 침투효과 및 침식에 대한 안정성 등이 있으며 이들은 상세한 조사에 의해서도 충분히 파악할 수 있는 것이 아니다. 따라서 충분한 확신을 가질 수 없는 경우에는 국부적으로 굴착을 수행하여 원지반 상태를 파악한 후 이에 따라 설계를 수행하고, 굴착시공 중 원지반 상태가 설계 시와 다른 경우에는 반드시 변화된 상황을 고려하여 비탈면의 안정성을 재검토한 후 비탈면의 기울기를 다시 결정해야 한다.

### 3. 배수계획

- (1) 표면수나 용수에 의해 비탈면이 세굴 되거나 붕괴될 염려가 있는 경우에는 비탈 어깨나 소단에 배수로를 설치하여야 하며 특히 용수에 대해서는 용수 지역과 용수량 등을 고려하여 배수공법의 선정 및 배치에 유의하여 설계한다.

## 해설 2. 깎기 및 본바닥

### 1. 깎기

#### 1.1 깎기 비탈면의 형상

- (1) 연암 이상 암반은 지표지질조사를 반드시 수행하여 암반 내의 단층 및 주요 불연속면의 경사 및 방향을 이용한 평사투영해석을 실시한 후, 발생 가능한 파괴형태에 대한 안정해석을 실시하여 비탈면 기울기를 결정한다.
- (2) 비탈면의 기울기는 균질한 토층에서는 원지반의 토질강도정수를 이용하여 비탈면안정을 평가함으로써 구할 수 있다. 그러나 깎기 지반의 토성은 지극히 불균일하며, 시료의 채취방법, 불규칙한 지하수침투, 검측방법의 문제 등으로 인해 표준화하기가 어렵다.
- (3) 깎기 지반이 암인 경우에는 층리, 절리 및 협재물의 전단강도 등을 정량적으로 파악하여 설계에 필요한 수치를 얻기가 거의 불가능하다. 이 경우 비탈면 기울기를 결정할 때 지질구성, 지하수의 상태, 비탈높이, 강우, 강설, 지표수의 흐름상태, 부근의 기존 비탈면 기울기와 붕괴 및 변화상태의 유무 등을 참고하여 비탈면 기울기를 결정해야 한다.
- (4) 비탈면 기울기의 결정요소는 흙의 종류, 토층의 구성형태, 지반의 강도, 투수성, 용수 상황, 함수비의 증가에 따른 강도저하, 우수 및 표면수의 침식에 대한 안정여부 등이 있는데, 상기의 결정요소를 자세히 조사하여도 반드시 충분히 파악할 수 있는 것은 아니다. 따라서 비탈면 기울기의 결정요소에 충분한 확신을 가질 수 없는 경우는 국부적으로 굴착하여 원지반 상태를 확인하고 이에 따라 당초의 설계를 변경하거나, 비탈면 굴착 시공 중 원지반의 상태에 이상이 있을 경우는 그에 따라서 비탈면의 기울기를 변경해야 한다.

#### 1.2 깎기 비탈면 안정검토

- (1) 깎기 대상이 되는 자연 지반은 일반적으로 매우 불균질 하므로, 풍화도, 성층 상태, 균열 등의 지반 조건에 따라 지반의 강도가 현저하게 달라질 수 있다. 따라서 주어진 지반상태를 정량적인 지표로 정확히 평가하는 것은 곤란하므로, 과거의 시공실적이나 기존 비탈면의 실태 등을 참고로 하고 인근토지 이용상황 등을 감안해서 반드시 현장지표 지질조사 및 지질도를 참고하여 설계하는 것이 중요하다.

### 2. 본바닥

#### 2.1 요구조건 및 설계

- (1) 강화노반에 대한 지지조건이 불균질하면 강화노반내에 국부응력이 생기므로 바람직





하지 않다. 원지반 전체가 모래, 자갈로 구성된 경우는 다소의 호박돌이 존재하여도 거의 균질하다고 볼 수 있으나, 원지반의 입경이 대부분 세립모래, 실트, 점토로 이루어진 경우에는 원지반면으로부터 500mm 이내에 호박돌 등이 있을 때는 그것을 제거하여 가능한 균질한 지지조건이 되도록 해야 한다.

- (2) 한랭지에서 원지반 흙이 동상을 일으키기 쉬운 토질일 때는 동결깊이까지 동결을 유발시키지 않는 재료로 치환해야 한다.

### 해설 3. 토사 비탈면 보호공

#### 1. 일반

- (1) 우기시나 해빙기에 토사 비탈면은 종종 붕괴되어 선로피해로 인한 열차운행에 지장을 준다. 따라서 이를 방지하기 위해 비탈면 보호공을 설계한다.
- (2) 본 해설은 토사 비탈면의 붕괴요인 및 형태, 비탈면 보호공 설계를 위한 조사, 기준 및 안정해석, 그리고 비탈면 보호공 선정 및 설계, 계측관리 순으로 서술한다.

#### 2. 토사 비탈면의 붕괴

##### 2.1 토사 비탈면의 붕괴요인

- (1) 토사 비탈면 내의 토립자에는 중력의 작용에 의해 항상 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하려는 힘이 작용한다. 따라서 흙 속에는 항상 전단응력이 작용하고, 이 전단응력이 흙의 전단강도보다 커지게 되면 흙은 붕괴된다.
- (2) 일반적으로 토사 비탈면의 붕괴는 내부적인 요인과 외부적 요인으로 나눌 수 있다. 내부적인 요인은 흙내부에서 발생하는 전단응력 증가요인과 전단강도 감소요인으로 나눌 수 있으며, 외부적인 요인은 강우, 지형, 지질, 토질 등의 자연적 요인과 국토개발에 따른 땅깎기, 흙쌓기 등의 인위적 요인으로 나뉜다. 또한 장기적인 물리·화학적 풍화작용에 의해 붕괴가 일어날 수도 있다.
- (3) 토사 비탈면의 붕괴요인 중 내부적인 주요 요인은 다음과 같다.
  - ① 흙 내부에 발생하는 전단응력의 증가
    - 가. 토사 비탈면의 경사 증가
    - 나. 흙의 단위중량 증가 또는 강우 등에 의한 흙의 함수비 증가
    - 다. 지진, 발파, 그리고 기타의 진동에 의한 전단응력의 증가
  - ② 흙 자체의 전단강도의 감소
    - 가. 강우 등에 의한 간극수압의 상승
    - 나. 흙의 밀도 감소
    - 다. 토사 비탈면에 발생하는 균열에 의한 전단강도의 감소
    - 라. 지진이나 발파 등 진동에 의한 전단강도의 감소
- (4) 토사 비탈면의 붕괴요인 중 외부적인 주요 요인은 다음과 같다.
  - ① 강우
    - 가. 우리나라는 기상학적으로 다우지역에 속하며 연평균 강우량은 1,200mm~1,400mm 정도로 매년 지역별 또는 계절별로 강우가 다르게 발생되는데, 대부분 6~9월에 편중되어 내리고 그 중에서도 7, 8월에 집중된다.



- 나. 최근 우리나라에서는 국지성 호우, 즉 이동성 저기압(강우전선) 또는 열대성저기압(태풍)에 의해 비탈면 재해가 자주 발생한다. 이와 같은 폭우는 주로 파괴면의 깊이가 얕은 비탈면 붕괴를 유발하며, 그 중 비탈면 경사가 급한 조립토 지반에서 짧은 시간에 발생하는 특성을 보인다. 이것은 폭우에 의해 지반이 포화되어 단위중량이 증가하고, 활동면의 간극수압이 상승하여 전단강도가 저하되기 때문이다.
- 다. 장기간에 걸친 강우는 주로 파괴면의 깊이가 깊은 비탈면 붕괴를 유발시키지만 일반적으로 강우강도가 작은 경우에는 강우의 지속성이 커져야 비탈면 붕괴가 발생하는 것으로 알려져 있다.
- 라. 눈이 녹는 경우에는 장기간에 걸쳐 비탈면에 물이 공급되기 때문에 지반의 단위중량이 증가하고, 간극수압이 상승하게 된다. 따라서 이것이 해빙기의 토사 비탈면의 붕괴원인이 된다.

## ② 침식

- 가. 지반에서 침식은 결국 지형을 변형시켜 토사 비탈면의 안정성을 감소시킨다. 우리나라에서 침식은 하천유수에 의한 급류부 침식, 해안의 조수에 의한 침식 및 산지 계곡부에서 발생하는 침식의 형태를 보인다.
- 나. 침식에 의한 토사 비탈면 붕괴는 초기에는 작은 규모로 발생하나 이것이 연쇄적으로 발전하여 결국 대규모 파괴로 발전하는 경향을 보인다.

## ③ 지질

- 가. 비탈면의 붕괴는 암반층의 불연속면에서 많이 발생하므로 지질에 대한 이해는 암반 비탈면의 재해 원인뿐만이 아니라 토사 비탈면의 재해 원인규명에도 매우 중요하다.
- 나. 비탈면의 붕괴에 대한 지질학적 영향은 지질구조적 측면과 암석학적 측면이다. 지질구조적 측면이란 단층, 절리와 같은 불연속면의 특성과 방향성을 말하며, 암석학적 측면은 변성암, 퇴적암, 화성암에 대한 것으로, 화성암에 비하여 퇴적암과 변성암에는 불연속면이 잘 발달되어 있는 경우가 많으므로 비탈면 보호공 설계 시 주의가 필요하다.

## ④ 지형

- 가. 우리나라 지형특성은 오랜 기간 동안 지각이 융기와 침강을 거듭한 지각변동에 의하여 동쪽이 산악지형을 이루고 서쪽은 평야지대를 형성한다. 또한 만·장년기에 속하여 산악지의 지형은 경사가 심하며 서쪽으로 하천이 흘러 나가면서 풍화와 침식이 진행되었다.
- 나. 암석의 풍화는 모암의 광물성분에 따라 영향을 받는데 석영성분이 많은 화강암은 사질토로, 장석이 우세한 편암류나 셰일은 점성토로 변한다. 우리나라는 산지의 경사가 급하고 강우량이 계절적으로 편중되어 풍화를 받은 흙이 끊임없이 침식을 받

아 산지의 풍화 깊이가 얕은 특징을 보인다.

다. 지형은 강우 시 유출수와 침투수의 집·배수에 영향을 주기 때문에 토사 비탈면의 붕괴와 깊은 관련을 갖고 있다. 즉, 지형적인 요철에 의해서 주변의 지표수가 유입되는 비탈면의 경우 다른 지역보다 풍화작용이 활발하여 토체 내의 전단강도가 급속히 저하되고 강우 시에는 토사 비탈면 내의 간극수압이 빠르게 상승될 수 있어 붕괴가 일어나기 쉽다.

#### ⑤ 흠쌓기, 땅깍기

가. 자연에 대한 인간의 활동, 즉 주택지 또는 산업지 조성, 광산 개발, 수로 변경, 철도 또는 도로 건설 등으로 지반의 땅깍기와 흠쌓기 작업은 최근 증가하는 추세에 있다. 이러한 인간 활동은 궁극적으로 지반 내 응력변화를 초래하여 토사 비탈면을 불안정하게 하는 요인이 된다.

나. 비탈면을 시공한 후 1년 이내에 붕괴가 발생하는 것은 비탈면 흠쌓기 또는 땅깍기에 따른 비탈면 하부의 지지력 감소와 발파, 기타 공사 등에 의한 지반 강도 저하가 주된 원인일 수 있다. 또한 땅깍기 비탈면을 시공완료 후 상당 기간이 경과한 다음 발생하는 비탈면의 붕괴 중에는 비탈면 깎기를 위한 발파 시 하부 비탈면을 발파한 후 그 정리를 제대로 하지 않아 하부 지지력 없이 압괴가 걸쳐 있다가 풍화가 진행되면서 강도저하로 비탈면 붕괴가 발생하는 경우도 있다.

#### ⑥ 수위 변화

가. 하천 등에서 수위가 갑자기 저하되는 경우에는 비탈면이 높은 전단응력을 받게 되므로 비탈면 붕괴가 발생하기 쉽다. 반면에 강, 호수, 저수지, 그리고 운하 등에서 수위가 증가하는 것은 비탈면에 간극수압을 상승시키고 유효 전단강도를 감소시켜 비탈면 붕괴를 유발할 수 있다.

(5) 상기와 같이 토사 비탈면의 붕괴를 유발하는 요인은 다양하며, 이러한 요인들은 서로 관련이 있기 때문에 어느 하나의 요인에 의하여 붕괴발생의 원인을 설명할 수는 없다. 따라서 토사 비탈면의 붕괴에 대한 이해를 높이고 적절한 대책을 수립하기 위해서는 붕괴 요인들에 대한 자세한 고찰이 필요하다.

## 2.2 토사 비탈면의 붕괴형태

### 2.2.1 땅깍기 토사 비탈면의 붕괴형태

#### (1) 붕락(Falls)

① 붕락은 흙이나 암석이 비탈면으로부터 분리되어 자유 낙하(Free Fall), 튀김(Bouncing), 또는 구르기(Rolling)에 의하여 밑으로 떨어지는 현상을 말하며, 운동 속도는 매우 빠르다. 일반적으로 비탈면의 경사가  $76^\circ(1 : 0.25)$ 보다 큰 경우는 자유 낙하,  $45^\circ(1 : 1)$ 보다 작은 경우는 구르기,  $45^\circ$ 와  $76^\circ$ 사이인 경우는 튀김이 주로 발생한다.



- ② 붕락은 대부분의 경우 작은 활동(Slides)이나 전도(Topples)에 의하여 물질이 지반 으로부터 분리된 후에 발생되는데 이와 같은 분리는 주로 하부 침식, 풍화, 동결, 온도 변화, 절리 내에 포함되어 있는 수압 등에 의해 발생한다.

## (2) 활동

- ① 직선 활동 : 활동하는 흙의 깊이가 비탈면의 높이에 비해 작은 경우, 그리고 자연 상태의 비탈면과 같이 비탈 아래로 내려갈수록 강도가 커지는 지반에서 직선 활동 이 일어난다.
- ② 회전 활동
- 원호 활동 : 연약층이 비교적 균질하고 원호 파괴면이 형성되기에 충분한 두께를 가진 경우에 발생하며, 붕괴형태에 따라 "비탈면 내 파괴", "비탈면 선단파괴", "비탈면 저부파괴"로 나뉜다.
  - 대수나선활동 : 깊이에 따라 전단강도가 증가하거나 지층이 균질하지 않고 전단강도의 변화가 큰 경우에 발생한다.
  - 복합곡선 활동 : 기초지반에 얇은 연약지반이 있는 경우 직선과 곡선의 복합 형태로 발생한다.

## (3) 유동(Flows)

- ① 활동 깊이에 비해 활동되는 길이가 대단히 길며, 전단저항력의 부족으로 인한 활동 보다는 소성적인 활동이 지배적이다.
- ② 유동은 활동되는 토사가 대부분 비탈면 아래로 흘러내리는 특징이 있기 때문에 활동속도가 대단히 느리며, 이로 인해 비탈면이 불안정하게 되면 지반은 크리프 변형 이 발생한다.

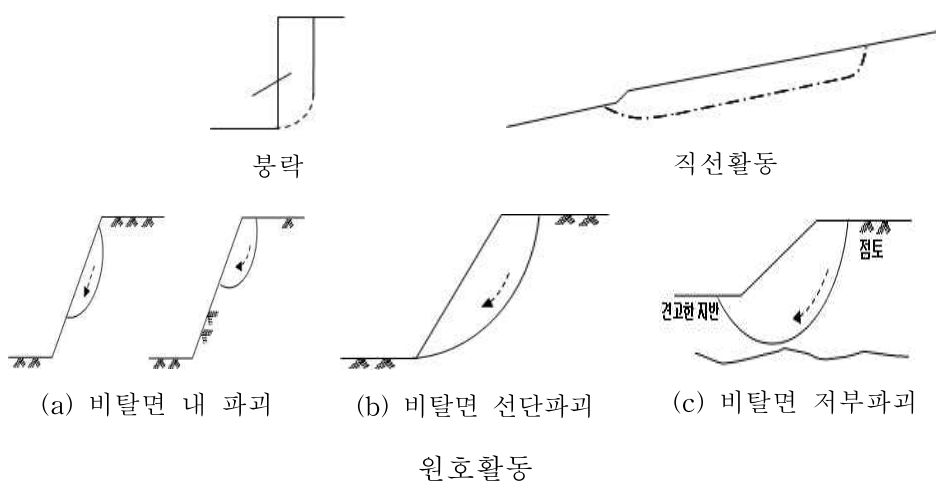




그림 3. 땅깁기 토사 비탈면의 붕괴형태[전성기, 1998]

## 2.2.2 흩쌓기 토사 비탈면의 붕괴형태

### (1) 얇은 표층붕괴

- ① 비탈면이 침식되기 쉬운 흙으로 구성되고, 배수가 미비할 때에는 점차적으로 넓은 표층붕괴로 진행되는 경우가 많다. 또한 비탈면 부근에 약화되기 쉬운 흙으로 흩쌓기를 한 경우에는 강우에 의해 붕락이 생기는 경우가 있다.
- ② 이와 같은 표층붕괴는 흩쌓기 본체의 기능에 영향을 미치며, 더 나아가 붕괴가 분산되어 광범위하게 미치고 대규모 붕괴를 유발하는 경우도 있다.

### (2) 깊은 흩쌓기붕괴

- ① 고함수비의 점성토로 높은 흩쌓기를 급속하게 시공하면 흩쌓기 내의 과잉간극수압이 높아져서 흩쌓기의 깊은 부분에서 붕괴될 때가 있다.
- ② 비탈면 위에 흩쌓기를 한 경우에는 강우나 지반 내의 침투수에 의해 비탈면 또는 흩쌓기 내에 지하수위가 상승하게 되고, 붕괴가 비탈면 전체에 미치게 된다. 이와 같은 경우에는 붕괴규모가 커서 구조물의 기능을 완전히 상실하는 경우가 많다.

### (3) 기초지반을 포함한 붕괴

- ① 경사가 불안정한 지반이나 활동이 용이한 토층이 있는 비탈면 상에 흩쌓기를 하게 되면 기초지반 내에 활동면이 생겨서 대규모 붕괴가 일어난다.

## 3. 토사 비탈면 보호공의 설계흐름

### 3.1 토사 비탈면 보호공의 설계순서

- (1) 토사 비탈면은 계획 및 설계 단계에서 효과적인 조사를 실시하여 비탈면 경사를 결정한다. 땅깁기 비탈면의 설계 순서를 흐름도로 표시하면 <그림 4>와 같다.

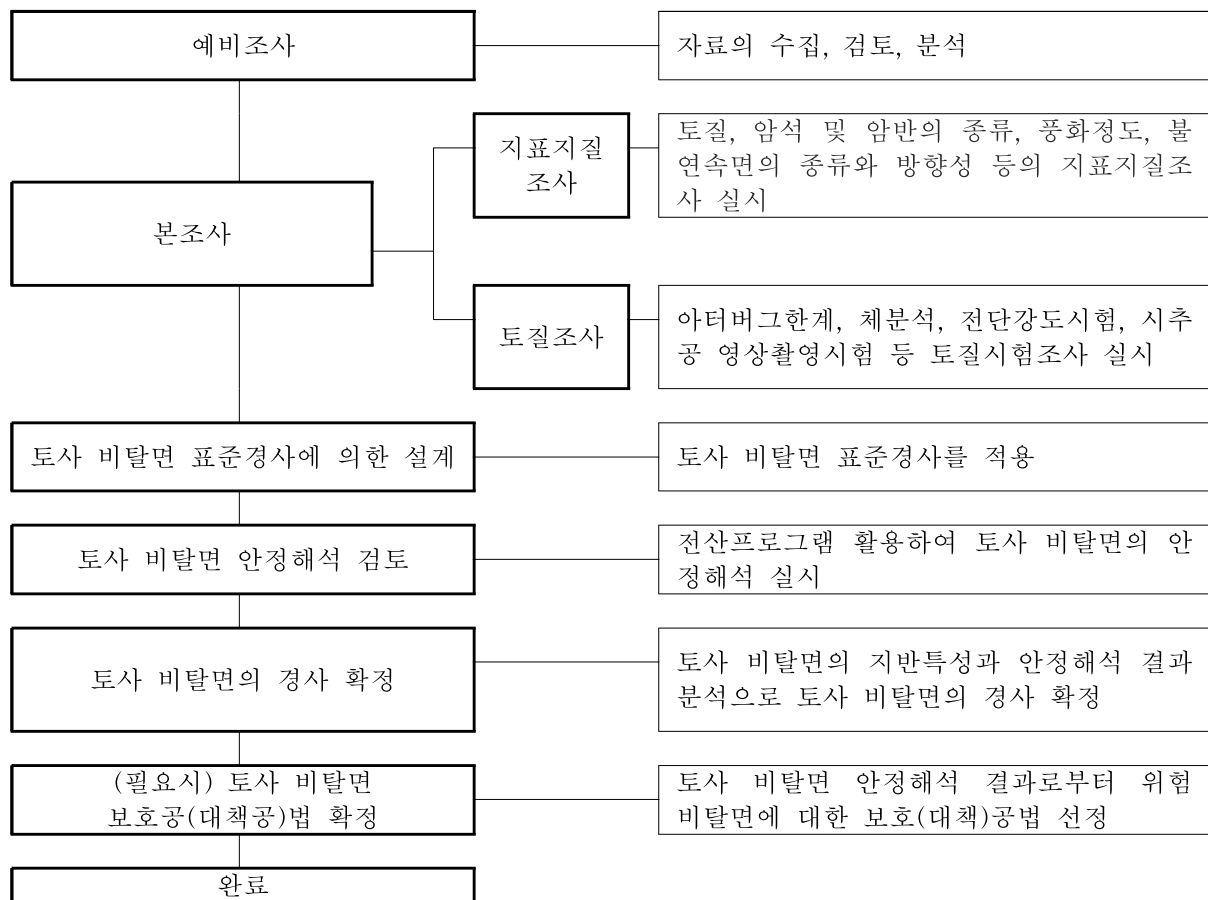


그림 4. 토사 비탈면 보호공 설계순서 흐름도

### 3.2 토사 비탈면 보호공의 설계 시 고려사항

#### 3.2.1 땅깍기 비탈면 보호공의 설계 시 고려사항

- (1) 땅깍기 비탈면 보호공을 설계하는데 있어 비탈면의 경사는 일반적인 토질이라면 표준 경사를 적용하는 데에 거의 문제가 없지만, 붕괴성 요인을 갖는 토사 비탈면은 비탈면의 경사를 별도로 검토한다.
- (2) 토사 비탈면의 붕괴는 주로 집중강우에 의해 발생되며 붕괴면의 깊이도 대체로 2m 내외인 경우가 많다. 이와 같은 토사 비탈면의 붕괴는 주로 조립질 흙에서 발생하는데 이것은 집중 강우 시 강우가 흙으로 빨리 침투하여 간극수압을 상승시키기 때문이다. 따라서 화강암이 풍화되어 형성된 풍화잔류토와 같은 조립질의 비탈면은 안정 검토 후 필요시 비탈면 및 주변의 배수처리를 해야 한다.
- (3) 투수층 하부에 점토층이나 암반층과 같은 불투수층이 접해 있고 그 경계면의 경사가 비탈면의 경사와 같은 방향일 때 비탈면 붕괴가 발생한다. 이러한 경우에는 투수층 부분의 비탈면 경사도를 완만하게 하고 배수대책을 세운다.
- (4) 땅깍기 비탈면은 시공 후 시간의 경과와 함께 점차 불안정하게 되기 쉽다. 특히 땅깍기 비탈면은 세굴 등에 의해서 침식되기 쉬우므로 비탈면 경사를 결정할 때 비탈

면 표면에 침식을 방지하는 보호공법이 설치되어야 한다.

### 3.2.2 흙쌓기 비탈면 보호공의 설계시 고려사항

- (1) 흙쌓기 비탈면의 경사는 원칙적으로 안정성 검토에 의해 결정된다. 그러나 연약한 지층이나 구조물 뒷채움부 등에서는 비탈면 붕괴가 발생하기 쉬우므로 구조물 등에 의한 보호공법도 포함하여 경제성을 충분히 고려한 후 비탈면 경사를 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 흙쌓기 비탈면에서는 표준경사 기준이 일반적으로 많이 사용되지만 다음과 같은 경우에는 안정성을 검토할 필요가 있다.
  - ① 흙쌓기 높이가 10m 이상으로 높은 경우
  - ② 흙쌓기 재료가 고함수비의 점성토 등, 특히 전단강도가 약한 토질의 경우
  - ③ 연약지반 상에 흙쌓기를 하는 경우
  - ④ 비탈면 붕괴 등이 발생될 우려가 있는 불안정한 지반 또는 급한 경사지에 흙쌓기한 경우
  - ⑤ 무한 비탈면의 경우
  - ⑥ 용수가 있든지 비탈면이 침식될 우려가 있는 경우
  - ⑦ 표준경사 기준을 벗어나 흙쌓기를 할 경우
  - ⑧ 급속하게 흙쌓기를 하면 불안하다고 판단되는 경우
  - ⑨ 비탈면 붕괴 시에 기존 구조물의 피해, 인적 피해가 크고 복구비가 많이 들 것으로 예상되는 경우
  - ⑩ 제방형태의 주요 진입도로
  - ⑪ 하천, 저수지 등에 의해 침수된 일이 있는 지역에 흙쌓기를 할 경우
  - ⑫ 지반조건에 따라 지표수가 침투할 우려가 많은 경우

## 4. 토사 비탈면의 조사

### 4.1 예비조사

#### 4.1.1 조사 목적 및 내용

- (1) 본 해설에서 비탈면 조사를 위한 예비조사는 비탈면 보호공을 설계하는데 있어 필요한 부분만 언급토록 한다.

#### 4.1.2 자료조사

- (1) 조사대상 비탈면이나 인근 비탈면에 대한 과거의 안전진단보고서를 수집한다.
- (2) 조사대상지역의 개략적인 상황을 판단할 수 있는 지형도, 지질도, 항공사진, 토양도, 임상도 등의 자료를 수집한다. 이 때 지형도는 지표고 뿐만 아니라 시추위치, 해석단면 등을 나타낼 수 있도록 상세해야 한다. 이외에도 기존 또는 계획예정 철도 노선





도 등이 필요하다. 다음은 항공사진을 이용할 경우의 장점이다.

- ① 항공사진의 이용은 넓은 지역에 걸쳐 동시조사가 가능하고 조사지역을 선정하는데 편리한 장점을 가지고 있으며, 같은 지역에 대한 정기적인 촬영은 크리프 등 느린 속도의 비탈면 이동을 파악할 수 있다.
- ② 항공사진을 통해 비탈면의 지형형태, 비탈면의 변화과정, 함수상태, 지질특성 등을 파악하고, 항공사진의 지질학적 해석기법을 통해 암반의 종류, 단층, 암맥, 파쇄대 등의 구조와 퇴적층의 두께 및 비탈면의 불안정성 등을 파악한다.

#### 4.1.3 현지답사

- (1) 현지답사는 해당개소 부근의 지형 및 지질의 상황, 환경조건 등을 현장에서 직접 확인하기 위해 수행한다. 이 때 자료조사에서 얻어진 각종 정보가 현장과 일치하는지 여부를 확인하는 것이 반드시 필요하다. 또한 필요한 경우 국부적으로 상세한 조사가 요망된다.
- (2) 배수나 기상, 계절변동 등과 관련된 조사항목은 답사시기를 충분히 고려해야 하며, 경우에 따라서는 조사 시기를 달리하여 재 답사를 수행토록 해야 한다.

#### 4.1.4 예비조사 결과의 이용

- (1) 예비조사 결과를 토대로, 먼저 주변 지형 및 지질에 대한 개략적인 평가를 수행하고, 설계 예정인 비탈면과 주변부의 안정성을 개략적으로 검토하는 것이 필요하다. 평가 또는 검토 시 유의할 사항은 다음과 같다.
  - ① 물에 약한 토질
  - ② 풍화, 변질, 흡수팽창이 현저한 암석
  - ③ 균열이 발달되어 있는 개소 및 단층파쇄대
  - ④ 물(지표수, 지하수)이 집중하는 개소
  - ⑤ 산사태, 비탈면 붕괴 등 불안정한 개소
  - ⑥ 주변에 붕괴지 또는 흔적이 많이 분포하는 개소
- (2) 상기의 평가결과를 기초로 검토해야 할 사항은 다음과 같다.
  - ① 철도노선 검토 : 철도에서는 예비조사 결과를 기초로 최종적인 노선을 결정하는 경우가 많다. 따라서 예비조사 결과를 포함한 지도에 철도노선을 작도함으로써 해당노선의 주변 비탈면의 상태를 검토하는 것이 필요하다.
  - ② 구조형식 검토 : 이 단계에서는 흙쌓기, 땅깍기 등의 구조형식이 거의 결정된다. 특히 땅깍기로 결정할지, 흙쌓기로 결정할지 여부는 비탈면의 안정성 또는 굴삭토량에 의해 판단하는 경우가 많다.
  - ③ 설계·시공방법 검토 : 안정성에 대한 개략검토 결과를 기초로 방재대책, 땅깍기 및 흙쌓기의 경사, 비탈면 보호공, 배수시설 등의 설계를 검토한다. 또한 굴삭방법과 함께 지하매설물의 유무 확인, 굴삭토 및 자재의 운반방법, 그리고 운반경로를 검토한다.

- ④ 주변 환경에 대한 검토 : 시공에 따른 주변 생태계의 영향, 시공시 소음 및 진동 등에 의해 주변 주민들에 미치는 영향을 충분히 검토한다. 공사 규모에 따라서는 환경영향평가를 수행할 수도 있다.
- ⑤ 본조사 여부, 본조사의 내용과 실시지점 검토 : 비교적 소규모 비탈면의 경우에는 예비조사만으로 실제 설계 및 시공을 하는 경우가 많지만 대규모 비탈면 또는 문제의 우려가 있는 개소는 반드시 본조사에 의해 보다 상세한 상황을 파악해야 한다. 본조사를 계획함에 있어 예비조사 결과를 충분히 반영하도록 한다.

## 4.2 본조사

### 4.2.1 조사 목적 및 내용

- (1) 본 해설에서 비탈면 조사를 위한 본조사는 비탈면 보호공을 설계하는데 있어 필요한 부분만 언급토록 한다.

### 4.2.2 현장조사

- (1) 토사 비탈면에 대한 현장조사는 다음에 유의하여야 한다.
- ① 위험 비탈면의 제반 사항을 조사하여 안정성을 검토한다.
  - ② 붕괴 징후 및 형태 등을 파악하는 것으로 안정성 해석과 대책공법 선정 시 기초 자료로 사용한다.
  - ③ 붕괴발생 위험도가 매우 높고 안정성 해석이 어려운 비탈면은 필요에 따라 보다 세밀한 추가 조사를 수행한다.
- (2) 비탈면 안정 검토시 수행할 현장조사, 시험의 종류 및 내용은 <표 7>과 같다.

표 7. 현장조사 및 시험내용 「전성기, 1998」

구분	내용	비고
지표지질조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 암반의 풍화상태, 절리의 방향성, 연속성, 간격 및 거칠기 등</li> <li>○ 충진물의 종류 및 두께</li> <li>○ 단층 등의 구조대 발달 여부</li> </ul>	
시추조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지층분포 상태</li> <li>○ 절리면의 발달상태(절리간격 및 경사각)</li> <li>○ 암석 코어의 강도 및 압축지수(RQD)</li> <li>○ 파쇄구간의 존재여부</li> </ul>	
탄성파조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탄성파 속도의 분포에 의해 지하지질구조 및 파쇄대의 존재 여부 파악</li> </ul>	땅깎기 높이 20m 이상구간 시행
현장시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 슈미트 해머(Schmidt Hammer) 시험</li> <li>○ 포인트 로드(Point Load) 시험</li> </ul>	
실내시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토질시험 : 함수비, 비중, 입도, 액소성한계</li> <li>○ 암석시험 : 일축압축강도, 절리면 직접전단강도 등</li> </ul>	
성과분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주절리군의 방향성</li> <li>○ 흙 및 암석의 공학적 특성 : 강도정수 추출</li> <li>○ 토사 및 암반 비탈면의 경사 결정</li> <li>○ 대책공법 선정</li> </ul>	



## 5. 토사 비탈면의 기준 및 안정해석

### 5.1 토사 비탈면의 기울기 및 안전율 기준

#### 5.1.1 토사 비탈면의 기울기 기준

- (1) 토사 비탈면 중 땅깍기 비탈면의 기울기 표준, 소단 설치 등은 「KR C-04030 깎기」를 따른다.
- (2) 흙쌓기 비탈면의 기울기 표준, 소단 설치 등은 「KR C-04020 쌓기」를 따른다.

#### 5.1.2 토사 비탈면의 안전율 기준

- (1) 토사 비탈면 안정에 대한 안전율은 「KR C-04020 쌓기 및 KR C-04030 깎기」를 따른다.
- (2) 강우로 인한 비탈면 파괴가 빈번히 유발되는 경우에는 강우에 의한 비탈면 내 침투를 고려한 안정해석을 반드시 시행한다.
- (3) 특별히 중요한 토사 비탈면은 그 중요도에 따라 붕괴방지 수준의 내진 등급을 고려한 토사 비탈면 안정해석을 해야 한다.

### 5.2 토사 비탈면의 안정해석

#### 5.2.1 토사 비탈면 안정해석의 기본사항

- (1) 토사 비탈면의 안정해석이란 비탈면을 구성하는 흙덩이가 흙의 자중 또는 상재하중 등에 의해서 안정성이 감소되는 경우에 극한평형상태에 대한 안전율을 구하는 것이다. 이 때 안전율이란 흙의 전단강도와 어느 가정된 활동면의 흙덩이를 극한평형상태로 유지하는데 필요한 전단응력의 비를 말한다. 이 안전율의 값은 가정한 활동면에 따라 다르지만 주어진 조건하에서 많은 활동면을 가정하여 구한 안전율 가운데서 가장 적은 것을 그 비탈면의 활동파괴에 대한 안전율로 정한다.
- (2) 안전율  $F_s$ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$F_s = \frac{S}{\tau} = \frac{1}{\tau} \{ c' + (\sigma - u) \tan \phi' \} \quad (3)$$

여기서,  $c'$  : 유효점착력(kN/m<sup>2</sup>),  $\sigma$  : 전수직응력(kN/m<sup>2</sup>),

$\phi'$  : 유효내부마찰각(°),  $u$  : 간극수압(kN/m<sup>2</sup>),

$S$  : 전단강도(kN/m<sup>2</sup>),  $\tau$  : 전단응력(kN/m<sup>2</sup>)

- (3) 활동면의 형태는 전단에 따른 체적변화, 즉 다이러턴시가 현저하면 직선 또는 대수나선으로 나타나고, 다이러턴시가 거의 없을 때는 직선, 대수나선 및 원형이 된다는 것이 이론적으로 알려져 있다. 그러나 실용적으로는 원형 활동면이나 직선 활동면을 가정한다. 특히 연약한 층이 협재되어 있어 그 층을 통한 활동이 예상될 경우에는 복합 활동면, 또는 적당한 형태의 활동면을 가정할 때도 있다. 일반적으로 활동면의 형태를 가정하는 경우에는 그 활동면을 따라 흙덩이가 원활하게 활동할 수 있도록 해야 하고, 흙덩이의 운동이 부자연하다고 생각되는 곡선을 가정해서는 안 된다.

- (4) 건조된 모래 또는 포화된 모래의 비탈면의 활동파괴는 보통 비탈면이 허물어져서 경사도가 감소하게 되는 형태이며 원형 활동면보다 직선 활동면을 생각하는 것이 좋다. 실제로 원형 활동면을 생각하더라도 직선에 가까운 것이 된다. 모래 비탈면이 극한평형상태에 있을 경우 비탈면의 경사도를 안식각이라 한다. 이 안식각은 그 비탈면의 모래의 간극비에 대응하는 내부마찰각과 같다.
- (5) 불포화모래에서는 모래 속의 물의 표면장력에 의해서 겉보기 점착저항을 갖게 되므로 그 안식각도 건조된 모래나 포화된 모래의 것보다 크다. 점성토의 경우에는 실제의 활동면의 형태는 원형에 가깝다. 모래 비탈면에 생기는 활동이 비탈면의 표층 근처에 얇게 일어나는데 반하여 점성토의 경우에는 비탈면 아래로 깊숙이 일어나는 활동인 저부파괴가 생길 때가 많다.
- (6) 비탈면의 안정해석은 2차원 문제로 취급한다. 연장이 긴 비탈면에 실제로 생기는 파괴면은 3차원의 곡선이 되지만 2차원 문제로 다루는 것이 안전측이다. 다만 유한길이의 재하에 의해 안정성이 감소된다고 생각할 수 있을 경우에는 원통형 활동면으로서 측면의 저항을 고려할 때도 있다. 활동을 일으키는 원인 중에서 중요한 것은 흙의 자중, 상재하중, 수압 등이다. 이외에도 지진력이나 파압(波壓) 등의 반복 하중이 생각될 수 있다. 활동에 저항하는 힘은 흙의 전단저항과 대중(對重)으로서의 누름하중(압성토) 등이다.
- (7) 전단저항의 시간적 변화에 관하여 흙의 안정문제는 두가지 경우로 분류할 수 있다. 첫째는 점성토 지반에 재하하는 경우이고, 둘째는 땅깁기 또는 지반개량 후 흙을 제거하는 경우이다. 전자는 단기안정문제, 후자는 장기안정문제로 취급한다. 이것은 다음 항에서 더 자세히 설명된다.
- (8) 포화된 점성토 지반 상에 재하한 경우에 대2해서 전단응력 간극수압 및 안전율 등의 시간적 변화를 나타내면 <그림 5>과 같다.

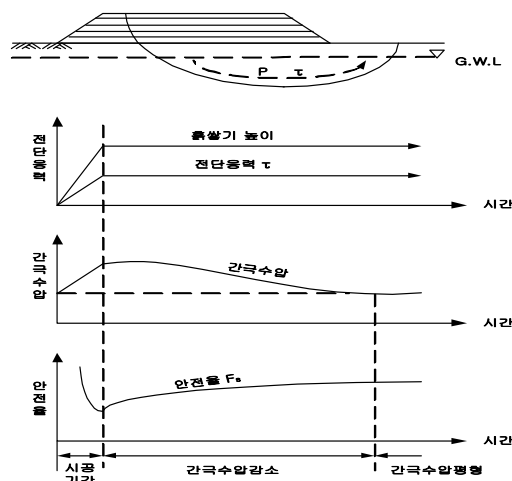


그림 5. 흙쌓기 하부의 포화점토지반에서의 전단응력, 간극수압 및 안전율의 시간적 변화



전단응력은 시공 중에는 증대하나 재하 완료 후에는 일정치를 유지한다. 간극수압은 상재하중의 증가에 따라 증가하지만 점성토의 투수계수가 낮으므로 시공 중에는 거의 압밀이 진행되지 않는다고 생각해도 좋다. 시공 완료 후에는 시간이 경과함에 따라 간극수압이 감소하고 최종에는 지하수위인 정수압으로 된다. 시공 중에는 압밀의 진행을 무시할 수 있으므로 전단강도의 증가는 없으나 전단응력은 증대한다. 따라서 <식 (3)>을 참조하면 안전율은 시공이 완료될 때까지 계속해서 감소한다는 것을 알 수 있다. 그러나 시공 완료 후에는 전단응력은 일정하지만 간극수압은 시간이 경과함에 따라 감소하므로 전응력, 점착력 및 내부마찰각이 일정하다고 하면 전단강도는 시간의 경과와 더불어 증가할 것이다. 다시 말하면 압밀이 진행됨에 따라 흙의 저항력은 커진다. 따라서 안전율이 최소가 되는 시점은 시공완료 직후임이 분명하다는 것을 알게 되었으므로 이 시점에서의 조건에 대해 안정해석을 해야 할 것이다. 이것은 비배수 조건으로 얻은 흙의 강도정수를 써서 안정 계산을 행하므로 이와 같은 조건에서의 해석방법을 “ $\phi=0$  해석” 또는 “전응력 해석”이라고 한다.

- (9) 포화점성토 지반의 땅깁기의 경우의 간극수압과 안전율의 시간적 변화는 <그림 6>와 같다. 여기서 땅깁기에 의해 하중이 제거되기 때문에 시공 중의 간극수압은 감소한다. 시공완료 후 간극수압이 증대하여 비탈면 내에 정상적인 침투가 일어나게 되면 간극수압은 유선망(流線網)에 의해서 결정되는 값에 도달하고 그 후에는 변화하지 않는다. 시공 중에는 전단응력이 증대하므로 안전율은 저하하지만 시공완료 후에는 전단응력은 일정하고 간극수압만이 증대하게 되므로 전단강도는 감소하여 안전율은 시간의 경과와 함께 감소한다. 안전율은 정상 침투가 일어나는 시기에 이르러 일정치에 이르고 이때의 값이 가장 작다. 이 경우에는 배수강도와 유선망에서 구한 간극수압을 써서 안전율을 구하는 것이 보통이다. 이것을 “유효응력 해석법”이라고 한다.
- (10) 안정해석은 정규 압밀상태에 있는 지반에 흙쌓기 할 때에는 단기안정문제(즉,  $\phi=0$  해석)이고, 굴착식 항만공사나 지반개량을 위하여 하중 흙쌓기를 시공하고 압밀 완료 후 이것을 제거하는 것과 같은 경우에는 장기안정문제(즉, 유효응력 해석)로 된다. 따라서 비탈면의 안정해석을 할 때에는 그 문제가 어느 쪽으로 분류되는가를 검토한 후에 적절한 흙의 전단강도를 사용하여야 한다. 다만, 모래지반일 때는 간극수압의 변화에 시간이 걸리지 않으므로 일반적으로 시공 후의 시간 경과에 따르는 안전율의 변화는 없다. 따라서 배수조건에서의 전단강도를 적용한다.

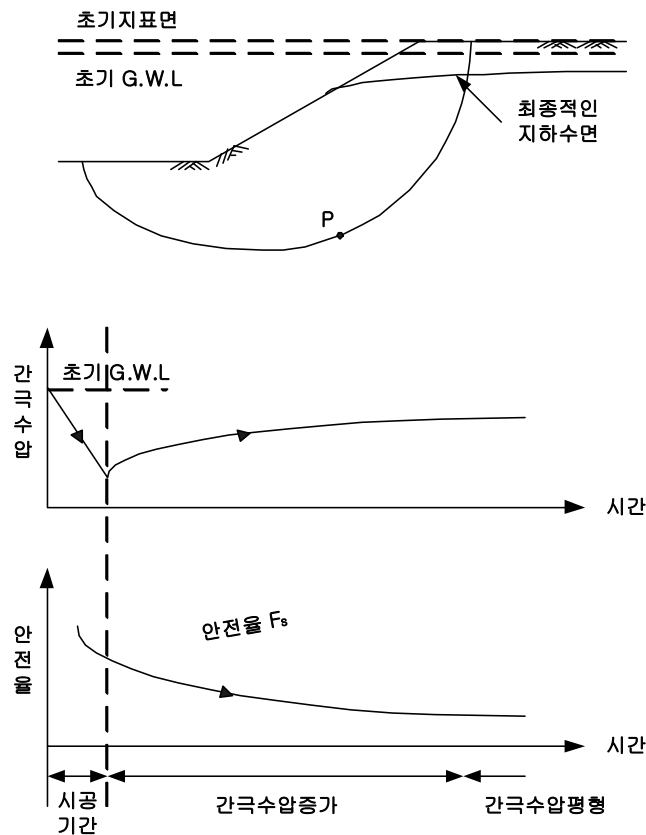


그림 6. 포화점성토지반의 흠깎기에서의  
간극수압과 안전율의 시간적 변화

### 5.2.2 토사 비탈면의 안정계산

(1) 일반적으로 토사 비탈면의 안정해석시 널리 사용되는 방법은 한계평형이론을 적용하고 있으며, 이 방법으로 산정한 안전율이 허용안전율 이상이 되면 비탈면은 붕괴에 대해 안전하고, 변형은 허용치 이내인 것으로 판단하고 있다.

- ① 한계평형방법(Limit Equilibrium Method) : 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 것이 목적이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이를 이용하여 간단한 정역학 이론으로 해를 얻을 수 있다.
- ② 토사 비탈면 해석 시 상용되는 해석방법은 다음과 같다. 다음의 방법 중 어떤 방법을 사용하던지 여러 가지 예상 파괴면을 가정하여 최소안전율을 구하는 것이 중요하다.

- Fellenius 방법
- Modified Bishop 방법
- Janbu 방법
- Morgenstern-Price 방법
- Spencer 방법



③ 전산프로그램을 사용하면 안전율을 간편하게 계산할 수 있으나, 해석방법에 따라 차이를 보이며 더욱이 사용자의 공학적 지식과 판단능력에 따라 결과가 달라질 수 있다.

(2) 원형 활동면을 가정할 경우 : 원형 활동면을 가정할 경우, 비탈면의 활동 파괴에 대한 안전율은 일반적으로 <식 (4)> 또는 <식 (5)>으로 구한다.

① Fellenius 방법

$$F_s = \frac{\sum [cl + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha} \quad (4)$$

② Bishop 방법

$$F_s = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [cb + (W - ub) \tan \phi] \left[ \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \times \tan \phi}{F_s}} \right] \quad (5)$$

여기서,  $F_s$  : 활동면에 대한 안전율,  $c$  : 흙의 점착력( $\text{kN/m}^2$ ),  
 $\phi$  : 흙의 내부마찰각( $^\circ$ ),  $l$  : 분할편의 저변길이(m),  
 $b$  : 분할편의 폭(m),  $u$  : 간극수압( $\text{kN/m}^2$ ),  
 $W$  : 분할편의 전중량(흙과 물의 전중량과 상재하중의 합)(kN),  
 $\alpha$  : 분할편 저변의 경사

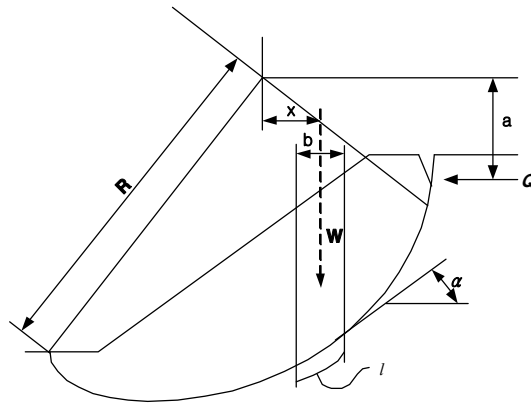


그림 7. 원형 활동면에 의한 비탈면의 안정계산

③ 비탈면의 안정계산을 하려면 우선 원호 활동원의 중심점을 정하여 그 점을 중심으로 하는 활동원 중에서 가장 작은 안전율을 구하고 그 안전율을 그 중심점에 대한 안전율로 한다. 다른 중심점에 대해서도 같은 방법으로 안전율을 구하고 안전율의 등치선(等値線)에서 구한 최소치를 비탈면의 활동파괴에 대한 안전율로 한다.

(3) 직선 활동면을 가정할 경우 : 직선 활동면을 가정하는 경우에는 활동 파괴에 대한 안전율은 <식 (6)>에 의해서 구한다.

$$F_s = \frac{\sum (cl + W \cos \alpha \tan \phi)}{\sin \alpha \sum W + \cos \alpha \sum Q} \quad (6)$$

여기서  $Q$ 는 비탈면에 가해지는 수평 외력이고, 다른 기호는 <식 (4)>의 것과 같다.

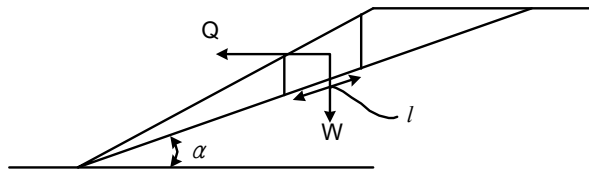
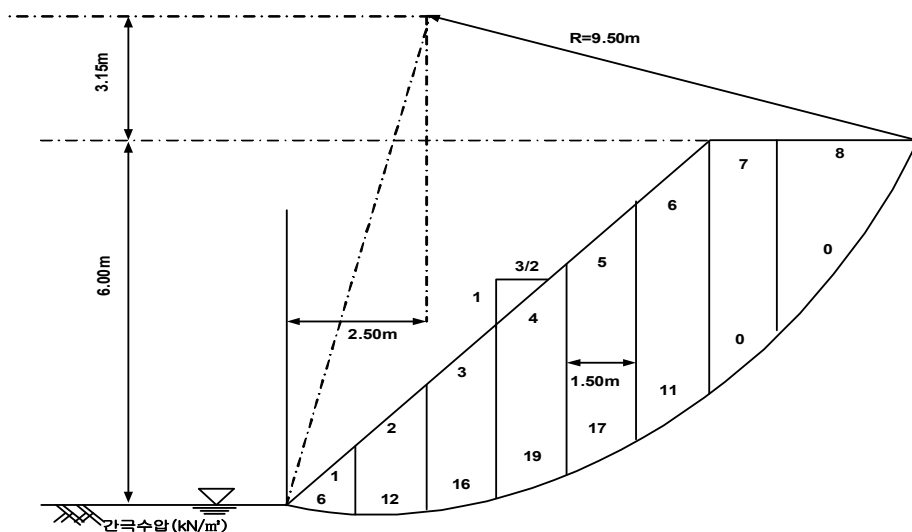


그림 8. 직선 활동면에 의한 비탈면의 안정계산

(계산 예)

Fellenius의 방법을 사용하여 <그림>에 보인 비탈면의 한 활동원에 대한 안전율을 구하였다. 각 절편의 저면에 작용하는 간극수압은 각 절편마다 표시되어 있고 이 흙의 전체 단위중량은  $20\text{kN/m}^3$ , 점착력  $c = 10\text{kN/m}^2$ , 내부마찰각  $\phi = 29^\circ$ , 중력가속도  $g=10\text{m/sec}^2$ 이다.



### <그림> 예제 (폴이)

활동원 내의 토괴는 폭이 1.5m인 절편으로 나눈다. 그러면 각 절편의 무게는  $W=r b h$ 로 계산된다. 여기서  $h$ 는 각 절편의 중심을 따르는 높이이다. 계산 과정을 표로 보이면 다음과 같다.

$$F_s = \frac{10 \times 14.36 + (516.2 - 131.3) \tan 29^\circ}{243.4} = \frac{143.6 + 213.4}{243.4} = 1.47$$

### 5.2.3 토사 비탈면의 안정해석 시 유의사항

### (1) 토사 비탈면 안정해석 방법

- ① 현장을 답사하여 가능한 한 활동형상을 조심스럽게 추정하며 활동형상에 따라 해석 방법을 선택한다. 균질한 토사 비탈면의 경우, 활동면을 원호로 가정한다. 무한 비탈면은 일반적으로 직선적으로 활동하지만, 활동길이가 비교적 짧고 깊이가 얕다고 추정되는 경우에는 큰 원호의 일부로 간주하여 안정해석을 한다.





- ② 처음 발생하는 활동인지, 또는 기존 파괴면을 따라 발생하는 활동인지를 잘 구별해야 한다. 기존 파괴면을 따라 발생하는 활동은 반드시 잔류강도를 적용하여 안정 해석하여야 한다.

표 8. 안정 계산표 및 결과

절편	$W(kN)$	$\alpha(^{\circ})$	$\sin \alpha$	$W \sin \alpha$ (kN)	$\cos \alpha$	$W \cos \alpha$ (kN)	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Delta I(m)$	$U(kN)$
1	19.5	-11.68	-0.20	-4.0	0.98	19.1	6	1.55	9.3
2	57.0	-1.53	-0.20	-1.2	1.00	57.0	12	1.50	18.0
3	81.0	7.97	0.14	11.2	0.99	80.2	16	1.55	24.8
4	102.0	17.40	0.30	30.5	0.95	97.3	19	1.58	30.0
5	114.0	25.33	0.43	48.8	0.90	103.0	17	1.65	28.1
6	117.0	37.49	0.61	71.2	0.79	92.8	11	1.92	21.1
7	90.0	49.88	0.76	68.8	0.64	58.0	0	2.32	0
8	20.0	63.77	0.90	18.0	0.44	8.3	0	2.29	0
$\Sigma$				243.4		516.2		14.36	131.3

- ③ 사용하는 강도정수에 대한 신뢰성을 검토한다. 가능하다면 비슷한 경우에 대한 안정 해석 결과 또는 역해석 결과를 대조하여 신뢰정도를 판단한다. 시추결과를 잘 검토하여 피압수의 존재 또는 일시 지하수위의 가능성을 판단한다.

- ④ 전응력 해석과 유효응력 해석의 두 가지 방법에 대해 검토해야 한다.

## (2) 토사 비탈면의 안정대책

- ① 토사 비탈면의 기초지반 처리는 토사 비탈면의 안정을 좌우하는 중요한 사항이다. 따라서 불안정한 기초지반이 있다고 예상되는 경우에는 상세한 현지조사를 포함한 토질조사를 실시해서 토질의 상태와 분포를 파악하고 필요에 따라 적절한 대책을 강구해야 한다.
- ② 흙쌓기 비탈면의 경우 표층에 고함수비의 연약층이 존재하고 있어서 시공기계의 진입이 곤란한 경우에는 배수를 통해 부지를 건조시킨다. 경우에 따라서는 모래, 막자갈 등을 채워서 흙쌓기 후의 지하수 배수를 꺾하는 것이 바람직하다.
- ③ 흙쌓기부 내에 용수가 있는 경우에는 제체 속으로 침입하는 것을 방지하기 위해 지하배수공법을 적용하여 흙쌓기부 밖으로 배수해야 한다.
- ④ 기초지반 내에 폐갱 등의 공동이 있는 경우에는 사전에 충분히 조사할 필요가 있으며, 채움 등의 적절한 조치를 취할 필요가 있다.

- ⑤ 토사 비탈면을 깎거나 흙쌓기 할 경우 지하수위가 변동하거나 침투수가 지하수위를 상승시켜 비탈면이 불안정하게 된다. 이와 같이 침투수가 있는 경우에는 비탈면의 안정대책 시 비탈면의 안정화를 위해 필요한 지하수위의 저하량 또는 수평배수공의 길이 등을 검토한다.

### (3) 토사 비탈면의 배수대책

- ① 토사 비탈면의 배수는 땅깎기, 흙쌓기 비탈면을 유하하는 표면수나 비탈면으로부터 침투한 침투수를 배제하여 토사 비탈면의 붕괴를 방지하기 위한 것이다.
- ② 토사 비탈면의 배수시설은 표면수와 침투수를 방수할 수 있도록 설계해야 하지만 침투수에 대해서는 비탈면의 거동을 사전 토질조사만으로 정확히 파악하는 것이 어렵고, 시공 중에 지하수나 투수층의 존재가 판명되기도 하므로 이때는 계획을 변경시켜 배수시설을 설계하는 것이 바람직하다. 또한 배수시설이 적절하지 않아 비탈면의 안정성을 저하시키기도 하므로 충분한 효과를 발휘할 수 있도록 시공한다.

## 6. 토사 비탈면 보호공

### 6.1 토사 비탈면 보호공의 선정기준

- (1) 비탈면의 안정성을 검토한 결과, 안전한 것으로 나타난 비탈면일지라도 장기간에 걸쳐 강우에 노출되면 침식 및 세굴로 인하여 비탈면 토사가 유실될 수 있다. 또한 풍화작용, 동결융해작용 등에 의해서 비탈면의 표면이 연약화되고 우수의 침투 및 용출수에 의하여 지하수위가 상승하면서 비탈면이 점차 불안정하게 되어 붕괴할 가능성이 있다. 따라서 비탈면의 장기적인 안정성 유지, 미관향상, 유지관리의 편의성 도모 등을 위해 땅깎기 비탈면에 대하여 토질 및 암반상태, 비탈면 경사 및 높이, 용수발생 가능성 등을 고려하여 적절한 비탈면 보호공법을 선정해야 한다.
- (2) 비탈면 보호공법 및 대책공법의 선정에 있어서는 지형, 지질이나 기후조건, 보호공법에 기대되는 효과에 대해 충분히 파악함과 동시에 경제성, 시공성을 고려한 최적의 공법을 선정하여야 한다.
- (3) 일반적으로 비탈면 보호공법을 선정할 때에는 기본설계, 실시설계, 시공의 적어도 세 가지 시점에서 검토할 필요가 있다. 동일한 비탈면내에서도 지반상태, 용수상태가 반드시 일정치 않은 경우가 많아서 각각의 조건에 적합한 공종을 선택한다.
- (4) 시험시공이나 사전에 유사한 지질상태의 비탈면에 비탈면 보호공법을 실시한 시공실적이 있으면 그 결과를 가지고 보호공법 및 대책공법을 선정하는 것이 효과적이다.
- (5) <표 9>는 식생공 이외의 공법을 땅깎기 비탈면에 적용할 경우 그 선정기준을 보여준다.



표 9. 식생공 이외의 땅깍기 비탈면 보호공 선정기준  
「일본철도종합기술연구원, 1992」

조건  공법		원지반의 토질, 암질 및 비탈면 경사						땅 깍 이 높 이	원지반의 성상(性狀)			식 생 공 과 의 병 용	물의 영향*1		※2 동 상 방 지	내 구 성	시 공 성	비고
		토사, 취약암				연암경암			풍 화 취 움	균 열 많 음	요 철 있 음		지 표 수 에 의 한 침 식 방 지	용수나 지반내 침투수의 배출가능 성여부				
		1:1.5 이상	1:1.5 ~ 1:1.2	1:1.2 ~ 1:1.0	1:1.0 이하	1:1.0 ~ 1:0.5	1:0.8 ~ 1:0.3											
블록 붙임 공	평판 블록	◎	◎	○	△	×	×	低				×	◎	×	△	○	○	지반내의 침투 수 배제가능
	비탈면 격자틀 블록	◎	◎	○	△	×	×	低				○	◎	◎	△	○	○	격자틀내는 식 생공, 막돌공 등으로 방호
프리 캐스 트 격자 틀공	콘크리 트제	◎	◎	○	△	×	×	中				◎	○	◎	○	○	◎	격자틀내는 식 생공, 블록붙임 공, 막돌공 등으 로 방호
	강제, 플라스 틱제 등	◎	◎	○	△	×	×	中				◎	○	◎	△	△	◎	격자틀내는 식 생공으로 방호 (식생공과의 병 용이 원칙)
현장타설격자 틀공		△	○	◎	◎	◎	◎	高	○	◎	△	◎	○	◎	◎	◎	△	격자틀내는 식 생공, 블록붙임 공, 막돌공,콘크 리트붙임공, 뿔 어붙이기공 등 으로 방호
뿔어붙이기격 자틀공		△	○	◎	◎	◎	◎	高	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	○	
콘크리트붙임 공		×	△	○	◎	◎	◎	高	○	◎	△	×	◎	×	◎	◎	△	
모르타르뿔어붙 이기공 콘크리트뿔어붙 이기공		×	×	△	○	◎	◎	高	○	○	◎	×	◎	×	△	△	◎	
편책공		◎	◎	○	△	×	×	中				◎	○	◎	×	×	◎	식생이 무성해질 때까지의 보조공 법

◎ 적합, 좋음 저 : 높이 3~5m 정도에 적용

※ 1: 먼저 배수대책을 충분히 고려하는 것이 필요

○ 다소적합, 다소좋음 중 : 높이 10m정도 이하에 적용

※ 2 : 먼저 완경사에 대한 검토 필요

△ 다소부족, 다소나쁨 고 : 높이 10m정도 이상에서도 적용가능

× 부적합, 나쁨(경제성에 대해서는 별도로 검토)

<표 9>는 원지반의 토질, 암질에 대한 표준경사로 땅깍기한 비탈면을 전제로 작성되었기 때문에 이것 이외의 경우는 별도의 검토가 필요하다. 또한 물의 영향이나 동상에 대해서는 비탈면 보호공을 선정하는 전제로서 적절한 배수대책이나 동상방지를 검토하는 것으로 하였고, 경제성에 있어서는 시공개소의 상황에 따라 차이가 있기 때문에

각 개소마다 검토하는 것으로 하였다. 이 표를 기초로 최종적으로는 현지의 상황을 충분히 고려해서 가장 적절한 공법을 선정해야 한다. 또한 주변 환경이나 유지보수 등의 조건으로부터 식생공이 사용될 수 없는 개소를 제외하고는 적극적으로 식생공과 병용하여야 한다.

- (6) <표 10>은 식생공, 돌붙여 깔기공 이외의 흙쌓기 비탈면 보호공의 선정기준을 보여 준다. 여기서 제시하고 있는 흙쌓기의 기본적인 형태는 흙쌓기 높이가 6m 이하, 그리고 비탈면 경사는 1 : 1.5보다 완만한 경우를 전제로 작성되었다. 따라서 이외의 비탈면에 대해서는 별도의 검토가 필요하다. 또한 물의 영향이나 동상에 대해서는 비탈면 보호공을 선정하는 전제로서, 적절한 배수대책이나 동상방지를 검토하는 것이 필요하며, 경제성에 대해서는 시공개소의 상황에 따라 차이 나기 때문에 각각의 장소마다 검토되어야 한다. 또한 흙쌓기 비탈면 보호공의 선정도 땅깍기와 마찬가지로 주변 환경이나 유지보수 등의 조건으로부터 식생공이 사용될 수 없는 개소를 제외하고는 적극적으로 식생공과 병용하여야 한다.

표 10. 식생공 이외의 흙쌓기 비탈면 보호공 선정기준  
「일본철도종합기술연구원, 1992」

조건 공법		흙쌓기 높이		식생 공과 의 병용	물의 영향 <sup>※1</sup>			※2 동상 방지	내구 성	시공 성	비고
		3m 이하	3m 이상		지표수 에 의한 침식방 지	흙쌓기 내 침투수 배출여 부	비탈면 끝의 세굴방 지				
블록 붙임공	평판 블록	◎	△	×	◎	○	○	△	○	○	
	비탈면 격자틀 블록	◎	△	○	◎	◎	○	△	○	○	격자틀내는 식생공, 막돌공 등으로 방 호
프리 캐스트 격자틀 공	콘크리 트제	○	◎	◎	○	◎	○	○	○	◎	격자틀내는 식생공, 블록붙임공, 막돌공 등으로 방호
	강제, 플라스 틱제 등	◎	◎	◎	○	◎	△	△	△	◎	격자틀내는 식생공 으로 방호(식생공 과의 병용이 원칙)
편책공		◎	◎	◎	○	◎	△	△	×	◎	식생이 무성해질 때 까지의 보조공법

◎ 적합, 좋음

※ 1 : 먼저 배수대책을 충분히 고려하는 것이 필요

○ 다소적합, 다소좋음

※ 2 : 먼저 환경사에 대한 검토 필요

△ 다소부족, 다소나쁨

× 부적합, 나쁨(경제성에 대해서는 별도로 검토)

## 6.2 토사 비탈면 보호공의 선정

## 6.2.2 흙쌓기 비탈면 보호공의 선정

- (1) 흙쌓기 비탈면 보호공은 식생공을 표준으로 하며, 선정하는 기본적인 순서는 <그림 10>과 같다.

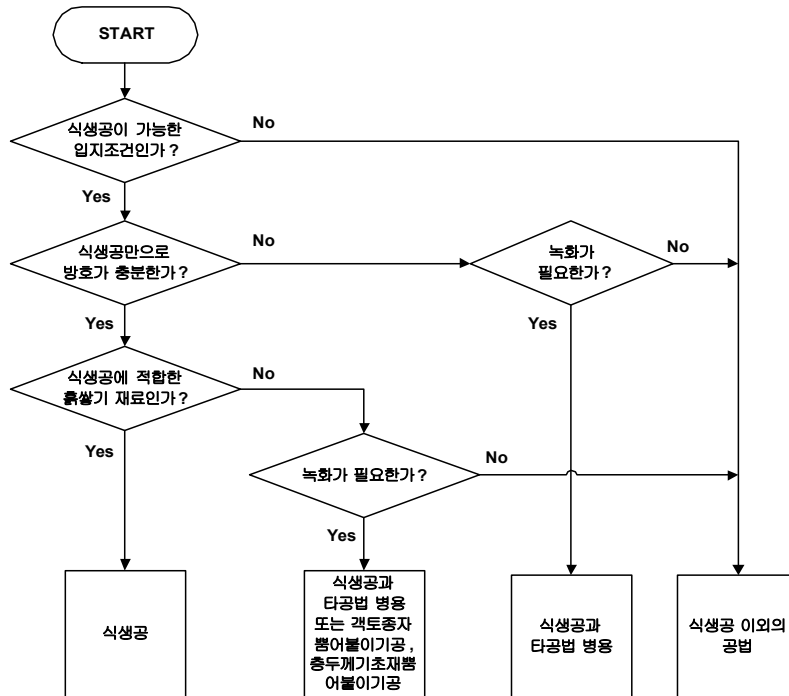


그림 10. 흙쌓기 비탈면 보호공 선정을 위한 기본적인 순서  
「일본철도종합기술연구원, 1992」

- (2) 식생공이 시공될 수 없는 입지조건은 예는 상기 「가의 ㉠항」과 같다. 또한 식생공만으로 비탈면의 방호가 충분히 확보되지 못하는 경우는 「가의 ㉠항」과 같은데, 이 경우에는 타 공법과의 병용 또는 타 공법 시공을 고려해야 한다.

## 6.3 토사 비탈면 보호공의 종류

### 6.3.1 식생공

- (1) 땅깍기 비탈면 및 흙쌓기 비탈면 양자 모두에 사용된다.
- (2) 비탈면을 식생으로 피복함으로써 우수에 의한 침식을 방지하여 비탈면을 보호하려는 공법으로, 녹화에 의한 미관향상과 환경보전을 기대할 수 있으며 경제적이다.
- (3) 식생공의 역지효과에 대한 평가가 어렵기 때문에 비탈면의 안정계산에는 이러한 식생공을 포함시키지 않는다. 따라서 식생공은 비탈면이 안정되어 있는 곳이나 역지효과가 있는 구조부재와 병행하여 이용한다.
- (4) 토사 비탈면 보호공법으로 사용되는 식생공법은 땅깍기의 경우에는 씨앗뽐어붙이기공, 객토씨앗뽐어붙이기공, 때붙임공, 식생혈공(植生穴工), 층두께기초재뽐어붙이기공이 있으며, 흙쌓기의 경우에는 씨앗뽐어붙이기공, 식생매트공, 식생대공 등이 있다.



- (5) 식생공은 토질, 암질, 비탈면의 형상, 시공 장소의 기상조건, 시공시기 등을 고려하여 최적의 방법으로 설계한다.

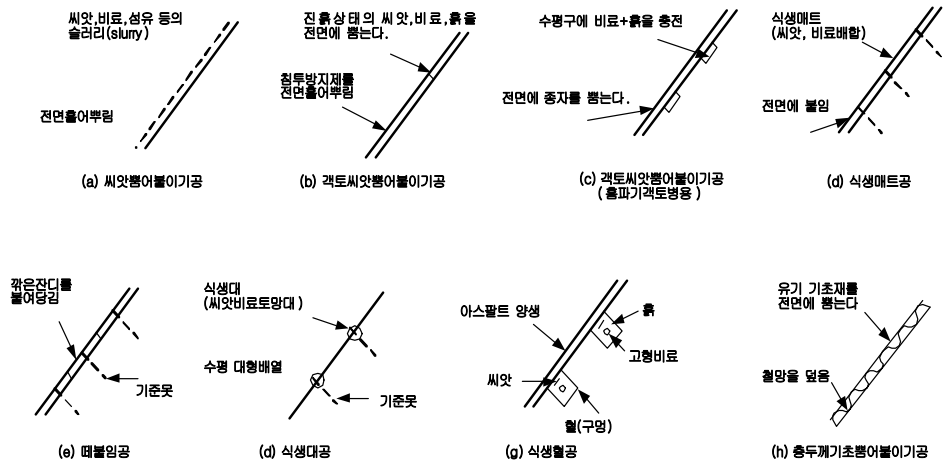


그림 11. 식생공의 종류

### 6.3.2 돌붙여깔기공

- (1) 흙쌓기 비탈면 보호공에 사용된다.
- (2) 돌붙여깔기공은 숙련공에 의한 시공을 필요로 하지만, 인근에서 양질의 암이 입수되는 경우에 유리한 공법이다.
- (3) 돌붙여깔기공에 사용하는 암은 경암 암석으로 한다. 암의 형상은 할석(割石)에 준하는 것이 좋고 장방형의 암은 좋지 않다. 크기는 일반적으로 300~500mm 정도가 좋다. 시공시에는 하단부의 근석(根石) 또는 기초공을 충분히 견고하게 하고, 돌의 모서리와 모서리를 잘 붙이도록 하며 뒤채움도 세심하게 수행토록 한다.
- (4) 경암 암석으로 흙쌓기한 비탈면에 방호가 필요한 경우에 돌붙여깔기공을 설계한다. 이 경우 빗물이 흙쌓기한 비탈면 내로 침투해도 흙쌓기 재료의 투수성이 크기 때문에 양호하게 배출된다.

### 6.3.3 돌 또는 콘크리트 블록붙임공

- (1) 땅깍기 비탈면 및 흙쌓기 비탈면 양자 모두에 사용된다.
- (2) 땅깍기 비탈면의 블록붙임공은 비탈면 경사가 1 : 1.0 보다 완만한 토사나 취약암의 비탈면, 그리고 식생공이 적합하지 않은 경우에 설계한다. 이 공법은 비탈면의 높이가 5m 이상인 경우에는 격자틀공과 병용하는 것을 기본으로 한다. 또한 이면의 배수를 위하여 자갈을 충분하게 채워야 하며, 물빠기 구멍을 직경 50mm 정도로 2~4m<sup>2</sup> 마다 1개씩 설치하되 물의 흐름이 많은 경우에는 그 수를 증가시켜 설계토록 한다.
- (3) 돌붙여깔기 및 식생공이 적합하지 않은 흙쌓기 재료를 사용한 비탈면에는 블록붙임공으로 설계한다. 흙쌓기 비탈면의 블록붙임공은 높이가 3m 이상인 경우 프리캐스트(Precast)격자틀공과 돌붙임공을 조합하여 설계하며, 신설 흙쌓기면에 사용하는 돌붙임공은 일반적으로 메붙임으로 한다.

(4) 콘크리트 불임공은 비탈면의 경사 1 : 1.0보다 급한 취약암의 풍화방지, 연암과 경암의 경우 풍화진행의 염려가 있는 비탈면의 방호를 위해 설계한다.(<그림 12> 참조) 설계시 유의할 점과 주요내용은 다음과 같다.

- ① 콘크리트 불임공은 비탈면 전체가 콘크리트로 피복되기 때문에 환경보전상 좋지 않으며, 지하수 또는 배면에 유입된 물을 배제하는 것이 곤란하고, 배면의 공동(空洞) 또는 비탈면 변상을 발견할 수 없어 유지보수의 어려움이 있다. 따라서 설계자는 적용에 있어 이러한 점을 충분히 고려해야 한다.
- ② 콘크리트 불임공은 무근콘크리트와 철근콘크리트가 있으며 통상 1:0.5 정도보다 경사가 작은 경우는 무근 콘크리트를, 이보다 급한 경우는 철근 콘크리트를 사용한다.
- ③ 콘크리트의 두께는 일반적으로 150~200mm이며, 신축이음은 10m 정도의 간격으로 설계한다. 또한 배수를 위해 물빠기 구멍을 2~4m<sup>2</sup> 마다 1개씩 설치한다. 비탈면의 길이가 긴 경우에는 미끄럼 방지를 위해 앵커 또는 중간의 필요개소에 소단을 두도록 한다.

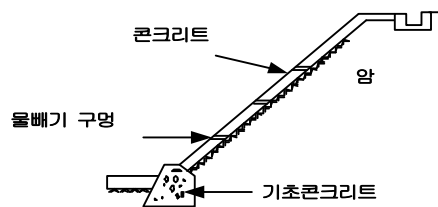


그림 12. 콘크리트 불임공

#### 6.3.4 콘크리트 격자틀공

- (1) 땅깍기 비탈면 및 흩쌓기 비탈면 양자 모두에 사용된다.
- (2) 격자틀공은 비탈면을 격자모양의 틀 등으로 덮어 중력에 의한 비탈면 토층의 이동을 방지하고 비탈면의 풍화, 침식작용을 차단시켜 비탈면의 안정을 도모하는 공법으로, 시공방법에 따라 프리캐스트격자틀공, 현장타설격자틀공, 뽐어붙이기격자틀공이 있으며, 형태 또는 재료에 따라 콘크리트블록제격자틀공, 사선 또는 수직격자형프리캐스트격자틀공, 강제격자틀공, 플라스틱제격자틀공이 있다. 형태와 재료에 따른 격자틀공 예는 <그림 13>~<그림 15>와 같다.



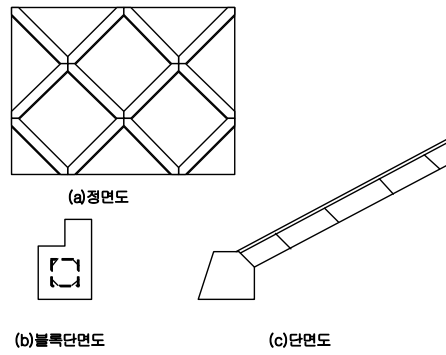


그림 13. 경사격자형콘크리트격자틀공 예

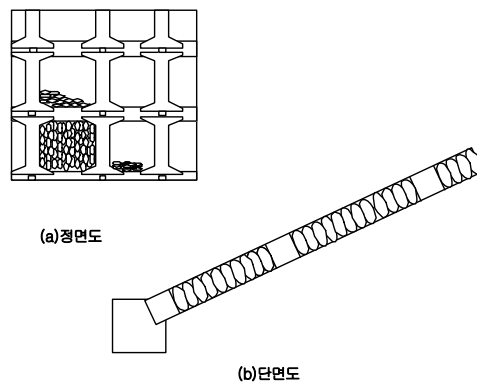


그림 14. 수직격자형콘크리트격자틀공 예

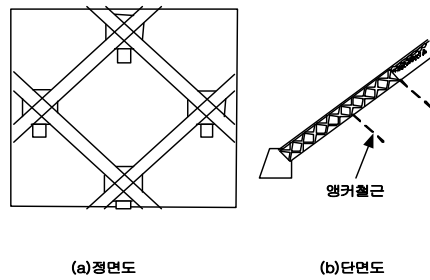


그림 15. 조립식강제격자틀공 예

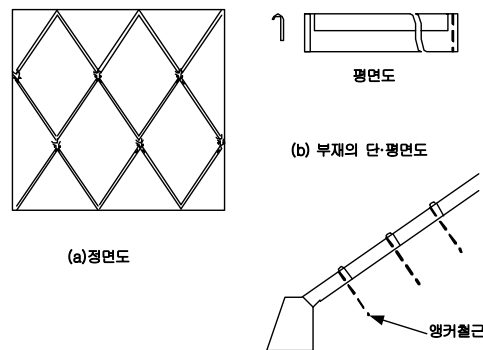


그림 16. 타입식강제격자틀공 예

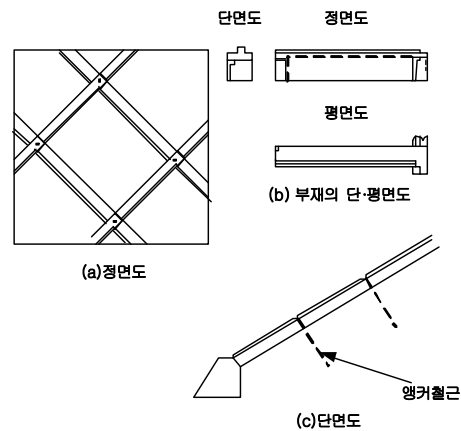


그림 17. 플라스틱제격자틀공 예

- (3) 땅깍기 비탈면의 격자틀공은 원지반의 토질, 암질, 비탈면의 형상 등을 고려하여 종별, 구조 등을 선정하여 설계한다.
- (4) 흙쌓기 비탈면에 사용하는 격자틀공은 일반적으로 비탈면 경사가 1 : 1.5보다 작은 경우에는 프리캐스트격자틀공으로, 이보다 큰 경우에는 현장타설격자틀공 또는 뿔어붙이기격자틀공으로 설계한다. 현장타설격자틀공과 뿔어붙이기격자틀공은 각각 <그림 18>, <그림 19>와 같다. 일반적으로 현장타설격자틀공에서 격자간격은 일반적으로 3~5m이며, 격자단면은 300×300mm~400×400mm이다.
- (5) 격자틀 내의 침식, 풍화방지가 필요한 경우에는 식생공, 블록붙임공, 콘크리트붙임공, 막돌공 등으로 방호하는 것으로 설계한다.
- (6) 콘크리트 격자틀공은 용수가 나타나는 비탈면, 매우 굽고 거친 사질토로 이루어진 비탈면, 단단한 풍화토로 이루어진 비탈면에는 적용하지 않는 것이 좋다. 시공 시에는 안쪽으로 깊게 파내어 격자틀을 견고하게 설치한다.

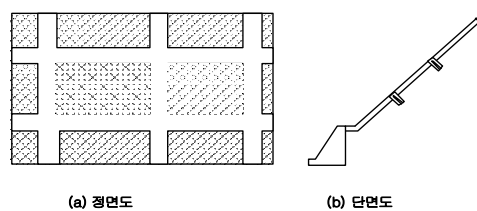


그림 18. 현장타설격자틀공 예

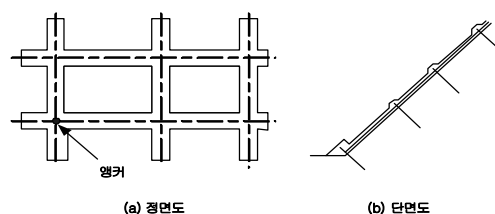


그림 19. 뿔어붙이기격자틀공 예



### 6.3.5 전주기초 등 주변의 비탈면 방호

- (1) 흙쌓기 비탈면의 어깨부근에 전주 또는 방음벽 등을 설치하는 경우 그 구조에 따라 호우 시 전주 등을 따라 우수가 비탈면에 집중하여 흘러내림으로써 비탈면의 침식 또는 붕괴가 발생할 수 있기 때문에 우수가 집중하는 개소에는 다음과 같은 사항을 반영하여 설계토록 한다.
  - ① 노반배수공이 있는 경우에는 필요한 포장 콘크리트 등을 설계하고, 우수를 배수공으로 흐르게 하는 구조로 한다.
  - ② 노반배수공이 없는 경우에는 필요에 따라 콘크리트 붙임공, 프리캐스트 격자틀공 등의 비탈면 보호공을 설치한다.

### 6.3.6 깎기공

- (1) 깎기공은 활동하려고 하는 토괴를 제거하여 활동하려는 하중을 줄여서 비탈면을 안정화시키는 공법으로 공사비가 많이 든다는 단점이 있다.
- (2) 깎기공은 토괴의 전부를 제거하는 경우와 일부를 제거하는 경우가 있다. 깎기는 활동토체의 상부로부터 하부로 향하는데 활동토괴의 상부만을 깎아내는 경우 활동토괴의 상부에는 급한 비탈면이 남게 되어 나중에 이 부분의 안정성이 문제가 되므로 땅깎기 후 비탈면 안정해석을 다시 수행해야 한다. 땅깎기 후의 안정해석은 기존 파괴면이 비탈면에 아직 남아 있는 경우에는 안정해석 시 지반의 잔류강도를 사용한다. 땅깎기 후의 비탈면은 일반적으로 투수성이 높고 땅깎기부에서 지반파괴면에 물을 보급하게 될 가능성이 있으므로 비탈면 보호공을 강구할 필요가 있다.

### 6.3.7 산마루측구, 수직배수공법, 소단배수로

- (1) 지표수배수공에 속하는 것들로서 땅깎기 비탈면의 상부, 소단 내 또는 땅깎기 비탈면 상에 콘크리트 U형 수로 등의 배수구를 설치함으로써 강우나 강설에 의해 지표수가 땅깎기 비탈면내에 침투되는 것을 방지함으로써 간극수압의 상승을 차단하거나 지표수의 흐름을 차단시켜 땅깎기 비탈면의 침식을 방지하는 공법이다.
- (2) 산마루측구 시공 시 측구와 지표가 밀착되지 않는 경우에는 측구와 지표 틈새로 강우가 침투함으로써 배수효과가 거의 없을 뿐 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 측구와 지표를 반드시 밀착시켜야 한다. 또한 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 설치하는 것이 바람직하다.

### 6.3.8 말뚝공

- (1) 말뚝공은 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억제시키는 공법이다.
- (2) 말뚝의 설계 시에는 말뚝에 발생하는 휨모멘트와 전단력을 고려하여 말뚝의 단면, 종류, 간격 등을 결정한다. 휨모멘트가 큰 경우에는 말뚝머리에 앵커를 설치할 수도 있다. 말뚝의 타설 위치는 지반활동 시 압축상태에 놓이게 되는 비탈면의 말단부 근

처가 유리하다. 설치간격은 토사가 말뚝사이로 빠져나가는 문제를 고려해서 말뚝직경의 5~7배 이내로 하고, 말뚝직경이 큰 경우에도 4m를 넘지 않아야 한다.

- (3) 억지 말뚝공은 기초부 암반이 토압으로 활동현상이 발생한 지역, 토층 사이의 경계면에서 평면파괴가 발생하거나 풍화층의 유실과 침식으로 표면 붕괴의 우려가 있는 지역, 급경사 토사 비탈면의 경사완화가 불가능하거나 단층파쇄대 구간으로서 지하수위가 낮고 침투수 영향이 적은 구간에 적용된다.

#### 6.3.9 옹벽공

- (1) 옹벽은 안전한 경사 이상으로 비탈면을 땅깁기한 후 비탈면 안정을 꾀하기 위하여 설치하는 벽체 구조물이다.
- (2) 옹벽의 설계시 안정성 확보를 위하여 전도에 대한 안정성, 미끄러짐에 대한 안정성, 지반의 지지력 등에 대하여 검토를 해야 한다. 미끄러짐에 대한 안정성만이 부족한 경우에는 옹벽 바닥면에 전단키(Shear Key)를 설치할 수도 있다.
- (3) 지형 등의 제약을 받아서 비탈면의 안전한 경사를 확보할 수 없는 경우의 비탈면 보강 시 또는 선로 확폭 등 용지보상비가 과다한 장소 등에는 토목섬유를 이용한 보강토 옹벽공을 사용한다.

#### 6.3.10 개비온

- (1) 개비온(Gabion)은 돌망태공이라고도 하며 콘크리트 옹벽 대체공으로 사용한다. 본 공법은 일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 한 돌망태를 벽돌 쌓는 방법으로 쌓아 올려 벽체를 형성하는 공법이다.
- (2) 본 공법은 배수성이 양호하기 때문에 설계시에 수압의 작용을 고려할 필요가 없다. 또한 동절기에도 시공이 가능하므로 공기를 단축할 수 있으며 시공과정을 쉽게 파악할 수 있어 특별한 품질관리가 필요하지는 않다.
- (3) 채움재로는 쉽게 풍화되지 않는 내구성이 큰 암석을 사용하는 것이 좋다. 일반적으로 하천석재, 깬 잡석, 현장에서 생산되는 부순 돌 등을 사용할 수 있다. 또한, 자원재활용이 가능하고 주변 환경의 미관을 고려한 시공이 가능한 장점이 있다.
- (4) 개비온은 깎기면의 수직고가 10m 이상이거나 작용토압이 너무 큰 구간에는 적절하지 않다.

#### 6.3.11 모르타르 뿔어붙이기공(건나이트공), 콘크리트 뿔어붙이기공(슛크리트공)

- (1) 땅깁기 비탈면 보호공에 사용된다.
- (2) 모르타르 뿔어붙이기공 또는 콘크리트 뿔어붙이기공은 형틀없이 현장에서 바로 시공 가능한 장점이 있지만, 비탈면 전체에 걸쳐 밀착도를 균등하게 하여 시공하는 것이 용이하지 않고, 기상 영향이 크게 받기 때문에 박리 등의 결함이 나타나기 쉽다. 또한 비탈면 전체를 뿔어붙이기 한다는 것은 경관상 좋지 않기 때문에 설계시 이점을 고려해야 한다.



- (3) 모르타르 뿔어붙이기공 또는 콘크리트 뿔어붙이기공은 비교적 단기간의 침식방지, 풍화방지에는 유효하지만 타 공법에 비해 내구성, 환경보전 측면에서는 문제가 있으므로 환경보호가 필요 없고 기상과 비탈면의 상태가 양호한 개소에 한해 사용토록 한다.
- (4) 일반적으로 비탈면이 완전히 암질이고, 용수도 없으며 박층(薄層)의 뿔어붙이기공으로 충분히 피복 가능한 경우에는 모르타르 뿔어붙이기공을, 비탈면에 균열이 많고 층상(層狀)으로 토사부분이 있는 경우에는 뿔어붙이기층에 강도가 필요하기 때문에 콘크리트 뿔어붙이기공을 이용한다.
- (5) 뿔어붙이기공의 표준두께는 모르타르 뿔어붙이기공은 50~100mm, 콘크리트 뿔어붙이기공은 100~150mm 정도이다.
- (6) 유반(流盤) 또는 절리가 많은 암반의 표층박리에 대해 어느 정도의 억지효과를 기대하는 경우에는 뿔어붙이는 재료의 강도를 증가시키는 것이 필요하다. 이와 같은 방법 중에는 재료 속에 섬유재료를 혼합하는 공법이 있지만 경제성, 시공성 등을 충분히 검토한 후 사용하여야 한다.

#### 6.3.12 앵커공법

- (1) 앵커공법은 고강도인 강재를 천공구멍 내에 삽입하고 그라우트를 주입하여 지반에 정착시키고, 앵커두부에 인장력을 가하여 구조물과 지반을 일체화하여 안정시키는 공법이다.
- (2) 앵커공법은 두꺼운 붕적층 또는 파쇄가 심한 풍화잔류토와 풍화암 지역에서 원형과 괴활동이 발생하거나 지층간의 경계가 뚜렷하고, 작은 활동현상이 일어난 지역, 개방 구간에 단층점토와의 경계면 등으로 켜기파괴가 우려되는 지역에 적용된다.

#### 6.3.13 소일네일링(Soil Nailing)

- (1) 소일네일링 공법은 네일(Nail)이라고 불리는 보강재를 프리스트레싱 없이 짧은 간격으로 지반에 삽입하여 비탈면의 전체적인 전단강도를 증대시킨다. 또한 숏크리트 등으로 굴착면을 보호하는 표면보호공법을 조합 시공하여 비탈면을 안정화시키는 공법이다.
- (2) 소일네일링 공법의 장점은 가격이 비교적 저렴하고, 장비가 단순하기 때문에 접근이 어려운 장소 또는 협소한 공간에서 작업이 용이하다. 단점은 지하수위가 없는 지반 또는 지하수위 저하에 의해 안정화된 지반에만 제한적으로 사용된다는 점이다.
- (3) 소일네일링은 겉보기 점착력이 거의 없는 사질토 지반에서는 적용하기 어렵다. 즉, 느슨한 사질토, 매우 연약한 점토층과 지하수위가 높은 곳에는 부적절하다.
- (4) 일반적으로 설계 및 시공에 대부분 적용되는 네일의 삽입각도 범위는 수평으로부터 10°~20°의 하향각도로 한다. 네일은 예상되는 파괴면보다 깊이 설치해야 하며 배수와 네일의 부식방지에 철저를 기하여야 한다.

- (5) 보강된 층 사이의 국부적인 지반에 대한 안정을 확보하고, 굴착직후의 이완을 방지하며, 침식 및 풍화작용으로부터 지반을 보호하기 위해 전면판(Facing)을 설치한다.
- ① 쏫크리트(Shotcrete) 전면판은 용접된 철근망에 의하여 보강이 이루어지고, 최종적으로 요구되는 130~250mm 두께는 1차 및 3차 타설(각 90~120mm 두께)에 의해 얻어진다. 이 전면판 기법은 시공이 비교적 쉽고 가격도 저렴한 장점이 있으나 미관상 좋지 못하고 지하수 침투나 기후 변화, 동결현상 등에 취약할 수 있다. 또한 콘크리트와 지반사이의 접촉면에서 배수가 원활하지 못하여 비탈면의 수압을 상승시킬 수 있다.
  - ② 현재까지 현장타설 철근콘크리트 전면판이 많이 사용되어 왔는데 최근에는 기성 콘크리트 또는 강재 패널의 사용이 확대되고 있다. 이와 같은 기성 패널은 다양한 미적, 환경적 그리고 내구성 기준에 충족되도록 설계되어 있다.
  - ③ 그라우팅 네일은 일반적으로 사각형 강판(폭 390~400mm)에 네일을 볼트로 조임으로써 전면판에 부착시키며, 타입 네일은 일반적으로 피복 또는 다른 적절한 방법에 의해 전면판에 부착된다



### 6.3.14 식생공 이외의 주요 비탈면 보호공의 기능 및 장단점

표 11. 식생공 이외의 주요 비탈면 보호공의 기능 및 장단점  
「일본철도종합기술연구원, 1992」

공법	목적	주 기능							장점	단점	신설비탈면에의 일반적 적용성	
		표면침식방지	우수침입방지	표층풍화방지	동상방지	표층토역지	표층붕괴방지	국부붕괴방지			흙쌓기	땅깎기
돌붙여깎기공	암을 비탈면에 붙여 방호	○	-	○	-	◎	-	-	◦ 양질의 암이 입수가능하면 경제적 ◦ 시공성이 좋음 ◦ 비탈면의 침하를 어느정도 예측	◦ 급구배, 장대비탈면에는 부적절 ◦ 숙련공에 의한 시공이 필요	○	-
블록 붙임공	평판블록 비탈면격자 블록	◎	○	◎	-	◎	-	-	◦ 시공성이 비교적 좋음 ◦ 공기가 짧음 ◦ 공사비가 비교적 저렴 ◦ 비탈면의 침하를 어느정도 예측 ◦ 격자틀블록은 격자틀내 녹화가능	◦ 급구배, 장대비탈면에는 부적절 ◦ 비탈면의 정형(整形)이 필요 ◦ 평판블록은 침투수의 배제곤란 ◦ 비탈면격자틀블록은 풍화방지를 위해 격자틀내 방호필요	○	○
프리 캐스트 격자 틀공	콘크리트제 강제(조립식/ 타입식)	○	△	△	-	○	◎	○	◦ 경량(특히 강제, 플라스틱제)이고 시공성이 용이 ◦ 강제타입식은 격자틀과 비탈면이 밀착 ◦ 공기가 짧음 ◦ 공사비가 비교적 저렴 ◦ 비탈면의 침하를 어느정도 예측 ◦ 격자틀내 녹화가능	◦ 급구배 비탈면에는 부적절 ◦ 비탈면의 정형(整形)이 필요 ◦ 강제타입식을 제외하고 격자틀 과 비탈면이 밀착되기 어렵고 흙이 유실되기 쉬움 ◦ 격자틀과 결자들의 접점장도가 약함 ◦ 특히, 강제, 플라스틱제는 경량 이기 때문에 역지효과를 기대 하기 어려움 ◦ 표면침식 및 풍화방지를 위한 방호 필요 ◦ 강제, 플라스틱제는 내구성 면에서 열세	○	○
	플라스틱제	○	△	△	-	○	◎	○				
현장타설격자틀공	비탈면을 세분화 함으로써 표층붕 괴를 방지	○	△	△	○	○	◎	◎	◦ 격자틀 교점이 일체화되어 있기 때문에 프리캐스트격자틀에 비해 휨 및 전단강도가 크고 표층붕괴 에 대해 역지력이 기대가능(앵커 공과 병용가능) ◦ 격자틀과 비탈면과의 밀착성이 좋음 ◦ 높은 품질의 강도가 얻어지기 쉬움 ◦ 급구배, 장대비탈면에서도 적용가능 ◦ 격자틀내 녹화가능	◦ 비탈면의 정형(整形)이 필요 ◦ 공기가 김 ◦ 소단면의 격자틀은 시공이 곤 란 ◦ 비탈면 침하에 대한 추정이 어 려움 ◦ 표면침식, 풍화방지를 위해 격 자틀내의 방호필요 ◦ 공사비가 높음	-	○
뿔어붙이기격자틀공	비탈면을 세분화 함으로써 표층붕 괴를 방지	○	△	△	○	○	◎	◎	◦ 격자틀 교점이 일체화되어 있기 때문에 프리캐스트격자틀에 비해 휨 및 전단강도가 크고 표층붕괴 에 대해 역지력이 기대가능(앵커 공과 병용가능) ◦ 격자틀과 비탈면과의 밀착성이 좋음 ◦ 요철이 있는 비탈면에서도 시공가능 ◦ 급구배, 장대비탈면에서도 적용가능 ◦ 기초콘크리트가 불필요하기 때문 에 공기가 짧음 ◦ 격자틀내 녹화가 가능	◦ 품질관리에 충분한 주의를 요 함 ◦ 비탈면 침하에 대한 추정이 어 려움 ◦ 공사비가 높음 ◦ 프리캐스트격자틀공에 비해 경 관이 나쁨	-	○
콘크리트붙임공	콘크리트를 붙여 표면수의 침투와 표층풍화, 붕괴를 방지	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◦ 표층붕괴에 대해 역지효과가 높음 ◦ 급경사 비탈면에서도 적용가능	◦ 비탈면의 정형(整形)이 필요 ◦ 침투수의 배제가 곤란 ◦ 비탈면 침하에 대한 추정이 어 려움 ◦ 공사비가 높음 ◦ 경관이 나쁨	-	○
모르타르뿔어붙이기공 콘크리트뿔어붙이기공	뿔어붙이기에 의 해 표면수 침입 및 풍화방지	◎	◎	◎	-	◎	◎	-	◦ 요철이 있는 비탈면에서도 시공가능 ◦ 적용 경사에 제한이 없음 ◦ 공기가 짧음 ◦ 공사비가 저렴	◦ 침투수의 배제가 곤란 ◦ 비탈면 전체에 대한 밀착이 곤 란 ◦ 내구성이 나쁨, 특히 동해에 약 함 ◦ 경관이 나쁨	-	○
편책공	식생이 무성할때 까지 표층토의 유실방지	○	-	-	-	◎	-	-	◦ 시공성이 좋음 ◦ 공기가 짧음 ◦ 공사비가 저렴	◦ 내구성이 나쁨(보조공법으로서 적용)	○	○

## 6.4 격자틀공의 설계

비탈면 보호공의 설계방법은 현재 표준화된 것이 없으며, 과거의 실시 예(例)와 표준도 등을 참고로 하여 각각의 경우에 대해 비탈면 보호공의 설계가 이루어지는 것이 현실이다. 여기서는 설계참고를 위해 격자틀공(프리캐스트격자틀공, 뿔어붙이기격자틀공, 현장타설 격자틀공) 설계 시 검토사항 「일본철도종합기술연구원, 1992」을 제시하였다.

### 6.4.1 프리캐스트격자틀공

#### (1) 기본사항

- ① 토압에 대한 저항은 무시한다.
- ② 원칙적으로 비탈면 길이가 10m 이하가 되도록 설계하고, 그 이상이 될 경우에는 소단 등을 설치하여 상부응력이 하부로 전달되지 않도록 한다.
- ③ 틀의 접점은 상부의 하중을 확실하게 하부로 전달하는 구조이어야 한다.
- ④ 기초콘크리트는 상부응력에 충분히 대응하는 구조이어야 한다.

#### (2) 횡틀검토

- ① 설계하중은 횡틀과 격자틀 내의 방호재(防護材)(이하 ‘방호재’)의 자중이다.
- ② 횡틀에 작용하는 하중은 설계하중의 비탈면 방향 분력이며, 등분포로 작용한다.
- ③ 원지반과 방호재, 그리고 횡틀간에는 마찰을 고려해야 한다.
- ④ 설계된 하중조건에 대해 횡틀의 휨응력, 전단응력을 산출하고 이것이 허용응력 이내 인지 검토한다.

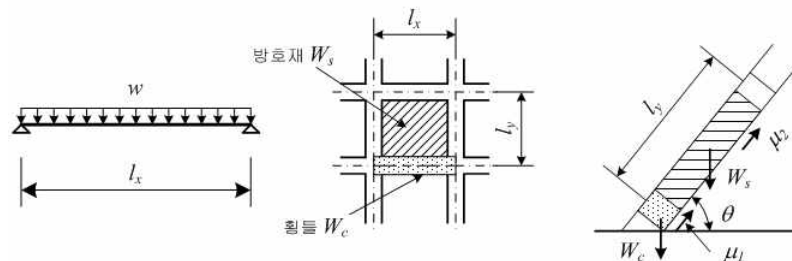


그림 20. 횡틀의 검토

표 12. 마찰계수  $\mu$  「일본철도종합기술연구원, 1992」

구분		현장타설인 경우	현장타설이 아닌 경우
흙과 콘크리트	실트없는 조립토	$\tan\phi$	0.55
	실트를 포함한 조립토		0.45
	실트		0.35
옥돌(玉石)과 콘크리트		0.5	0.5
할석(割石)과 콘크리트		0.6	0.6
암(岩)과 콘크리트		0.6	0.6





- ⑤ 횡틀에 작용하는 응력이 허용응력보다 크면 필요한 철근량을 계산, 배근하고 응력 검토를 다시 수행한다.

$$w = \frac{W_c(\sin\theta - \mu_1\cos\theta) + W_s(\sin\theta - \mu_2\cos\theta)}{I_x} \quad (7)$$

여기서,  $w$  : 횡틀에 작용하는 하중  
 $W_c$  : 횡틀의 중량  
 $W_s$  : 방호재의 중량  
 $\theta$  : 비탈면의 경사각(도)  
 $\mu_1, \mu_2$  : 원지반과 횡틀, 방호재간의 마찰계수  
 $I_x$  : 횡틀의 경간길이

$$M = \frac{w \cdot I_x^2}{8}, \quad S = \frac{w \cdot I_x}{2} \quad (8)$$

여기서,  $M$  : 횡틀이 받는 최대휨모멘트  
 $S$  : 횡틀이 받는 전단력

$$\sigma_t = \frac{M}{I} \cdot y_t, \quad \tau = \frac{S}{A} \quad (9)$$

여기서,  $\sigma_t$  : 횡틀의 휨응력  
 $I$  : 횡틀의 단면2차모멘트  
 $y_t$  : 횡틀단면의 중립축에서 연변까지 거리  
 $\tau$  : 횡틀의 전단응력  
 $A$  : 횡틀의 부재단면적

### (3) 최하단의 종틀검토

- ① 설계하중은 횡틀, 종틀 및 방호재의 자중이다.
- ② 작용하중은 설계하중의 비탈면방향 분력이다.
- ③ 원지반과 방호재, 그리고 횡틀간에는 마찰을 고려해야 한다.
- ④ 설계된 하중조건에 대해 종틀 하단부 축방향하중을 산출하고, 이것이 허용축방향하중 이내인지 검토한다.
- ⑤ 축방향하중이 허용축방향하중보다 크게 되면, 필요철근량을 계산, 배근하고 검토한다.
- ⑥ 비탈면의 길이가 10m 이하이고, 응력계산결과 만족되는 횡틀단면은 동일단면을 가진 종틀에서도 통상 충분한 내력을 가지기 때문에 응력검토를 생략해도 좋다.

$$R = R_c(\sin\theta - \mu_1\cos\theta) + R_s(\sin\theta - \mu_2\cos\theta) \quad (10)$$

여기서,  $R$  : 최하단 종틀에 작용하는 하중  
 $R_c$  : 격자틀의 중량

$R_s$  : 방호재의 중량

$\theta$  : 비탈면의 경사각(도)

$\mu_1, \mu_2$  : 원지반과 횡틀, 방호재간의 마찰계수

또한, 허용축방향하중은 다음과 같다.

$$P_o = \frac{0.85\sigma_{ck} \cdot A_c + \sigma_{sy}' \cdot A_s}{3} \quad (11)$$

여기서,  $P_o$  : 허용축방향하중

$\sigma_{ck}$  : 콘크리트 설계기준강도

$A_c$  : 콘크리트 단면적

$\sigma_{sy}'$  : 축방향철근의 압축항복응력

$A_s$  : 축방향철근의 전단면적

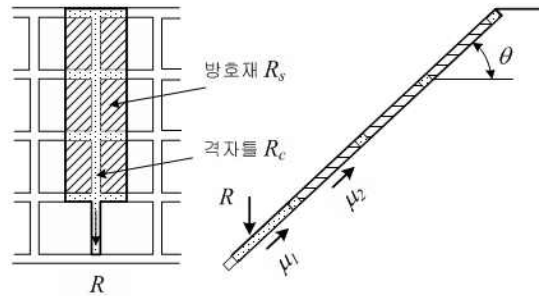


그림 21. 종틀의 검토

#### 6.4.2 뽐어붙이기격자틀공

##### (1) 기본사항

- ① 비탈면의 경사가 1 : 1.0보다 완만하고, 비탈면의 길이가 10m 이하인 개소에서는 일반적으로 토압이 작용하지 않는 것으로 보아 프리캐스트격자틀공과 동일한 방식으로 검토한다.
- ② 상기 이외의 경우에는 토압이 작용할 우려가 높기 때문에 반드시 토압을 고려한 설계계산을 수행한다.
- ③ 기초콘크리트는 상부응력에 충분히 대응하는 구조이어야 한다.

##### (2) 횡틀검토

- ① 횡틀검토는 프리캐스트격자틀공과 동일하다. 다만, 원지반과 횡틀, 그리고 방호재간의 마찰은 무시한다.
- ② 다음 「다.항의 ㉠」에 제시한 토압을 고려하여 종틀검토를 수행하는 경우에는 종틀과 동일한 단면의 경우 종틀강도를 만족하면 횡틀강도도 만족하기 때문에 횡틀강도검토는 생략해도 좋다. 다만, 틀경간(span)이 아주 큰 경우에는 횡틀검토를 수행토록 한다.



### (3) 종틀검토

- ① 종틀검토는 프리캐스트격자틀공과 동일하다. 다만, 원지반과 종틀, 그리고 방호재간의 마찰은 무시한다.
- ② 비탈면의 경사가 1 : 1.0보다 완만하고, 비탈면의 길이가 10m 이하인 개소 이외에는 「㉠항」에 추가하여 비탈면 표층부의 붕괴를 가정하여 토압을 고려한 검토를 수행한다.
  - 비탈면 어깨에서 붕괴를 고려하는 경우
    - 설계하중은 붕괴 가정된 비탈면의 활동면 토체, 방호재, 종틀과 횡틀의 자중이다.
    - 종틀에 작용하는 하중은 설계하중의 활동면 방향 분력에 필요로 하는 안전율 증가분(현재의 안전율과 계획안전율과의 차이)을 곱한 것이다.
    - 작용하중은 활동면 방향에 집중하중으로 작용하며, 작용위치는 토체길이의 1/3이다.
    - 종틀에 수직으로 작용하는 분력에 대해 종틀과 활동면과의 교차점을 고정점으로 한 것을 응력검토 한다.

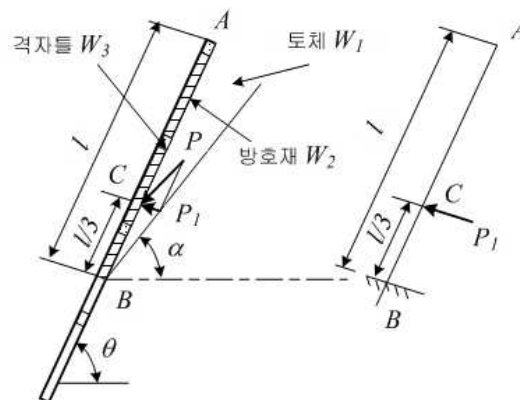


그림 22. 비탈면 어깨에서 붕괴를 고려하는 경우의 작용하중

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad (12)$$

$$P = \Delta F_s \cdot W \cdot \sin \alpha \quad (13)$$

$$P_1 = P \cdot \sin(\theta - \alpha) \quad (14)$$

여기서,  $W$  : 설계하중(kN)

$W_1$  : 가정된 활동면 토체의 1경간 당 중량(kN)

$W_2$  : 방호재의 1경간 당 중량(kN)

$W_3$  : 격자틀의 1경간 당 중량(kN)

$P$  : 종틀에 작용하는 하중(kN)

$\Delta F_s$  : 안전율 증가분

- $\alpha$  : 가정된 활동선의 경사각(도)  
 $P_1$  : 종틀에 수직으로 작용하는 분력(kN)  
 $\theta$  : 비탈면의 경사각(도)

$$M = \frac{P_1 \cdot l}{3} \quad (15)$$

여기서,  $M$  : 최대휨모멘트(kN·m)

$l$  : 비탈어깨에서 종틀과 활동선과의 교점까지 거리(m)

- 비탈면 중간에서 붕괴를 고려하는 경우

- 설계하중은 가정된 붕괴비탈면의 활동면 토체와 방호재로 한다.
- 종틀에 작용하는 하중은 설계하중의 활동면 방향 분력에 필요로 하는 안전율 증가분(현재의 안전율과 계획안전율과의 차이)을 곱한 것이다.
- 작용하중은 종틀과 활동면과의 교점에서 활동면 방향으로 작용하는 하중이다.
- 종틀에 수직으로 작용하는 분력에 대해 격자틀의 일부를 단순보로 보고, 작용분력을 경간중앙에서 최대, 교점에서 최소("0")가 되는 삼각형분포하중으로 치환하여 응력검토를 수행한다.

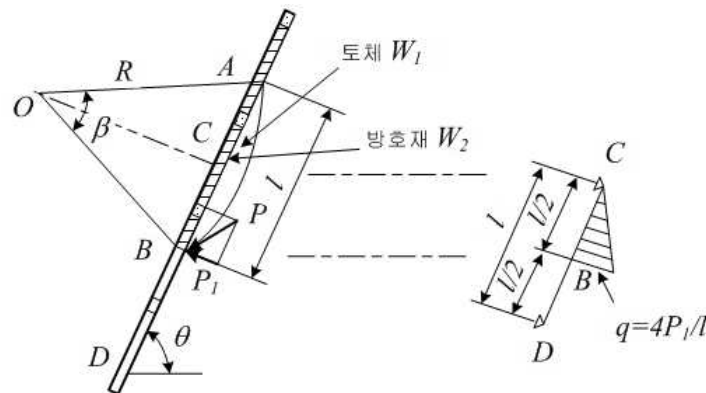


그림 23. 비탈면 중간에서 붕괴를 고려하는 경우의 작용하중

$$W = W_1 + W_2 \quad (16)$$

$$P = \Delta F_s \cdot W \cdot \sin \theta \quad (17)$$

$$P_1 = P \cdot \cos \frac{180 - \beta}{2} \quad (18)$$

여기서,  $W$  : 설계하중(kN)

$W_1$  : 가정된 활동면 토체의 1경간 당 중량(kN)

$W_2$  : 방호재의 1경간 당 중량(kN)

$P$  : 종틀에 작용하는 하중(kN)



$\Delta F_s$  : 안전율 증가분

$\beta$  : 가정된 활동원의 중심각(도)

$P_1$  : 종틀에 수직으로 작용하는 분력(kN)

$\theta$  : 비탈면의 경사각(도)

$$M = \frac{q}{9} \cdot \frac{l}{6} \quad (19)$$

여기서,  $M$  : 최대휨모멘트(kN · m)

$l$  : 삼각형 분포하중의 최대치(kN)

#### 6.4.3 현장타설격자틀공

- (1) 격자틀을 설계하는데 있어 원칙적으로 설계계산을 수행한다.
- (2) 설계계산은 뿔어붙이기격자틀공에 준하되, 비탈면 경사가 급할 경우에는 용벽에 준하는 계산을 수행하는 경우도 있다.

### 7. 토사 비탈면 계측

- (1) 기존의 흩쌓기 또는 땅깍기 철도 비탈면의 대부분 준공된 지 상당한 시일의 경과로 인해 노후화 되어 있는 실정이며, 물류 수송량의 증대로 철도는 점점 고속화, 고밀화, 대형화, 중량화되고 있는 추세이기 때문에 열차 운행상의 안전성 및 신뢰성의 확보가 그 어느 때보다도 중요하다.
- (2) 근래 다발하는 경향을 보이고 있는 이상기후, 그리고 이로 인한 홍수, 지진 등으로 흩쌓기 또는 땅깍기 비탈면 재해를 미연에 예·검지하여 조치할 수 있는 비탈면 상시계측시스템 구축이 요구된다.
- (3) 상시계측시스템의 계측센서 및 장비는 그 특성과 용도에 맞게 설치할 수 있는 기준이 제시되어야 하며 주요 계측장비의 설치기준은 <표 13>에 제시하였다.

구분	계측장비	계측기 설치기준
비탈면 및 토공시설물	지표침하계	<ul style="list-style-type: none"> <li>연약지반 흠쌓기 시 흠쌓기 단면의 중앙에 설치</li> </ul>
	층별 침하계	<ul style="list-style-type: none"> <li>지층별 부등침하가 예상되는 지점</li> <li>장기적 관측이 가능한 노반 가장자리</li> <li>높은 흠쌓기로 상재하중이 많이 작용하는 지점</li> <li>하부 연약지반의 심도가 깊은 지점</li> </ul>
	경사계	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평변위가 중요한 흠쌓기 선단부</li> <li>수평변위가 클 것으로 예상되는 흠쌓기 가장자리</li> </ul>
	지표변위계	<ul style="list-style-type: none"> <li>인장균열, 단차의 변위를 측정 (지표면 신축계)</li> <li>암반비탈면의 붕괴형태에 따른 계측에 적합</li> </ul>
	간극수압계	<ul style="list-style-type: none"> <li>층별침하계와 인접한 위치</li> <li>층별침하계와 측정대상층과 같은 표고에 설치</li> </ul>
	지하수위계	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수위의 변화에 대한 검토가 필요한 지점</li> <li>간극수압계와 인접한 위치에 설치하여 과잉간극수압 검토</li> </ul>
	측방변위 말뚝	<ul style="list-style-type: none"> <li>흠쌓기 높이가 높아 측방변위 발생이 예상되는 지점</li> <li>흠쌓기 끝에서 약 20~30m 범위</li> </ul>
낙석발생 예상지역	CCTV 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙석발생 유무를 화상으로 직접 인식</li> <li>대상지역 전체를 관찰할 수 있는 대표지점에 설치</li> <li>여러 개소의 동시계측 지원</li> </ul>
	레이저거리 측정기	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치위치와 측정지점 간 장애물이 없는 지역에 설치</li> <li>팬틸트의 지원을 통한 다양한 지점의 측정 가능</li> <li>카메라의 측정위치와 동일한 각도로 설치</li> </ul>
	적외선 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>선로 방향과 평행하게 낙석발생 예상지점에 직접설치</li> </ul>
	와이어 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙석 발생으로 인한 선로의 직접적 피해유무 판단</li> </ul>

- (4) 계측관리의 기준을 설정할 때에는 지질조건, 비탈면의 크기 및 형상, 주변구조물의 환경조건 등에 따라 차별적으로 설정한다. 계측관리기준의 설정방법은 절대치 관리기준의 설정방법과 예측치 관리기준의 설정방법으로 나누어진다. 절대치 관리기준의 설정은 시공전 설정된 관리기준치와 실측치를 비교, 검토하는 것으로 시공시의 안정성 확보에 목적이 있으며, 예측치 관리기준의 설정은 시공 후의 예측치와 관리기준치를 비교, 검토하여 비탈면 유지관리에 활용하는 것이 목적이다.



## 해설 4. 암반 비탈면

### 1. 일반

- (1) 암반 비탈면은 비탈면내에 존재하는 불연속면에 따라 그 파괴형태가 결정되므로 비탈면 안정해석을 위해서는 주로 지표지질조사로 비탈면 건설대상지점에서 발달하고 있는 불연속면의 방향과 경사를 측정한 다음 평사투영망을 이용한 도해적인 방법으로 파괴발생여부를 판단하고 한계평형식으로 안전율을 산정하여 비탈면의 안정성을 평가한다.
- (2) 암반 비탈면은 단층, 절리 등의 불연속면을 가지며 풍화, 변질 등에 의한 취약한 부분이 있기 때문에 물성치의 변화폭도 크고 붕괴 메카니즘(Mechanism)이 복잡하고 다양하다.
- (3) 보다 적절한 설계를 위하여 지반조사와 시험 등 충분한 지반조사를 수행하여 대상 비탈면의 지반특성을 파악하여 합리적이고 경제적인 비탈면설계가 이루어 져야한다.
- (4) 비탈면의 계획 및 설계를 하는 경우에는 지형, 지질, 기상 등의 넓은 시야에서의 검토가 필요하다. 산사태지역, 단층파쇄대 등의 문제가 있는 장소에 비탈면을 계획하는 것은 피해야하며, 부득이한 경우는 대책을 마련하여야 한다.
- (5) 비탈면의 방향, 경사, 높이, 길이를 결정하는 데 지질, 기상조건은 물론 지하수위의 상태, 시공법과의 관계도 고려하며 각종 기준을 참고로 결정하여야 한다.
- (6) 비탈면의 계획과 설계는 비탈면의 시공 중, 준공 후의 유지, 관리 까지 고려하여야 한다.
- (7) 비탈면 설계시 안정성을 확보하는 문제와 함께 시공비의 절감과 환경적인 측면도 고려해야 한다.

### 2. 암반 비탈면 붕괴형태

- (1) 암반 비탈면은 토사비탈면과 달리 그 파괴형태가 다양하며, 비탈면 내에 발달되어 있는 불연속면의 분포형태에 따라 파괴형태가 다르다.
- (2) 파괴형태는 원호파괴, 평면파괴, 켜기파괴, 전도파괴가 있을 수 있다. 이 들 파괴 유형에 대한 암반비탈면의 안정성 검토는 암석의 강도에 의한 것보다는 절리의 방향, 절리의 간격, 절리면의 투수, 절리군의 수 및 암괴의 크기 등 불연속면의 발달 상태를 조사하여 판단하여야 하는데 이 들 절리의 특성 중 절리의 방향과 절리면의 전단 각이 암반비탈면의 안정성에 중요한 영향을 미치고 있다.
- (3) 비탈면의 방향이 단층, 절리, 층리의 방향으로 직교되도록 계획, 설계하는 것이 바람직하고 평행에 가까운 경우는 매우 위험하다.
- (4) 암반비탈면에서 파괴가 일어나는 경우는 다음과 같다.

### ① 원호파괴 (Circular Failure)

<그림 24>에 표시한 바와 같이 비탈면이 원호에 따라 붕괴를 하는 현상이다. 이 활동 붕괴는 일반적으로 슬레이킹 등에 의한 이암과 같이 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 일어난다.

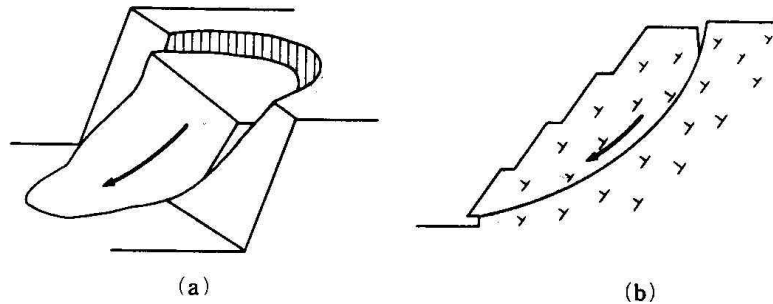


그림 24. 원호파괴

### ② 평면파괴 (Planar Failure)

<그림 25 (a)> 에서와 같이 평면파괴는 절리, 층리, 편리 등의 연속적인 구조적 취약면, 단층과 같은 큰 지질적 불연속면에 따라 붕괴되는 현상이다. 특히 불연속면의 위치, 방향, 경사 등이 비탈면의 형상에 대해서 부적당한 경우에 붕괴가 발생하고, 활동 (sliding)의 경우에는 평면활동 붕괴만의 단일 형태로 붕괴되는 경우가 많다. 또한 <25(b)>와 같이 비탈면상이나 비탈면정상 배후에 있어서 발생하는 수직인 인장균열은 이 붕괴를 더욱 조장한다.

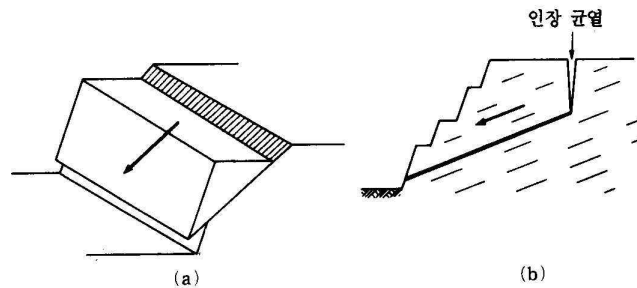


그림 25. 평면파괴

### ③ 썰기파괴 (Wedge Failure)

<그림 26(a)>에서와 같이 두 가지의 불연속면이 교차되고 다시 이 교선이 비탈면에 따라 끊기고 있는 경우에 이 두 가지의 불연속면으로 둘러싸인 암반이 전단활동 붕괴를 일으키는 현상이다. 또한 <그림 26(b)>는 불연속면이 다수 발달하여 복수의 썰기 활동붕괴가 연속되는 경우를 표시한다. 이와 같은 썰기활동 붕괴는 암반비탈면에서 비교적 많이 볼 수 있는 형태이다.



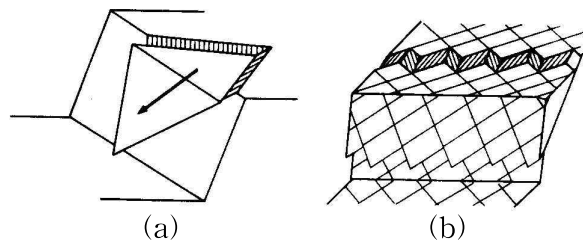


그림 26. 썪기 파괴

#### ④ 전도파괴 (toppling failure)

암반에 있어서 절리의 경사가 급하고, 더구나 경질의 판상 또는 주상의 암반의 경우, 절리에 따라 분리되고 암반이 <그림 27>의 (a) 및 (b)와 같이 중력에 따라 비탈면 측에 처짐, 인장 파괴를 일으켜, 파괴 개소 위쪽 암석이 붕괴되는 현상이다. 또한 <그림 27(c)>와 같이 층리의 경사가 수평이라도, 암반이 오버행(Overhang)상태에 있는 경우에는 이 오버행 부분이 하나의 큰 블록이 되어 붕괴되는 수가 있으나 이 붕괴현상도 전도파괴에 속한다.

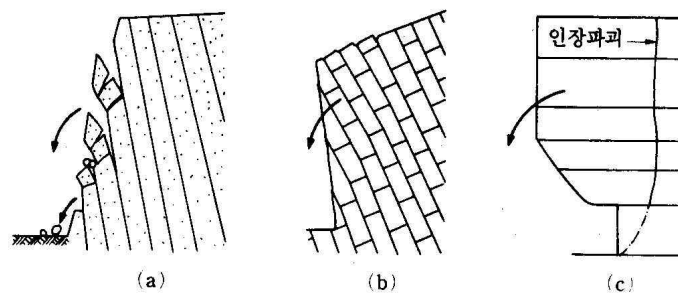


그림 27. 전도 파괴

### 3. 암반 비탈면 설계흐름

- (1) 암반 비탈면을 설계할 때 가장 중요한 것은 안정성이다. 비탈면의 안정성에는 파괴에 대한 안정성과 변형에 대한 안정성이 있다.
- (2) 철도비탈면에 있어서 변형은 중요한 문제가 아니므로 파괴에 대한 안정성에 초점을 맞추어야 한다. 비탈면의 안정성 또는 파괴를 정확히 예측한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 그것은 복잡한 지질구조와 그 역학적 특성을 파악하기 위해서는 다량의 정보를 획득해야하기 때문이다. 심한 지각작용을 받은 지역에서의 비탈면인 경우에는 더욱 그렇다.
- (3) 다양한 도구를 동원한 지질조사와 분석을 통해서 지반의 특성을 파악하고 이를 바탕으로 비탈면의 설계와 안정성 해석을 실시한다면 안정성에 대한 판단 오차를 최소화할 수 있다.

(4) 설계과정은 다음과 같이 크게 세 단계로 구분된다.

① 1단계: 지반조사

대상 지역과 관련된 지형도와 지질도 등 기존자료를 이용하여 광역적인 예비 지질조사를 실시한다. 여기에는 항공사진 조사도 포함된다. 이와 함께 현장조사와 실험실 시험을 실시하여 지층의 구조역학적 특성을 파악한다. 현장조사에는 지표지질조사와 시추공조사가 있으며, 실험실 시험은 암반물성 및 역학시험으로 구분된다. 이러한 조사를 통하여 입수 가능한 모든 자료를 정리 분석하여 지층구조를 파악하고 그 역학적 특성을 실제에 가깝게 정의할 수 있도록 노력한다. 이에 덧붙여서 비탈면의 강도에 중대한 영향을 미치는 지하수위의 변화도 면밀히 관찰해야 한다.

② 2단계: 예비 비탈면 설계

지반조사를 통하여 작성된 지층단면도를 이용하여 기본비탈면을 설계한다. 예비비탈면은 용도에 맞게 사전에 설정된 기준에 따라 설계하는 비탈면으로서 안정성 해석을 위한 예비비탈면이다. 이 때 비탈면은 대상 구간 중에서 안정성이 가장 취약하다고 판단되는 단면을 선정한다. 비탈면기울기는 지층 종류에 따라 결정하는 것이 원칙이나 경제성과 시공성 그리고 환경적인 영향 등도 고려되어야 한다.

③ 3단계: 안정성 해석

전산해석 프로그램을 이용하여 기본비탈면에 대한 안정성을 분석한다. 이 때 건기와 우기시의 지하수 조건에 따른 해석을 동시에 수행한다. 해석 결과 안정성이 확인되면 기본비탈면의 기울기가 그대로 설계에 적용되나 그렇지 못한 경우에는 적절한 보강대책을 수립하여 불안정성을 가져오는 요인을 제거한다. 보강대책을 적용하여 새로 설계된 비탈면에 대하여 다시 해석을 실시하여 안정성 여부를 분석한다. 충분한 안정성이 확인될 때까지 이러한 과정을 반복하여 최종 설계도면을 완성한다.

## 4. 암반 비탈면의 기준 및 안정해석

### 4.1 암반 비탈면의 기울기 및 안전율 기준

#### 4.1.1 암반 비탈면의 기울기 기준

- (1) 암반 비탈면을 설계할 때 가장 중요한 요소는 비탈면 기울기의 결정이다. 비탈면 기울기는 지층을 구성하고 있는 재료의 강도와 암반의 균열상태 그리고 지하수조건에 따라 좌우된다. 특히 풍화암은 절취에 따른 하중 제거로 인해 쉽게 이완되며 지표에 노출되면서 풍화작용이 급속히 진행되어 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 점차적으로 불안정하게 변화되는 경우가 많기 때문에 비탈면 기울기를 결정할 때 이를 충분히 고려해야 한다.
- (2) 암반 비탈면의 기울기의 표준은 「KR C-04030 깎기」를 따른다. 이는 표준적인 것으



로 실제 기울기 결정시에는 절취지점의 지형적 위치, 주변의 지질, 지형, 기후 등을 고려하여야 하고 기존에 시공된 유사한 비탈면을 고려하여 조건에 타당한 기울기를 결정하여야 한다.

#### 4.1.2 암반 비탈면의 안전율 기준

- (1) 이론상으로는 산정된 안전율이 1보다 크면 안전한 것이지만 실제로는 허용안전율 이상이 되어야 안전한 것으로 판정한다.
- (2) 허용안전율의 역할은 강도정수의 불확실성, 하중의 불확실성, 파괴모델의 불확실성 등의 자료의 불확실성에 대한 대비와 사면변형을 허용치 이내로 제한하는 기능이 있다.
- (3) 허용안전율의 기준결정시에는 전단강도측정, 비탈면의 기하학적 조건 및 기타 조건에 대한 불확실정도, 비탈면의 기울기를 완화시키거나 높이를 감소시키는 데 소요되는 비용, 비탈면 붕괴시 재산 및 인명의 피해액의 정도, 비탈면이 영구 구조물인가 일시 구조물인가 등을 고려하여야 한다.
- (4) 비탈면안정에 대한 안전율은 「KR C-04020 쌓기 및 KR C-04030 깎기」을 따른다.

#### 4.2 평사투영법에 의한 비탈면의 안정성해석

##### (1) 평사투영법의 기본사항

- ① 평사투영법은 불연속면의 주향과 경사 및 내부마찰각, 비탈면의 주향과 경사 등을 이용하여 암반비탈면의 안정성을 개략적으로 신속히 판단하는 방법이다
- ② 안정성분석을 한 후, 불안정한 것으로 판단된 비탈면은 한계평형식을 이용하여 안정성을 분석한다.
- ③ 암반 비탈면의 기울기 결정, 파괴현상의 예측 및 원인규명, 파괴가 발생한 암반비탈면의 개략적인 기울기 조정, 정밀분석이 어려운 소규모 비탈면의 안정성 분석 등에 이용하기 편리하다.
- ④ 불연속면들의 경사각도는 지표지질조사에서 노두를 통해 파악한 불연속면과 시추코아, 시추공 영상촬영결과와 비교하여 불연속면의 경사방향을 대략적으로 추정할 수 있다.
- ⑤ 불연속면에 대한 마찰각 산정을 위한 직접전단시험 시 주의할 사항은 같은 불연속면이라도 좌우 방향으로 불연속면의 차이가 클 수 있으므로 실제로 암괴가 활동하는 방향으로 시험을 하여야 한다.

##### (2) 평사투영도 해석순서

- ① 한 노두지역에서도 불연속면의 방향이 국부적으로 변하면 그 변화하는 지역을 몇 개의 구역으로 나누어서 따로따로 부분적인 암반비탈면의 안정해석을 수행한다.
- ② 현장답사를 다시 하여 암반의 형태나 불연속면의 마찰각에 영향을 주는 요소 즉, 불연속면의 지하수 유동, 연결성, 틈새, 충전 물질, 굴곡도, 나무뿌리 등을 재확인하여 최종적으로 안정성을 재점검한다.

- ③ 그 후에 위험 암반만 모식적으로 그림을 그려보고 수치분석을 위하여 안전율을 계산한 후 현장 작업조건에 맞는 비탈면 안정대책을 강구한다.
- (3) 불연속면의 경사 및 방향성측정주향과 경사를 측정하기 위해 클리노메타(Clinometer)나 브란트 컴파스(Bruntoncompass) 또는 클리노컴파스(Clinocompass)를 사용하며, 방향성 측정방법과 표시방법은 <그림 28>, <그림 29>와 같다.

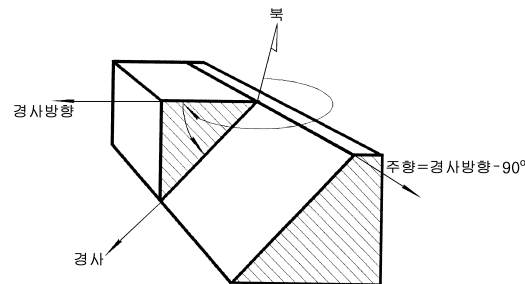


그림 28. 불연속면의 방향성 정의

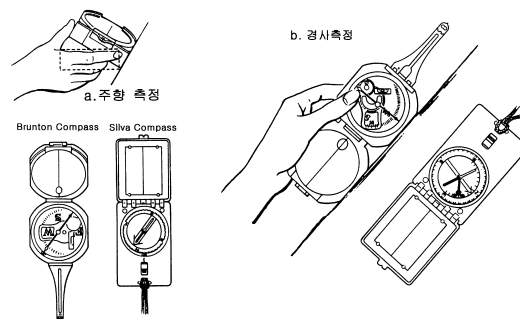


그림 29. 불연속면의 주향과 경사측정

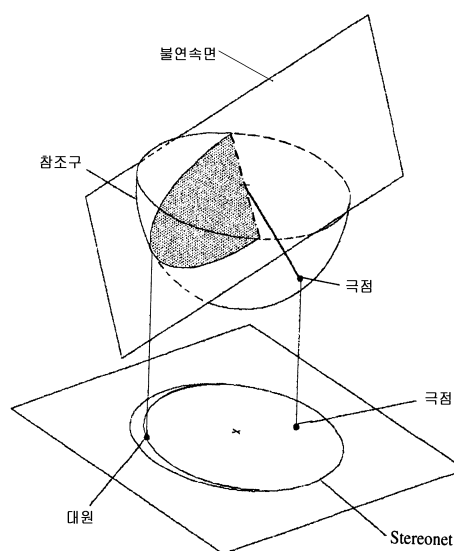


그림 30. 평사투영에 의한 방향성 표시



#### (4) 파괴형태별 평사투영망

암반 비탈면의 4가지 파괴형태 유형과 이들 파괴를 일으키기 쉬운 지질조건들의 평사투영관계는 다음 <그림 31>과 같다.

- ① 일정방향의 구조가 없는 균열이 심한 파쇄암에서 발생한 원호파괴
- ② 점판암과 같이 층리가 발달된 암반에서 발생한 평면파괴
- ③ 두 불연속면 접촉부에서의 쉼기파괴
- ④ 경사가 급한 불연속면에 의하여 분리된 기둥구조가 발달한 암반에서의 전도파괴

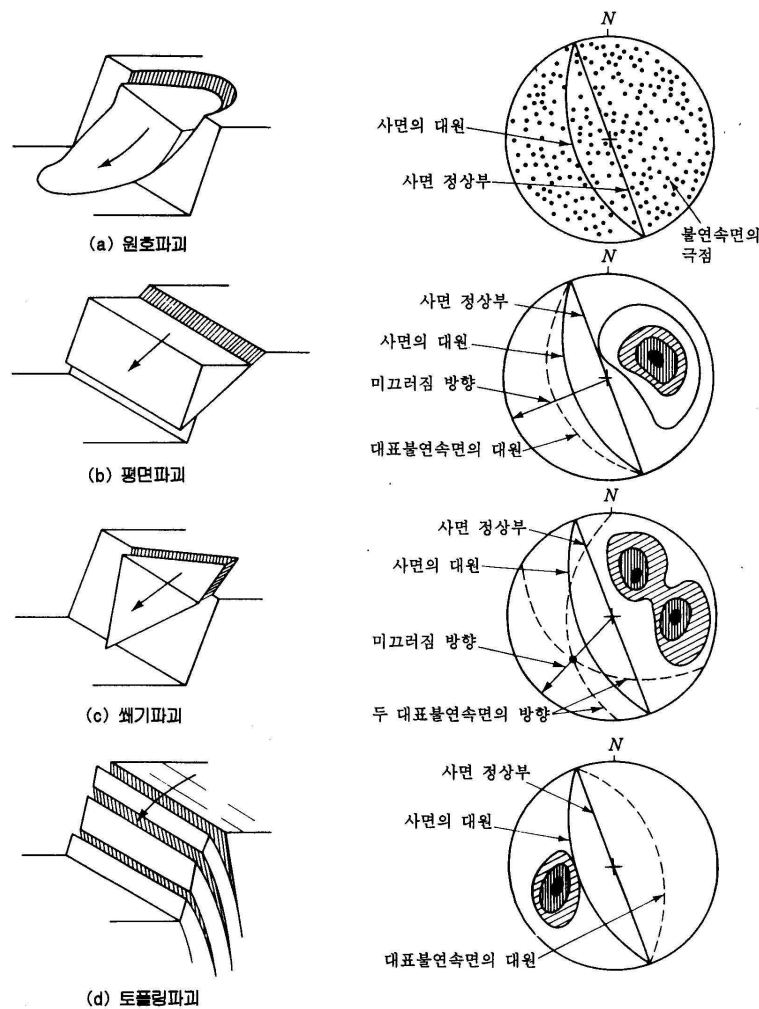


그림 31. 암반비탈면 파괴의 주요유형과 평사투영도

### 4.3 한계평형해석에 의한 암반비탈면 안정성해석

#### 4.3.1 기본사항

- (1) 현장 노두암반에 대한 지표지질조사, 시추조사 결과의 암반 불연속면을 고려하여 1차적으로 평사투영법에 의하여 암반비탈면에서의 개략적인 안정성 평가를 실시한 후 위험하다고 판단된 잠재적인 파괴가능성을 가지고 있는 불연속면에 대해서는 한계평형식을 이용하여 안전율을 계산한다.

- (2) 비탈면파괴는 불연속면으로 구성된 암반블록이 중력이나 기타 외력에 의하여 평형상태를 유지하지 못하여 발생한다. 즉, 암반의 활동력이 저항력보다 커지면 유동이 시작된다.
- (3) 한계평형식은 미끄러짐을 유발시키는 힘이 저항하는 힘과 정확히 균형을 이루는 조건을 말하며 비탈면의 안정성을 나타내기 위해서는 안전율을 사용하는 데, 이는 미끄러짐을 유발하는 합력에 대한 미끄러짐에 저항하는 합력의 비로 정의된다.
- (4) 한계평형법은 암반블록의 자중, 절리면의 마찰각, 점착력 및 암반 간극수압을 고려하여 가능한 활동 파괴면을 따라 미끄러짐을 유발시키는 힘에 대한 미끄러짐에 저항하는 힘의 비를 비탈면안정계수( $F_s$ )로 정의한다.

#### 4.3.2 원호파괴에 대한 해석

- (1) 암반내 불연속면이 여러방향으로 발달하여 특별히 우세한 방향성이 존재하지 않거나 심하게 풍화가 진행되었거나 파쇄가 심한 암반의 경우 토층사면과 같이 원호파괴가 발생하게 된다. 이러한 비탈면의 안정해석은 토층과 같은 방법으로 해석이 가능하다. 원호파괴에 대한 계산식은 다음 <식 (20)>과 같다.

$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}} \quad (20)$$

$$T_{mb} = \frac{c}{F} + \frac{\sigma \tan \phi}{F}$$

여기서,  $T_{mb}$  : 파괴면을 따라 작용하는 전단응력

- (2) 해석을 위해서는 다음과 같은 가정을 한다.
  - ① 비탈면을 구성하는 지반은 균질하다.
  - ② 전단응력은  $T=c+\sigma \tan \phi$  관계식에 결정된다
  - ③ 비탈면 붕괴는 비탈면의 하단을 통과하는 원호파괴면을 따라 발생한다.
  - ④ 수직 인장균열은 비탈면의 상부면이나 경사면에서 발생한다.
  - ⑤ 인장균열과 파괴면은 주어진 비탈면의 기하학적 형상과 지하수 조건에 대해 비탈면의 안전율이 최소가 되는 곳에 위치한다
  - ⑥ 해석시 지하수조건은 건조된 비탈면으로부터 완전 포화된 비탈면에 이르는 범위에 대해 고려한다.

#### 4.3.3 평면파괴에 대한 해석

- (1) 평면파괴의 해석은 인장균열이 있는 경우와 인장균열이 없는 경우로 나눌 수 있으며 인장균열이 있는 경우는 비탈면에 속하지 않는 윗쪽 부분에 인장균열이 있는 경우와 비탈면 내에 인장 균열이 있는 경우로 나눌 수 있다.
- (2) 파괴해석을 위해서는 다음과 같은 가정을 한다.
  - ① 활동면과 인장균열의 주향은 비탈면 방향에 평행하다.
  - ② 인장균열은 수직이고 인장균열 깊이( $Z_w$ )까지 물이 차 있다.



- ③ 물은 인장균열의 저부를 따라 활동면으로 들어가고 활동면을 따라 침윤한다.
  - ④ 활동암괴의 무게  $W$ , 활동면에서 수압에 의해 위로 작용하는 힘  $U$ , 인장균열에서의 수압  $V$ 는 활동체의 중심을 향하여 작용한다. 이 때 블록에서 회전에 의해 야기되는 모멘트는 없다고 가정하고 파괴는 단지 활동에 의해서만 발생한다.
  - ⑤ 활동면에서의 전단강도식은  $\tau = C + \sigma \tan \phi$  로 정의한다.
- (3) 비탈면안정계수  $F_s$  는 다음 <식 (21)>과 같다.(<그림 32>)

$$F_s = \frac{CA + (W \cdot \cos \phi_p - U - V \cdot \sin \phi_p) \tan \phi}{W \cdot \sin \phi_p + V \cdot \cos \phi_p} \quad (21)$$

여기서  $A : (H-Z) \cdot \operatorname{cosec} \phi_p$  (활동면의 면적)

$U : \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z_w (H-Z) \operatorname{cosec} \phi_p$  (수압에 의해 위로 작용하는 힘)

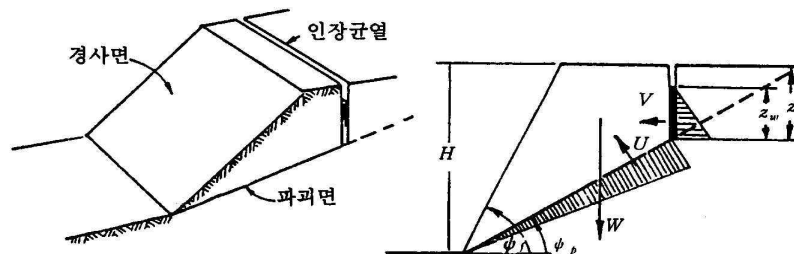
$V : \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z_w^2$  (인장균열내의 수압)

$W$ : 비탈면상부에 인장균열이 존재할 때 활동 암괴무게 ;

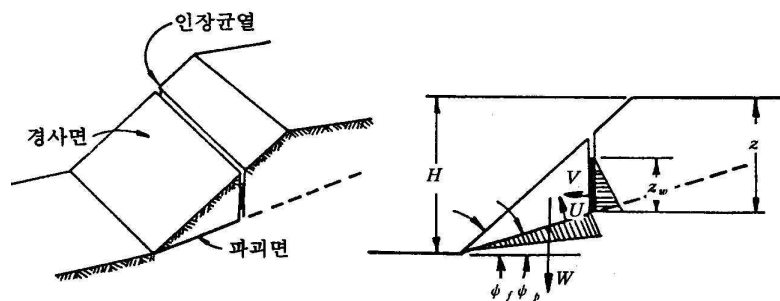
$$\frac{1}{2} \cdot \gamma H^2 \cdot \left[ \left( 1 - \left( \frac{Z}{H} \right)^2 \right) \cot \phi_p - \cot \phi_f \right]$$

비탈면내부에 인장균열이 존재할 때 sliding block 무게 ;

$$\frac{1}{2} \cdot \gamma H^2 \cdot \left[ \left( 1 - \left( \frac{Z}{H} \right)^2 \right) \cot \phi_p (\cot \phi_p \cdot \tan \phi_f - 1) \right]$$



(a) 사면 상부에 인장균열이 존재하는 경우



(b) 사면 내에 인장균열이 존재하는 경우

그림 32. 평면파괴의 안정성 평가

- (4) 지하수의 조건에 따른 평면파괴의 안전율에서 가장 간단한 형태가 비탈면이 완전히 건조되었다고 보는 것인데 이 때는 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 없다고 가정하여 U,V 를 0으로 하여 안전율을 계산하면 <식 (22)>와 같다.

$$F_S = \frac{CA}{W \cdot \sin \phi_p} + \cot \phi_p \cdot \tan \phi \quad (22)$$

- (5) 우기일 경우의 분석은 건조상태 후에 갑작스런 폭우가 내렸을 경우에 인장균열에만 수압이 증가하여 U만이 0이 되므로 안전율은 <식 (23)>와 같다.

$$F_S = \frac{CA - (W \cdot \cos \phi_p - V \cdot \sin \phi_p) \tan \phi}{W \cdot \sin \phi_p + V \cdot \cos \phi_p} \quad (23)$$

인장 균열면이 없고 활동면만이 존재하는 경우에는 인장균열면에서 작용하는 수압 V 만이 0이 되므로 안전율은 <식 (24)>와 같다.(<그림 33>)

$$F_S = \frac{CA - (W \cdot \cos \phi_p - U) \tan \phi}{W \cdot \sin \phi_p} \quad (24)$$

여기서  $U = \frac{1}{4} \gamma_w H_w^2 \operatorname{cosec} \phi_p$  이다.

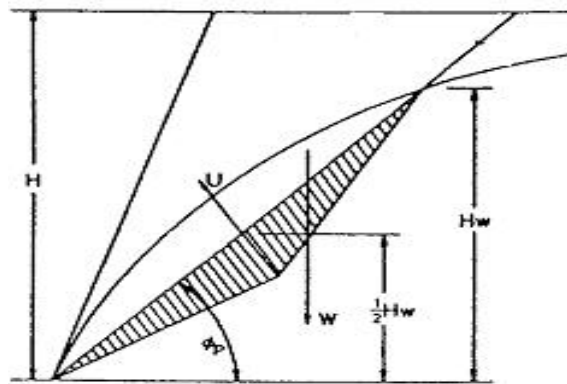


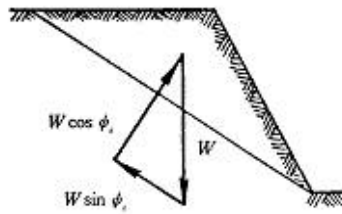
그림 33. 비탈면내 활동면만이 존재하는 경우의 수압분포

#### 4.3.4 켜기파괴에 대한 해석

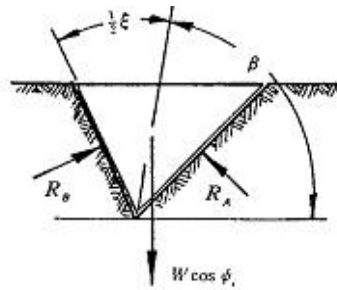
- (1) 켜기파괴는 마찰력에 의해서만 저항하고 마찰각은 양쪽면 모두에게 같다는 가정하에 서 안전율은 <식 (25)>와 같이 정의한다.(<그림 34>)

$$F_S = \frac{\sin \beta}{\sin \frac{1}{2}\xi} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \phi_i} \quad (25)$$





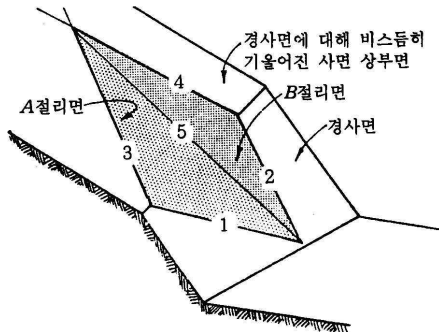
(a) 교선의 직각방향 모식도



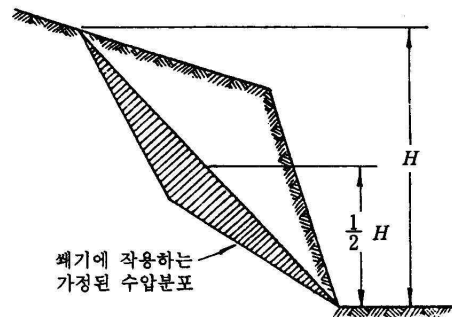
(b) 교선방향 모식도

그림 34. 켜기파괴의 안정성 평가

(2) 점착력과 수압을 고려한 켜기파괴는 블록의 상부표면 및 비탈면과의 교선을 <그림 35>와 같이 정의한다.



(a) 교선과 면의 번호가 나타나 있는 켜기의 모식도



(b) 교선 5의 직각방향에서 전체 켜기의 기하학적 형상

그림 35. 점착력과 수압을 고려한 켜기의 기하학적 형상

이 때는 상부평면과 하부평면이 평행이 아닌 경우 또는 상부평면과 비탈면의 주향이 같지 않은 경우도 고려의 대상이 된다. 이 때의 안전율은 <식 (26)>과 같다.

$$F_S = \frac{3}{\gamma H} (C_A X + C_B Y) + \left( A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} X \right) \tan \phi_A + \left( B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y \right) \tan \phi_B \quad (26)$$

여기서  $C_A$ ,  $C_B$  : A면, B면에서의 점착력

$\phi_A$ ,  $\phi_B$  : A면, B면에서의 마찰력

$\gamma$  : 암반의 단위 중량

$\gamma_w$  : 물의 단위 중량

$X$ ,  $Y$ ,  $A$ ,  $B$  : 켜기의 기하형상에 좌우되는 무차원 요소

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cdot \cos \theta_{2na}}$$

$$Y = \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cdot \cos \theta_{1nb}}$$

$$A = \frac{\cos \phi_a - \cos \phi_b \cdot \cos \theta_{nanb}}{\sin \phi_5 \cdot \sin^2 \theta_{nanb}}$$

$$B = \frac{\cos \phi_b - \cos \phi_a \cdot \cos \theta_{nanb}}{\sin \phi_5 \cdot \sin^2 \theta_{nanb}}$$

이 식들의 해를 구하는데 필요한 각도들은 썰기와 비탈면의 기하학적인 형상을 규정하는 자료들의 평사투영도로부터 구할 수 있다.(<그림 36>)

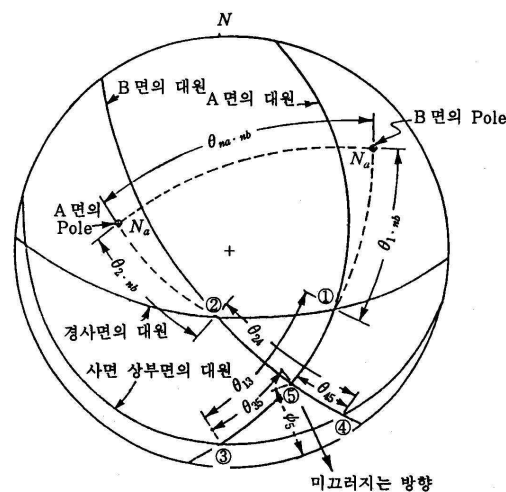


그림 36. 썰기의 안정성해석에 필요한 자료의 평사투영도

#### 4.3.5 전도파괴에 대한 해석

암반 내 발달된 불연속면의 주향이 절취면과 유사하고 경사방향이 절취면과 반대 이면서 경사각이 수직에 가까울 때 전도파괴가 발생된다. 전도파괴는 주로 수직절벽이나 수직에 가까운 절리나 층리의 암반에서 볼 수 있다. 전도파괴의 안전율은 암반층에 작용하고 있는 마찰각의 기울기를 지지력 T가 주어질 경우 평형상태를 유지하는 데 필요한 마찰각의 기울기로 나눈 값으로 정의된다.

#### 4.3.6 한계평형해석 시 유의사항

- (1) 초기의 비탈면 설계단계에서는 국부적인 암반의 안정성을 판단하기 보다는 전체적인 암반의 해석이 중요하므로 여러 단계의 조사에 의해 나온 결과를 가지고 대표적인 불연속면의 공학적인 특성을 고려하여 평사투영법을 시행한다.
- (2) 평사투영법에 의해 불안정한 것으로 판단된 비탈면은 한계평형식을 이용하여 안정성을 분석한다.
- (3) 토층이나 풍화암층에 대해서는 한계평형식에 의한 수치해석 프로그램을 사용하여 복합적으로 비탈면 기울기의 안정해석을 수행한다.



(4) 현재 사용되는 비탈면 기울기의 설계기준은 경험에 의한 일반적인 기울기로 암반의 지질 절리상태에 따라 과다 또는 과소한 경사가 될 수 있으므로 비탈면안정계산의 역해석작업을 통하여 경제적이고 합리적인 기울기를 결정해야 한다.

(5) 설계단계에서의 안정성검토의 한계성

평사투영법 및 극한 평형해석법에 해석의 중요요소인 절리면의 주향, 경사, 강도특성 등의 파악이 중요한데 설계단계에서 지표지질조사 및 시추조사로는 파악의 한계가 있으므로 시공 시 굴착면에 대한 응용지질도작성(Geological Face Mapping)을 수행하여 정밀한 안정검토를 시행하여 검토결과에 따라 비탈면의 기울기변경 및 보강방법을 강구되어야 한다.

#### 4.4 암반비탈면 안정성해석 시 유의사항

##### 4.4.1 해석방법 선정 시 유의사항

- (1) 토사층과 풍화암 및 RQD가 0에 가까운 파쇄암에 대해서는 비탈면파괴가 단일 불연속면에 의해 결정되지만 원호파괴의 경로를 따르게 되므로 토사층으로 간주하여 비탈면안정해석을 수행하고 연암이상의 암반에 대해서는 대표적인 불연속면의 공학적 특성을 고려하여 평사투영법을 이용하여 비탈면안정해석을 수행한다. 단층이나 맥암의 존재 등 불연속면이 비교적 크고 연속적일 때에는 이면에 따른 안정성을 한계평형해석으로 평가할 수 있다.
- (2) 활동파괴가 원호인 경우(파쇄가 심하게 발생한 암반의 경우)에는 Bishop 의 간편법을 이용하고, 비원호 비탈면파괴의 안정해석 시에는 Janbu의 절편법 또는 Spencer법을 적용하고 암반활동의 경우에는 수정 Janbu 법을 적용하는 것이 합리적이다.
- (3) 비탈면의 활동을 해석하는 방법은 유한요소법과 같은 수치해석을 이용하는 탄성 또는 탄소성해석과 파괴가 발생하는 경계면에서의 역학적 평형관계만을 해석하는 한계평형해석방법으로 대별된다. 그러나 유한요소법과 같은 수치해석은 실제로 사용하기에는 많은 어려움이 있고, 해석 시간이 많이 소요되므로 현장에서는 적용데이터가 일반적이고 해석이 용이한 한계평형해석 방법이 주로 사용된다. 왜냐하면 FEM해석에서는 원칙적으로 지반을 연속체로 간주하여 지층별 강도정수가 균질한 지반상태로 보고 해석을 하게 되므로 불연속면을 포함하는 이방성으로 띠는 암반 특히 절리면의 상태에 따른 암반파괴가 지배적인 암반비탈면 안정해석에서는 근본적인 한계가 따른다.

##### 4.4.2 지하수위 적용 시 유의사항

- (1) 지하수위는 해마다 변동하며 그에 따라 평형에 필요한 전단응력도 변하게 된다. 또한 가장 악조건은 비가 심하게 내리는 경우로 대부분의 파괴는 이 기간에 발생된다. 따라서 무한비탈면 안정해석 시에는 일반적으로 가장 악조건 즉 지하수위가 비탈면의 표면에 있는 경우를 가정하여 해석한다.

- (2) 풍화암 및  $RQD=0\%$ 에 가까운 파쇄암에 대한 비탈면 안정검토시 지하수위는 지표면에 위치한다는 가정아래 실시하여야 하며 검토결과 안전율이 1.3 이하인 경우에는 지하수위를 낮추어서 안전율을 재검토하여야 한다. 지하수위를 낮출 경우에도 안전율이 1.3 이상이 되는 경우에는 산마루측구 등의 배수시설을 완벽히 갖추어 강우 시 침투가 발생하지 않도록 조치하면 비탈면 기울기를 변경시키지 않아도 비탈면보강대책으로 적용가능하다.

#### 4.4.3 절취비탈면기울기 설정 시 유의사항

암반의 절취 비탈면 기울기 설정은 표준기울기에 따라 일률적으로 결정할 것이 아니라 암반의 파쇄정도를  $RQD$  와  $TCR$  등으로 파악하여 실제 암반역학적인 거동을 고려하는 암체개념으로 기울기를 설정하면 기울기가 암석강도에 근거한 기존방법에 비하여 완만하게 되어 안전한 법면이 형성된다.

#### 4.4.4 강도정수 산정 시 유의사항

- (1) 비탈면파괴는 최대응력(최대강도)이 작용하는 시점과 잔류응력(잔류강도)이 작용하는 시점사이에 발생한다. 따라서 파괴면에는 최대강도가 작용하지 않는다. 따라서 비탈면파괴가 일어났거나 비탈면파괴가 진행 중인 경우에는 파괴면에 잔류강도가 작용하므로 비탈면 안정해석 시 강도정수  $\phi$  값은 잔류마찰각( $\phi_r$ )을 사용하는 것이 바람직하다.
- (2) 암반 비탈면 안정해석 시 불연속면에서의 점착력은 항상 고려되지는 않는다. 즉, 일부분이 붙어있다고 가정하는 경우에만 그 존재가 인정되며 점착력을 고려하면 고려하지 않을 때보다 안전율이 100%이상 증가 할 수도 있으므로 신중하게 판단하여야 하며 활동면에서의 점착력은  $c=0$ 으로 하여 설계하여야 한다.
- (3) 비탈면 안정해석 시 사용되는 암석의 강도정수는 비탈면을 굴착할 때의 돌발사태 가능성을 줄이기 위하여 가능하면 안전측에 가깝게 작은 값의 점착력과 마찰각을 사용하여 하고 비탈면에서의 지하수상태를 알 수 없는 경우에는 예상되는 가장 높은 지하수 수준을 계산에 이용해야 한다.
- (4) 위험절리가 뚜렷한 경우 절리면의 마찰각은 절리면에 대한 직접전단시험을 시행하여 마찰각을 산정해야한다.
- (5) 여러개의 시료로 시험한 강도정수가 일정하지 않는 경우에는 안정성을 고려하여 최소값을 선정해야 한다.

#### 4.4.5 비탈면안정해석 보고서 작성 시 점검사항

- (1) 단면(측선)은 암반블록전체를 대표할 수 있도록 설정했는가?
- (2) 활동면은 어떻게 합리적으로 결정했는가?
- (3) 추정의 활동면을 연결한 산사태 단면은 과연 안전율이 최소인 단면인가?
- (4)  $C$ ,  $\phi$  추정 시에 주어진 간극수압과 안전율은 어느 정도의 근거를 가지고 있는가?



(5) 채택된 안정해석식은 타당한가?

(6) 제안된 공법은 그 효과의 평가방법과 우선순위의 결정에 있어서 타당한가?

#### 4.4.6 보고서 작성 시 유의사항

- (1) 시추조사 자료가 없거나 암반이 노출되지 않은 지역에 대한 비탈면 안정해석 시에는 인근 시추조사 자료에 근거하여 설계를 하므로 예비설계의 범주를 벗어나지 못하므로 차후 굴착하면서 비탈면에 나타나는 암반상태를 재확인하여 기존 암 상태와 현저히 차이가 있을 시에는 설계변경을 할 수 있는 구간임을 보고서에 부가하여 언급하여야 한다.
- (2) 한정된 개수의 시추조사와 주변에서의 제한된 노두에서의 지표지질 조사로서 비탈면 안정해석을 완벽하게 수행하는 것은 무리가 있으며 또한 일반적으로 비탈면전체에 걸쳐서 균질한 지질이 아니고 부분적으로 단층이나 붕괴요인을 수반하는 경우가 많으므로 차후 시공 시 굴착면에 대한 응용지질도작성(Mapping)을 실시하여 원래 지표지질조사와의 오차로 인한 위험요소가 있을 경우에는 감리자나 감독관의 승인을 득한 후 절취구배를 변경하거나 록볼트 등의 보강대책을 수립하도록 보고서에 명시한다.

#### 4.5 암반 비탈면 보호공

- (1) 암반 비탈면은 우기시나 해빙기에 붕괴로 선로가 피해를 입어 열차운행에 지장을 주기 때문에 이를 방지하기 위한 비탈면 보호공을 설계한다.
- (2) 표면의 침식방지, 암석의 풍화방지, 암반 비탈면의 보강 등을 위해 현장조건에 알맞은 비탈면 보호 및 보강공을 설계한다.
- (3) 비탈면 보호공은 녹화로 보전하기 위해 식생공, 블록붙임공, 격자틀공, 콘크리트 붙임공, 모르타르 뿔어붙이기 및 콘크리트 뿔어붙이기공(슛크리트공)등이 있다.
- (4) 비탈면 보강공은 암반비탈면의 보강을 위한 록볼트공, 록앵커공, 낙석 방지공 등이 있다.
- (5) 비탈면의 보호 및 보강공은 원지반의 지질, 비탈면의 규모 및 형상, 집수의 상황, 기상조건, 환경조건, 시공조건 등과 비탈면의 굴착시 원지반의 상황을 고려하여 최적공법을 선정하여 설계한다.
- (6) 암 절취면이 대기에 노출될 경우 우수나 햇빛 등으로 인한 풍화를 방지하기 위하여 콘크리트 뿔어붙이기공을 시공하는 경우가 많다. 시공하는 경우에는 지하수가 암반 절취면을 따라 자연스럽게 배출되도록 하여 암반 절취면에 수압이 발생하지 않도록 하여야 한다. 따라서 암반절취면에 수평배수관을 설치하여야 하며 이 때 배수관이 흙 등으로 막히는 것을 방지하기 위하여 배수관에 필터를 설치하여야 한다.
- (7) 콘크리트 뿔어붙이기공은 연약한 암반층이 단단한 층과 교호할 경우 비탈면보호공법으로 효과적이며 절리가 발달한 연암 이상의 암반에서는 콘크리트뿔어붙이기공을 타

설하여 비탈면거동을 방지한다.

- (8) 암괴가 굴러 내리거나 미끄러져 내릴 우려가 있는 경우에는 비탈면 선단부에 콘크리트 옹벽을 설치한 후 낙석 방지 울타리를 설치한다. 또한 위험암괴에 대해서는 철망을 씌우거나 록볼트를 설치한다.
- (9) 파쇄가 심한 암반의 장기적인 이완을 방지하기 위해서는 보강 콘크리트 뿔머붙이기공을 타설하고 국부적인 형태의 록볼트를 사용하는 것이 좋다. 절취비탈면의 부분적인 암반의 붕괴를 방지할 경우에는 록볼트가 좋고 전체적인 암반의 붕괴를 방지하기 위해서는 록앵커를 사용하는 것이 좋다.
- (10) 전도파괴가 예상되는 구간에는 암반비탈면공법(네일링 공법, 억지말뚝, 콘크리트 뿔머붙이기공 등)으로는 적용성이 어려우므로 이러한 경우에는 낙반가능성 암괴제거 및 록앵커, 비탈면절취공법이 효과적이다.
- (11) 암석의 차별풍화로 인하여 암비탈면 하부에 여굴이 발생한 경우에는 취약한 하부를 콘크리트 벽으로 보강하는 것이 효과적이다.
- (12) 콘크리트 뿔머붙이기공 면에 배수공을 설치할 경우에는 배수공은 암반 면에 200~300mm 정도가 묻힐 수 있도록 설치하여야 한다.
- (13) 지하수위 상승을 억제시킬 목적으로 집수정을 설치할 경우에는 집수정은 골짜기에 인접한 곳에 설치하고 유공관을 연결시켜 좌우측에 있는 골짜기로 배수시켜야 한다.

#### 4.6 암반 비탈면의 계측계획

- (1) 암반 비탈면에서 변위가 진행중이거나 예상되는 것을 주의 깊게 관찰하기 위해 필요한 개소에 계측을 실시한다.
- (2) 비탈면에서 현장계측의 기본 조건은 주어진 모든 조건이나 붕괴형태를 정확히 예상하고 파악한 다음에 계측의 목적을 명확히 하여 그 목적에 맞는 계측기기의 선정이나 배치, 계측의 방법, 관리 기준치 등을 검토하여 계측의 실시계획을 작성할 필요가 있다.
- (3) 계측계획을 수립, 작성하는데 있어서 검토하여야 할 주요내용은 ㉠ 계측의 목적, ㉡ 계측 대상 범위, ㉢ 계측항목과 계측기기의 선정, ㉣ 계측기기의 배치, ㉤ 계측기간과 계측빈도, ㉥ 관리기준치, ㉦ 계측체제, ㉧ 계측데이터의 정의·평가방법, ㉨ 계측결과의 운용방법, ㉩ 계측기기의 유지관리가 포함되어야 한다.



## RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둠.

Rev.1('14.1.10) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영

Rev.2('17.3.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(썬기 비탈면 기울기 표준 및 기준 안전율)을 반영

Rev.3('22.12.12) 지반설계기준(KDS 11 70 05) 및 산업안전보건기준에 관한 규칙('21.11.19) 개정내용 반영(기준심사처-4755호, '22.12.12)