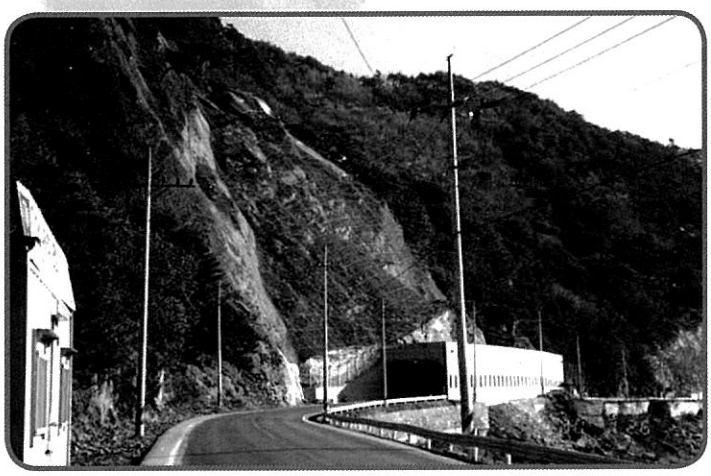
사면 붕괴의 원인 및 방지대책

대한산업안전협회 건설안전본부 **김종현** 차장



Ⅰ. 서론

자연사면의 붕괴현상으로는 산사태가 있으며, 인공사면의 붕괴현상으로는 사면파괴(절토사면과 성토사면의 붕괴)가 있다. 이 중 사면파괴의 형태와 원인을 파악하고 제거하여 소중한 인명과 재산 피해가 없도록 목적하는 "사면보호공법"에 대해서 알아본다. 또한, 다양한 구조물에 의하여 붕괴를 차단할 수 있는 "사면보강공법"에 대해서도 자세히 소개한다.

Ⅱ. 사면의 정의

1. 사면의 정의

가. 사면이란

사면이란 지표면의 경사를 말하며, 사면의 종류에는 무한사면, 유한사면, 직립사면이 있다.

나. 절토사면이란?

절토사면은 인위적으로 지반을 절취하여 생성된 비탈면으로서 그 사용 용도에 따라 도로사면, 철도사면, 건축면사면, 댐사면 등으로 구분할 수 있다.

2. 사면의 분류

가. 발생형태에 의한 분류

(1) 자연사면

① 무한사면 : 활동하는 흙의 깊이에 비해 사면의 길이가 긴 사면으로 사면의 높이가 대략 활동면 깊이의 10배 이상

(2) 인공사면

① 유한사면 : 활동하는 흙의 깊이가 사면의 높이보다 비교적 긴 사면

② 직립사면 : 단단한 지반을 연직으로 깍은 사면

나. 구성 물질에 의한 분류

(1) 토사사면 : 구성비반이 토층으로 이루어진 사면

(2) 암반사면 : 구성지반이 암반으로 이루어진 사면

(3) 혼합사면 : 구성지반이 토층과 암반이 혼합되어 이루어진 사면

Ⅲ. 사면의 구성

1. 사면의 구성

가. 절토부 : 자연사면을 절취하여 노출시킨 경사면 지반

나. 상부자연사면 : 절토부 상부의 자연 비탈면

다. 사면시설 : 절토사면의 안정성 유지나 개선을 위해 절토부 상부자연사면 이격 내에 설치한 인공구조물

라. 이격 : 절토부 하단에서 측구나 다이크가지의 거리

2. 사면 설치의 기준

가. 안전규칙

(1) 굴착면의 기울기 및 높이의 기준은 안전규칙 제383조(지반 등의 굴착 시 위험방지) 제1항 별표6(굴착면의 기울기 기준)에 의한다.

〈표1〉 굴착면의 기울기 기준

구분	지반의 종류	기울기
보통흙	습지	1 : 1 ~ 1 : 1.5
	건지	1 : 0.5~ 1 : 1
암반	풍화암	1 : 0.8
	연암	1 : 0.5
	경암	1 : 0.3

(2) 사질지반은 굴착면의 기울기를 1:1.5 이상으로 완만하게 하여야 한다.

(3) 절취사면의 굴착높이가 5m 이상인 경우에는 5m 마다 소단을 설치하여야 한다.

Ⅳ. 사면의 붕괴

1. 사면 붕괴

가. 사면 붕괴는 중력에 의한 지반의 안정화과정으로 구성지반의 강도가 현 상태를 지탱하기 어려울 때 발생하며 효과적인 안정화 대책 수립과 유지 관리를 위해서는 사면의 붕괴 메커니즘과 원인의 정확한 판단이 필요하다.

2. 사면 붕괴의 원인

가. 사면 붕괴 요인의 종류(굴착공사 표준안전작업지침)

(1) 외적요인(직접원인 : 전단응력의 증가)

① 발파, 지진 등에 의한 진동이나 충격

② 함수량 증가(지표수(법면보호 등의 미흡, 지하수 침투)에 따른 토사중량 증가

③ 강우와 적설 융해에 의한 지하수위 상승(간극수압의 증가)

④ 절토와 성토 높이의 증가로 인한 전단응력(자중)의 증가

⑤ 다짐불량에 의한 전단저항(내부마찰각) 감소

⑥ 법면 단부 상단의 장비 및 자재 적치, 구조물의 신설에 의한 외적 하중 증가

(2) 내적요인(잠재적 원인 : 전단강도의 감소)

① 사면구성요소(토사, 암반)의 풍화로 인한 전단강도의 감소

② 동결융해의 반복으로 인한 수축팽창 및 그로 인한 지반의 연약화(전단강도 감소)

③ 침투수에 의한 토립자의 유실 및 세굴에 의한 침하(전단강도 감소)

④ 기타 : 지하수가 풍부하거나 모이기 쉬운 곳

3. 사면붕괴의 종류

가. 자연사면의 붕괴

(1) 산사태 : 사면이 30도 이상의 급경사인 경우 호우나 진동에 의해 발생

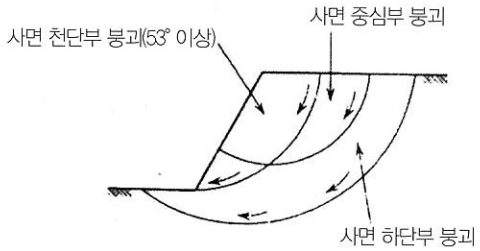
나. 인공사면의 붕괴

(1) 토사사면의 붕괴

① 절토사면의 붕괴

② 성토사면의 붕괴

(2) 암사면의 붕괴



[그림1] 사면붕괴

Ⅴ. 사면 붕괴 안전대책

1. 임시대책

가. 위험범위(높이 대비 1:1에 해당하는 상하단 수평범위)내 작업 및 출입금지

나. 사면에 대한 주의 관찰(육안점검)

(1) 상단의 인장균열 발생 유무

(2) 중앙부의 배부름

(3) 이격부의 융기 등

다. 우수의 침투 방지

(1) 사면 상단 배수로 설치

(2) 사면 보양(천막지, PE비닐 등)

라. 과재하중의 제거

(1) 사면 상단 중량물(장비, 자재, 시설물)제거

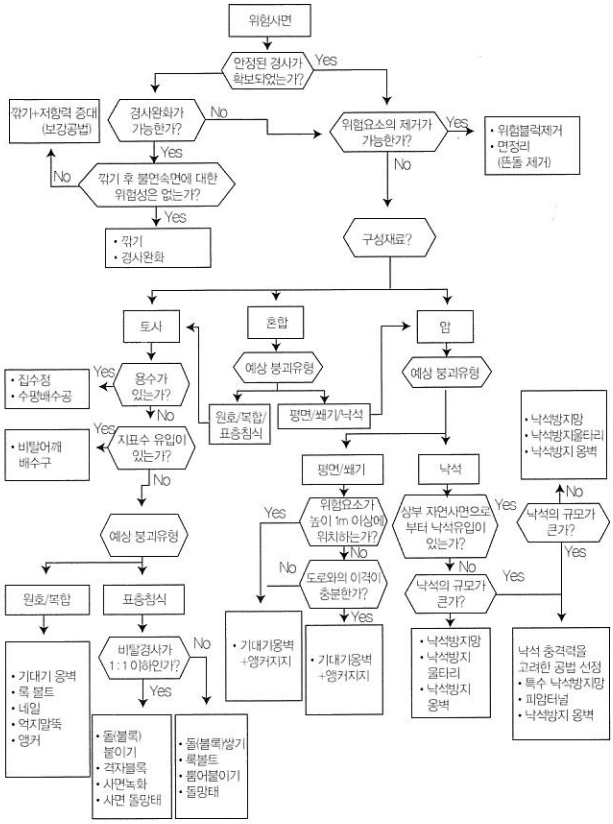
(2) 사면 상단 토사 제거(자중 감소)

마. 기타

(1) 압성토공법

(2) 사면 기울기 재조정(표준구배준수)

2. 장기대책(사면 보호 및 보강 공법)



[그림2] 사면보호 및 보강공법 선정 예

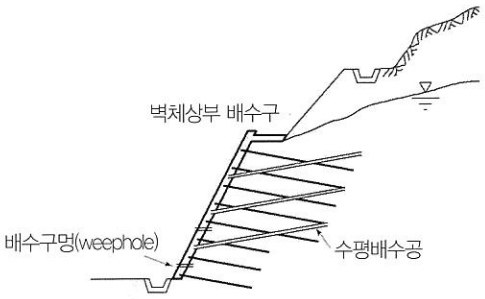
가. 앵커 공법

앵커는 사면의 예상파괴면 위에 위치하는 파괴토체를 파괴범위 밖에 미리 설정한 앵커체를 인장 정착시켜 사면에 전단저항력을 증가시키는 공법으로 앵커체, 긴장부, 앵커두부로 구성된다.

[그림3] 앵커 공법

나. 네일 공법

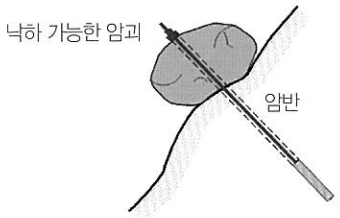
네일 공법은 철근이나 강봉, 합성섬유보강재 등을 지반에 최대 설치간격 3.5m를 초과하지 않는 범위 내에서 대상지반에 배치하고 보강재가 지니는 인장 저항력, 전단 저항력, 휨 저항력 등으로 지반의 약점을 보완하여 전단강도 증대와 안정성을 개선하는 공법이다.



[그림4] 네일 공법

다. 록볼트 공법

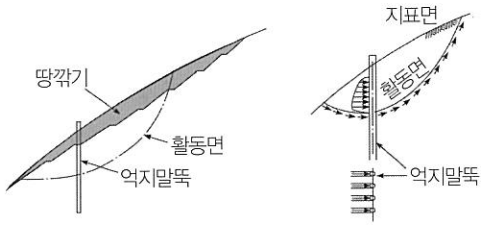
록볼트(rock bolt) 공법은 사면에 활동 가능한 소규모 암반 블록이나 뜬돌이 있을 때 철근, 볼트 등의 금속부재를 견고한 암반에 정착시켜 암반의 전단강도를 증가시키는 보강공법이다.



[그림5] 록볼트 공법

라. 억지말뚝 공법

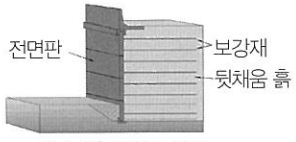
억지말뚝은 그림과 같이 사면 활동지반을 지나 견고한 지반까지 말뚝을 일렬 또는 그 이상으로 설치하여 사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 지지 지반까지 전달하는 공법으로, 억지효과가 뛰어나 지반활동의 억지 목적으로 시공되고 있다.



[그림6] 억지말뚝 공법

마. 옹벽 공법

옹벽은 사면의 보호나 급경사 혹은 수직으로 쌓기를 하는 경우 등에 구축되는 구조물로서, 옹벽자중 또는 옹벽 내의 토사 중량으로 측방토압에 저항하는 사면시설이다. 옹벽은 도로, 하천, 택지, 철도, 항만 등 대부분의 구조물에 사용되는 사용 빈도가 높은 구조물이다.

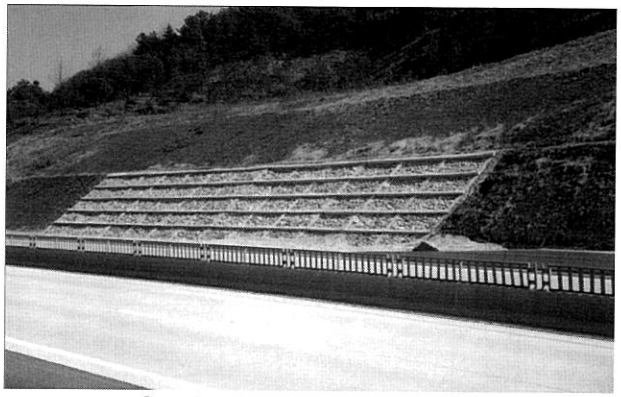


[그림7] 보강토 옹벽

[그림8] 돌망태 옹벽

바. 격자블록 및 돌(블록)붙이기 공법

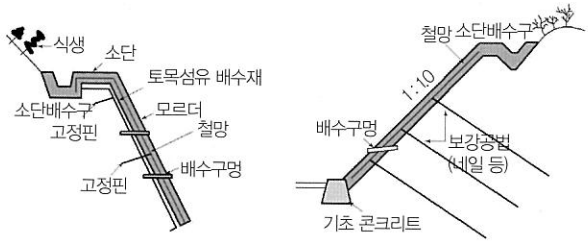
쌓기 또는 깎기 작업으로 외부로 노출된 사면 표면을 보호하기 위해 격자모양의 틀 부재를 사면에 설치하고 격자블록 사이를 돌, 콘크리트블록, 식생 등으로 피복하여 사면의 침식을 방지하여 안정을 도모하는 공법이다.



[사진1] 격자블록 및 돌(블록)붙이기 공법 예

사. 콘크리트 뿜어붙이기 공법

콘크리트 뿜어붙이기는 식생이 곤란한 사면을 빗물과 같은 외적요인으로부터 차단하는 효과가 뛰어나 암반의 풍화나 이탈방지 등의 목적으로 시공하는 공법으로 지반이 연암 이상으로 고결도가 높은 사질지반이나 자갈 섞인 토양에도 계획할 수 있으며, 기계설비가 간단한 소형기계를 이용하기 때문에 좁은 장소에서도 시공이 용이하고 신속히 시공할 수 있다.



[그림9] 콘크리트 뿜어붙이기 예

아. 낙석방지 울타리

낙석방지 울타리는 지주, 와이어로프, 철망이 일체가 되어 낙석에너지를 흡수하는 것으로 비교적 소규모의 낙석을 방지하는데 효과적이며 깎기면의 상황에 따라 종류와 규격을 결정해야 한다. 일반적으로 낙석발생이 예상되는 깎기면의 최하단에 설치하는 것이 보통이며 예상되는 낙하속도나 낙하에너지가 큰 경우에는 필요에 따라 깎기면 내에 추가적으로 설치하여 발생된 낙석 운동에너지를 단계적으로 흡수되도록 한다.

[사진2] 낙석방지 울타리 예

자. 낙석방지옹벽

낙석방지옹벽은 낙석이나 표층붕괴, 슬라이드 발생 시 붕괴지괴의 도로유입을 방지하기 위한 목적으로 시공하며, 낙석에너지를 옹벽본체 및 지지지반의 변형에너지로 전환하여 흡수시킴으로써 낙석을 정지시키는 시설로 발생하는 낙석에너지가 비교적 큰 사면에 적용한다.

차. 피암터널

피암터널은 철근 콘크리트 혹은 강재에 의해 낙석이 도로면에 직접 낙하하는 것을 막는 공법으로, 사면이 급경사로 도로, 택지, 철도 등의 이격부에 여유가 없거나 혹은 낙석의 규모가 커서 낙석방지 울타리, 낙석방지 옹벽 등으로는 안전을 기대하기 어려운 경우에 설치한다.

[사진3] 피암터널 예

Ⅵ. 결론

우리나라는 점차 아열대성 기후로 바뀌어 국지성 호우가 빈번히 발생하고 있다. 또 일본의 이야기로만 치부하던 대지진의 가능성도 제기돼 그에 대한 대비책이 시급한 실정이다. 따라서 보통 발생되는 사면붕괴 및 유실에 대해 좀 더 안전성을 확보해야 할 필요성이 있다. 발생규모에 따라 엄청난 인명과 재산상의 피해를 가져올 수 있으므로 발생요인에 대한 사전조사 및 점검을 철저히 해야 한다. 지질·지형·지반의 특성에 맞고 효과적인 사면의 붕괴 방지대책을 통해 사면의 안정을 확보하는 것이 무엇보다도 중요하다.