

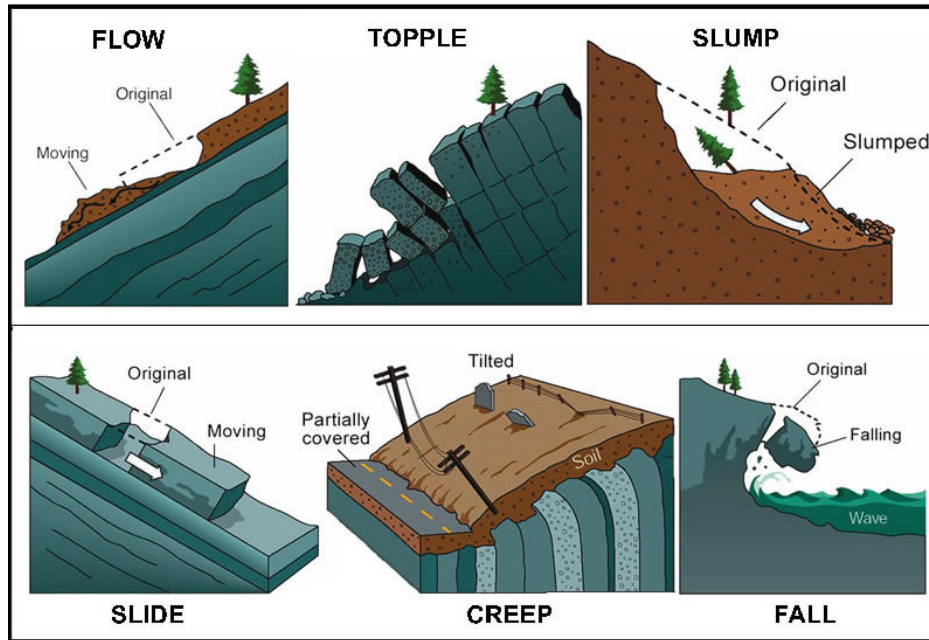


기 초 공 학

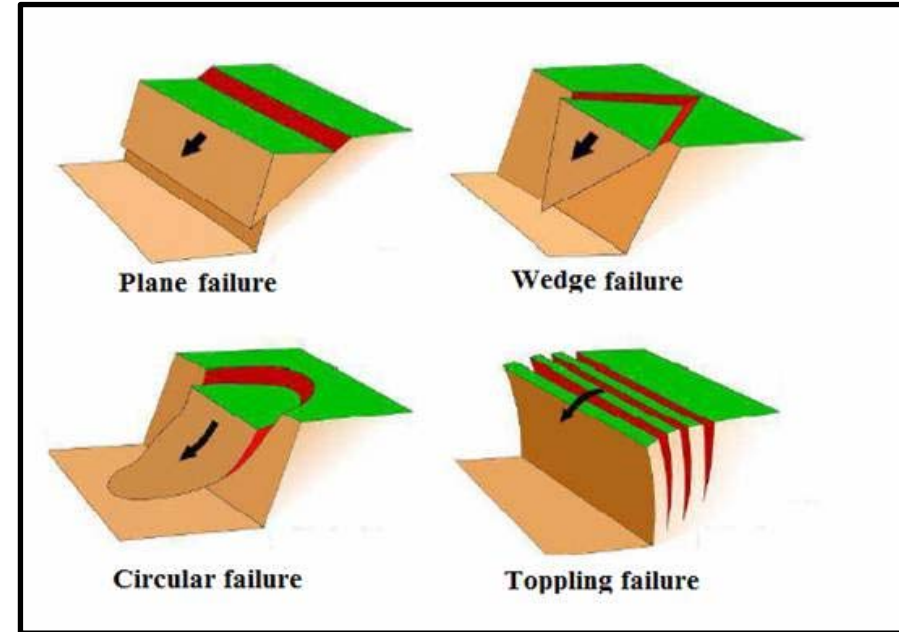
조 성 하 (토질 및 기초 기술사)
(shacho88@gmail.com / 010-5351-1751)

제9장 사면안정

• 사면 활동 분류



- 붕락(Fall)은 수직에 가까운 사면에서 일부분이 분리되어 하부로 낙하
- 유동(Flow)현상은 활동길이가 매우 긴 활동현상으로서 특정면의 전반적인 소성변형에 의해 발생
- 회전활동(Slump)은 활동물질과 활동면 사이의 전단 변형에 의해 발생
- 토층 내부에 연약층이 있는 경우 분포상황에 따라 활동면이 복합형태
- 자연비탈면과 같이 비탈면 아래로 내려갈수록 강도가 커지는 지반에서는 병진활동이 발생할 가능성
- 사면의 복잡성으로 인해 단일 원인보다는 복합적인 요인에 의해 활동



- 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서는 평면파괴 (Plane) 가능성
- 쐐기파괴(Wedge)는 두 개의 불연속면이 교차될 때 발생
- 원호파괴(Circular)는 일정한 불연속면 방향성이 없을 때 발생
- 전도파괴(Toppling)는 사면대원과 불연속면 방향이 반대일 때 발생

• 사면 안정성 검토 개념

- 산사태 위험성 평가기법은 **통계적 기법**과 **결정론적 기법**으로 구분함
- 통계적 기법은 산사태 발생빈도와 환경·지질·지형·임상 인자의 상관 관계에 의하여 발생가능성을 추정하는 기법임(재해위험도 평가, 산사태 위험도 평가)
- 결정론적 기법은 역학에 기반을 둔 방법으로 유발인자를 수문모형과 사면안정 모형에 적용하여 안전율과 파괴확률을 산정함(한계평형해석)
- 로지스틱 회귀분석에서는 산사태의 발생가능성을 종속변수로 보고 산사태를 유발할 수 있는 요인을 독립변수로 취함
- 역학적 산사태 예측기법은 GIS기술을 이용한 사면안정성과 산사태 위험성을 평가하는 결정론적인 방법임

• 재해 위험도 평가 – 자연비탈면 및 산지

구 분				평 가 기 준 및 배 점								점수	
붕괴 위험성 (70)	지형	경사각(°)		20 미만	20~33	34~43	44~53	54 이상					
				2	4	6	8	10					
		높 이(m)		25 미만	25~49	50~59	60~69	70 이상					
				1	2	3	4	5					
		급경사지 종단형상		철형	직선형		요형	복합형					
				1	2		3	4					
		자연비탈면 횡단형상		하강형	평행형		상승형	복합형					
				1	2		3	4					
	지반·지질	지반 변형·균열		없음				있음					
				0				5					
		토층심도(cm)		0~20	21~50		51~70	71~90		91 이상			
				1	2		3	4		5			
		상부외력		무	전, 답, 묘지외		송전탑, 주택		철도	도로		임도	
				1	2		4		6	8		10	
		붕괴·유실이력		없음	낙석		10% 미만		10%~20%미만		20% 이상		
				0	2		4		6		8		
		시설	보호시설상태		양호		불량		매우 불량		무		
					0		2		4		5		
	강우	비탈면 계곡	계곡 연장(m)	0~10		11~30		31~50		51 이상			
				1		2		3		4			
			계곡 폭(m)	3 이상		2~3		1~2		1 미만			
				1		2		3		4			
		지하수 상태		건조		습윤		표면수		용수			
				0		2		4		6			
		소 계											

• 재해 위험도 평가 – 자연비탈면 및 산지

구 분	배점	모식도	현장 판단기준
철형	1		위에서 내려다 보았을 때 볼록한 종단 형상 발산 형태의 지표수의 배수
직선형	2		위에서 내려다 보았을 때 직선의 종단 형상 지표수의 수렴 및 발산이 발생하지 않음
요형	4		위에서 내려다 보았을 때 오목한 형태의 종단 형상 급경사지 내부로 수렴되는 형태의 지표수 배수
복합형	5		위에서 내려다 보았을 때 볼록과 오목 형태가 연속적으로 나타나는 종단 형상 지표수의 수렴과 발산이 복합적으로 발생

- 재해 위험도 평가 – 자연비탈면 및 산지

자연비탈면 횡단 형상

구 분	배점	모식도	현장 판단기준
하강형	1		凹형 사면으로 올라갈수록 경사가 급해지는 형상
평행형	2		경사가 일정한 형상
상승형	3		凸형 사면으로 올라갈수록 경사가 완만해지는 형상
복합형	4		상기 사면형 중 2종 이상이 존재하는 형상

• 재해 위험도 평가 – 자연비탈면 및 산지




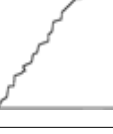


사 회 적 영 향 도 (30)	주변환경			임야·공원 시설		택지·도로·철도 등					
				3		5					
	피해인구수/ 도로차로수· 교통량	도로와 접한 급경사지	도로차로수 (편도)	도로 1차로 이하		도로 2차로		도로 3차로 이상			
				1		4		7			
			교통량 (대/일)	500미만	500~5000	5001~20000	20001~35000		35001 이상		
				1	2	4	6		8		
		그외 기타 지역 급경사지	피해예상 인구수	0		1~4명		5명 이상			
				0		10		15			
	급경사지와 인접 시설물과의 거리				시설물 없음	비탈면높이 2배 초과	비탈면높이 2배 이내	비탈면높이 이내	비탈면높이 1/2배 이내		
					0	1	4	7	10		
소계											
조 사 자 보 정 점 수	강우 영향인자	상부 산지에서 토석류 등이 발생하여 피해가 예상되는 지역(+5)									
		급경사지의 우수배수시설 여부 및 상태: 우수배수시설 없음(+2), 우수배수시설 있으나 시설상태 불량(+1)									
		급경사지 상부로부터 지표수(집수)에 의한 피해가 우려되는 지형(+5), 방재성능목표강우량 가점* 부여 * ① 최근 3년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+5), ② 최근 5년 이내 1시간 방재성능목표강우량 이상의 강우 발생(+2)									
	사회적 영향인자	노약자(노인, 어린이, 장애인 등)의 피해가 예상되는 지역: 노약자 1~4명 (+1), 노약자 5명 이상(+2) 관리주체가 불분명한 지역 또는 자력정비가 어려운 재해취약계층**이 거주하는 지역: 1~4명(+3), 5명 이상(+5) * ① 토지와 주택 등의 소유자와 사용자가 달라 관리주체를 정하기 어려운 경우, ② 급경사지 소유자의 행방을 알 수 없는 경우, ③ 직접 거주를 하지 않아 방치되어 타인의 피해가 우려되는 경우, ④ 소유자·점유자가 다수 인으로 관리주체를 정하기 어려운 경우 등 **「국민기초생활 보장법」 제2조제10호에 따른 차상위계층									
		소계									
재해위험도 평가 결과				합 계							
				등급 A(0~20점), B(21~40점), C(41~60점), D(61~80점), E(81점 이상)							

• 재해 위험도 평가 – 인공비탈면

구 분				평 가 기 준 및 배 점								점수
붕괴 위험성 (70)	지형	비탈면 경사각(°)	토사	34 미만	34~38	39~43	44~53	54~63	64~73	74 이상		
				0	1	2	3	4	5	6		
			암반	54 미만	55~58	59~62	63~67	68~72	73~76	77 이상		
				0	1	2	3	4	5	6		
		비탈면 높이(m)		5 미만	5~14	15~24	25~34		35 이상			
				0	1	2	3		4			
		급경사지 종단형상		철형	직선형			요형		복합형		
				1	2			3		4		
	절토부 횡단형상		직선형	오목형	불록형	요철형	하부이탈형		돌출형			
			0	1	2	3	4		5			
	지반 · 지질	지반 변형 · 균열		없음				있음				
				0				5				
		절리 방향/흙의 강도		매우 유리 /매우 견고		유리 /조밀 또는 견고		양호 /중간	불리 /느슨 또는 연약		매우 불리 /매우 느슨	
				0		3		5	7		10	
		비탈면 풍화도		하	중			상				
				0	5			10				
		붕괴 · 유실이력		없음	낙석	10% 미만	10%~20% 미만		20% 이상			
				0	3	5	8		10			
	시설	표면보호공 시공상태		매우양호	양호	불량	매우불량		표면시공 없음			
				0	2	3	4		5			
	강우	지하수 상태		건조	습윤		표면수		용수			
				0	2		4		6			
		배수시설 상태		완전배수	보통		불량			매우불량		
0				3		4			5			
소 계												


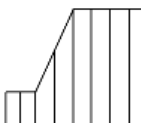
• 재해 위험도 평가 – 인공비탈면

절토부 횡단 형상

구 분	배점	모식도	현장 판단기준
직선형	0		깎기(절취) 상태가 양호하여 측면 형상이 직선에 가까움 깎기 후 식생공(비탈면녹화)을 시공한 급경사지
오목형	1		급경사지 하단부보다 중·상단부 경사각이 큰 경우 상단부 뜬돌의 낙석 위험성 존재
볼록형	2		급경사지 하단부에서 상단부로 갈수록 경사각이 작아짐 하단부 뜬돌의 낙석 위험성 존재
요철형	3		깎기(절취) 상태가 불량하여 비탈면이 고르지 못함 비탈면 전체에 걸쳐 뜬돌의 낙석 위험성 존재
하부 이탈형	4		급경사지 하단부 끝단 부분의 암탈락이 있는 경우 급경사지 하부지지력 약화로 붕괴 위험성 높음
돌출형	5		급경사지 중·상단부에 돌출이 있는 경우 하부지지력 상실 상태로 돌출암반의 낙하 가능성이 높음

- 재해 위험도 평가 – 인공비탈면

절토부 횡단 형상 (암반 불연속면 발달 상황)

구 분	배점	모식도	현장 판단기준
매우 유리	0		불연속면이 거의 없는 경우
유리	3		불연속면이 역방향인 경우 불연속면이 비탈면과 반대 방향으로 기울어진 경우
양호	5		불연속면이 지표면과 거의 수평으로 발달된 경우
불리	7		불연속면이 지표면과 거의 수직으로 발달된 경우 전도파괴에 의한 낙석 가능성이 있는 경우
매우 불리	10		불연속면이 비탈면 방향과 거의 유사하게 발달된 경우 암반 슬라이딩에 의한 평면파괴 발생 가능성이 높은 경우

• 재해 위험도 평가 – 인공비탈면

토사 절토부 강도 특성

흙의 상태	배점	현장 판단기준	참조사항	
			N치	내부마찰각(°)
매우 견고	0	- 발파 또는 중장비에 의해 자국을 낼 수 있는 경우	> 50	> 41
조밀 또는 견고	3	- 손의 힘으로 삽을 이용하여 자국을 낼 수 있는 경우	30~50	36~41
중간	5	- 힘을 주어서 삽질을 할 수 있는 경우	10~30	30~36
느슨 또는 연약	7	- 쉽게 삽질을 할 수 있는 경우	4~10	28.5~30
매우 느슨	10	- 엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있는 경우	0~4	< 28.5

절토부 풍화도

구분	배점	등급	현장 판단기준
하	0	신선	- 암석 구성물질이 풍화된 흔적이 없음
		약간 풍화	- 암석이 전체적으로 신선한 편이나 절리를 따라 착색·변색됨
중	5	보통 풍화	- 암석의 일부분이 변색되고 풍화흔적이 있음
		심한 풍화	- 대부분의 구성광물들이 착색·변색됨
상	10	완전 풍화	- 암석이 흙으로 변해 있으나, 잔류구조가 관찰됨
		풍화잔류토	- 암석이 흙으로 변해 있으며, 잔류구조가 관찰되지 않음

• 시설물의 안전등급 기준

등급	재해위험도 평가점수			내 용
	자연비탈면 또는 산지	인공 비탈면	옹벽 및 축대	
A	0 ~ 20	0 ~ 20	0 ~ 20	<ul style="list-style-type: none"> 문제점이 없는 최상의 상태 재해위험성이 없으나 예상치 못한 붕괴가 발생하더라도 피해가 미비
B	21 ~ 40	21 ~ 40	21 ~ 40	<ul style="list-style-type: none"> 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 재해위험성이 없으나 주기적인 관리 필요
C	41 ~ 60	41 ~ 60	41 ~ 60	<ul style="list-style-type: none"> 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 재해위험성이 있어 지속적인 점검과 필요시 정비계획 수립 필요
D	61 ~ 80	61 ~ 80	61 ~ 80	<ul style="list-style-type: none"> 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 재해위험성이 높아 정비계획 수립 필요
E	81 이상	81 이상	81 이상	<ul style="list-style-type: none"> 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 재해위험성이 매우 높아 정비계획 수립 필요

• 확률론적 산사태 예측 기법

< 산림청이 제시한 산사태 위험지 판정표 > 「산지관리법」

구 분	자 연 사 면 위 험 요 인 별 점 수				
	1	2	3	4	5
경사길이 (m)	50 이하	51 ~ 100	101 ~ 200	201 이상	
	0	19	36	74	
모암	퇴적암 (이암, 혈암, 석회암, 사암 등)	화성암 (화성암류)	변성암 (천매암, 점판암 기타)	변성암 (편마암류 및 편암류)	화성암 (반암류와 안산암류)
	0	5	12	19	56
경사위치	0~1/10	2~6/10	7~10/10		
	0	9	26		
임상	침엽수림 (치수림, 소경목) 무립목지	침엽수림 (중경목, 대경목) 활엽수림, 혼효림 (치수림)	활엽수림, 혼효림 (소, 중, 대경목)		
	18	26	0		
사면형	상승사면	평행사면	하강사면	복합사면	
	0	5	12	23	
토심(cm)	20 이하	20~100	101 이상		
	0	7	21		
경사도 (°)	25 이하	26 ~ 40	41 이상		
	16	9	0		
점수 보정	1.조사자 또는 마을 사람들이 산사태 발생위험지역이라고 생각함 (+10) 2.조사자 또는 마을 사람들이 산사태 발생위험이 전혀없다고 생각함 (-10) 3.인위적 산림훼손지로 방치하거나 불안정한 방재시설지 (+20) 4.과수원 및 초지, 유실수 조림지 등 지피식생이 불완전한 산지 (+20) 5.산지가 도심지에 위치하여 산사태 발생지 피해 확산 위험이 있는 지역 (+10)				

※ 용어 해설

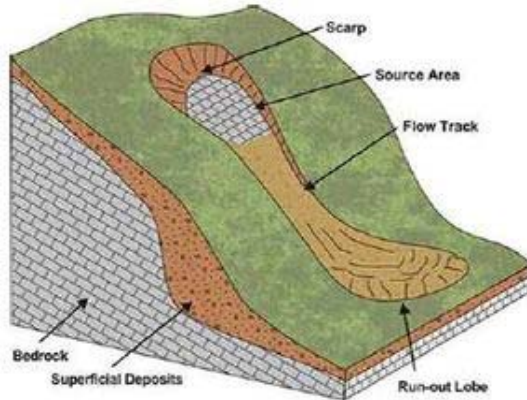
- 경사길이란 대상 사면과 연결되는 수계로부터 각 능선부의 가장 높은 지점까지의 거리
- 모암은 지자연 지질도 5만분의 1 이상의 지질도에 의한 암석 성인
- 경사위치란 사면의 계곡과 능선간의 수직적인 백분율
- 침엽수림이란 75%이상 침엽수가 생육하는 산림
- 혼효림이란 침엽수 또는 활엽수가 각각 25% 초과 75% 미만으로 생육하는 산림
- 소경목이란 흉고직경 6~16cm 임목이 50% 이상 생육, 중경목 18~28, 대경목은 30cm이상 생육
- 무립목지란 임목 본수비율이 30% 이하인 임분
- 치수림이란 가슴높이 지름 6cm 미만의 임목이 50% 이상 생육하는 산림

※ 비고

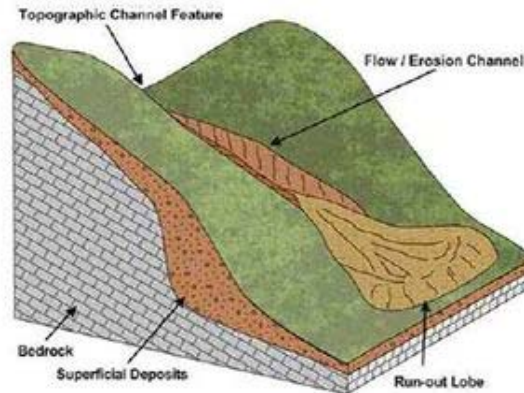
- 산사태위험도는 위 표 각 호의 위험요인에 해당하는 점수의 합계로 하며, 다음 각 목의 구분에 따른다.
 가. 180점 이상인 경우 : 산사태 발생 가능성이 대단히 높은 지역
 나. 120점 이상 180점 미만인 경우 : 산사태 발생 가능성이 높은 지역
 다. 61점 이상 120점 미만인 경우 : 산사태 발생 가능성이 낮은 지역
 라. 60점 미만인 경우 : 산사태 발생 가능성이 없는 지역
- 산사태 위험지 판정기준표의 적용에 관한 구체적인 방법 및 기준은 산림청장이 정하여 고시한다.

• 광역 산사태 및 토석류

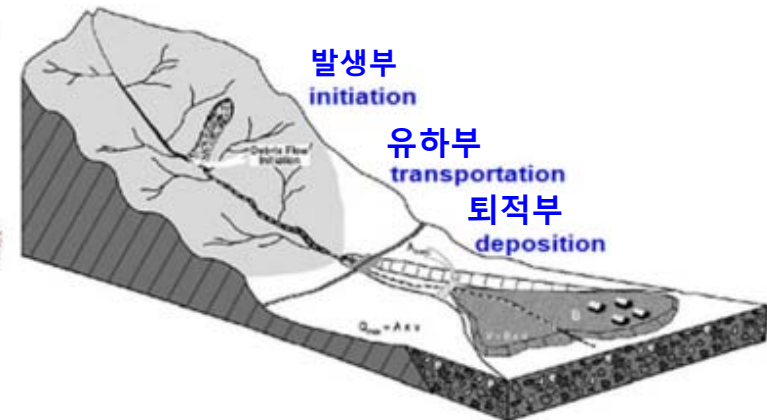
- 토석류(debris flow)는 집중호우에 의해 산사태가 일어나 토석이 물과 함께(침전물 70~90% 함유) 점소성 흐름의 형태를 유지하면서 빠른 속도로 하류까지 떠밀려 내려가는 현상
- 사면형과 수로형으로 구분되며 수로형은 지형을 따라 먼거리까지 이동
- 토석류 경사와 유송물질의 퇴적규모에 따라 크게 초기발생 단계(경사도 25° 이상), 이동 및 침식단계, 퇴적단계(15° 이하)의 세부분으로 구분



a) Hillslope Debris Flow

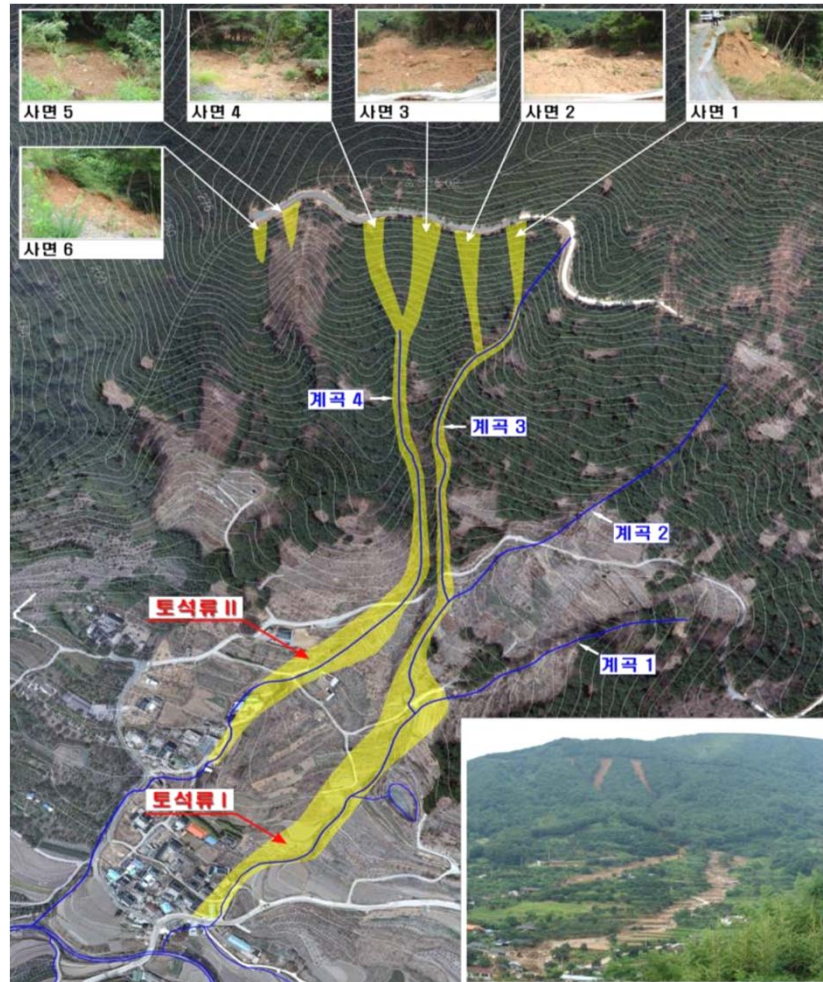


b) Channelised Debris Flow

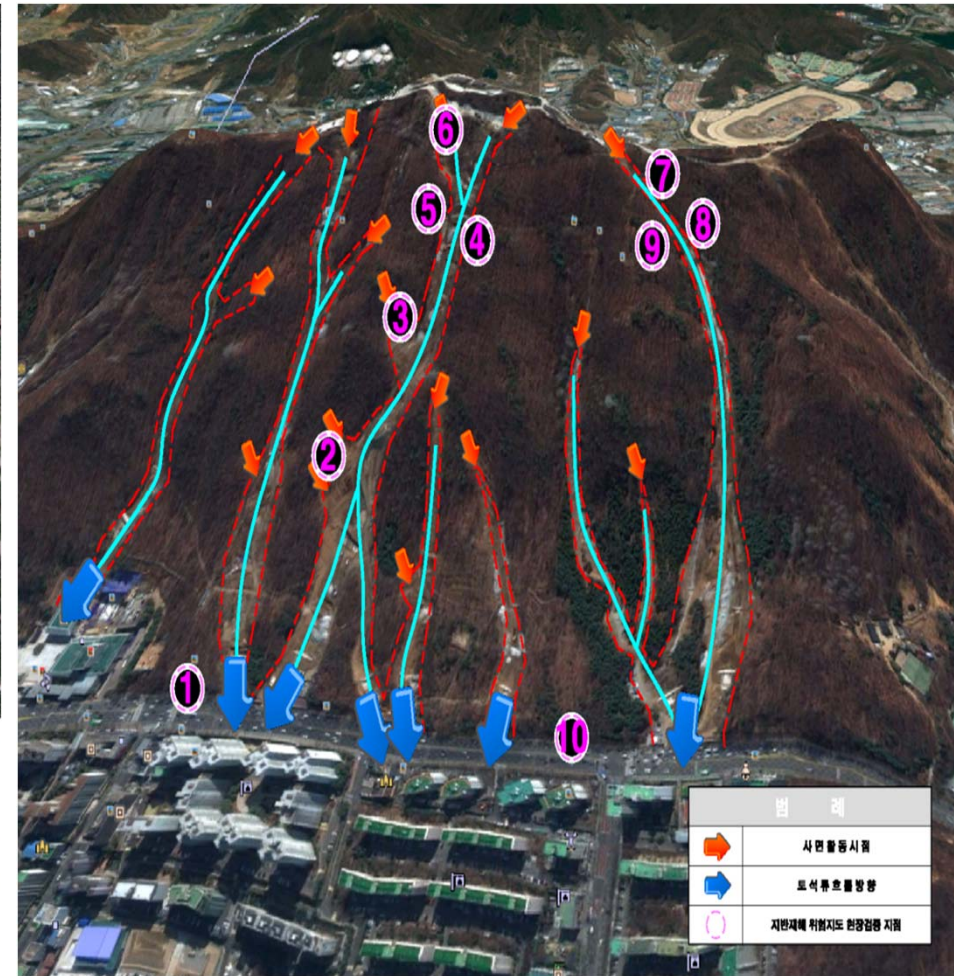


- 광역 산사태 및 토석류

2011 경남 밀양지구 토석류

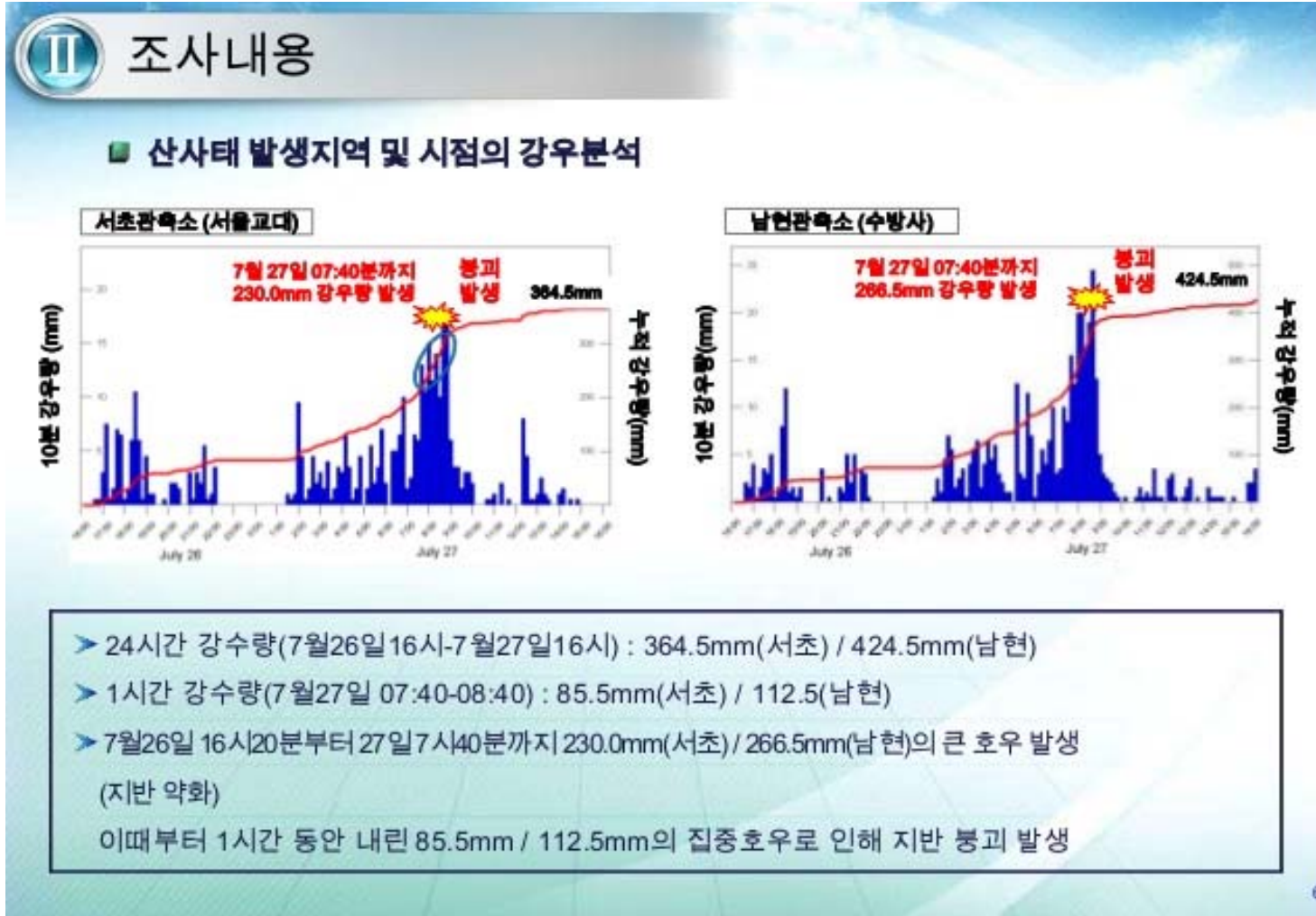


2011 우면산 토석류

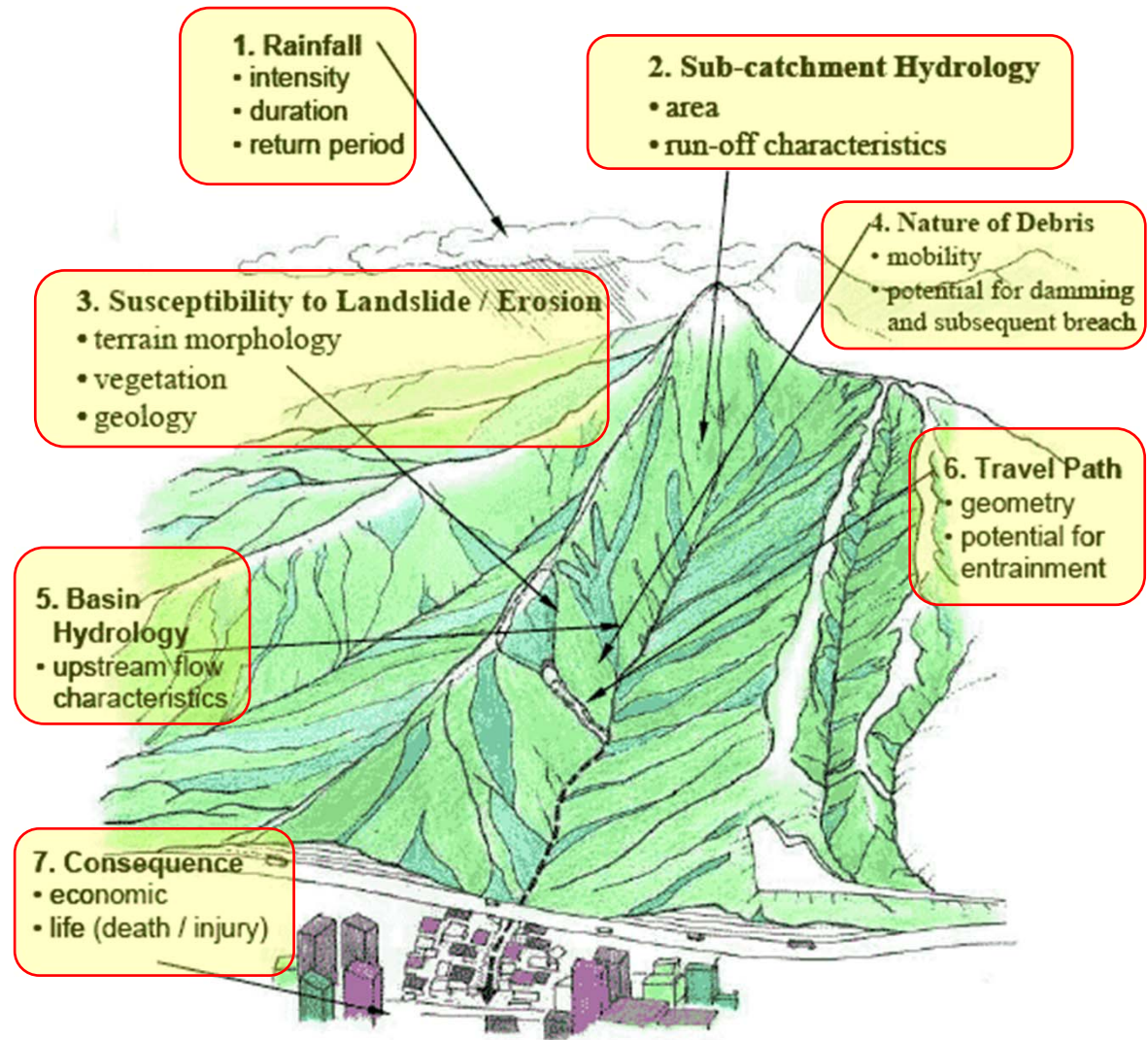


- 광역 산사태 및 토석류

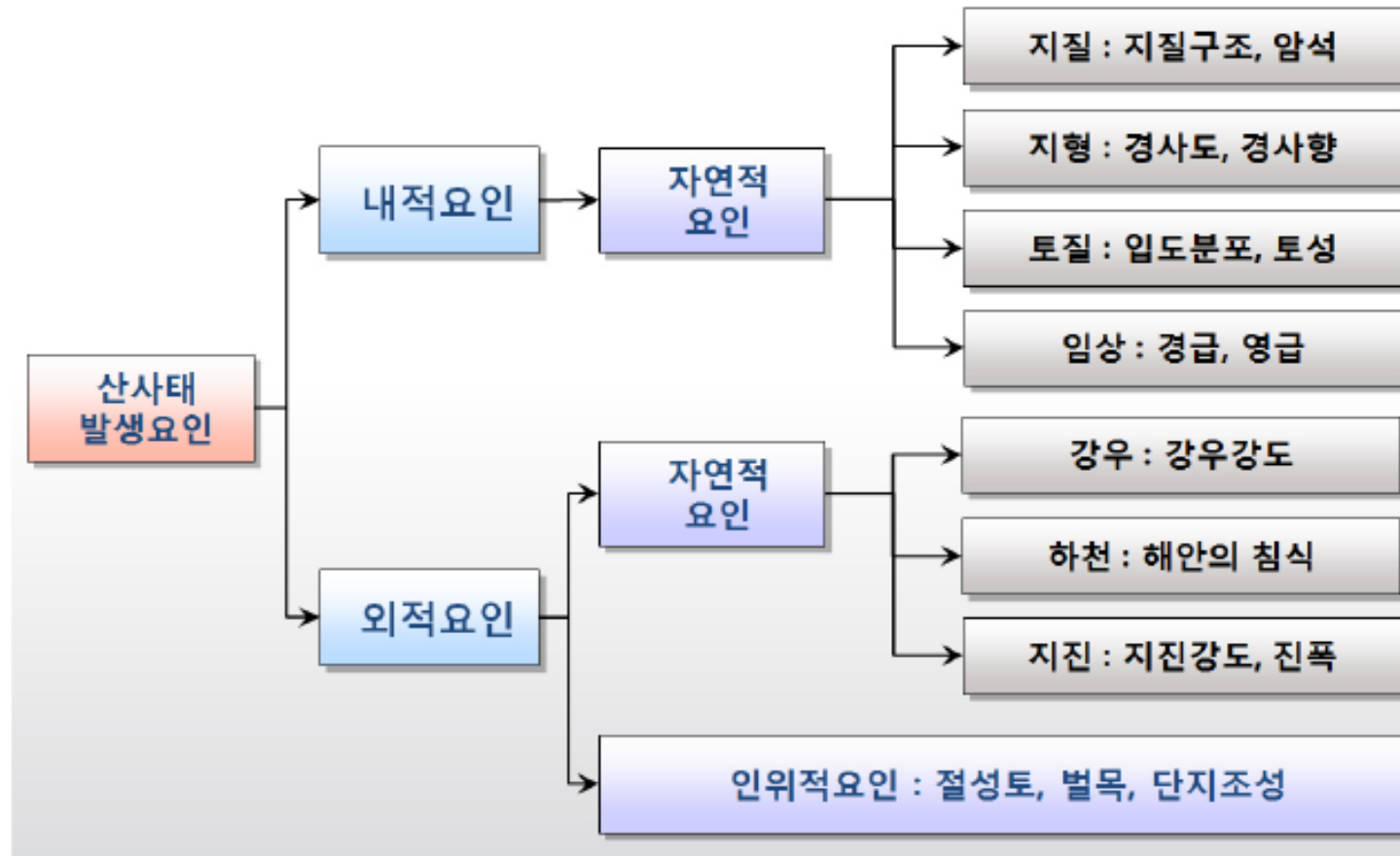
2011 우면산 산사태



- 광역 산사태 및 토석류 - 유발 요인



- 광역 산사태 및 토석류



- 토사사면의 안정성 해석

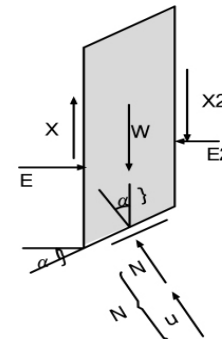
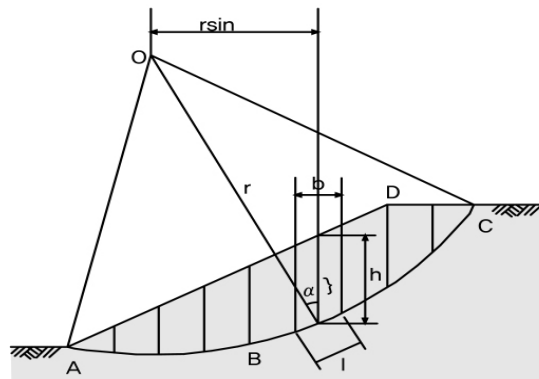
한계평형해석(Limit Equilibrium Theory) 방법의 목적은 활동면을 따라 파괴발생이 예상되는 토체의 안정성을 해석하는 것. 가정사항이 내포된 반복계산에 의해 안전율 산정

- ❖ Bishop의 안전율 계산식

$$FS = \frac{\sum cl + \sum \tan \phi \sum (W \cos \alpha - ul)}{\sum (W \sin \alpha)}$$

여기서, W : 절편 흙의 전체중량(kN/m³), α : 경사각(°),

c : 흙의 점착력(kPa), b : 절편 폭(m), ϕ : 흙의 내부마찰각(°)



- 무한사면의 안정성 해석

$$FS = \frac{Cr + Cc + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \tan \phi}{\sin \theta \cos \theta [\rho_s D]}$$

Cr : 뿌리강도

Cc : 흙의 점착력

D : 지표면에서 파괴면의 연직방향 두께

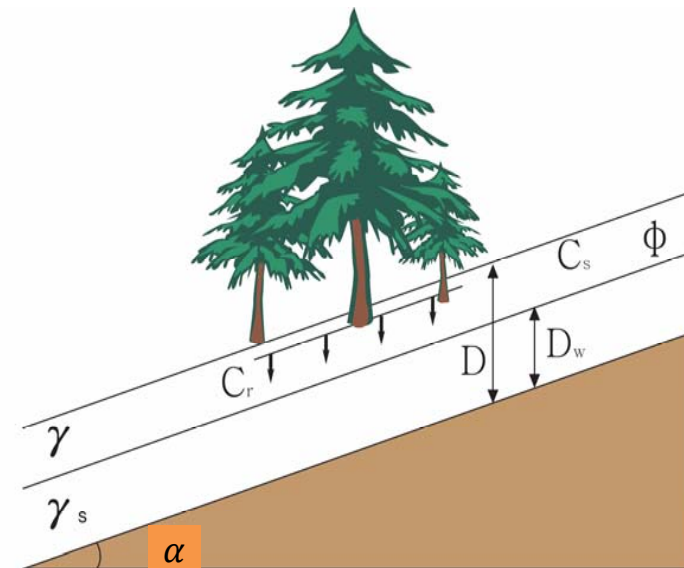
D_w : 지하수에서 파괴면의 연직방향 두께

ρ_s : 흙의 단위중량

ρ_w : 물의 단위중량

α : 사면 경사

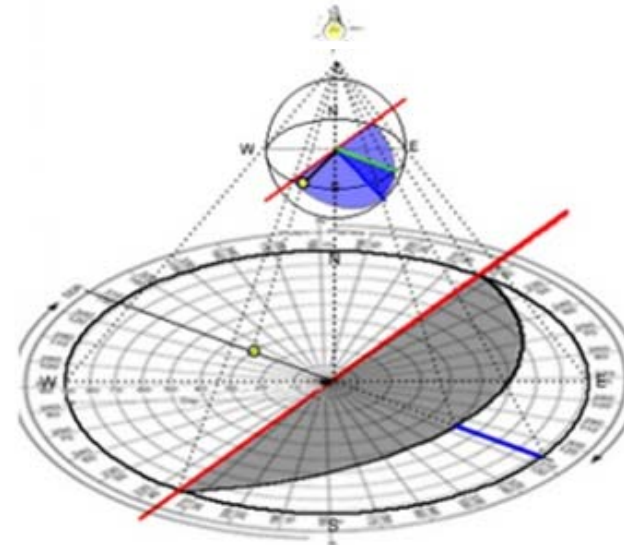
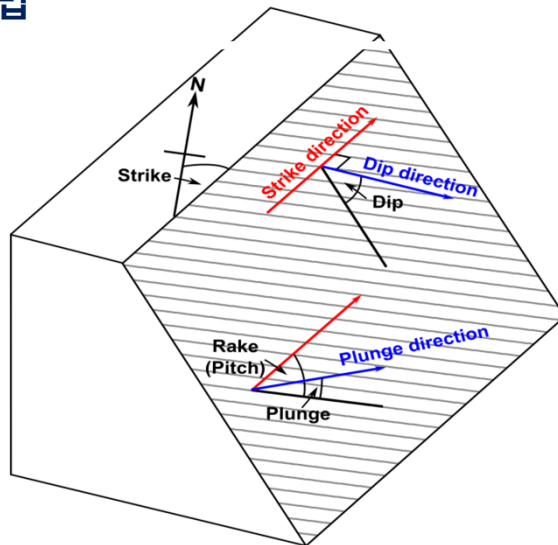
θ : 내부마찰각



- 암반사면의 안정성 해석

평사투영법 및 한계평형해석을 통해 사면 안정성을 평가

1) 평사투영법

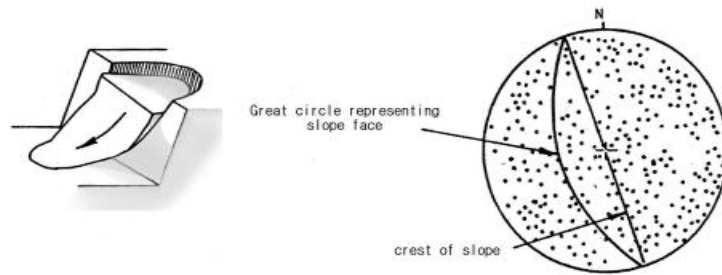


	<ul style="list-style-type: none"> · Friction cone : 스테레오네트 중심점을 중심으로 암반의 마찰각을 반경으로하여 원을 그린 것. · Daylight envelope : 절취사면 스테레오네트에 투영하여 각을 작도한 후 대원상의 각 점에 대한 pole을 작도하면 타원이 나타내게 된다.
--	--

• 암반사면의 붕괴 형상

① 원호파괴(Circular Failure)

- 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생



② 평면파괴(Plane Failure)

- 불연속면의 주절리가 한방향으로 발달된 암반에서 발생
- 발생조건

절개면과 절리면의 경사방향이 동일

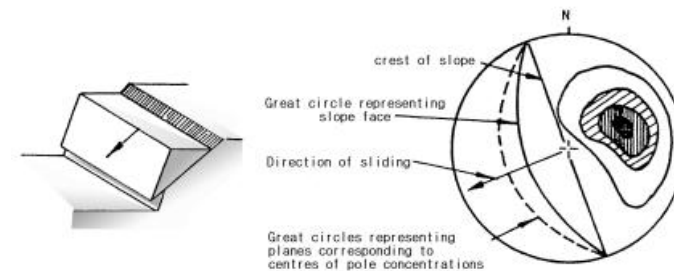
절리면의 주향이 절개면의 주향과 유사

절리면의 주향이 절개면상에 존재

즉, 절리면의 경사각(α) < 절개면의 경사각(β)

절리면의 경사각 (α)이 절리면의 마찰각(ϕ) 보다 커야함

붕괴는 암괴의 양쪽 측면이 절단되어서 붕락하는데 측면의 영향이 없어짐

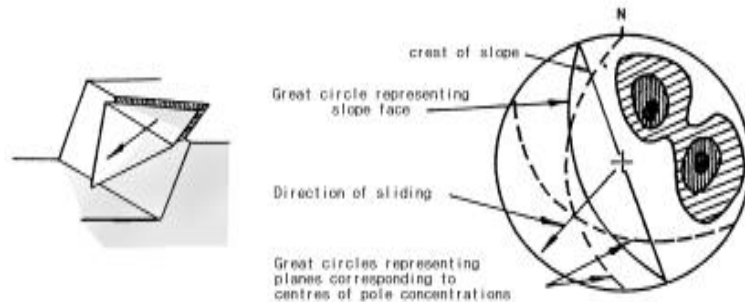


• 암반사면의 붕괴 형상

③ 썰기파괴(Wedge Failure)

- 두개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
- 발생조건
 - 절리의 교선과 절개면의 경사방향이 동일,
절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷
 - 절개면의 경사각 > 절리면의 교선의 경사 > 절리면의 마찰각
($\beta a > \alpha > \Phi$)

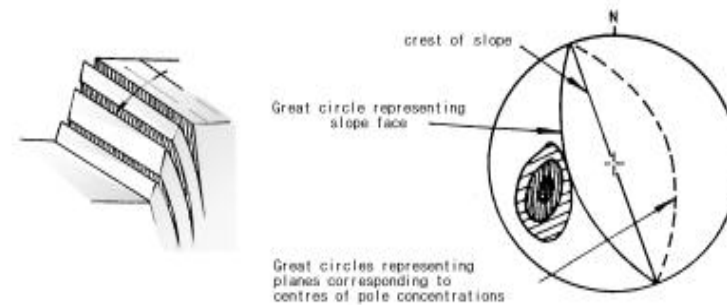
< 썰기파괴 형태와 절리의 극점분포 >



④ 전도파괴(Toppling Failure)

- 발생조건
 - 절개면과 절리면의 경사방향이 반대,
절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷
 - $(90^\circ - \text{절리면의 경사}) + \text{절리면의 마찰각}$
< 절개면의 경사($90^\circ - \alpha$) + Φ < βa

< 전도파괴 형태와 절리의 극점분포 >



• 암반사면의 안정성 해석

2) 한계평형해석

- 활동파괴면을 따라 미끄러지려는 순간의 암반블록에 대한 안정성을 사면안전율(Safety Factor)로 나타내는 방법
- 파괴면에서의 전단강도는 Coulomb의 파괴기준 $\tau=c+\sigma\tan\phi$ 로 표현되며, 강도는 점착력(c)과 내부마찰각 (ϕ) 으로 정의

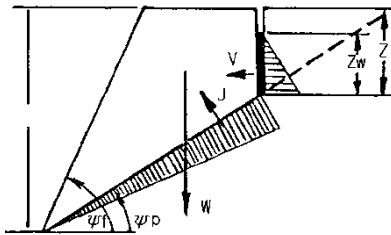
$$F = \frac{c \cdot A + (W \cos \phi_p - U - V \cdot \sin \phi_p) \tan \phi}{(W \cdot \sin \phi_p + V \cdot \cos \phi_p)}$$

A : 파괴면의 면적, Z : 인장균열 깊이, H : 사면 높이, W : 암괴의 중량, ϕ_p : 파괴면의 경사각,

U : 파괴면상의 수압에 의한 양압력, V : 인장균열 속의 수압에 의한 힘

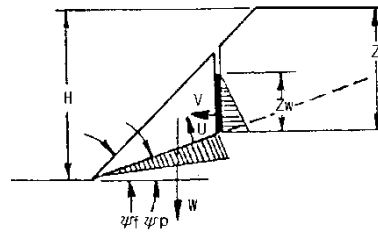
사면 정상부 쪽에
인장균열이 있는 사면

$$W = \frac{\gamma^2 H^2 \{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2 \cot \phi - \cot \phi_f\}}{2}$$



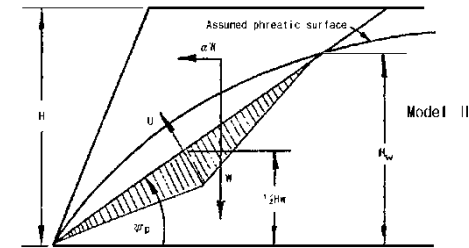
사면 내에
인장균열이 있는 사면

$$W = \frac{\gamma^2 H^2 \{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2\} \cot \phi_p (\cot \phi_p \tan \phi_p - 1)}{2}$$



인장균열이 나타나지
않는 사면

$$U = \frac{\gamma_w (H_w)^2 \operatorname{cosec} \phi_p}{4}$$



• 사면 안정 해석 프로그램

검 토 방 법		적용프로그램	검 토 내 용
토 사 및 풍화암	한계평형해석	SLOPE/W	• 한계평형에 의한 비탈면 안정성 검토
		SoilWorks	
	강도감소법	PLAXIS	• 유한요소해석(강도감소법)에 의한 비탈면 안정성 검토
		FLAC-SLOPE	
		SoilWorks	
	강우시 쌓기 비탈면 세굴검토	SEEP/W	• 한계유속과 침투유속을 비교하여 세굴에 대한 안정성 검토
암 반	확률론적 신뢰도분석	SLOPE/W	• Monte-Carlo Simulation을 이용한 분석수행
	평사투영해석	DIPS	• 극점 투영법으로 평면파괴 및 전도파괴에 대한 안정성을 분석 • 대원 투영법으로 쐐기파괴에 대한 안정성을 분석
	한계평형해석	SLOPE/W	• 한계평형에 의한 비탈면 안정성 검토
		SoilWorks	
	유한요소해석	FLAC	• 전체비탈면 지반내 응력상태변화와 파괴 영역을 파악 • 암반비탈면의 응력-변형을 해석
	개별요소해석 (DEM)	UDEC	• 불연속 암반에 존재하는 절리에 의해 분리된 개개의 블록들의 면과 모서리 사이의 접촉 상태에서의 거동을 해석하여 응력과 변형을 계산

• 비탈면 표준 경사 - 깎기

토질조건		비탈면 높이	경 사 기 준			
			국토교통부 (2016)	국가건설기준 (2016)	한국도로공사 (2009)	한국토지주택공사 (2016)
모 래		-	1:1.5 이상	1:1.5 이상	1:1.5 이상	1:1.5 이상
사질토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8~1.0	1:0.8~1.0	1:0.8~1.0	1:0.8~1.0
		5~10m	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2
	밀실하지 않고 입도분포가 나뉨	5m 이하	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2
		5~10m	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5
자갈 또는 암괴 섞인 사질토	밀실하고 입도분포가 좋음	10m 이하	1:0.8~1.0	1:0.8~1.0	1:0.8~1.0	1:0.8~1.0
		10~15m	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2
	밀실하지 않거나 입도분포가 나뉨	10m 이하	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2
		10~15m	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5
점성토		0~10m	1:0.8~1.2	1:0.8~1.2	1:0.8~1.2	1:0.8~1.2
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5m 이하	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2
		5~10m	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5	1:1.2~1.5
리핑암(풍화암)		-	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2	1:1.0~1.2
발파암	연 암	-	·연암 이상 암반비탈면의 경사는 암반내에 발달한 단층 및 주요 불연속면의 경사 및 방향을 이용한 안정해석을 실시하여 비탈면 경사를 결정.			
	경 암					

- 비탈면 표준 경사 - 쌓기

성 토 재 료	흙쌓기 높이	경 사	흙의 분류
입도분포가 좋은 모래 및 자갈 자갈섞인 모래	0~6m	1:1.5	GW, GP, SW, GM, GC
	6~15m	1:1.8	
입도분포가 나쁜 모래	0~10m	1:1.8	SP
암, 암버력	0~6m	1:1.5	GW, GP, GM
	6m 이상	1:1.8	
사질토, 굳은 점토 (퇴적층의 점성토, 점토 등)	0~6m	1:1.5	SW, SM, CL
	6m 이상	1:1.8	
연약한 점성토	0~6m	1:1.8	CH, OH, MH, ML

• 암반특성에 따른 비탈면 경사

암반구분 (굴착난이도)	암반파쇄상태		굴착난이도	경 사	소단설치	비 고
	TCR	RQD				
풍화암 또는 연. 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	리핑암	1:1.0~1.2	H=5m마다 1m 폭	· 최하단기준 매 20m 마다 3m 소단 설치 · 발파암과 리핑암 사이에는 소 단을 설치하지 않음 · 소단 사이에 토사와 리핑 구분 선이 발생시 많은 쪽 비탈면 경 사를 적용
발파암	20~40%	10~25%	발파암 (연암)	1:0.8~1.0	H=10m마다 1~2m 폭	
	40~60%	25~50%	발파암 (보통암)	1:0.7		
		60% 이상	50% 이상	발파암 (경암)	1:0.5	

TCR과 RQD가 클수록 암반 강도가 크고 불연속면이 덜 발달되어 있음을 지시하는 것으로서 사면 경사를 세울 수 있다.

• 사면안정 최소 안전율

기관별		내용	최소안전율(Fs)
국토 교통부	국도건설공사 설계실무요령(2016)	. 일반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.5$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.3$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.3$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.2$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
	도로설계기준 (2016) 건설공사비탈면설계기준 (2016)	. 일반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.5$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.3$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.3$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.2$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
한국도로공사	도로설계요령 (2009)	. 일반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.5$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.3$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.3$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.2$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
	도로설계 실무편람 (2012)	. 일반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.5$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.3$
		. 일반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 건기시	$F_s > 1.3$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 우기시	$F_s > 1.2$
		. 연약지반 흙쌓기 비탈면 지진시	$F_s > 1.1$

- 해석시 불확실성을 보완하는 여유치임
- 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향, 경제성에 따라 다르게 설정할 수 있음
- 지하수 흐름, 지반의 공학적 성질에 따라 안전율은 차이가 크게 나타날 수 있음
- 비탈면 활동에 대한 안전율은 해석 방법에 따라서 다르게 산정될 수 있음

❖ 사면 안정 보수·보강 공법

- 안전을 유지(보호) 공법(억지)과 안전을 증가(보강) 공법(억제)으로 크게 구분
- 적용 개념에 따라 다음과 같이 구분
 - 1) 표면 보호 공법
 - 2) 구조물에 의한 보강공법
 - 3) 낙석 방지 공법
 - 4) 배수 공법
 - 5) 하중 경감 공법
 - 6) 기타

❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
표 면 보 호 공 법	식생공	비탈면 표면에 식생을 하여 우수에 의한 침식을 방지하고 풍화작용을 억제시키는 공법
	돌쌓기, 블록쌓기	경사도 1:1.0(45°)보다 급한 비탈면에 사용하며 돌이나 블록 등으로 비탈면을 덮어 풍화 및 침식을 방지하는 공법
	돌붙임, 블록붙임	경사도 1:1.0(45°)보다 완만한 비탈면에 사용하여 옹벽으로서 역할과 함께 풍화 및 침식을 방지하는 공법
	콘크리트 블록, PC패널	콘크리트 격자를 비탈면에 덮어 깎기비탈면의 표면붕락을 방지하는 공법
	슛크리트 (Shotcrete)	표면 정리 후 철망을 앵커핀으로 고정시킨 후 시멘트 모르터를 뿜칠하여 표면을 보호하는 공법
	매트리스 게비온 (Mattress Gabion)	일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 매트리스 형태로 형성하는 공법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
표 면 보 호 공 법	식생공	비탈면 표면에 식생을 하여 우수에 의한 침식을 방지하고 풍화작용을 억제시키는 공법
	돌쌓기, 블록쌓기	경사도 1:1.0(45°)보다 급한 비탈면에 사용하며 돌이나 블록 등으로 비탈면을 덮어 풍화 및 침식을 방지하는 공법
	돌붙임, 블록붙임	경사도 1:1.0(45°)보다 완만한 비탈면에 사용하여 옹벽으로서 역할과 함께 풍화 및 침식을 방지하는 공법
	콘크리트 블록, PC패널	콘크리트 격자를 비탈면에 덮어 깎기비탈면의 표면 붕락을 방지하는 공법
	슛크리트 (Shotcrete)	표면 정리 후 철망을 앵커핀으로 고정시킨 후 시멘트 모르터를 뿜칠하여 표면을 보호하는 공법
	매트리스 게비온 (Mattress Gabion)	일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 매트리스 형태로 형성하는 공법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
구 조 물 에 의 한 보 강 공 법	록볼트 (Rock bolt)	강봉을 이용하여 암체를 서로 연결시켜 암반의 전단강도를 증가시키는 공법
	앵커 (Anchor)	앵커의 인장력으로 암반블록이나 토체를 안정된 지반에 고정하여 안정화 시키는 공법
	쏘일네일링 (Soil nailing)	지중에 보강재를 좁은 간격으로 삽입하여 비탈면의 전단강도를 증가시키는 공법
	역지말뚝	비탈면의 하중을 말뚝의 수평저항으로 저항하여 활동을 억지시키는 공법
	기대기 옹벽	깎기비탈면 하단부의 지지력이 상실된 공간이 발생하여 추가적으로 암 이탈이 발생할 위험성이 높은곳에 적용하는 공법
	콘크리트 옹벽	옹벽구조물을 설치하여 옹벽이 배면토압을 부담하도록 하여 비탈면을 안정화시키는 공법
	보강토 옹법	흙 비탈면내에 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법
	돌망태 옹벽	강재의 망태에 돌을 채워 넣음으로써 비탈면 표층부의 침식을 방지하는 공법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
구 조 물 에 의 한 보 강 공 법	록볼트 (Rock bolt)	강봉을 이용하여 암체를 서로 연결시켜 암반의 전단강도를 증가시키는 공법
	앵커 (Anchor)	앵커의 인장력으로 암반블록이나 토체를 안정된 지반에 고정하여 안정화 시키는 공법
	쏘일네일링 (Soil nailing)	지중에 보강재를 좁은 간격으로 삽입하여 비탈면의 전단강도를 증가시키는 공법
	역지말뚝	비탈면의 하중을 말뚝의 수평저항으로 저항하여 활동을 억지시키는 공법
	기대기 옹벽	깎기비탈면 하단부의 지지력이 상실된 공간이 발생하여 추가적으로 암 이탈이 발생할 위험성이 높은곳에 적용하는 공법
	콘크리트 옹벽	옹벽구조물을 설치하여 옹벽이 배면토압을 부담하도록 하여 비탈면을 안정화시키는 공법
	보강토 옹법	흙 비탈면내에 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법
	돌망태 옹벽	강재의 망태에 돌을 채워 넣음으로써 비탈면 표층부의 침식을 방지하는 공법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
구 조 물 에 의 한 보 강 공 법	록볼트 (Rock bolt)	강봉을 이용하여 암체를 서로 연결시켜 암반의 전단강도를 증가시키는 공법
	앵커 (Anchor)	앵커의 인장력으로 암반블록이나 토체를 안정된 지반에 고정하여 안정화 시키는 공법
	쏘일네일링 (Soil nailing)	지중에 보강재를 좁은 간격으로 삽입하여 비탈면의 전단강도를 증가시키는 공법
	역지말뚝	비탈면의 하중을 말뚝의 수평저항으로 저항하여 활동을 억지시키는 공법
	기대기 옹벽	깎기비탈면 하단부의 지지력이 상실된 공간이 발생하여 추가적으로 암 이탈이 발생할 위험성이 높은곳에 적용하는 공법
	콘크리트 옹벽	옹벽구조물을 설치하여 옹벽이 배면토압을 부담하도록 하여 비탈면을 안정화시키는 공법
	보강토 옹법	흙 비탈면내에 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법
	돌망태 옹벽	강재의 망태에 돌을 채워 넣음으로써 비탈면 표층부의 침식을 방지하는 공법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
낙 석 방 지 공 법	뚝돌제거	비탈면상의 뚝돌, 전석이 박리 또는 낙하되지 않도록 제거하는 공법
	낙석방지망	방지망의 장력 및 자중을 이용하여 이완된 암석을 포획하거나 암석의 운동에너지를 억제하는 공법
	낙석방지울타리	지주, 와이어로프, 철망, 유연성 재료 등으로 구성된 울타리로 낙석에너지를 흡수하는 공법
	피암터널	강재, 철근콘크리트 및 pc 콘크리트 등으로 도로위에처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법
	낙석방지 옹벽	토사나 전석이 도로에 유입되는 것을 방지하기 위해 비탈면 앞에 옹벽을 설치하는 공법
	조합 공법	록볼트(Rock bolt)와 연계하여 낙석방지망을 설치하거나 여러 가지 낙석방지공법을 조합하여 시공하는 방법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종류	공법개요
낙 석 방 지 공 법	뚝돌제거	비탈면상의 뚝돌, 전석이 박리 또는 낙하되지 않도록 제거하는 공법
	낙석방지망	방지망의 장력 및 자중을 이용하여 이완된 암석을 포획하거나 암석의 운동에너지를 억제하는 공법
	낙석방지울타리	지주, 와이어로프, 철망, 유연성 재료 등으로 구성된 울타리로 낙석에너지를 흡수하는 공법
	피암터널	강재, 철근콘크리트 및 pc 콘크리트 등으로 도로위에 처마를 설치하여 낙석을 받아 막거나 계곡으로 낙하시켜 낙석에 의한 피해를 방지하는 공법
	낙석방지 옹벽	토사나 전석이 도로에 유입되는 것을 방지하기 위해 비탈면 앞에 옹벽을 설치하는 공법
	조합 공법	록볼트(Rock bolt)와 연계하여 낙석방지망을 설치하거나 여러 가지 낙석방지공법을 조합하여 시공하는 방법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
배 수 공 법	산마루측구	비탈면상부에 U형 수로 등의 배수로를 설치하여 강우나 강설에 의해 지표수가 비탈면내로 침투하는 것을 방지하는 공법
	소단측구	비탈면내에 흐르는 빗물이나 용수에 의한 침식을 방지하기 위하여 소단에 콘크리트구조물의 측구를 설치하여 종단경사에 따라 배수처리를 실시하는 공법
	L, U, J형 측구	비탈면으로부터 배출되는 지하수 및 지표수와 도로상에 흐르는 용수를 집수정 등으로 유도하는 공법
	도수로	산마루측구와 소단측구 등을 따라 유입된 물을 수로 또는 도로외부로 유출시키기 위해 비탈면의 종방향으로 U형 수로 등의 배수로를 설치하는 공법
	수평배수공	지하수위 저하와 유도배수를 위해 횡방향공을 굴착하고 유공관등을 삽입하여 배수하는 공법(규모가 큰 지반활동지대에서는 배수터널이나 여러 본의 배수공을 조합하여 시공)
	집수정	지하수량이 풍부하여 수평배수공으로 배수가 곤란한 경우 집중적으로 지하수를 집수하기 위해 우물형태의 구조물을 설치하여 지하수를 배제하는 공법
	맹암거	지표수가 지반내로 유입되어 수압이 작용하는 조건의 지반인 경우 지반내에 투수성재료를 매입하여 지표수를 유도하여 지하수압을 줄이는 공법
	지하배수구	비탈면을 통해 흘러 노면 속으로 유입되는 물은 하단부에 맹암거를 시공하여 배수를 유도하며 측구 되메우기시에는 암거 혹은 배수관을 통해 배수를 유도하는 구조물
	비탈끝배수구	비탈면 용수가 많거나 콘크리트 뿔어붙이기를 시공한 비탈면과 소단배수시설이 없는 대규모 비탈면서 흘러내리는 물이 인근지역으로 흐르지 않도록 하는 공법

❖ 사면 안정 보수·보강 공법



❖ 사면 안정 보수·보강 공법

구분	종 류	공 법 개 요
하중 경감 공법	경사완화공법	비탈면의 경사를 완화시켜 안정성을 증대시키는 공법
기타 공법	그라우팅	비탈면 상부에 인장균열이 발생되었거나 암반 내 균열이 발생되어 강우 시 유수의 통로로 이용되어 암반 활동을 유발시킬 가능성이 높을 때 균열부를 채워줌으로써 암반 결합과 유수의 유입을 차단하는 공법
	모르타르	지반이나 암반에 발생한 공동의 채움이나 돌망태옹벽 등에 주입하여 고결화 시키는 등 다용도로 활용이 가능한 공법
	암파쇄방호시설	암파쇄 및 깎기 등에 의해 발생한 암괴, 토석의 도로유입을 방지하여 교통안전을 확보하고, 시공 장비의 작업공간 확보를 위해 뒤채움 토석이나 시공시 발생하는 토압에 저항하는 구조물
	사방시설	계곡부에서 토석류 이동에 따른 피해를 방지하기 위해 흙, 돌, 콘크리트 등을 이용하여 방호담과 같은 시설을 적용하는 공법
	월류방지턱	계단식(화단)옹벽이나 소단배수구 등에 설치하는 공법으로 포획 공간을 확보하여 상부로부터의 낙석, 토사 유실 등에 대비하는 공법
	와이어로프걸기공	도로비탈면 내 대규모 이완암이 존재할 경우 와이어로프를 이용하여 이완 암블록을 원지반에 묶어주는 공법
	상시계측시스템	비탈면에 대규모 변위 및 활동 등의 징후가 관찰될 때 계측관리를 통한 사전재해방지 목적을 위한 계측시스템

❖ 사면 안정 보수·보강 공법



- 사면 안정 공법

토석류 대책시설

구분	원리	대책공법
표면수 저감	침투 유량의 감소	숲 활성화 유역 관리 표면수 방향 제어
침식 저감	표면수에 의한 지표면 침식 저감	배수시설 확충
	사면 안정성 증대	배수조절 사면 내 사방댐 설치
	수로바닥 및 측면의 침식 저감	계곡 확장 계곡 안정성 증대 Check Dam 설치
	유로의 유량 저감	유출 지표수 집수
유량 조절	침투 토석 유량 감소	유출 계곡 단면 확대
토석류 제어	토석류 흐름 변화	토석류 파쇄공 설치
	토석류 퇴적 유도	사방댐 설치 네트공법 시공
	유기질 토사 여과	토석류 스크린 설치
	토석류 흐름방향 우회	굴절 유도 토사둑 설치

- 사면 안정 공법

토석류 대책시설



- 사면 안정 공법

토석류 대책시설

