

발 간 등 록 번 호

AN01145-000145-12

도 로 설 계 요 령

제2권 토공 및 배수

2020

 한국도로공사

제2권

...

토공 및 배수

제5편 토공
제6편 배수시설
제7편 암거

제5편 토 공





9. 토석류 대책시설

9.1 설계 기본사항

토석류 대책은 노선 선정 시 토석류가 발생할 가능성이 있는 곳은 가능한 한 피하는 것을 원칙으로 한다. 피하는 것이 곤란한 경우 혹은 공사 중 및 공용 중에 토석류가 발생할 우려가 있는 경우는 안정성, 경제성, 시공성을 고려하여 적절한 대책을 강구해야 한다.

토석류는 전 세계적으로 발생하는 주요 자연재해 중의 하나이며, 산악지역의 시설과 인명에 많은 피해를 유발한다. 토석류는 유발원인, 지형 및 지질조건, 토석의 구성재료에 따라 다양한 규모와 흐름특성을 나타내며, 관점에 따라 토석류를 칭하는 용어에서도 토석류(debris flow), 이토류(mudflow), lahar, 토석급류(debris torrent), 토석사태(debris slide, debris avalanche) 등의 용어가 차별적으로 사용되고 있다.

집중강우·눈 녹음·화산 등에 기인하는 토석류는 지형경사가 급한 구간에서 일시적으로 많은 유량이 발생하는 경우에 주로 발생하며, 우리나라의 경우 하절기 집중강우·태풍 시에 자연산지에서 발생한 파괴쇄설물이 우수와 섞여 계곡을 흐르는 형태가 주된 발생 형태이다. 최근 국내 강우특성이 아열대성 기후로 변화하고 있고 국지성 집중호우가 빈번해짐에 따라 산악지형을 통과하는 고속국도 계곡부에서 발생한 토석류에 의하여 도로가 장시간 차단되는 피해가 증가되고 있다. 토석류 대책공법의 적용을 위해서는 소요되는 구조물의 종류 및 크기 선정과 안정성에 대한 검토가 필요하며, 적절한 설계개념과 토석류 특성 값의 산정이 필요하다.

과거에는 토석류 발생에 의한 피해를 자연재해로 인식하여 도로 관리기관과 도로이용자가 피해를 감수하였지만 최근에는 방재에 대한 관심이 점차적으로 높아지면서 이러한 자연재해에 대해서도 가능한 범위 내에서 대책을 수립하여 피해를 감소시키라는 요구가 증가하는 상황으로서 그동안 설계기준에서도 고려하지 않고 있던 토석류에 대한 고려와 기술적 접근방법이 필요한 상황이다.

토석류에 의한 피해구간은 주로 계곡부를 통과하는 위치로서 땅깍기부 도수로 또는 횡단배수로가 설치되는 구간이다. 현재 고속국도의 횡단배수로 설계는 재현주기 50년의 강우에 대하여 토석류 발생을 고려하지 않고, 홍수유량만을 통과시키는 규격의 배수시설을 설치하거나 토석이 관내에 퇴적되는 상황을 고려하여 여유단면을 20 % 정도 고려하고 있다. 그러나 대부분의 지역에서 50년 빈도의 시간강우량과 일강우량은 토석류를 유발시키는 강우량 값을 초과하고 있다. 이는 계곡부를 통과하는 도로의 횡단배수시설 설계에 있어서 토석류 발생 여부를 고려하여 횡단배수시설을 설계 하거나 토석류 방어시설의 설치를 검토해야 할 필요성이 있다는 것을 의미한다.

(1) 대책시설의 설계 목표

- (가) 대책시설의 설계 목표는 토석류 발생 억제, 토석류 흐름 완화 및 제어, 토석류 퇴적 및 유도 등으로 한다.
- (나) 토석류의 특성은 강우에 크게 의존하므로 지역적인 강우 기록을 토대로 적절한 설계계획 빈도를 설정한 후 설계 목표를 결정한다.

(2) 대책시설 결정 시 고려사항

- (가) 토석류 대책시설 결정 시에는 다음 사항을 고려한다.
 - (a) 보호하고자 하는 시설물의 중요도, 토석류가 이동하는 경로와 시설물의 상대적인 위치 관계
 - (b) 토석류의 규모, 흐름 특성, 구성 재료 등
 - (c) 단독 또는 다중 구조물의 적용 여부
 - (d) 적용 위치에서의 시공성, 유지관리 용이성

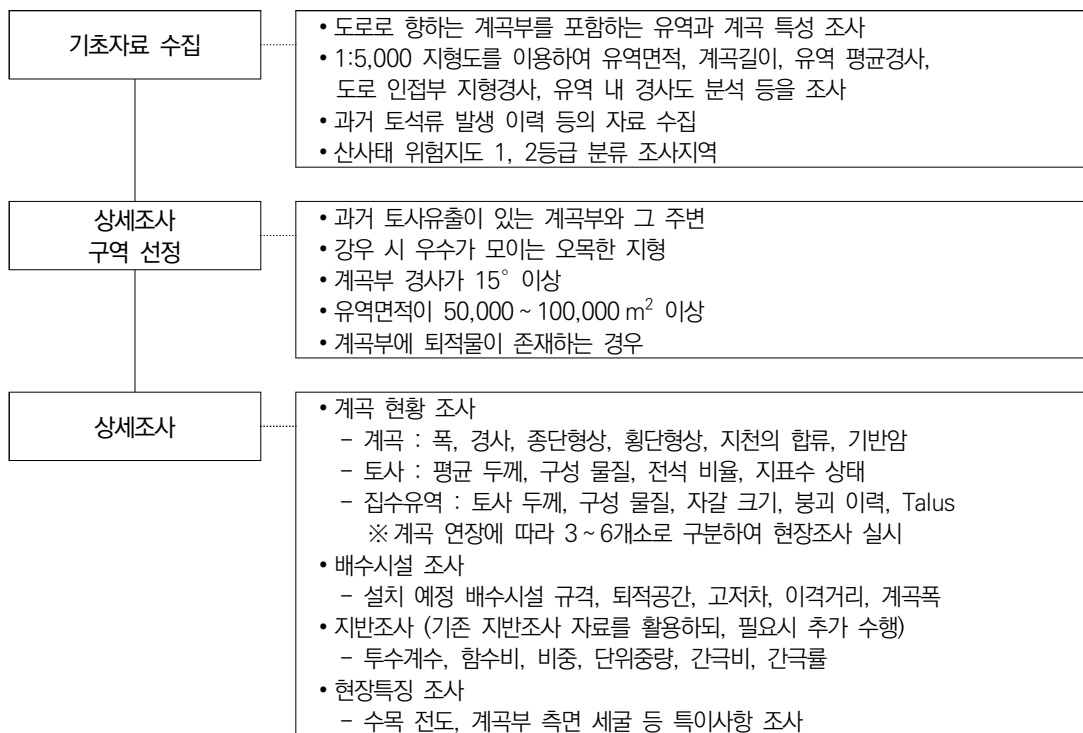
9.2 토석류 설계를 위한 조사

토석류 조사는 토석류의 발생 가능성 판단, 토석류 발생 가능 규모의 산정, 대책의 필요 여부 결정, 상황에 맞는 대책시설의 선정과 구체적인 설계를 위해 수행한다.

토석류 조사는 사전에 조사 목표와 조사 항목 및 방법, 수량을 결정하고, 현지 상황을 충분히 파악할 수 있도록 조사 계획을 수립하여 실시한다.

토석류 조사는 예비조사와 상세조사로 구분한다.

(1) 토석류 조사 절차 및 내용



〈그림 9.1〉 토석류 조사 절차 및 내용

(2) 조사의 종류

(가) 예비조사는 사업대상지역의 토석류 발생 가능성 예측, 현장 상황 파악 및 상세조사 계획을 수립하기 위하여 실시하는 조사이다.

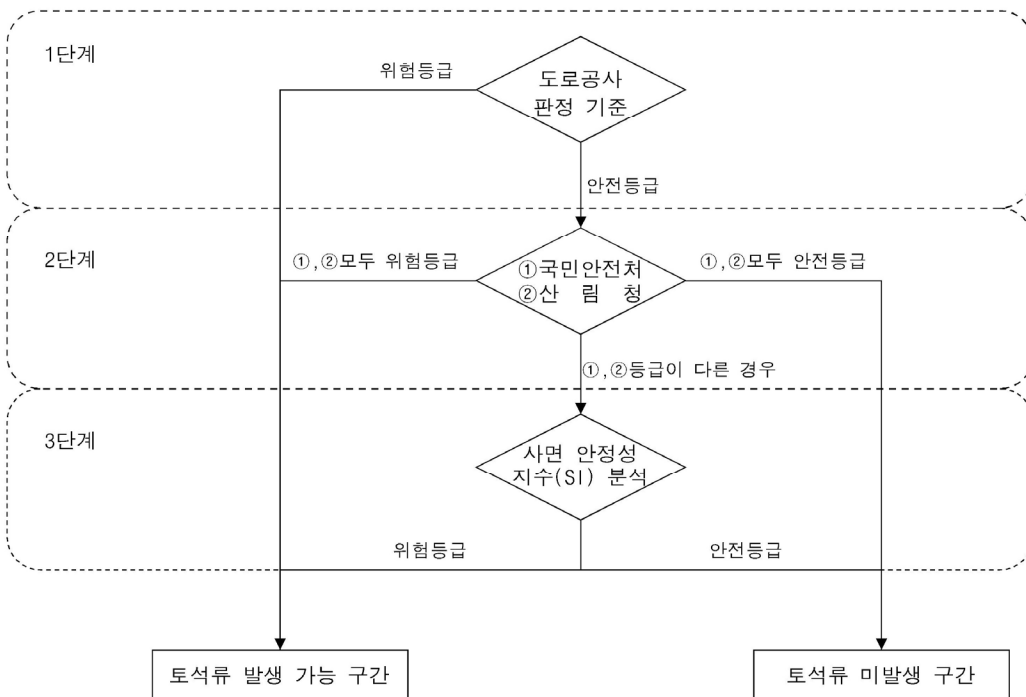
(나) 예비조사에서는 대상지역의 과거 재해자료, 지형도, 지질도, 항공사진, 기상자료, 대상지역 주변의 공사기록 등을 수집하고, 필요한 경우 현장답사를 실시한다.

- (다) 상세조사는 예비조사에서 토석류 발생 가능성이 있는 것으로 판단된 지역에 대하여 실시한다.
- (라) 상세조사는 사전에 조사 목표, 조사 항목, 조사 방법, 현장 시험 및 시료 채취, 조사 인원, 조사 공구 등을 포함한 조사 계획을 수립하여 실시한다.
- (마) 상세조사 시 토석류 기 발생구간에 대한 조사는 토석류 발생 특성을 분석하고 추가적인 토석류 발생 가능성을 확인하기 위하여 수행한다.

9.3 토석류 발생 가능 구간 선정

토석류 관련 위험등급 판정 기준은 기관별로 상이하며, 기관별 특성을 반영하기 위해 단계별 다중 평가 후 토석류 발생 가능 구간을 선정 한다.

(1) 단계별 다중 평가 절차



(2) 기관별 토석류 위험도 판정 기준

(가) 한국도로공사 : 토석류 가능 구간 위험 평가 및 등급화 지침(안)

(나) 산림청 : 토석류 취약 지역 판정표

(다) 국민안전처 : 급경사지 재해위험도 평가 기준

한국도로공사(S ~ E등급)	국민안전처(A ~ E등급)	산림청(1 ~ 4등급)
토석류가능구간 위험평가 및 등급화 지침(안)	급경사지 재해위험도 판정 점수표로 평가	산사태 위험 판정기준표 및 인자별 점수표로 평가
S A B C D E	E D C B A	1 2 3 4
※ 음영()구간 : 토석류 관련 위험등급 (발생 가능성 높은 구간) 음영 외 구간 : 토석류 관련 안전등급 (발생 가능성 낮은 구간)		
※ 도로구역 외(外) 설치를 위한 현장 합동조사		

〈그림 9.2〉 기관별 토석류 위험도 판정 기준

(3) 사면안정지수(SI)를 통한 토석류 위험도 판정

(가) 산림청과 국민안전처의 토석류 위험등급이 상이 할 경우, 수치지형도를 이용하여 사면안정성을 사면안정지수(SI)로 등급화(1 ~ 6등급)하여 위험도를 판단할 수 있는 범용 프로그램을 이용하여 위험도를 판정한다.

〈표 9.1〉 사면안정지수(SI) 등급

조 건		등 급	위험도 상태
안전 등급	$SI > 1.5$	1	안정지역 (Stable slope zone)
	$1.5 > SI > 1.25$	2	비교적 안정지역 (Moderately stable zone)
	$1.25 > SI > 1.0$	3	준안정지역 (Quasi-stable slope zone)
	$1.0 > SI > 0.5$	4	발생위험 낮은 지역 (Lower threshold slope zone)
위험 등급	$0.5 > SI > 0.0$	5	발생위험 높은 지역 (Upper threshold slope zone)
	$0.0 > SI$	6	발생 지역 (Defended slope zone)

(다) ' $SI \leq 0.5$ 이하 면적의 합'이 배수 유역면적의 15 % 이상인 경우 토석류 발생 가능 구간으로 선정함을 원칙으로 하되, 15 % 이하인 경우라도 도로에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 경우에는 토석류 발생 가능구간으로 선정한다.

9.4 토석류 규모 산정

대책공법의 종류, 규모, 위치 등 토석류 대책방안을 결정하기 위해서는 발생하는 토석류의 규모, 유량, 속도 등과 같은 토석류 특성 값들을 구해야 한다. 이러한 토석류 특성 값은 유역 내 지형·지반·지질조건 및 식생 상태 그리고 강우량에 따른 토석류 발생의 시작·이동·퇴적의 복잡한 과정과 관련이 있으며, 대부분의 과거 토석류 발생 사례의 관찰과 조사 결과 그리고 간단한 이론과 접목된 반경험적인 방법들을 이용하여 구하게 된다. 토석류 대책시설의 설계 인자는 시설의 종류, 규모, 배치, 설계 조건을 결정하는데 사용할 수 있다. 대책시설 설계 시 고려해야 하는 인자는 최대 토석 부피, 토석류 침투유량, 토석류 충격력, 토석류 단위 중량, 유속, 수심, 퇴적 경사 등이다.

(1) 토석류 규모 산정

V_Q (유출토석량)은 유역 내의 이동 가능 토석량과 계획 규모의 토석류에 의해 운반이 가능한 토석량을 비교하여 작은 값을 적용한다.

(가) 유역 내의 이동 가능 토석량

붕괴 가능 토석량(V_0) + 이동 가능 계상 퇴적 토석량(V_1)로 산출한다.

(a) 붕괴 가능 토석량(V_0) 산정

- 유역내 토석류 시작이 가능한 지점의 면적과 토층 두께의 합
- 초기 붕괴토석량을 산정하는 것은 매우 어렵기 때문에 일본의 초기 붕괴토석량 산정방법 활용
- 산출식 : $V_0 = \sum(\text{유역면적} \times \text{붕괴면적률}/100 \times \text{붕괴심도})$ (9.1 a)

(b) 이동가능 계상 퇴적 토석량(V_1) 산정

- 토석류 이동계곡의 길이와 계곡내 침식가능 두께, 계곡단면적을 고려하는 방법 (지형학적 조사를 통해 산정)

$$V_1 = \sum V_e - \sum V_d = \sum (L_i \times B_i \times Y_i) - \sum (L_i \times B_i \times D_i) \quad (9.1 \text{ b})$$

여기서, V_e = 계곡부에서 침식되는 토석량(현장 계곡 폭, 길이 실측 토사 두께 활용)

V_d : 계곡부에서 퇴적되는 토석량 ("0"으로 가정)

L_i : 계곡의 단위 길이, B_i : 계곡의 폭

Y_i : 계곡의 침식 두께, D_i : 계곡의 퇴적 두께

〈표 9.2〉 지질 종류에 따른 붕괴면적율 및 붕괴심도

지질종류		붕괴 면적율	붕괴심도(m)	지질종류		붕괴면적율	붕괴심도(m)
화성암	화강암	0.05	2 ~ 3	퇴적암	퇴적층	1.70	1 ~ 2
	섬록암	0.06	5		화산쇄설암	0.22	2 ~ 3
		0.04	2 ~ 3		응회암	0.23	2 ~ 3
	석영반암	0.10	3 ~ 4		응회각력암	0.19	2 ~ 3
	분암	1.08	5		화산암설	0.39	5
	휘록암	0.46	2 ~ 3		역암	0.10	1 ~ 2
	석영조면암	0.26	5		각력암	0.45	-
	석영안산암	0.53	0 ~ 1		사암	0.21	1 ~ 2
	안산암	0.22	4 ~ 5		규암	2.04	5
	안산암질용암	0.29	3 ~ 4		점토암(이암)	0.36	2 ~ 3
	현무암	0.11	-		혈암	0.10	1 ~ 2
	분암섬록암	0.13	3 ~ 4		점판암	0.07	2 ~ 3
변성암	변성암	0.34	2 ~ 3		사암혈암	0.14	2 ~ 3
		0.07	1 ~ 2		사암점판암	0.09	1 ~ 2
퇴적암	고생층	0.50	2 ~ 3		사암처트	0.25	2 ~ 3
	중생층	0.05	2 ~ 3		혈암응회암	1.01	1 ~ 2
	제3기층	0.25	3 ~ 4		석회암	0.27	2 ~ 3
	홍적층	0.19	3 ~ 4		처트	0.16	2 ~ 3
	충적층	0.04	4 ~ 5		처트응회암	0.73	-

(나) 계획 규모의 토석류에 의해 운반이 가능한 토석량

$$V_Q = f_r \times \frac{1,000 \times R_{24} \times A}{1 - n} \times \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) \quad (9-1 \text{ c})$$

여기서, R_{24} : 대상지역의 24시간 최대 강우량(mm) A : 유역면적(km²), n : 계곡 바닥 퇴적물의 공극률 f_r : 유출보정율 (최대 0.5, 최소 0.1 적용)

$$f_r = 0.05 (\log A - 2.0)^2 + 0.05,$$

여기서, A 는 유역면적(km²) C_d : 유입되는 토석류의 용적토사농도

$$C_d = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

여기서, γ_s : 사력의 단위 체적 중량 [kN/m³(tf/m³)], (계략치 18 kN/m³)

- γ_w : 물의 단위 체적 중량 [$\text{kN/m}^3(\text{tf/m}^3)$]
 ϕ : 계곡 바닥 퇴적 토사의 전단 저항각(도)
 θ : 기존 수로의 경사(기존 수로의 평균 경사)

〈표 9.3〉 지하수위 이상에 있는 토석류의 단위중량(γ_w) 및 토질별 전단 저항각(ϕ)

종 류	상 태	단위중량	전단저항각
자 갈	조밀한 것 또는 입도가 좋은 것	20	40
	조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것	18	35
자갈섞인 모래	조밀한 것	21	40
	조밀하지 않은 것	19	35
모 래	조밀한 것	20	35
	조밀하지 않은 것	18	30
사 질 토	조밀한 것	19	30
	조밀하지 않은 것	17	25
점 성 토	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	18	25
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	17	10
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	16	15
점토 및 실트	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	17	20
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	16	15
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	14	10

(2) 침두토석유량(peak debris discharge)

토석류 침두유량은 임의 위치에서 단위시간 당 통과하는 물과 흙이 혼합된 토석류의 유량으로 정의하며, 기존에 도로 하부에 설치된 배수로의 설계 유량을 초과하는지를 판별하거나 다른 설계변수와의 상관관계로부터 토석 파괴 또는 토석 흐름속도를 추정하는데 이용할 수 있다. 침두토석유량은 설계 토석량과 마찬가지로 토석류의 시작-이동-퇴적특성에 의하여 결정되며, 매우 많은 변수에 의하여 결정되므로 이론적으로 산정하기가 매우 어려운 상황이다. 완만한 경사에서 계곡 바닥의 부분 침식에 의하여 발생하는 토석류 흐름의 침두 유량식을 이용하여 산정하는 방법(Takahashi, 1978) 그리고, 토석류 평균유속을 산정하고 계곡의 단면적을 곱하여 산정하는 방법을 이용할 수 있다.

$$Q_d = \frac{C^*}{(C^* - C_d)} Q_w \quad (9.2 a)$$

$$\text{또는 } Q_d = vA \quad (9.2 b)$$

여기서, Q_d : 침투토석유량(m^3/sec)

Q_w : 홍수 시 침투유량($= 0.0000002778CIA_b$)

C^* : 계곡 바닥 지반의 용적 농도($=V_s/V$)

C_d : 토석류의 용적 농도

C : 유출계수

I : 설계강우강도(mm/h)

A_b : 계곡의 단면적(m^2)

v : 토석류의 평균유속(m/sec)

A : 유역면적(m^2)

식 9.2 a는 홍수 유량에 의하여 계곡 바닥이 세굴되면서 토석류로 발전하는 경우를 가정하고, 토석과 물의 연속방정식으로부터 침투토석유량이 정상상태에 도달할 때의 값을 나타낸다. 계곡바닥의 평균경사(θ)가 계곡바닥지반의 잔류내부마찰각(ϕ_r)보다 작은 경우에 적용할 수 있다. 침투토석유량의 산정은 다음과 같이 설계토석량과의 경험적 상관관계를 이용하는 방법도 이용할 수 있다.

하지만 지역마다 토석류 특성은 차이를 나타내므로 참고적인 방법으로 활용할 것을 권장한다.

〈표 9.4〉 토석류 침투유량과 토석부피의 경험적 관계식

공 식	제 안 자	토석류 특성	비 고
$Q_d = 0.135V_t^{0.78}$	Mizuyama et al(1992)	granular debris flow	(9-3a)
$Q_d = 0.019V_t^{0.79}$	Mizuyama et al(1992)	muddy debris flow	(9-3b)
$Q_d = 0.1V_t^{0.83}$	Rickenmann(1999)		(9-3c)

여기서, AQ_d : 침투토석유량(m^3/sec), V_t : 설계토석량(m^3)

(3) 토석류 평균유속(debris flow velocity)

토석류 평균유속은 임의 위치에서의 토석류의 수심에 따른 평균유속으로 정의하며, 구조물에 가해지는 충격력의 산정, 침투토석유량의 산정, 토석류의 흐름 수심 결정에 사용한다.

토석류 평균유속은 실제로 측정하는 방법, 기존 토석류 흔적에서 추정하는 방법, 흐름모델을 이용한 이론적 공식들이 제안되어 있다. 실측하거나 추정한 바에 의하면 토석류의 평균유속은 유량과 바닥경사, 계곡의 특성에 따라 0.95 ~ 28 m/sec 범위로 매우 다양하게 나타난다. 흐름모델을 이용한 이론적 공식은 다음 표 9.5와 같다.

〈표 9.5〉 토석류의 평균유속을 산정하는 방법들

공 식	제 안 자	흐 름 모 델	토석류 특성	비 고
$v = \frac{2}{3} \xi H^{3/2} S^{1/2}$	Takahashi(1981)	Dilatant granular flow	Debris Flow	(9-4a)
$v = \frac{1}{n} H^{3/2} S^{1/2}$	Japan PWRI(1988)	Newtonian Turbulent flow: Manning-Strickler equation	Debris Flow	(9-4b)
$v = 2.1 Q_d^{0.33} S^{0.33}$	Rickenmann(1999)	Empirical equation	Debris Flow	(9-4c)
여기서, v : 평균유속(m/sec), ξ : 토석류의 부피농도와 관련된 차원계수($\approx 3.25 \text{ m}^{-1/2} \text{ s}^{-1}$), H : 토석류 흐름심도(m), S : 계곡바닥의 경사($= \tan \theta$), n : 조도계수 (토석류 흐름특성과 계곡바닥의 거칠기와 관계있음)				

(4) 토석류의 수심 (flow depth)

토석류 수심은 침투유량 발생 시 토석류 횡단면에서의 평균적인 수심으로 정의하며, 토석류 선단파의 최대 흐름 심도를 의미하지는 않는다. 토석류 흐름 심도는 방어 구조물의 높이 또는 토석류 우회 수로를 설치할 경우 수로의 높이를 결정하는데 중요한 변수가 된다. 토석류 수심은 유량과 유속에 의하여 결정되며, 계곡의 단면 폭(B)를 갖는 직사각형 단면으로 가정하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H = \frac{Q_d}{vB} \quad (9-5)$$

여기서, H : 평균유속을 가정한 토석류의 수심

Q_d : 침투토석유량

v : 토석류 평균유속

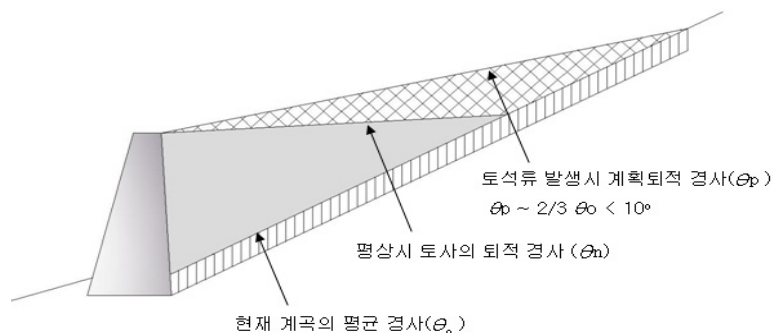
B : 계곡의 폭

토석류의 최대 수심은 서지파(surge)가 형성되는 흐름의 선단 부분이 가장 크며, 점차적으로 수심이 작아지는 형태를 갖는다. 위 식으로 구한 수심은 평균적인 수심이며, 선단파의 최대 수심은 이 값을 약 1.5배 정도 크게 결정하는 것이 필요하다.

(5) 토석류의 이동, 퇴적 특성 (transport-deposition characteristics)

토석류 대책을 위해서는 토석류의 이동과 퇴적 특성을 이해하는 것이 필요하다. 많은 관찰 결과에 의하면 토석류 흐름과 이동을 유지하는 가장 큰 메커니즘은 흙과 물의 상대적인 농도 그리고 계곡바닥의 경사이다. 토석류 흐름이 유지되기 위해서는 약 10° 이상의 계곡 바닥 경사가 필요하며, 또한 토석류의 고체 용적 농도 또한 30 % 이상의 값이 필요한 것으로 알려져 있다. 만약 계곡 바닥 경사가 10° 미만인 경우, 토석류는 내부에 포함된 큰 암석을 이동시킬 정도의 에너지를 갖지 못하여 퇴적이 시작되며, 특히 계곡 폭이 넓어지는 경우 퇴적은 더 쉽게 발생된다. 평상 시 퇴적면의 경사는 약 $3 \sim 4^\circ$, 최대 퇴적 경사는 계곡 바닥 평균 경사의 약 $2/3$ 을 적용하고 10° 미만이 되도록 한다. 반대로 토석류의 고체 용적 농도가 약 80 % 이상이 되면 토석류 내의 고체 입자 간 마찰력이 지배적이 되며, 유체가 아닌 고체의 상태가 되어 흐름은 정지하게 된다.

이러한 토석류 특성을 고려하면 대책 방안의 수립에 있어서 설치를 경사가 완만하거나 계곡 폭이 넓어지는 구간 아래쪽에 위치시키는 것이 유리하다는 것을 알 수 있고, 대책공법의 기능이나 형상에 있어서도 토석류에 포함된 유체만을 분리하거나 제거하여 토석류의 고체 용적 농도를 증가시키는 방법을 이용하면 토석류 흐름을 쉽게 멈출 수 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림 9.3〉 토석 퇴적 경사

(6) 구조물에 가해지는 동적하중(dynamic thrust and impact)

토석류에 의하여 구조물에 가해지는 동적하중은 일정 속도로 움직이는 토석류가 구조물에 가하는 동적추력(dynamic thrust)과 토석류에 포함된 큰 암석이 구조물과 부딪힐 때 구조물에 가해지는 동적충격하중(dynamic impact force)으로 구분할 수 있다.

토석류가 구조물에 가하는 동적추력은 모멘텀 방정식으로 유도하며, 식 9. 6 a를 이용하여 산정한다. 동적추력은 계곡단면을 가득 채운 토석류가 구조물에 가하는 총 하중으로 간주한다. 계곡 폭 방향의 구조물 단위 길이 당 하중으로 환산하기 위해서는 이 값을 계곡 폭으로 나눠서 사용할 수 있다. 토석류에 포함된 큰 암석이 구조물에 부딪힐 때 구조물에 가하는 하중은 구조물 전체의 변위 또는 강성을 고려하여 유도하며, 식 9. 6 b를 이용하여 산정할 수 있다.

$$F_d = \rho A v^2 \sin \beta \quad (\text{또는 } F = \rho Q_d v \sin \beta) \quad (9. 6 a)$$

$$F_i = \frac{M v^2}{d} \quad (\text{or } F = \sqrt{M v^2 K}) \quad (9.6 b)$$

여기서, F_d : 동적추력(dynamic thrust, kN)

ρ : 토석류의 밀도(kg/m³)

A : 토석이 흐르는 수로의 단면적(m²)

v : 토석류 평균 유속(m/sec)

β : 방어구조물과 계곡의 각도(°)

Q_d : 침투토석유량(m³/sec)

F_i : 동적충격하중(dynamic impact force, kN)

M : 큰 암괴의 질량(kg)

d : 충돌 후 구조물에 발생하는 변위(m)

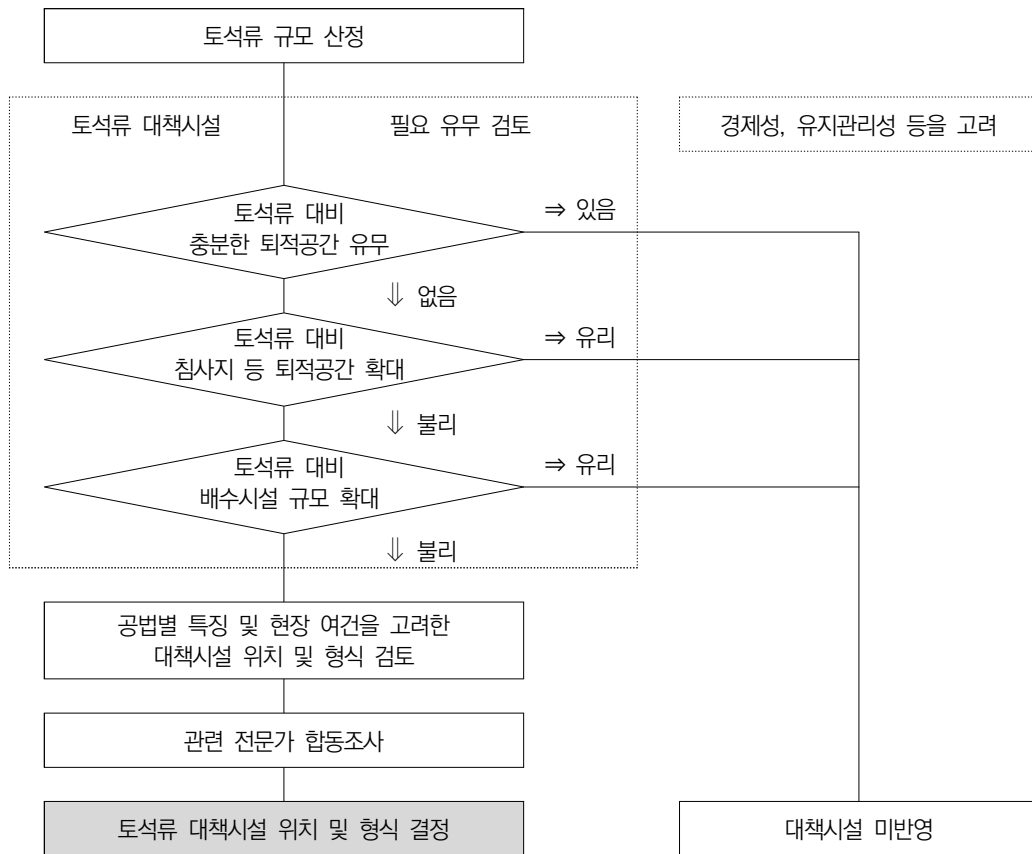
K : 구조물의 강성(kN/m, 단순 빔인 경우 $K = 48EI/L^3$)

9.5 토석류 대책시설

토석류의 대책은 도로 구역의 계곡류에서 발생, 흘러내린 토석류에 의하여 본선 내의 노면 등에 토사나 유목이 범람할 것이 우려되는 곳에 실시한다.

또한, 이 요령은 통과 형식이 토공부인 곳에 통행차량의 안전 확보와 도로 시설의 보전을 목적으로 한 토석류 대책에 적용한다.

(1) 토석류 대책시설 선정 절차



(2) 범위

(가) 대책시설의 계획은 토석류가 발생하여 피해가 예상되는 시설물의 인근에 대해서 수립하며, 토석류 가능성과 시설물의 피해 가능성을 고려하여 합리적이고 효과적인 대책이 되도록 한다.

(나) 대책시설 계획은 대상 지역의 지형, 지질, 수리 및 수문 특성에 대한 조사를 토대로, 토석류 발생 특성, 대책시설의 적용 용이성, 효과, 그리고 향후 유지관리의 용이성, 친환경성 등을 종합적으로 고려한다.

(3) 계획의 기준 지점

(가) 계획의 기준 지점은 토석류로 인해 피해가 예상되는 시설물의 인근에 대해서 대책시설의 기능 목표에 따른 효과가 최대로 발휘되는 지점으로 한다.

(나) 계획의 기준 지점을 결정할 때는 토석류의 특성(시작 ~ 이동 ~ 퇴적)을 고려해야 한다.

(다) 다양한 대책시설을 적용하거나 여러 단계로 적용하는 경우에는 기준 지점을 여러 구간으로 설정할 수 있으며, 이때는 각 위치에서의 토석류 특성을 고려한다.

(4) 도로의 보전을 목적으로 한 토석류에 대해서 과거 재해 실태 등을 조사·검토하고, 유출 토석량을 산정하여 주요 유로 내의 이동 가능 토석량을 대상으로 토석류에 대한 대책을 수립해야 한다.

(5) 토석류 대책시설의 선정 시 계곡류의 상황이나 관련 법규, 관계기관과의 협의, 향후 유지관리 등 현장조건을 종합적으로 판단하여 결정한다.

(6) 토석류 대책시설의 선정에 있어서 통과 형식이나 통과 지점의 상·하류 상황 등의 현지 조건을 고려하여 종합적이며 효과적인 대책시설의 배치가 되도록 검토함과 동시에 현지의 지형, 지질특성, 토석류의 발생 빈도, 경제성, 시공성, 유지관리의 효율성 등을 포함하여 종합적으로 감안하는 것이 중요하다.

(7) 도로관리구역 내 적용 가능한 대책시설

(가) 토석류가 도로에 도달하기 전에 방어하는 방법 : 사방댐과 같은 구조물

(나) 도로 측면의 공간을 활용하여 퇴적시키는 방법 : 퇴사지

(다) 도로 하부 횡단배수시설의 기능을 유지시키는 방법 : 강재틀

〈표 9.6〉 도로 구역 내 적용 가능한 공법

구분	공법	개략 단면형태
토석류 방어	중력식 사방댐	
	투과형 사방댐	
토석류 퇴적	퇴사지	
배수시설 기능 유지	강재틀	

(8) 현장 상황을 고려한 토석류 대책시설

(가) 도로와 계곡 사이의 상대적인 높이 차 고려한 대책공법

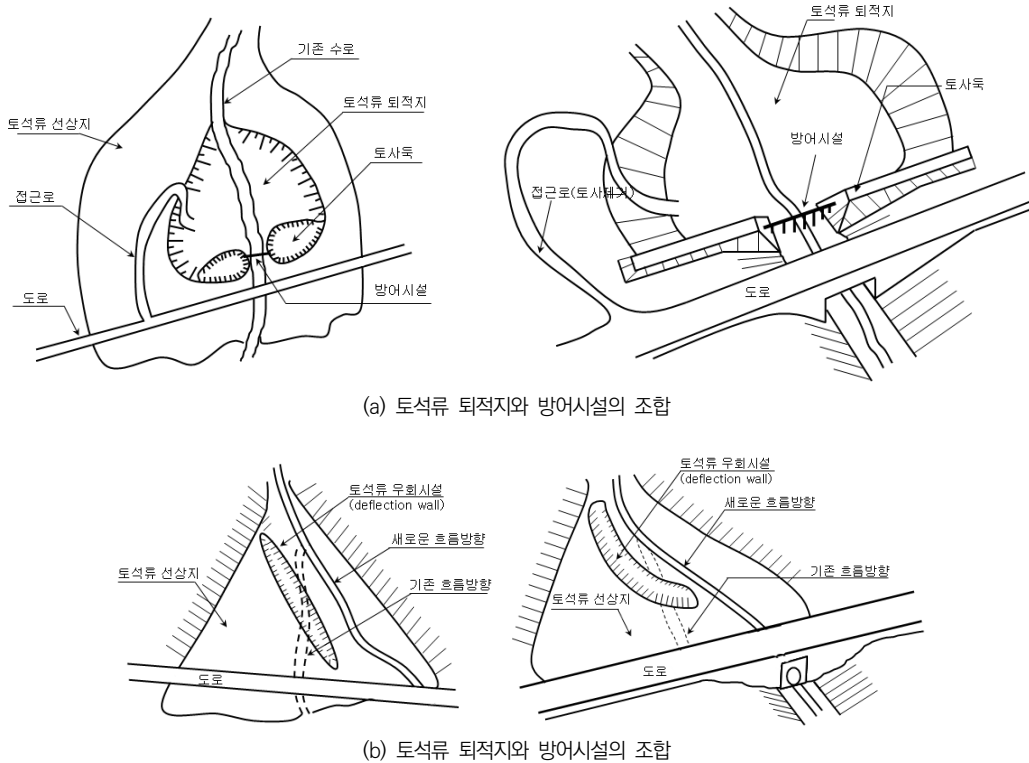
절토부와 성토부 계곡에 따라 적용 대책공법은 차이가 있으며 특히, 성토부의 경우 도로 면으로부터 상대적 높이 차가 작은 저성토부와 높이 차가 큰 고성토부 여부에 따라서도 차이가 있다.

〈표 9.7〉 도로와 계곡 사이의 상대적인 높이 차 고려한 공법

현장 상황		피해 유형	공법
땅깎기부 계곡		토석이 도로에 직접 침범	투과형 사방댐, 링넷
흩쌓기부 계곡	저성토부	배수시설이 막힌 후 토석이 범람하여 도로에 퇴적	사방댐(중력식, 투과식) 강재틀
	고성토부	배수시설이 막힌 후 다량의 계곡수로 인해 호수 형성	강재틀

(나) 도로와 계곡 사이의 퇴적 공간 고려 대책시설

지형특성상 도로 측면에 충분한 퇴적 공간이 있을 경우, 퇴적 공간 내에 토석류 방지시설을 흐름방향에 가로 질러 설치하여, 1차적으로 퇴적을 유도한 후 유량(세립분 포함)만이 횡단배수시설을 통과시키는 대책공법을 선정해야 한다.



〈그림 9.4〉 도로와 계곡 사이의 퇴적 공간 고려한 공법

(다) 횡단배수시설의 규격을 고려한 대책시설

토석류 발생 시 배수시설이 차단되지 않도록, 배수시설의 규격을 고려하여 대책공법을 선정해야 한다.

〈표 9.8〉 횡단배수시설의 규격을 고려한 공법

구 분		피해 유형	공법
성토	배수 규격		
저성토부	B2×2 미만	배수시설이 막힌 후 토석이 범람하여 도로에 퇴적	사방댐(중력식, 투과식) 강재틀
	B2×2 이상 ~ B4×4	배수시설 부분 막힘 토석 또는 홍수유량 범람	사방댐(투과식), 강재틀
	B4×4 이상(*1)	토사퇴적, 유량 처리 가능	필요 없음
	B4×4 이상(*2)	토사퇴적, 유량 처리 가능	수로에 대해서는 강재틀 적용
고성토부	B2×2 미만	배수시설이 막힌 후 다량의 계곡수로 인해 호수 형성	강재틀
	B2×2 이상 ~ B4×4	배수시설 부분 막힘	강재틀 또는 필요 없음
	B4×4 이상(*1,2)	토사 퇴적, 유량 처리 가능	필요 없음

(*1) 배수시설이 통수로 겸용인 경우 포함

(*2) 수로, 통로가 같이 있는 경우임

(9) 주요 토석류의 대책공법의 종류와 기능은 다음 표 9.9와 같다.

〈표 9.9〉 토석류 대책공법 종류

구분	방어시설			
형식	불투과형		투과형	
공법명	콘크리트 댐 (Concrete Dam)	데브리스 댐 (Debris Dam)	브레이커 댐 (Breaker Dam)	슬릿 댐 (Slit Dam)
기능	- 계곡 경사 완화 - 토석류 완전 퇴적 차단	- 계곡 경사 완화 - 토석류 완전 퇴적 차단	- 토석류의 부분적 방어·파쇄 - 부분적 퇴적	- 토석류의 부분적 방어 - 부분적 퇴적
사진				

구분	방어시설				
형식	투과형				
공법명	슬롯 댐 (Slot Dam)	데브리스 프레임 (Debris Frame)	데브리스 레이크 (Debris Rake)	데브리스 그릴 (Debris Grill)	연성형 차단시설 (Net)
기능	- 토석류의 부분적 방어 - 부분적 퇴적	- 물과 토석류의 여과분리 - 거석유목 차단 - 부분적 방어	- 유송잡물 방어 - 세립질 여과 - 부분적 방어	- 물과 토석의 분리 - 퇴적유도	토석류의 직접적 방어, 퇴적, 차단
사진					

구분	배수구조물 기능유지				
형식	복합형	투과형		분리시설	우회시설
공법명	복합 적용	데브리스 디플렉터 (Debris Deflector)	데브리스 랙 (Debris Rack)	데브리스 핀 (Debris Fin)	데브리스 라이저 (Debris Riser)
기능	파쇄, 방어, 퇴적	유목의 우회 및 차단, 여과	유목의 차단, 여과	토석 및 유목 흐름의 분리, 유속 증가	여수로 형성
사진					

9.6 토석류 대책시설의 유지관리

토석류 대책시설은 그 기능을 유지하기 위하여 적절한 유지관리가 중요하다.

토석류 대책공을 실시하여도 일단 토석류가 발생하면 그 포착 기능이 손실되거나 유목 등의 영향으로 재차 토석류에 충분한 대처가 불가능하기도 한다. 또 중·소규모의 홍수 시 유출 토사에 의하여 저장 용량이 서서히 감소될 우려도 있다. 따라서 토석류 대책시설은 그 기능이 계획대로 발휘되도록 적절한 유지관리를 실시할 필요가 있다. 구체적으로 저장 공간에 채워진 토사의 배출, 유목의 제거 본선 횡단 구조물의 유사(流砂) 단면 확보 등을 실시해야 한다. 토석류 대책시설은 대부분 자연 경관이 수려한 계곡부에 위치하므로 경관을 고려해야 하며, 어류·양서류 등의 생태이동통로의 기능이 차단되지 않도록 계획되어야 한다.

9.7 토석류 대책시설의 점검 및 관리방안

9.7.1 점검 방안

(1) 점검 기준

구 분	정기 점검1	수시 점검2
점검 대상	전 체	전 체
점검 주체	지 사	지 사
점검 주기	1회/1년	수 시
점검 시기	매년 4월 30일까지	필요 시
점검표	별도 양식	필요 시 작성

(가) 정기 점검 : 매년 정기적으로 4월 30일 까지 1회 이상 실시(풍수해 기간 시작 전 점검 후 조치 필요)

(나) 수시 점검 : 태풍 또는 집중호우 등으로 피해 발생이 우려되거나 피해가 발생 되었을 때 비정기적으로 점검 실시(필요 시 관련 분야 전문가, 지자체와 합동 점검 실시)

(2) 점검 방법

육안점검으로 초기의 균열·파손 등 이후에 커다란 변형으로 이어지는 징조를 조기에 발견·조치하는 것이 중요하며, 시설물 부재의 변형, 파손, 내구성, 사면의 환경변화 등에 대해서 주기적인 점검을 통한 경과 기록 및 지속적인 관찰

(3) 점검 내용

- 기초부(유로보강부)의 침식 또는 시설물 좌우 세굴상태 확인
- 차단시설 배면에 적치된 토석 및 유송잡물 확인(준설필요 여부)
- 콘크리트 강재 등 시설물 재료의 노후화
- 보강재료의 파손 및 훼손상태
- 퇴사시설 옹덩이의 퇴사용량, 유수의 흐름 확인 등

(4) 점검 후 손상조치

점검결과 이상이 발견된 때는 경미한 사항인지, 안정성에 영향을 미치는 중대한 사항인지 판하여 적절한 보수보강 조치가 필요하며 기능손상 발생시 전문가의 기술검토를 통해 보강방안 수립

9.7.2 관리 방안

(1) 토석류 대책시설 관리번호 부여(00지사 - 000)

(2) 토석류 대책시설 현황 정리

- 배수시설 내 가드레일, 낙석방지책 등 기타 토석류 저감시설로 입력된 시설물은 대책시설 현황에서 제외

(3) 현황·이력 등 자료 관리를 위한 관리시스템 보완

(4) 관리대장 작성 시기

- 건설단계 : 관리대장의 일반 현황, 시공 현황, 설계 자료 입력 후 이관
- 유지관리단계 : 토석류 대책시설 설치 및 준공 후 작성

(5) 점검 등 유지관리 효율성 향상을 위한 점검 계단 설치

- 설계단계 : 설계반영 필요
- 건설단계 : 예산 등 여건을 고려하여 설치여부 검토 필요

※ 설계·단계 : 토석류 퇴적 공간이 크고, 토석류 준설 등 수시로 정비가 필요한 경우에는 장비 접근로 설치 여부 검토 필요

- 유지관리단계 : 점검계단 필요구간 조사 후 단계별 사업계획 반영

(6) 대책시설의 유지관리 종료

- 대책시설이 설치된 구간의 주변여건 변화(상부유역개발) 등으로 인해 위험성이 없어진 경우에는 유지관리 종료