

제 7 장 산지부 배수¹⁾

7.1 산지부 기준

7.1.1 산지부 기준이 적용되는 지역

(1) 산림청의 산사태 위험지도상 1, 2등급으로 분류되는 지역

[표 7.1.1] 산림청의 산사태 위험지 등급 구분

구 분	내 용
1등급 지역	산사태 발생가능성이 대단히 높은 지역
2등급 지역	산사태 발생가능성이 높은 지역

(2) 표고 400m 이상 산지를 접한 계곡 등 영향권내의 지역

- ① 도로가 산악지역의 계곡부를 통과함에 따라 땅꺼짐 및 흩날기 비탈면이 연속적으로 발생하는 구간
- ② 백두대간 및 주요 산맥을 통과하는 구간

(3) 산사태 및 토석류 등으로 피해가 발생한 지역

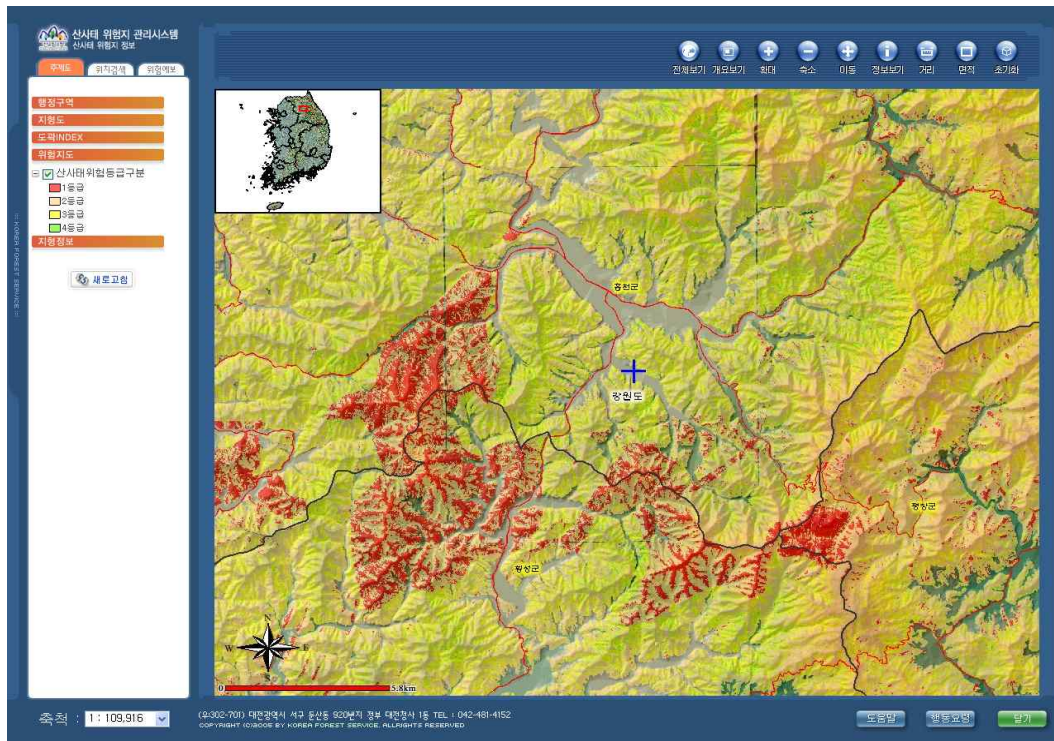
(4) 산악지를 통과하는 지역으로 건설기술관리법 제5조의 2의 규정에 의한 도로, 수리·수문, 토질 및 기초, 구조, 지질 및 지반 분야의 전문가로 구성된 설계지문위원회에서 현행 설계기준보다 배수규격 확대 등 특별히 설계기준 강화가 필요하다고 판단되는 지역

7.1.2 산지부 조사

(1) 일반사항

- ① 산지부의 정의 : 표고 400m 이상 산지를 접한 계곡 등 영향권 내의 지역을 말한다.
- ② 산사태 발생이력이 있거나 토석류(土石流, debris flow)가 발생한 지역은 산림청의 산사태 위험지도를 통해 산사태 발생위험지 여부를 확인해야 한다.

1) 수해예방을 위한 산지부 도로설계기준 개선(설계처-3394, 2007. 11. 28)



<그림 7.1.1> 산사태 위험지도

③ 위성사진 및 지형도 등을 이용한 지형조사와 지표지질조사 및 현장지형조사를 수행하여야 한다.

④ 산지부 기준이 적용되는 지역

가. 산림청의 산사태 위험지도상 1, 2등급으로 분류되는 지역

[표 7.1.2] 산림청의 산사태 위험지 등급 구분

구 분	내 용
1등급 지역	산사태 발생가능성이 대단히 높은 지역
2등급 지역	산사태 발생가능성이 높은 지역

나. 표고 400m 이상 산지를 접한 계곡 등 영향권내의 지역

(가) 도로가 산악지역의 계곡부를 통과함에 따라 땅깍기 및 흩쌓기 비탈면이 연속적으로 발생하는 구간

(나) 백두대간 및 주요 산맥을 통과하는 구간

다. 산사태 및 토석류 등으로 피해가 발생한 지역

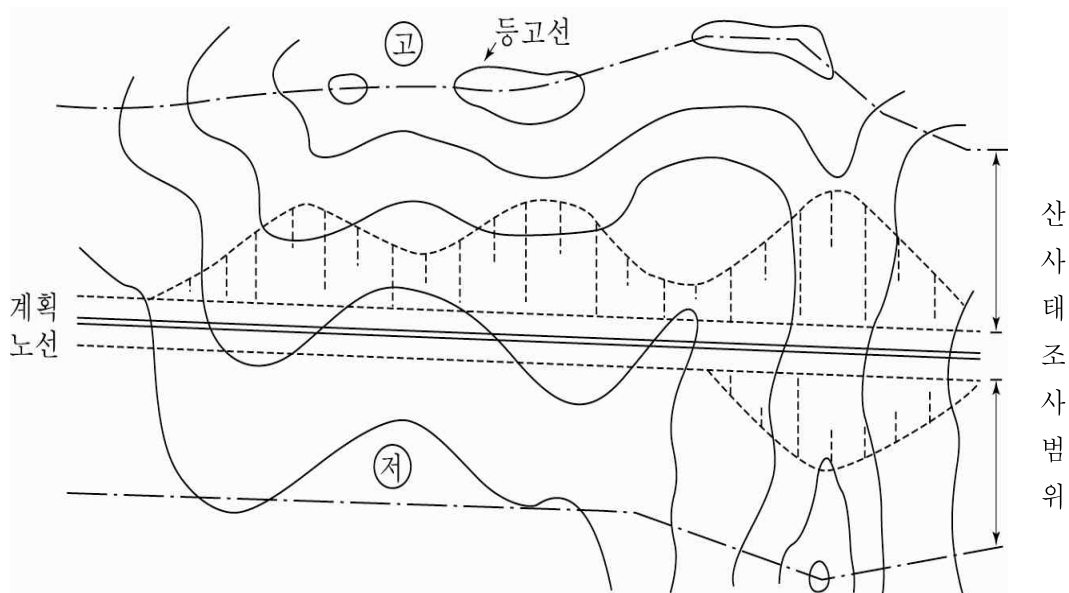
라. 산악지를 통과하는 지역으로 건설기술관리법 제5조의 2의 규정에 의한 도로, 수리·수문, 토질 및 기초, 구조, 지질 및 지반 분야의 전문가로 구성된 설계자문위원회에서 현행 설계기준보다 배수규격 확대 등 특별히 설계기준 강화가 필요하다고 판단되는 지역

⑤ 산사태 발생 위험지역

- 가. 풍화토층에 점성이 없어 토양의 응집력이 약한 곳
- 나. 풍화토층의 입자가 크고 느슨하여 우수가 침입하기 쉬운 곳
- 다. 토층중에 다량의 암편이 혼합되어 있는 곳
- 라. 풍화토층과 하부 암반의 경계가 매우 확실한 곳

(2) 조사범위

- ① 산사태 및 토석류 발생 위험지역은 산 정상부에서부터 사업대상지역 하단부 약 100~150m 까지 조사한다.



<그림 7.1.2> 산사태 및 토석류 발생 조사 범위도

(3) 조사내용 및 방법

- ① 산사태 및 토석류 발생 위험지역은 위성사진 및 지형도 등을 이용한 지형조사와 지표지질조사 및 현장지형조사를 실시한다.
- ② 이를 설계 자료로 활용하고 산림청, 지자체 등 관련기관과의 피해방지시설 시행방안과 유지 관리 주체 협의시 활용될 수 있도록 하여야 한다.
- ③ 세부 조사내용과 방법은 『건설공사 비탈면 설계기준, 2006, 건설교통부』 제3장 지반조사를 준용한다.

7.2 산지부 배수시설 및 수리계산

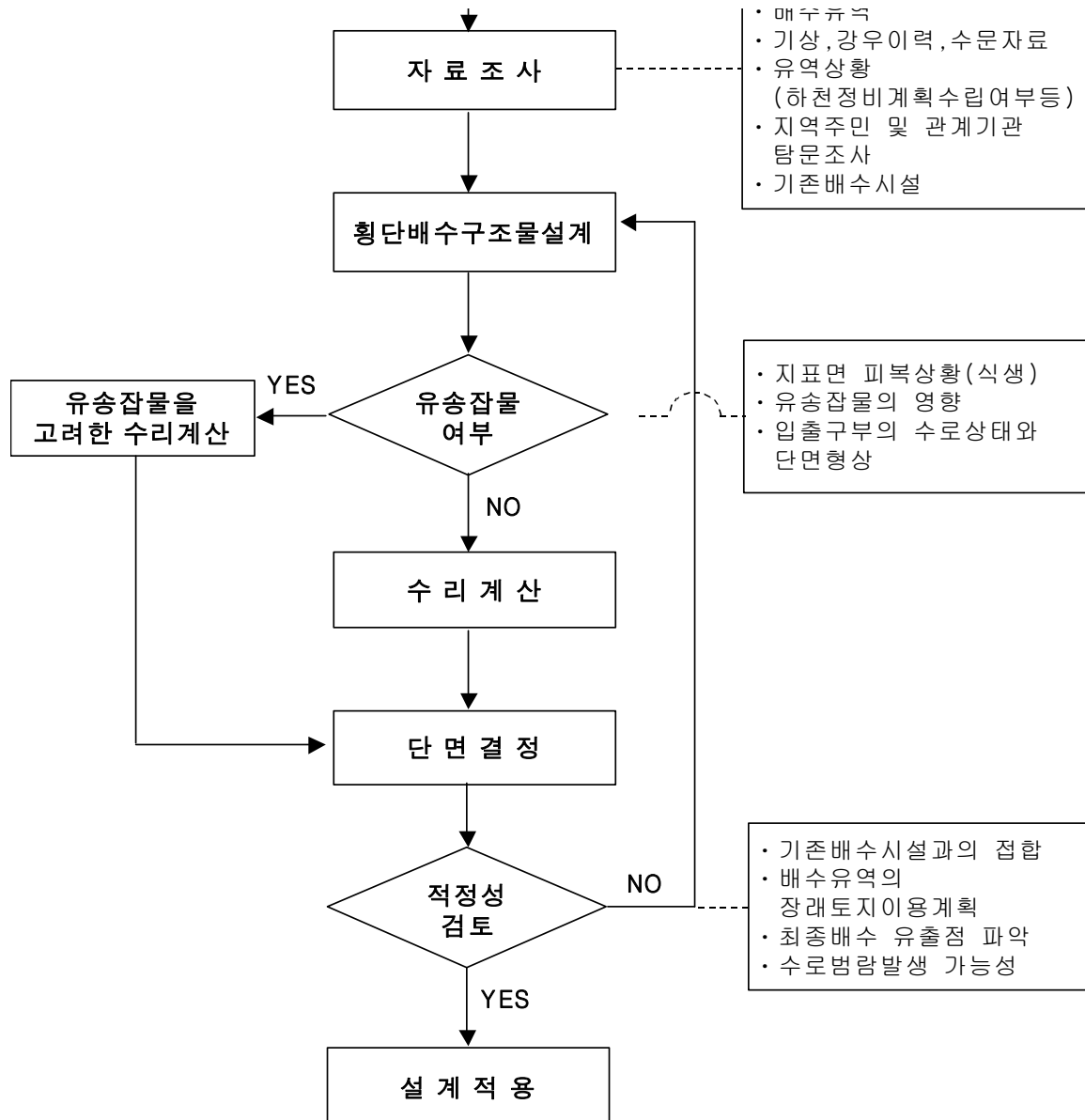
7.2.1 일반사항

- (1) 유송잡물에 의한 우수 흐름 지체와 도로 월류로 인하여 도로가 침수되거나 유실되는 피해를 방지하고자 배수구조물 수리계산시 유송잡물 및 토사퇴적을 고려한다.

- (2) 토사퇴적 및 유송잡물을 고려한 수리계산은 『도로배수시설 설계 및 유지관리 지침』(건교부, 03.12)에 의한다.

7.2.2 적용범위 및 조사항목

- (1) 토사퇴적 및 유송잡물이 횡단배수구조물 유입부를 막아 유수의 흐름을 방해할 우려가 있는 지역에 한한다
- (2) 유송잡물 및 토사퇴적을 고려한 배수구조물 수리계산 여부를 판단하기 위해 아래의 항목을 조사하여야 한다.



<그림 7.2.1> 횡단배수 설계흐름 및 조사항목

7.2.3 α_2

(1) 암거의 높이 결정시 국지성 집중호우로 인한 토석류 및 유송잡물에 대한 충분한 통수단면을 확보해야 한다.

(2) 상시 토사 퇴적율(20%) 외에 α_2 를 적용한다.

(2) 암거 높이(D)

$$\text{배수구조물 높이(D)} \geq (1 + \alpha_1 + \alpha_2) \cdot h \quad [\text{식 7.2.1}]$$

h : 수심

α_1 : 통상의 토사퇴적에 의한 통수단면 축소를 고려한 여유(20% 적용)

α_2 : 호우시에 대량의 토사·유목 등이 유입할 우려가 있는 경우

$$\alpha_2 = \left(\frac{Q_{sp}}{Q_d} - 1 \right) \times 100 \quad [\text{식 7.2.2}]$$

여기서 Q_{sp} : 토석류의 피크 유량 (m^3/sec),

Q_d : 설계유량 (m^3/sec)

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_* - Cd} Q_d \quad [\text{식 7.2.3}]$$

여기서, C_* : 계곡 바닥 퇴적토사의 용적토사 농도 ($=1-n$, n : 간극율)

Cd : 유입되는 토석류의 농도

$$Cd = \frac{\gamma_w \tan \theta}{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad [\text{식 7.2.4}]$$

여기서, γ_s : 사력의 단위 체적 중량 ($\text{kN}/\text{m}^3(\text{tf}/\text{m}^3)$), (계략치 $18\text{kN}/\text{m}^3$)

γ_w : 물의 단위 체적 중량 ($\text{kN}/\text{m}^3(\text{tf}/\text{m}^3)$)

ϕ : 계곡 바닥 퇴적 토사의 전단 저항각 (도)

θ : 기준수로의 경사(기준수로의 평균경사)

[표 7.2.1] 지하수위 이상에 있는 토석류의 단위중량(γ_s) 및 토질별 전단 저항각(ϕ)

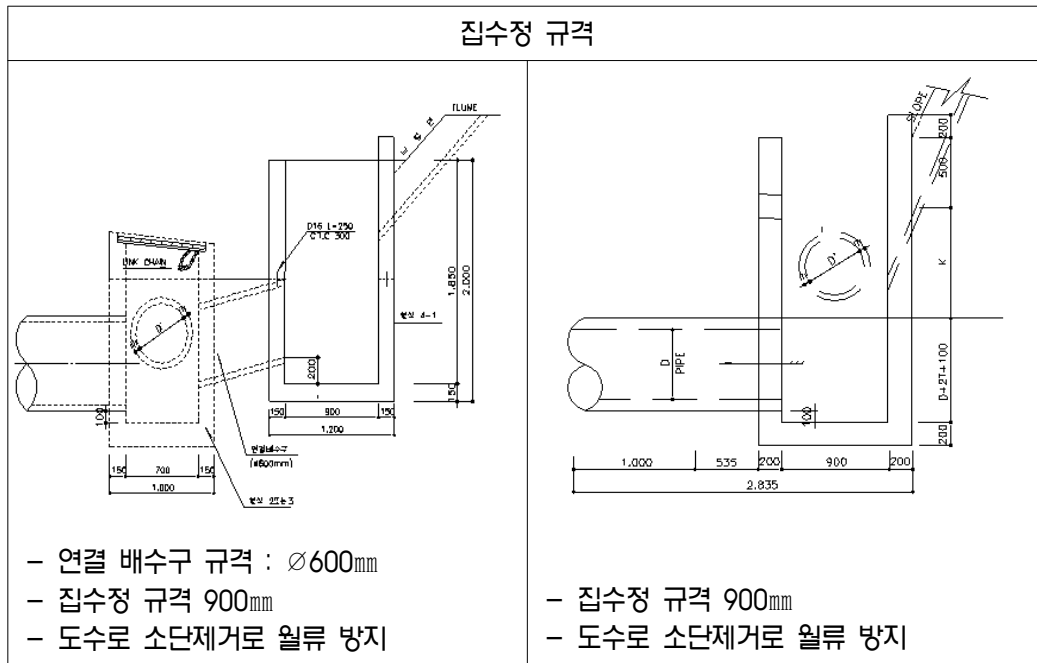
종 류	상 태	단위중량	전단저항각
자갈	조밀한 것 또는 입도가 좋은 것	20	40
	조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것	18	35
자갈섞인 모래	조밀한 것	21	40
	조밀하지 않은 것	19	35
모래	조밀한 것	20	35
	조밀하지 않은 것	18	30
사질토	조밀한 것	19	30
	조밀하지 않은 것	17	25
점성토	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	18	25
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	17	10
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	16	15
점토 및 실트	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	17	20
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	16	15
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	14	10

7.2.4 횡단배수구조물 규격

- (1) 지형여건을 감안 교량설치를 원칙으로 하며, 도로 기하구조상 불가피한 경우는 암거를 설치하고 유송잡물 및 토석류에 대한 대책을 수립한다.
- (2) 암거의 최소규격은 시공성을 감안하여 2.0×2.0을 적용한다.

7.2.5 유입부 및 유출부 처리

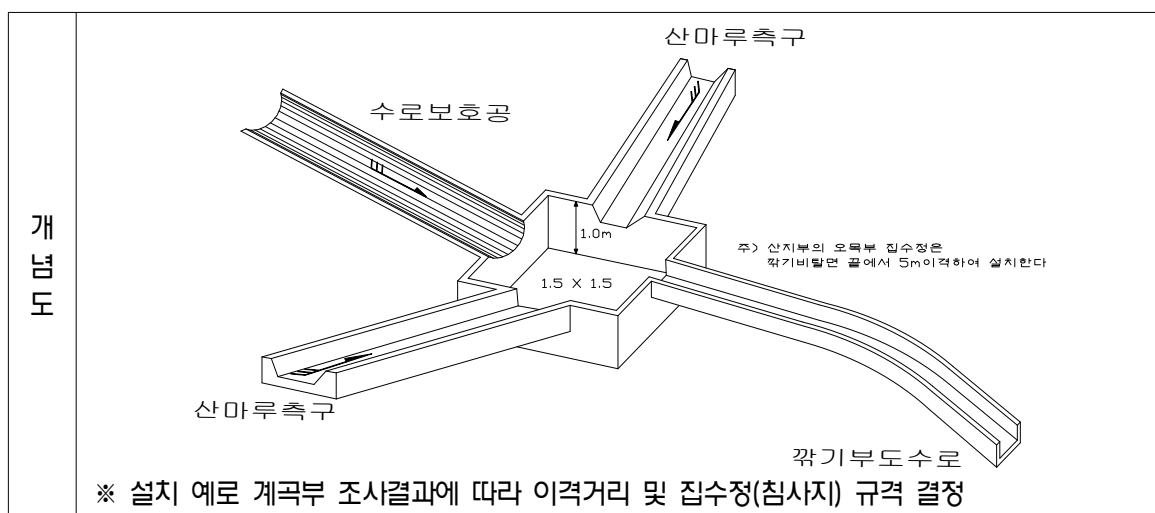
- (1) 산지 계곡부 수로와 직접 연결되는 횡단배수시설의 유입부 쪽은 가능한한 수로폭과 일치시킨다.
- (2) 깎기비탈면 도수로에서 연결되는 집수정은 규격을 확대 적용한다.
(집중호우시 집수정에서의 월류현상 방지 및 유지보수 유리)

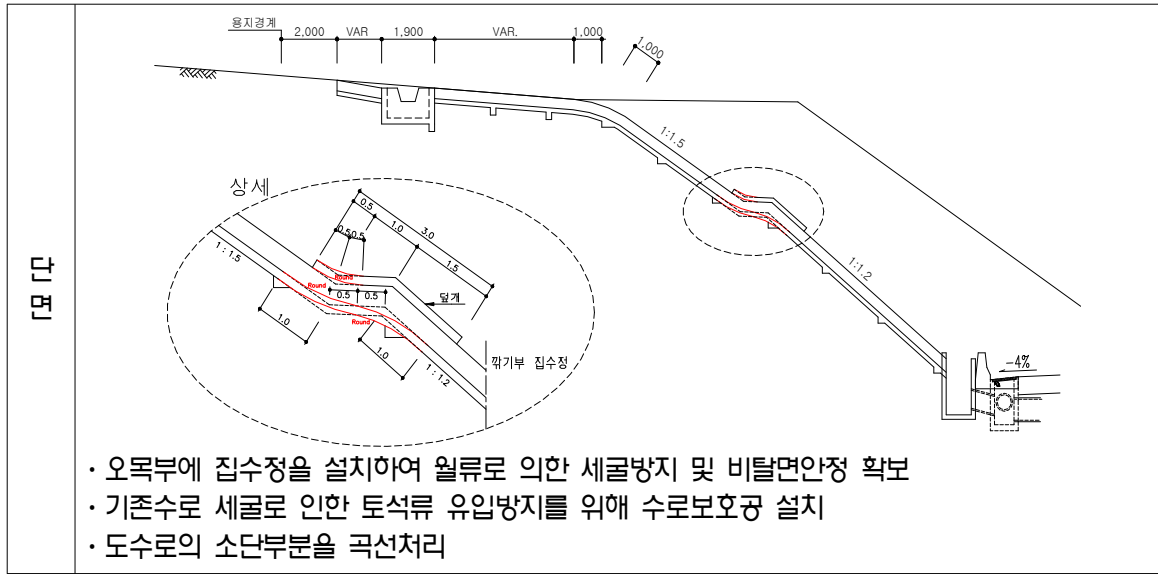


<그림 7.2.2> 연결 배수구 및 집수정 규격 확대

(3) 깎기부 비탈면 상단 계곡부

- ① 도로내 유입지점 유량을 산정하여 도수로 규격을 결정한다.
- ② 집중호우에 의해 토석을 포함한 우수가 직접 도로에 흘러들어갈 우려가 있으므로 집수구역 내 지형, 지질, 지표상태 등을 잘 조사해야 한다.
- ③ 콘트리트, 돌쌓기, 돌망태 등을 설치하고 유하수의 유속을 떨어뜨린다.
- ④ 토사유출 방지를 위하여 수로보호공 및 집수정(침사지)을 설치한다.

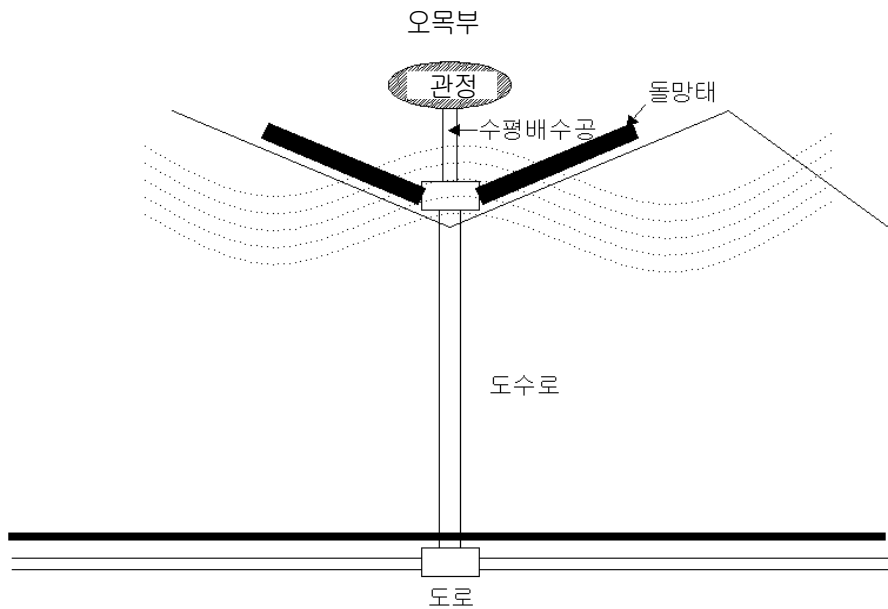




<그림 7.2.3> 깎기부 비탈면 집수정

(4) 깎기부 비탈면 상단 오목부

- ① 지하수위 상승으로 토체내 자중으로 슬라이딩이 발생되지 않도록 망암거 및 관정을 설치한다.



<그림 7.2.4> 깎기 비탈면 오목부 배수시설

(5) 유출부 배수시설

- ① 횡단배수시설과 연결되는 쌓기비탈면의 도수로 폭을 횡단배수시설물 폭과 일치토록 한다.
- ② 횡단배수구조물 유출부와 접속되는 기존 배수로 용량을 검토하여 용량이 부족한 경우 유지 관리기관과 협의하여 기존 배수로 개량에 대한 시행방안을 수립한다.

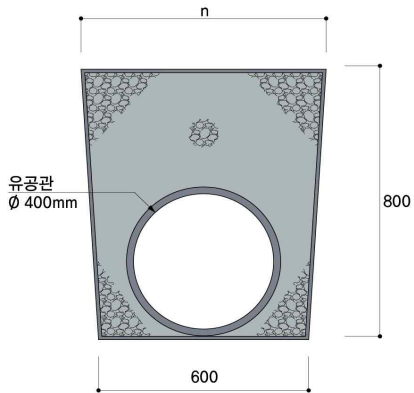
7.2.6 노면 및 지하배수시설

(1) 쌓기부 도수로 최대 설치간격

[표 7.2.2] 도로별 도수로 최대 설치간격

구 분	일반 도로	산지부 도로
간 격	150m	70m

(2) 맨암거 설치규격

구 분	일반 도로	산지부 도로
규 격	 · 하단, 상단, 높이 : 400×500×600 · 유공관 : 200mm	 · 하단, 상단, 높이 : 600×n×800 · 유공관 : 400mm

※ 기타 산지부 도로의 배수설계와 관련 세부내용은 『산악지 도로설계 매뉴얼, '07. 7. 건설교통부』 제6장 산악지 도로배수를 준용한다.

<그림 7.2.5> 산지부 맨암거 설치규격

7.3 토석류 조사 및 대책

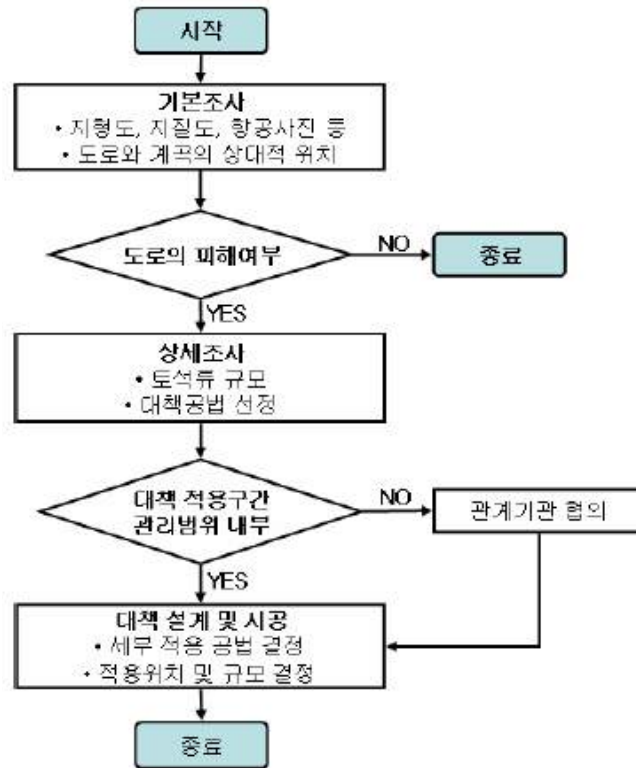
7.3.1 적용 범위

- (1) 본 내용은 산지에 인접하여 통과하는 고속도로 구간에 대하여 인접 산지의 계곡부에서 토석류가 발생하여 고속도로에 피해를 발생할 우려가 있는 구간에 대한 조사와 대책 방안을 수립하는데 적용한다.
- (2) 본 내용에서 대상으로 하는 토석류는 유역면적이 4km² 이하의 소유역에서 발생하는 것으로서 거석 또는 유목을 포함하는 흐름이다.

7.3.2 대책의 범위와 계획

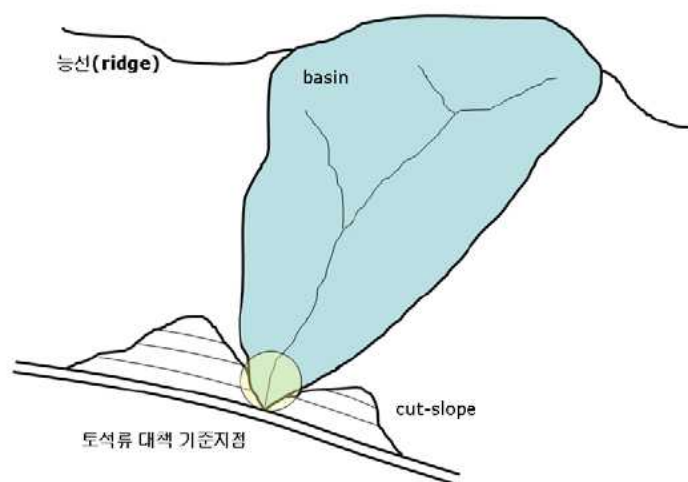
- (1) 대책의 범위는 도로관리 경계 외부와 내부로 구분하여 대책수립과정을 달리한다.

- (2) 관리범위 외부에 대해 수립하는 경우는 해당지역 관리주체(지자체, 산림청 등)와 협의하여 대책을 수립한다.



<그림 7.3.1> 토석류 대책 수립의 순서

- (3) 토석류 대책의 계획은 토석류가 발생할 것으로 예상되는 유역에 대하여 도로와 인접한 유역의 유출지점 또는 유역내 대책수립이 효과적일 것으로 판단되는 지점을 기준으로 수립한다.



<그림 7.3.2> 고속도로 토석류 대책의 기준 지점

- (4) 토석류 대책의 계획은 도로와 도로시설물에 피해가 발생하지 않는 것을 목표로 한다.

- (5) 토석류 대책의 종류와 계획규모는 기존 지점에서 예상되는 토석류의 규모와 도로 시설물의 피해 가능성을 고려하여 결정한다.
- (6) 토석류 대책의 목표는 토석의 도로 유입을 방지하여 도로의 기능을 유지하는데 있다.
 - ① 계곡부에서 유출되는 토석의 방어
 - ② 횡단배수구조물의 기능 유지를 세부 목표로 설정
- (7) 토석류 대책은 토석류에 포함되는 재료의 종류에 따라 효과적으로 이를 방어할 수 있도록 수립하여야 한다.

7.3.3 토석류 조사

(1) 조사범위와 방법

- ① 토석류 조사는 도로로 향하는 계곡부를 포함하는 유역과 계곡의 특성을 조사한다.
- ② 조사범위 : 4km² 미만의 유역면적을 갖는 구간에 대해서 산지의 능선을 따른 유역 경계 내부를 대상으로 한다.
- ③ 조사방법
 - 가. 사전조사
 - (가) 지형도, 지질도, 항공사진 및 과거 토석류 발생 이력 등의 자료분석
 - (나) 계곡입구와 도로와의 상관성 조사를 포함한다.
 - 나. 상세조사
 - (가) 상세조사는 기본조사를 토대로 토석류 발생가능 계곡을 따라 현장 답사를 수행한다.
 - (나) 유역과 계곡의 현장 특징을 조사한다.
- ④ 지형조사
 - 가. 유역면적, 유역의 경사분포, 계곡의 발달상황, 계곡의 길이, 계곡의 경사도 등을 조사·분석한다.
 - 나. 지질도에서는 유역 내의 주요 지질구조와 기반암의 종류에 대한 정보를 얻을 수 있다.
 - 다. 항공사진은 해당지역의 산림 피복상태, 가옥·구조물·시설물 위치, 과거에 발생한 파괴 흔적을 조사하는데 이용할 수 있다.
- ⑤ 계곡 입구와 도로의 상관성 조사
 - 가. 도로하부의 배수구조물 여부, 규격, 계곡입구와 도로의 고저차, 이격거리, 토석저장 가능 용량 등을 조사한다.
- ⑥ 현장조사
 - 가. 유역 유출지점(계곡입구)에서 물이 흐르는 계곡을 따라 접근이 가능한 구간까지 조사한다.
 - 나. 계곡의 폭, 계곡의 경사, 계곡바닥의 노출상태, 퇴적물의 종류와 크기 분포, 계곡의 깊이, 침식가능두께 추정, 계곡의 굽은 정도 그리고 주변의 수목 종류와 분포 등을 조사한다.
- (2) 토석류 발생과 피해여부 판단
 - ① 유역내의 지형경사, 유역면적, 계곡바닥의 경사, 도로와 계곡사이의 거리 등으로부터 직·간접적으로 판단한다.

② 단순 판단방법

가. 토석류 발생 가능성이 있는 것으로 판단하는 경우

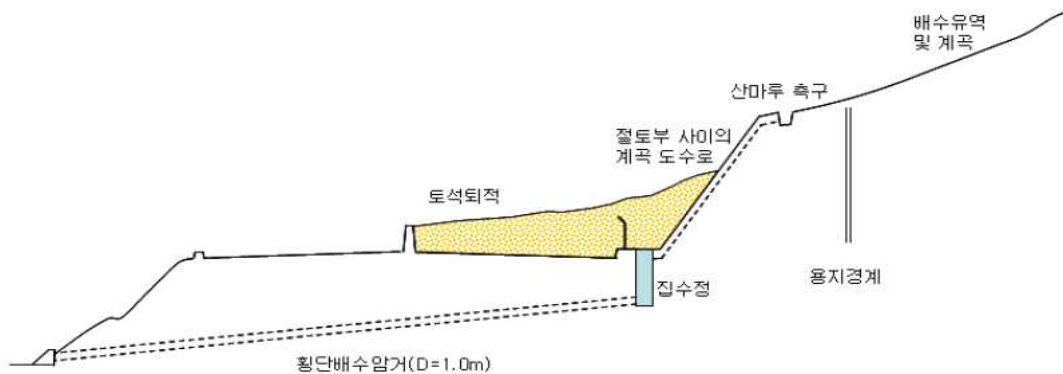
(가) 유역면적이 0.04km^2 (약 $200\text{m} \times 200\text{m}$) 이상이고 유역 내에 $30 \sim 48^\circ$ 정도 범위의 지형경사를 갖는 구간

(나) 계곡입구부터 유역의 능선부까지 평균경사가 15° 이상인 지형인 경우

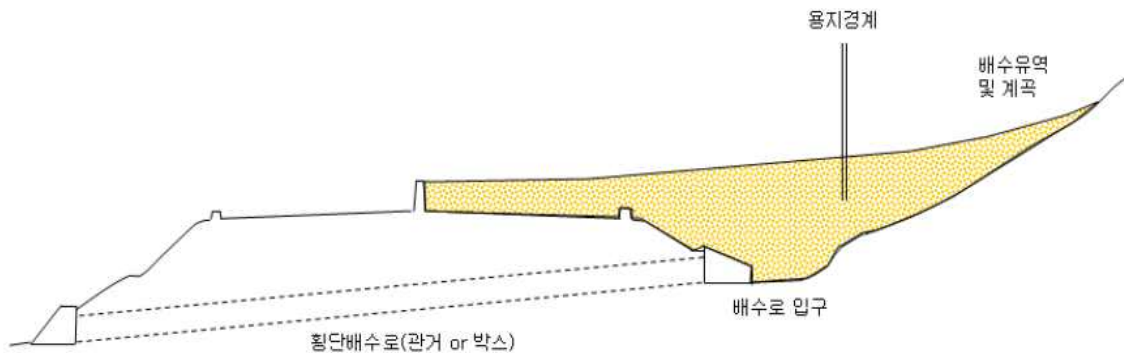
나. 도로에 피해 가능성이 있는 것으로 판단하는 경우

(가) 계곡입구가 도로보다 상대적으로 높은 위치에 있거나

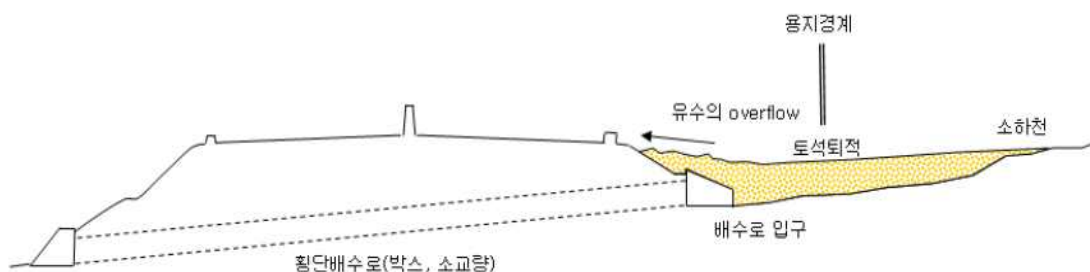
(나) 낮은 위치에 있더라도 계곡입구가 경사가 급하고 여유 공간이 없는 경우



<그림 7.3.3> 절토부 사이의 도수로 구간



<그림 7.3.4> 횡단배수로가 위치한 계곡부



<그림 7.3.5> 소하천이 위치한 계곡부

③ 최근의 판단방법

- 가. 최근에는 지리정보시스템(GIS)을 통한 산사태 위험지를 통계적, 역학적으로 분석하여 판별하는 방법이 적용되기도 한다.
- 나. 지형특성과 수문특성을 반영한 수리학적 모델을 이용하여 토석류의 흐름경로와 퇴적지의 위치 및 범위를 판단할 수 있는 방법이 개발되고 있다.

7.3.4 토석류 대책을 위한 설계 변수 산정

(1) 설계토석량(design debris flow)

- ① 설계토석량은 대용구조물의 위치 또는 피해가능 위치에서 발생 가능한 최대 토석의 부피로 정의한다.
- ② 설계토석량 산정은 현장조사결과를 바탕으로 다음의 방법을 이용한다.
- 가. 과거 토석류 발생한 기록에서 추정된 토석의 부피로 산정
- 나. 임의 위치에서의 총토석량의 개념적인 산정

$$V_t = \sum V_i + \sum V_e - \sum V_d \quad [\text{식 7.3.1}]$$

여기서, V_t : 임의 지점에서의 토석의 총부피(total volume)

V_i : 초기 파괴지역의 부피(initial volume)

V_e : 계곡부에서 포함되는 토석부피(entrainment)

V_d : 계곡부에서 퇴적되는 토석부피(deposition)

다. 계곡길이, 계곡에서의 침식·퇴적 심도, 계곡단면적을 이용한 산정

(가) 전체 계곡에 걸쳐 계곡길이와 계곡 폭을 아는 경우 적용

(나) 계곡의 위치별 침식두께와 퇴적두께를 찾아내는 것이 중요 변수

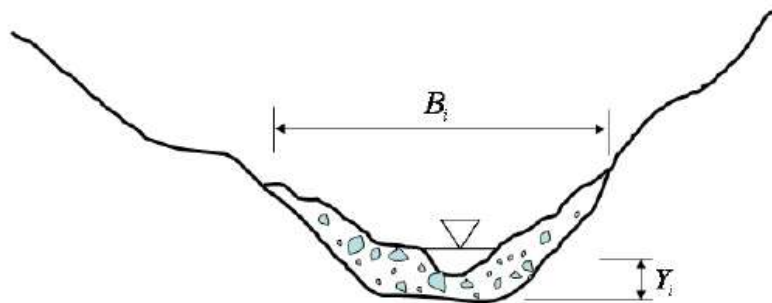
$$V_t = V_i + \sum (L_i \times B_i \times Y_i) - \sum (L_i \times B_i \times D_i) \quad [\text{식 7.3.2}]$$

여기서, L_i : 계곡의 단위 길이(m)

B_i : 계곡의 폭(m)

Y_i : 계곡의 침식두께(m)

D_i : 계곡의 퇴적두께(m)



<그림 7.3.6> 계곡의 평균 폭과 침식심도

라. 유역면적 또는 유역내 계곡의 연장과 토석부피의 경험적 상관관계

(가) 유역면적과 토석부피의 관계

$$V_t = 0.02138A_B \quad [\text{식 7.3.3}]$$

(나) 계곡길이와 토석부피의 관계

$$V_t = 2.31L \quad [\text{식 7.3.4}]$$

여기서, V_t : 도로에 발생 가능한 총토석부피(m^3)

L : 계곡의 길이(m)

A_B : 유역면적(m^2)

마. 토석부피와 토석류 침두유량과의 경험적 상관관계

(가) 별도의 자료가 없는 경우 적용

(나) 토석류 침두유량과 토석 부피의 경험적 관계로부터 토석부피의 추정이 가능

(다) 경험식은 참고적인 값으로 이용하는 것이 권장된다.

[표 7.3.1] 토석부피와 토석류 침두유량의 관계(Rickemann, 1999)

공 식	제안자	비 고
$Q_p=0.135V^{0.78}$	Mizuyama et al(1992)	granular debris flow
$Q_p=0.019V^{0.78}$	Mizuyama et al(1992)	muddy debris flow
$Q_p=0.006V^{0.78}$	Jitousono et al(1996)	volcanic debris flow
$Q_p=0.04V^{0.78}$	Bovis and Jakob(1999)	granular debris flow
$Q_p=0.003V^{0.78}$	Bovis and Jakob(1999)	volcanic debris flow
$Q_p=0.293V^{0.78}$	Costa(1988)	
$Q_p=0.016V^{0.78}$	Costa(1988)	
$Q_p=0.1V^{0.78}$	Rickenmann(1999)	

(2) 침두토석유량(peak debris discharge)

① 침두토석유량은 기준위치에서 단위시간당 통과하는 토석의 부피(m^3/s)로 정의한다.

② 침두토석유량의 산정은 현장조사결과를 바탕으로 다음의 방법을 이용한다.

가. 임의 위치를 통과하는 유속과 수로 단면적으로부터 추정하는 방법

$$Q_p = vA \quad [\text{식 7.3.5}]$$

여기서, Q_p : 토석류 최대유량(m^3/s)

v : 토석류의 평균 유속(m/s)

A : 계곡부 수로의 단면적(m^2)

나. 유역의 홍수량과 토석의 추정농도로부터 산정하는 방법

$$Q_p = \frac{C_o}{C_o - C_d} Q_w \quad [\text{식 7.3.6}]$$

여기서, Q_p : 토석류 침투유량(m^3/s)

Q_w : 홍수량(m^3/s)

C_o : 토석류 발생전 계곡바닥지반의 용적 농도($=V_s/V=1-n$)

C_d : 흙과 물이 섞인 토석류의 평균용적농도

V_s : 흙의 부피(m^3)

V : 단위부피(m^3)

n : 간극률

(가) 흙과 물이 섞인 토석류의 평균용적농도(C_d)

$$C_d = \frac{\rho_s \tan \theta}{(\rho_s - \rho_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad [\text{식 7.3.7}]$$

여기서, ρ_s : 흙의 밀도(ton/m^3 , 약 2.6 내외)

ρ_w : 물의 밀도(ton/m^3 , 약 1.0~1.2 내외)

θ : 계곡의 경사(계획지점에서 상류 200m까지의 평균경사이용)

ϕ : 계곡바닥지반의 잔류 내부마찰각($20^\circ \sim 30^\circ$ 이용)

다. 토석부피와 토석류 침투유량과의 경험적 상관관계

(가) 침투토석유량 산정을 위한 적절한 자료가 없는 경우는 경험적 상관관계를 이용하여 산정할 수 있다.

(나) [표 7.3.1 (Rickemann, 1999)]를 참고한다.

(3) 평균유속(mean velocity)

① 토석류 평균유속은 임의 위치에서 토석류의 수심에 따른 평균유속으로 정의한다.

② 현장조사결과를 바탕으로 다음의 방법을 이용한다.

가. 기존 문헌의 자료를 이용

나. 이론적인 흐름모델로부터 유도된 공식을 이용

[표 7.3.2] 이론적 흐름 모델

공 식	제안자	흐름 모델	비고
$v = \frac{\gamma H^2 S}{k\mu}$		Newtonian laminar flow	층류 흐름
$V = \frac{2}{3} \xi H^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$	Takahashi (1981)	Dilatant granular flow	토석류 흐름
$v = \frac{1}{n} H^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$	Japan PWRI (1988)	Newtonian Turbulent flow: Manning-Strickler equation	토석류 흐름
$v = \frac{1}{n} H^{\frac{1}{3}} S^{\frac{1}{2}}$		Newtonian Turbulent flow: Chezy equation	개수로
$v = 2.1 Q_p^{0.33} S^{0.33}$	Rickenmann (1999)	경험적 관계식	토석류 흐름

여기서, v : 평균유속(m/s)

γ : 토석류의 단위중량(kN/m³)

H : 토석류의 흐름심도(m)

S : 계곡바닥의 경사(=tan θ)

k : 단면형상계수($k=3$ 사각형수로, $k=5$ 사다리꼴, $k=$ 반원단면)

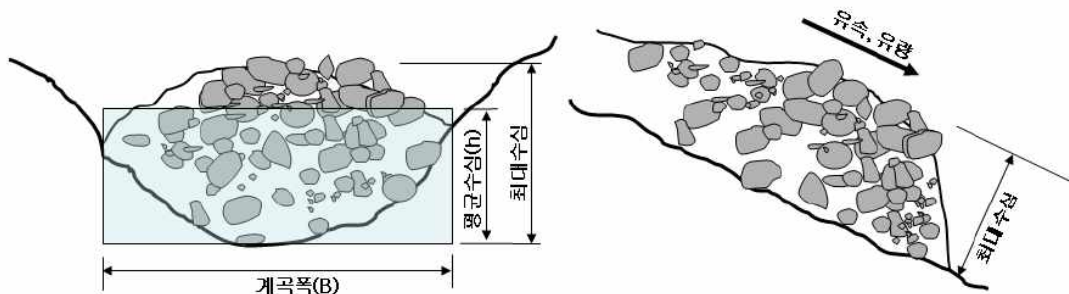
μ : 점성계수(dynamic viscosity, $\approx 3.0\text{kPa} \cdot \text{s}$)

ξ : 토석류의 부피농도와 관련된 차원계수($\approx 3.25 \text{ m}^{-1/2} \text{ s}^{-1}$)

n : 조도계수(토석류 유량 및 흐름특성과 관계 있음)

(4) 토석류 흐름심도(flow depth)

- ① 토석류 흐름심도는 침두유량시 토석류 횡단면에서의 평균적인 수심으로 정의하며, 토석류 선단파의 최대 흐름심도를 의미하지는 않는다.



<그림 7.3.7> 토석류의 흐름단면과 평균수심

- ② 실제 현장조사를 통하여 계곡부 측면에 나타난 흔적 또는 계곡단면으로부터 수심을 측정하거나 또는 최대유량과 계곡폭으로부터 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$h = \frac{A}{B} = \frac{Q_p}{vB} \quad [\text{식 7.3.8}]$$

여기서, Q_p : 토석류 최대유량(m^3/s)

v : 토석류의 평균유속(m/s)

A : 계곡을 흐르는 토석류의 단면적(m^2)

B : 계곡의 폭(m)

(5) 구조물에 가해지는 하중(동적하중, dynamic thrust)

① 토석류의 가해지는 동적하중의 구분

가. 토석전체의 질량이 갖는 동적추력(dynamic thrust force)과

나. 토석류 또는 토석류 내에 포함된 거석이 구조물과 부딪힐 때 구조물에 전달되는 동적충격하중(dynamic impact force)으로 구분한다.

② 동적추력(dynamic thrust force)

가. 동적추력은 계곡단면을 가득 채운 토석에 의해 가해지는 전체적인 하중으로 간주 한다.

(가) 토석류가 계곡의 전단면적에 가득차서 흐른다고 가정할 때 토석류가 구조물에 가하는 최대하중을 의미한다.

(나) 기둥과 같이 계곡단면의 일부분에만 방어구조물을 설치하는 경우

- 동적추력을 계곡 단면적으로 나누어 단위면적당 동적추력으로 환산한 후,
- 구조물의 단면적을 곱하면 구조물에만 가해지는 총하중 계산이 가능

나. 모멘텀 방정식으로 유도하며 다음 식을 이용하여 산정한다.

(가) 토석류 선단파의 종단면을 삼각형으로 가정하고,

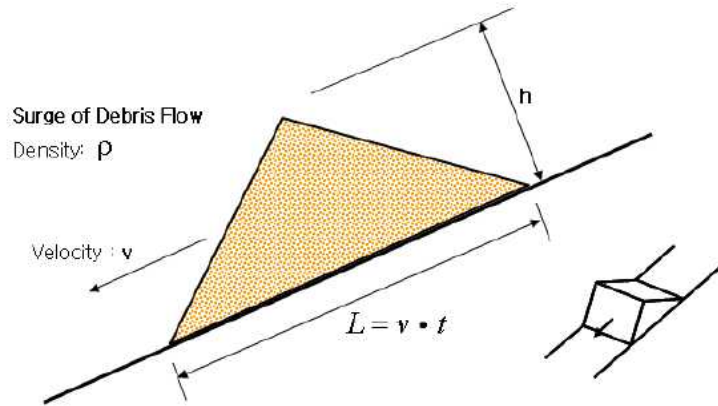
(나) 토석류 선단파가 일정한 속도로 이동한다고 가정하면 모멘텀 방정식을 이용하여 유도가 가능하다.

- 모멘텀 : $M = mv$

- 추 력 : $F = \frac{dM}{dt}$

- 선단파의 질량 : $m = \rho AL = \rho A(vt)$

- 동적추력 : $F = \frac{dM}{dt} = \frac{(\rho A vt) \cdot v}{dt} = \rho A v^2 = \rho Q v$



<그림 7.3.8> 토석류 흐름 단면의 가정

(다) 토석류 진행방향이 구조물 설치방향과 θ 만큼 경사진 경우

$$F = \rho A v^2 \sin \beta \quad (\text{or } F = \rho Q v \sin \beta) \quad [\text{식 7.3.9}]$$

여기서, F : 동적추력(dynamic thrust, kN)

ρ : 토석류의 밀도(kg/m³)

A : 토석이 흐르는 수로의 단면적(m²)

v : 흐름의 평균유속(m/s)

Q : 흐름의 최대유량(m³/s)

β : 방어구조물과 계곡의 각도(°)

③ 동적충격하중(dynamic impact force)

가. 토석류 또는 거석이 구조물에 부딪히면서 가하는 하중을 말한다.

나. 충격 후 구조물에 발생하는 변위와의 상관성을 고려하여 산정할 수 있으며 다음 식을 이용하여 산정한다.

(가) 구조물에 부딪힌 암괴가 감속하면서 구조물의 변형을 야기하는 것으로 가정하여 유도한다.

– 암괴의 질량 : m

– 암괴의 가속도 : a

– 구조물과의 접촉시간 : Δt

– 암괴의 속도 : $v = a \cdot \Delta t$

– 발생하는 변위 : $d = v \cdot \Delta t$

$$\text{– 작용하중 : } F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{\Delta t} = m \cdot \frac{v^2}{d} \quad [\text{식 7.3.10}]$$

(나) 구조물에서 발생하는 변위를 모르는 경우 : 구조물의 강성계수 이용 가능

$$\text{– 구조물의 강성 : } F = K \cdot d \quad [\text{식 7.3.11}]$$

$$\text{– 작용하중 : } F = \sqrt{mv^2 K} \quad [\text{식 7.3.12}]$$

여기서, F : 동적충격하중(dynamic impact force, kN)

m : 거석의 질량(kg)

v : 흐름의 평균유속(m/s)

d : 충돌 후 구조물에 발생하는 변위(m)

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

(※ K는 구조물 전체의 하중-변위 관계로부터 구함, 재료강성과는 다름)

- 구조물에 가해지는 충격력의 감소를 위해서는 변위를 많이 허용하는 것이 유리하다.
- 콘크리트 구조물과 같이 변위를 허용하지 않는 구조물에 적용하면 매우 큰 하중이 계산되므로 비현실적이다.
- 이 때는 암괘 파쇄를 고려하여 약 1/10 정도로 감소시킨다.

(6) 토석의 퇴적경사(deposition angle)

- ① 토석의 퇴적경사는 지형경사가 완만하거나 장애물이 있을 때 토석이 퇴적되어 쌓이는 부분의 평균적인 경사로 정의한다.
- ② 최소 퇴적 경사는 4° , 최대 퇴적 경사는 10° 를 적용하며, 설계에서 퇴적경사를 고려하는 경우는 구조물에 안전측 결과가 나오는 값을 적용한다.
- ③ 일반적으로 퇴적되는 지점에서 평균적인 계곡바닥경사의 2/3를 사용한다.

7.3.5 대책방안의 선정

(1) 고속도로 토석류 대책공법의 적용

- ① 계곡입구와 도로와의 상대적인 위치를 감안하여 도로에 피해 가능성이 있거나 또는 배수구조물의 입구가 막힐 우려가 있는 경우에 적용한다.
- ② 대책공법
 - 가. 토석류의 방어를 위한 구조물
 - 나. 배수구조물의 기능유지를 위한 구조물 등

(2) 대책공법의 선정 및 설치시 고려사항

- ① 설계 토석의 규모
- ② 설계 토석의 유량
- ③ 계곡입구와 도로와의 상대적인 위치
- ④ 기존 배수로의 처리 용량
- ⑤ 토석류 대책의 목표(파쇄, 방어, 퇴적, 여과, 다른 곳으로 유도)
- ⑥ 계곡입구와 도로 사이의 토석퇴적이 가능한 공간의 유무
- ⑦ 토석류를 구성하는 재료의 종류와 형태(모래·자갈, 거석, 유목)
- ⑧ 장비접근성 등 시공의 용이성
- ⑨ 퇴적된 토석의 제거를 위한 접근성 및 작업성
- ⑩ 경사가 완만한 구간의 유무

(3) 토석류 방어를 위한 공법

- ① 토석류 규모와 구성 물질에 따라 계곡입구부에 단독으로 설치하거나 또는 계곡을 따라 여러

종류의 구조물을 단계적·복합적으로 적용한다.

② 공법의 종류

- 가. 토석류 파쇄
- 나. 토석류 사방댐
- 다. 토석류 슬릿댐
- 라. 토석류 슬롯댐
- 마. 네트공법
- 바. debris rake
- 사. debris frame
- 아. debris grill

(4) 배수구조물 기능유지를 위한 공법

① 토석류 규모와 구성물질의 종류에 따라 배수구조물 입구에 설치한다.

② 공법의 종류

- 가. Debris Deflector
- 나. Debris Rack
- 다. Debris Fin
- 라. Debris Riser

7.3.6 대책공법의 설계

(1) 방어구조물 설계

① 방어구조물의 설계목표

- 가. 설계 토석량에 의한 충격을 견딜 수 있어야 한다.
- 나. 평소의 홍수량은 쉽게 통과할 수 있어야 한다.
- 다. 구조물 측면, 하부의 세굴이 발생하지 않아야 한다.
- 라. 유지관리를 위한 작업이 용이하여야 한다.

② 설계시 검토사항

- 가. 단일 구조물이 퇴적 또는 방어할 수 있는 토석량
- 나. 방어구조물의 설치위치, 구조형식과 규격
- 다. 홍수량시 및 토석류 발생시의 배수 구조 형식
- 라. 토석의 충격력에 대한 내·외적 구조 안정성 확보
- 마. 구조물 좌·우 측면으로의 월류 여부 및 측면 세굴 방지방안
- 바. 구조물 물받이 하부의 세굴 방지
- 사. 퇴적토의 제거방법

(2) 배수구조물 기능유지를 위한 시설 설계

① 배수구조물 기능유지를 위한 시설의 목표

- 가. 배수구조물 입구가 막히지 않아야 한다.
- 나. 평소의 홍수량은 쉽게 통과할 수 있어야 한다.

다. 유지관리를 위한 작업이 용이하여야 한다.

② 설계시 검토사항

가. 시설물이 차단시킬 수 있는 토석, 유목의 종류

나. 시설물의 설치위치, 구조형식과 규격

다. 홍수유량시 토석류 발생시 배수 계획

라. 퇴적토의 제거방법

7.3.7 간략 적용 예제

[예제] 다음 자료를 이용하여 토석류 대책공법 설계

- ☐ 유역면적 : 0.18km^2
- ☐ 유역내의 최대경사 : 42°
- ☐ 계곡길이
 - 총연장 : 470m
 - 15° 이상 연장 : 330m(평균 계곡 폭 : 6m)
 - 10° 미만 연장 : 90m(평균 계곡 폭 : 9m)
- ☐ 계곡 입구의 폭 : 평균 폭 11m, 평균경사 : 6°
- ☐ 도로와의 상관성
 - 여유공간 적음.
 - 배수암거($\phi 1000$, 최대통수능력 : $7\text{m}^3/\text{s}$)
- ☐ 토석재료 : 최대입경 900mm, 유목포함($D=150\text{mm}$, $L=10\text{m}$)

[해설]

(1단계) 토석류의 발생여부 결정

- 유역면적과 유역내 경사에 의한 기준 : 토석류 발생 가능
- 유역면적 $0.18\text{km}^2 > 0.05\text{km}^2$
- 유역내 최대경사 $42^\circ \in \{30, 48\}$

(2단계) 설계토석량의 계산

- 계곡침식량 계산

$$V_e = \sum L_i \times B_i \times Y_i = 330 \times 6 \times (0.2 \times 6) = 2376\text{m}^3$$

- 초기발생량

$$V_e = \text{초기침식량의 } 10\% \text{ 가정} = 237.6\text{m}^3$$

- 퇴적토량의 계산

$$V_e = \sum L_i \times B_i \times Y_i = 90 \times 9 \times (0.2 \times 9) = 1458\text{m}^3$$

- 최종발생량

$$V_t = V_i + V_e - V_d = 2376 + 237.6 - 1458 = 1155.6\text{m}^3$$

(3단계) 설계변수의 결정

- 침투유량의 결정

$$Q_p = 0.135 V_t^{0.78}$$

$$= 0.135 \times 1155.6^{0.78} = 33.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 토석유량이 배수로의 통수능력을 초과하므로 방어구조물 설계

$$\text{통수능력} : 7.0 \text{ m}^3/\text{s} < 33.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 유속의 결정

$$v = 2.1 Q^{0.33} S^{0.33}$$

$$= 2.1 \times 33.1^{0.33} \times (\tan 6)^{0.33} = 3.2 \text{ m/s}$$

- 수심의 결정

$$h = A/B = Q_p/vB$$

$$= 33.1/(3.2 \times 11) = 0.94 \text{ m}$$

- 충격력의 계산

$$F = \rho A v^2 \sin \beta$$

$$= 1.5 \text{ t/m}^3 \times (0.94 \times 11) \times 3.2^2 \times \sin 90$$

$$= 158 \text{ tonf}$$

(4단계) 대책공법의 선정

- 대책공법 선정기준에 따라 방어구조물 설치
- 총토석량 115.6m³, 여유공간 없음, 충격력 158 tonf
 - ⇒ 1차적으로 초기충격력을 파쇄시켜 거석을 퇴적시키고 2차적으로 토석의 퇴적을 유도하는 슬릿댐 설치
 - ⇒ 배수구조물 입구에는 배수구의 직경(Ø1,000)의 1/3 이상되는 재료를 거르기 위한 Debris Rack 또는 Debris Deflector 설치

(5단계) 대책공법의 설계

- Debris Breaker + Debris Slit Dam + Debris Rack(or Debris Deflector)
- Debris Breaker의 설계
 - 초기충격력 158 ton에 대하여 계곡부에 3개의 Breaker를 설치하여 초기충격력 완화
 - 초기충격력을 등분포하중으로 환산하여 Breaker에 작용시키고 Breaker의 구조계산 실시 (지지력, 활동, 전도)
 - Debris Slit Dam의 설계
 - 수로단면적에 대한 Breaker의 단면적 비율을 제외한 토석류가 Breaker를 통과하는 것으로 가정하고 위의 토석유량, 속도, 수심, 토석충격량 재산정
 - 산정된 충격력에 대하여 구조계산(지지력, 활동, 전도) 실시
- Breaker와 Slit Dam 사이에 퇴적이 발생할 수 있도록 여유공간 둘 것. 이 때 퇴적 경사각을 고려하여 여유공간의 간격 결정
- Debris Rack의 설계