

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





7. 땅깍기 비탈면

7.1 설계 기본사항

자연 지반의 토질은 아주 불균일하고, 풍화도 · 성층 상태 · 균열 등에 의하여 지반의 강도는 현저하게 다르다. 따라서, 그 상태를 정량적인 지표로 정확히 평가하는 것은 곤란하고, 과거의 시공 실적이나 기존 비탈면의 실태 등을 참고로 하고 인근 토지 이용 상황 등을 감안하여 설계하는 것이 중요하다.

비탈면 경사를 결정하는 경우 일반적인 토질이라면 표준 비탈면 경사의 범위로서 거의 문제가 없지만 붕괴성 요인을 갖는 비탈면에서는 비탈면 경사를 별도로 검토해야 한다.

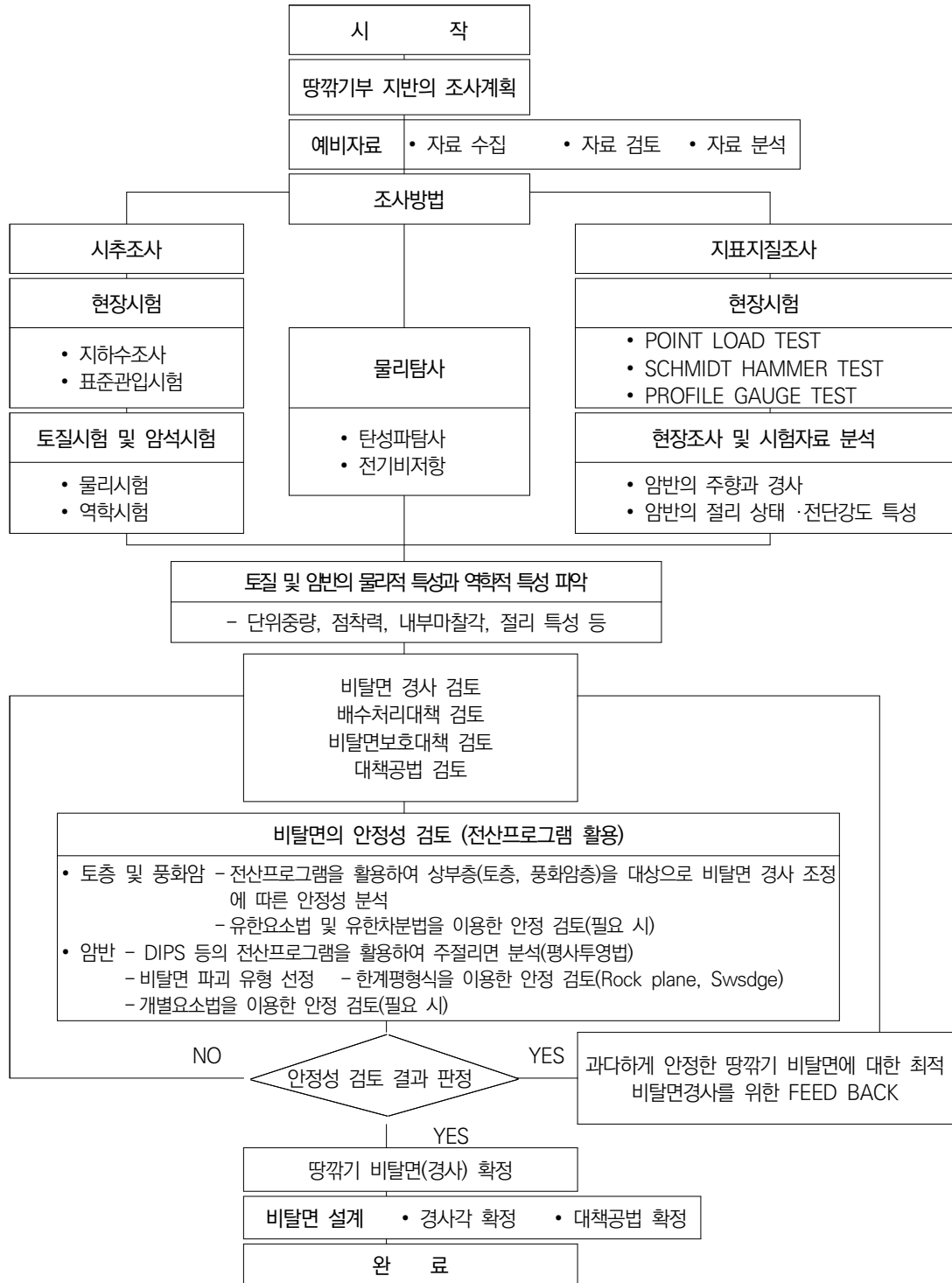
또한, 각 현장의 토량 배분 계획이나 용지의 제약 조건 및 적설한랭지 특유의 제반 조건을 추가하여 표준적인 비탈면 경사만을 취하지 말고, 시공성 · 경제성 및 유지관리도 포함해서 충분히 비교 · 검토되어야 한다.

7.2 땅깍기 비탈면 설계 순서

땅깍기 비탈면은 도로의 계획, 설계, 시공의 각 단계에서 효과적인 조사를 실시하여 비탈면 경사를 결정해야 한다.

그림 7.1은 땅깍기 비탈면의 설계 순서를 흐름도로 표시한 것이다. 적용에 있어서는 각 단계에서의 유의점을 참고하여 재설계가 되지 않도록 신중히 한다.

- (1) 땅깍기 비탈면의 안정성 여부는 공사비와 공기는 물론 비탈면 하단부의 도로 구조물이나 통과 차량의 안전에도 큰 영향을 미칠 수 있으므로 암석의 강도뿐만 아니라 불연속면에 대한 물성 및 공학적 특성을 충분히 고려하여 합리적이고 경제적인 설계를 수행해야 한다.



〈그림 7.1〉 땅꺼기 비탈면 설계 순서

- (2) 땅깍기 비탈면 설계 시 지반조사는 크게 시추조사·물리탐사·지표지질조사와 현장 및 실내 시험의 단계로 구분되며, 땅깍기 대상 비탈면의 암종에 따라 4등급으로 분류하여 적용한다. 상세한 사항은 '7.3 땅깍기 비탈면의 지반조사·시험'을 참조한다.
- (3) 토층 및 풍화암층에 대해서는 한계평형식에 의한 수치 해석 프로그램을 사용하여 복합적으로 비탈면의 안정 해석을 수행하는 것을 기본으로 중요도가 높은 비탈면에 대해서는 유한요소법등을 이용한 정밀 안정 계산을 수행하는 것으로 하며, 상세한 사항은 '7.6.2 토층 및 풍화암 비탈면 안정 검토'를 참조한다.
- (4) 초기의 비탈면 설계 단계에서는 국부적인 암반의 안정성을 판단하기보다는 전체적인 암반의 해석이 중요하다. 그러므로 여러 단계의 조사에 의하여 나온 결과를 가지고 대표적인 절리면의 공학적인 특성을 고려하여 평사투영법으로 발생 가능한 파괴형태를 파악하며, 불안정한 것으로 판단된 비탈면에 대하여 한계평형식을 이용하여 안정성 분석을 수행하는 것으로 한다. 또한 중요도가 높은 비탈면에 대해서는 개별요소법에 근거한 불연속체 해석 등을 통하여 정밀 안정계산을 수행하는 것으로 한다. 상세한 사항은 '7.6.3 암반 비탈면 안정 검토'를 참조한다.
- (5) '7.5 땅깍기 비탈면 경사에서 제시하는 비탈면 경사의 설계기준은 경험에 의한 일반적인 경사로 암반의 지질 및 절리 상태에 따라 과다 및 과소한 경사가 될 수 있으므로 비탈면 안정 계산의 FEED BACK 작업을 통하여 경제적이고 합리적인 경사를 결정해야 한다.

7.3 땅깍기 비탈면의 지반조사·시험

7.3.1 조사·시험의 목적

땅깍기 비탈면에 관한 조사·시험은 비탈면을 구성하는 원지반의 물리적 특성과 역학적 특성을 파악할 수 있는 기초자료를 제공함으로써, 비탈면 경사 결정, 굴착공법 결정, 보호대책 결정 및 안정성 검토 등과 같은 땅깍기 비탈면 설계의 주요 결정 과정에 합리적인 근거를 제시하기 위한 것이다. 즉, 땅깍기 비탈면의 계획, 설계, 시공 및 유지관리를 합리적이고 경제적으로 실시하기 위한 것이다.

비탈면 설계는 지반조사, 주위의 지형·지질조건, 동종의 비탈면 실태 조사 및 기술적 경험 등에 기초한 종합적인 검토를 행하는 것이 필요하다. 또 시공 중에 지반이 노출된 조건에

대해서는 비탈면 조사를 실시하여 안정성을 확보할 수 있도록 공사가 이루어지도록 하는 것이 중요하다.

7.3.2 조사 · 시험의 과정

땅깎기 비탈면의 조사 · 시험은 일반적으로 설계단계에서 예비조사 · 개략조사 · 정밀조사의 세단계로 나눌 수 있으며, 시공 중 조사 과정이 추가된다.

- (1) 예비조사는 공사 전체의 계획을 위한 것이며, 문헌 및 공사 · 재해기록 등의 자료 수집을 주로 실시한다.
- (2) 개략조사는 비탈면 주변의 지형 · 지질, 지하수 상황 등의 실태를 파악하는 것을 주목적으로 하여 붕괴 및 산사태 위험지역의 위치, 분포, 위험도의 예측에 반영하는 등 비탈면의 개략 설계를 위하여 실시한다.
- (3) 정밀조사는 대상으로 한 비탈면의 안정해석, 설계, 시공, 대책공의 결정 등에 직접 관련된 자료를 파악하는 것을 목적으로 한 물리적, 화학적 및 역학적인 조사나 탐사 · 시험을 주로 실시하는 것이다.
- (4) 시공 중 추가조사는 시공 시 설계단계에서 가정한 지반 상태가 최종 굴착면의 굴착 상태와 일치하는지 여부를 재확인(face mapping)하여 기존 설계 비탈면의 적정성을 평가하고, 비탈면 붕괴를 예방할 수 있도록 비탈면 경사 조정 또는 보완 대책 수립을 위하여 수행한다.

7.3.3 조사 · 시험의 항목

땅깎기 비탈면의 중요한 조사 · 시험 항목으로는 ① 지형(불안정 지형), ② 지질(지질구성, 지질구조), ③ 원지반의 공학적 성질(흙, 연암, 풍화도, 균열), ④ 원지반의 물성(물리·역학적 특성과 시간에 따른 변화) ⑤ 지하수 상황 등이다.

이들 조사 항목의 구체적 이미지는 다음의 그림 7.2와 같다.

조사항목	모식적 설명
지형	
지질	
원지반의 공학적 상황	
원지반의 물성	
지하수 상황	
기타(변상 재해 상황)	

〈그림 7.2〉 조사·시험 항목의 구체적 이미지

7.3.4 조사 · 시험의 방법

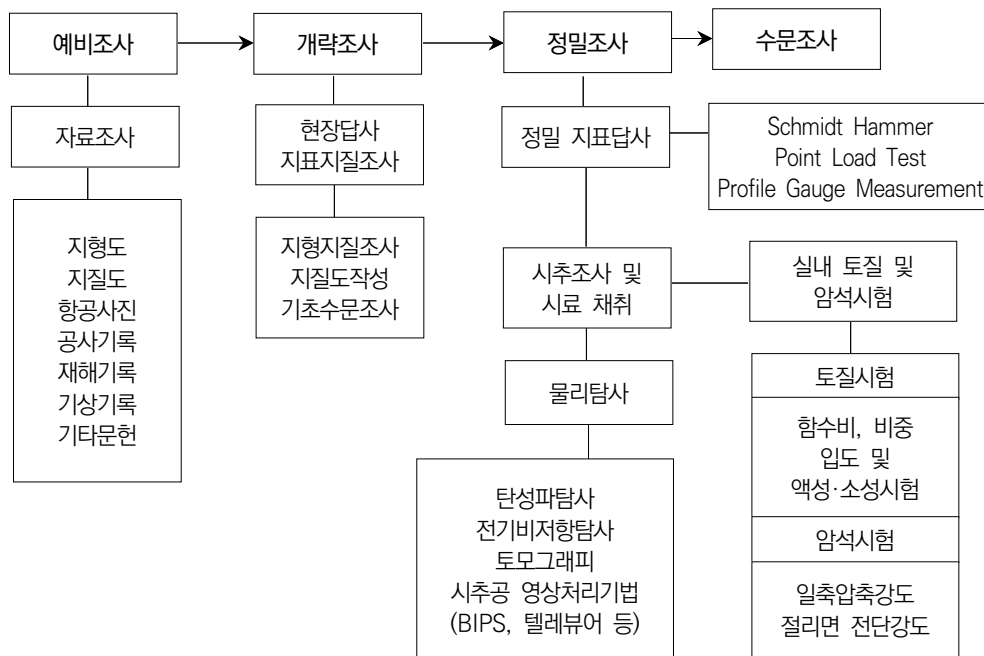
조사 · 시험 방법은 통상의 경우 복수의 조사 목적에 적용할 수 있기 때문에 적절하게 편성하여 조사 · 시험을 수행해야 한다. 비탈면 원지반의 종류에 따라 조사 · 시험 방법과 항목이 달라질 수 있으며, 특히 대규모 땅깍기 비탈면 및 암반 비탈면의 경우 정밀한 조사가 필요하다.

조사항목과 그것에 대하여 많이 사용되는 조사 · 시험 방법과의 관련은 표 7.1과 같으며, 조사 · 시험 단계별 조사방법은 그림 7.3에 나타내었다.

〈표 7.1〉 조사 및 시험의 방법 및 내용

조사·시험방법	조사·시험 내용	조사항목
지표지질조사	• 암반의 풍화 상태, 절리의 방향성, 연속성, 간격 및 거칠기 등 • 충전물의 분포 상태 • 단층선 등의 구조대 발달 여부 • Schmidt Hammer Test • Profile Gauge Measurement	지형 · 지질파악
시험굴	• 지반의 토층변화를 직접 확인	지반토층파악
시추조사	• 지층 분포 상태 • 절리면의 발달 상태(절리 간격 및 경사각) • 암석 코어의 강도 및 RQD • 파쇄구간의 존재 여부 • 시추공 전단강도시험(풍화암층 C, ϕ 측정)	지질파악 원지반 공학적 · 물리적 특성 파악 지하수상황파악
물리탐사	• 탄성파 탐사, 전기비저항, 토모그래피 : 탄성파 속도 및 전기비저항의 분포에 의하여 지하지질 구조 및 파쇄대의 존재 여부 파악 • 시추공 영상처리기법(BIPS, 텔레뷰어 등) : 불연속면의 방향성 파악	지질파악 원지반의 공학적 · 물리적 특성파악 지하수상황파악
현장시험	• 시추공 전단시험(풍화암층이 두꺼운 경우 필요 시) • 공내재하시험(지층별) • 투수 및 수압시험(투수계수 산정 필요 시)	원지반의 공학적 · 물리적 특성파악
실내시험	• 토성시험 : 함수비, 비중, 입도 및 액성·소성한계 등 • 암석시험 : 일축압축강도(풍화암 점하중시험으로 측정) 절리면 전단강도(C, ϕ 측정)	원지반의 공학적 · 물리적 특성파악
성과 분석	• 주절리군의 방향성 • 암반의 공학적 특성 : 강도 정수 산출(C, ϕ) • 암반비탈면의 경사 결정 : 예상파괴형태 및 구간별 안정성 검토 • 대책공법 선정	

(1) 땅깍기 비탈면은 원지반에 따라 토사 비탈면과 암반 비탈면으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 정밀조사가 필요한 땅깍기 비탈면은 땅깍기 높이 20 m 이상의 대규모 땅깍기 비탈면 또는 그에 준하는 비탈면으로 볼 수 있다. 우리나라의 지질특성상 토층의 발달이 미약하여 대부분의 땅깍기 비탈면은 암반 비탈면으로 예상할 수 있으며, 특히 대규모 땅깍기 비탈면은 거의 암반 비탈면으로 볼 수 있다. 대부분 풍화암 이하의 지반조건으로 이루어진 땅깍기 비탈면의 경우 지표지질조사·시험굴·시추조사 및 실내시험을 위주로 조사를 수행하며, 암반 비탈면의 경우 굴착 난이도 평가와 불연속면의 방향 파악이 중요한 조사·시험 항목이 되기 때문에, 굴착 난이도 판단을 위해서는 시추조사·물리탐사(탄성파탐사, 전기비저항탐사 등)와 같은 방법으로 실시하고, 불연속면의 방향 및 특성파악을 위해서 지표지질조사에 추가하여 시추공 영상처리장치(BIPS, 텔레뷰어 등)를 이용하여 비탈면 안정성에 가장 큰 영향을 주는 불연속면의 방향을 조사하는 방안을 강구해야 한다. 물리탐사 시행 후 결과에 따라 시추조사를 시행하며 지형·지질조건, 가탐심도, 취약 구간, 장비 접근성 등을 종합적으로 고려하여 물리탐사 위치와 시추 위치를 선정하도록 한다.

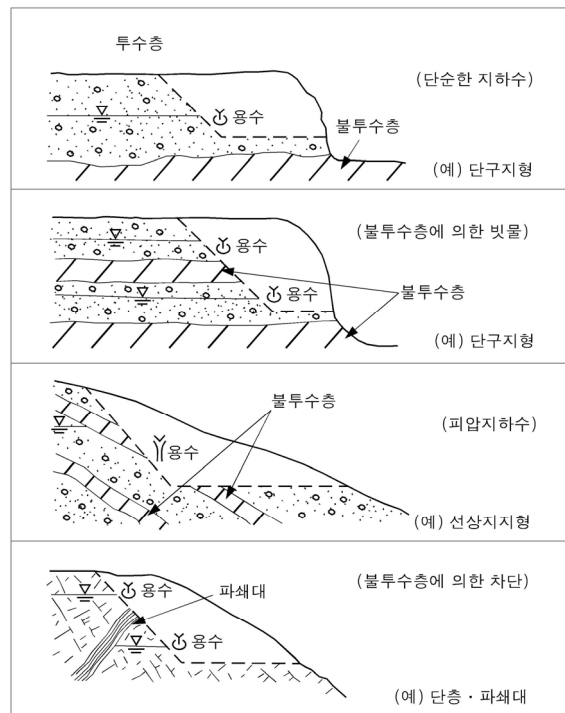


〈그림 7.3〉 설계단계에서 조사 및 시험 단계별 조사 방법

(2) 비탈면 땅깍기에 의하여 주변의 지하수에 악영향을 미칠 우려가 있다고 판단되는 경우에는 필요에 따라 표 7.2와 같은 조사·시험을 수행 할 수 있다. 지하수의 대수기구는 지질 구성과 밀접한 관계가 있고, 지질구성이나 구조가 다르면 그림 7.4에 나타내는 바와 같이 다양한 지하수 형태를 가져오기 때문에 조사계획 때 참고로 하면 좋다.

〈표 7.2〉 지하수 조사

조사·시험방법	조사내용	비 고
① 주변 우물의 수위 변동 조사	연간의 변동 측정	
② 시추조사	지하수위, 용수 개소, 불투수층의 확인 기타 ④, ⑤, ⑥의 관측공으로 사용	
③ 전기탐사	지하수위의 수평방향 분포, 등수위선	
④ 양수시험	양수에 의한 주변 지하수위의 변동 측정에 필요에 따라 실시	필요에 따라 실시
⑤ 지하수 추적 조사	지하수의 유동 방향 측정	
⑥ 현장투수시험	원지반의 투수계수 측정	



〈그림 7.4〉 비탈면 지질 구성이나 구조에 따른 지하수 형태

7.3.5 대규모 땅깁기 비탈면 및 암반 비탈면 조사방법

땅깁기 비탈면의 붕괴 위험정도에 따라 국내 암종을 4등급으로 나누고, 각 등급별로 본 조사와 추가 조사로 구분하여 조사의 경중을 고려·결정하며, 절리면 방향·절리면의 점착력(C) 및 내부마찰각(ϕ)을 시험에 의하여 구한다.

땅깁기 비탈면 조사·시험은 불규칙하고 변화가 심한 원지반의 특성 및 시공될 비탈면의 붕괴 위험 정도에 따라서 조사의 경중을 고려해야 하며, 특히 땅깁기 비탈면의 붕괴 위험 정도에 따라 국내 암종을 4등급으로 나누고, 각 등급별로 본조사와 추가조사를 구분하여 조사·시험방법을 차등 적용하며 적용 기대 효과는 다음과 같다.

- (가) 기존의 비탈면 붕괴 사례에 근거하여 기존의 획일적 조사방법을 탈피하여 암종별 특성을 고려한 합리적 조사방법으로 설계 수준 향상에 기여
- (나) 설계단계에서 대규모 비탈면 붕괴 예상 지역을 찾을 수 있으며, 사전에 비탈면 경사 조정 및 보강공법 선정이 가능하여 비탈면 붕괴로 인한 공사비 추가 소요, 민원 발생 및 공기 연장 등의 문제점 최소화 가능
- (다) 공사 중 또는 공용 중에 비탈면 붕괴로 인한 사고 발생 최소화

대규모 땅깁기 구간은 땅깁기 높이 20 m 이상 구간을 원칙으로 하나, 다음의 경우는 20 m 미만에서도 현장 조건에 따라 대규모 땅깁기 비탈면에 준하여 조사·시험을 행한다.

- (가) 구성 지반이 붕적층 또는 퇴적층인 경우
- (나) 현재까지 붕괴 이력이 있고, 불안정한 상태에 있는 지반의 경우
- (다) 지하수위가 높고 용수가 많은 곳
- (라) 주변의 기존 구조물(철탑 등)에 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우

(1) A급 땅깁기 비탈면 조사·시험방법

- (가) 대상 : 경상분지 퇴적암 지역 및 사전 지표지질조사 결과 지역 인근에서 산사태성 대규모 붕괴가 다수 발생한 지역으로 비탈면 높이가 10 m 이상인 경우
- (나) 본 조사 항목
 - (a) 비탈면 전체 조사 : 지표지질 조사 및 시험굴 조사를 수행하여 암종 분포 및 절리 방향을 조사하고, 탄성파 탐사 또는 전기비저항 탐사와 같은 물리탐사를 시행하여 지반의

파쇄대·암반의 분포사항 등을 파악할 수 있는 조사 수행(물리탐사는 전기비저항 탐사를 원칙으로 하며 현장 여건에 따라 탄성과 탐사로 대체 가능)

(b) 시추조사위치 선정 : 물리탐사결과를(중·횡방향 각 1회) 근거로 조사 위치를 1~2개소 선정

(c) 시추 방법 : 1공에 대하여는 풍화암층에 대하여 3중관 시추기를 이용하여 불교란 시료를 채취한다. 또한 BIPS, 텔레뷰어 등과 같은 화상 제공 장비를 이용하여 시추공 당 모든 절리면의 방향 및 풍화정도를 조사한다.

(d) 시험 항목

① 현장시험 : 물리탐사, 시추조사 3공, 풍화암층에 대한 시추공 전단시험, 시추공 화상정보시험(BIPS, 텔레뷰어 등)

② 토질시험

㉠ 토질시험 : 공당 1회

㉡ 절리면 전단강도시험 : 단층과 같이 절리 간격이 커서 불교란 상태의 시료 채취가 불가능한 경우 충전 물질을 재충진한 상태에서의 전단강도 시험 수행

㉢ 강도시험 : 일축압축강도시험을 실시하며, 일축압축강도 시험이 불가능한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(다) 추가 조사 항목

본 조사 결과 평가 후 시추 공간의 조사 결과가 서로 상이한 경우 추가 조사를 수행한다.

(a) 현장시험 : 이중관 시료 채취기를 이용한 시추조사 1개소, 시추공 화상정보(BIPS, 텔레뷰어 등)

(b) 실내시험 : 일축압축강도시험을 실시하며, 일축압축강도 시험이 불가능한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(2) B급 땅깁기 비탈면 조사·시험방법

(가) 대상 : 경기육괴 및 영남육괴의 변성암지역, 옥천지향사대 퇴적암지역 및 사전 지표지질 조사 결과 지역 인근에서 절리 방향이 불량하여 표준 사면 경사로 시공 시 붕괴가 다수 발생하는 지역으로 비탈면 높이가 10 m 이상인 경우

(나) 본 조사 항목

(a) 비탈면 전체 조사 : 지표지질 조사 및 시험굴 조사를 수행하여 암종 분포 및 절리 방향을

조사하고, 탄성파 탐사 또는 전기비저항 탐사와 같은 물리탐사를 시행하여 지반의 파쇄대·암반의 분포 사항 등을 파악할 수 있는 조사 수행

(물리탐사는 전기비저항 탐사를 원칙으로 하며, 현장여건에 따라 탄성파 탐사로 대체 가능)

(b) 시추조사 위치 선정 : 물리탐사결과(중·횡방향 각 1회) 근거로 조사 위치를 1~2개소 선정

(c) 시추 방법 : 1공에 대하여는 풍화암층에 대하여 3중관 시추기를 이용하여 불교란 시료를 채취한다. 또한 BIPS, 텔레뷰어 등과 같은 화상 제공 장비를 이용하여 시추공 당 모든 절리면의 방향 및 풍화 정도를 조사한다.

(d) 시험 항목

① 현장시험 : 물리탐사, 시추조사 2공, 풍화암층에 대한 시추공 전단시험, 시추공 화상정보시험(BIPS, 텔레뷰어 등)

② 토질시험

• 토질시험 : 공당 1회

• 절리면 전단강도시험 : 가장 불안한 절리면에 대하여(공당 1개소) 전단강도시험을 수행한다.

• 강도시험 : 일축압축강도시험을 실시하며, 일축압축강도 시험이 불가능한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(다) 추가 조사 항목

본 조사 결과 평가 후 시추 공간의 조사 결과가 서로 상이한 경우 추가 조사를 수행한다.

(a) 현장시험 : 2중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1개소, 시추공 화상정보(BIPS, 텔레뷰어 등)

(b) 실내시험 : 일축압축강도시험을 실시하며, 일축압축강도 시험이 불가능한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(3) C급 땅깍기 비탈면 조사·시험방법

(가) 대상

(a) 경상분지 변성암지역, 경기육괴 및 영남육괴 퇴적암지역, 옥천지향사대 석회암 및 퇴적 변성암 지역 및 절리방향이 불량하여 인근에서 사면붕괴가 종종 발생하는 지역으로 비

탈면 높이가 10 m 이상인 경우

(b) A, B등급 해당하는 지역으로 사면높이가 A등급 10 m 미만, B등급 10 m 미만인 경우

(나) 본 조사 항목

(a) 비탈면 전체 조사 : 지표지질 조사 및 시험굴 조사를 수행하여 암종 분포 및 절리 방향을 조사하고, 탄성파탐사 또는 전기비저항탐사와 같은 물리탐사를 시행하여 지반의 파쇄대, 암반의 분포 사항 등을 파악할 수 있는 조사 수행

(물리탐사는 전기비저항탐사를 원칙으로 하며 현장 여건에 따라 탄성파 탐사로 대체 가능)

(b) 시추조사 위치 선정 : 물리탐사(종방향 1회)결과를 근거로 비탈면 조사 위치를 1 ~ 2 개소 선정

(c) 시추 방법 : 풍화암층이 5 m 이상 깊이로 존재하는 경우 1공에 대하여 3중관 시추기를 이용하여 불교란 시료를 채취하며, 모든 시추공에 대하여 BIPS, 텔레뷰어 등과 같은 시추공 화상 제공 장비를 이용하여 절리면의 방향 및 풍화정도를 조사한다.

(d) 시험 항목

① 현장시험 : 물리탐사, 시추조사 (1공에 대하여 풍화암층이 5 m 이상 존재할 때 풍화암층에 대하여는 3중관 시추기 사용 및 시추공 전단시험), 시추공 화상정보시험 (BIPS, 텔레뷰어 등)

② 토질시험

• 토질시험 : 공당 1회

• 절리면 전단강도시험 : 가장 불안한 절리면에 대하여(공당 1개소) 전단강도시험을 수행한다.

• 강도시험 : 일축압축강도시험을 실시하며 일축압축강도 시험이 불가한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(다) 추가 조사 항목

본 조사 결과 평가 후 시추 공간의 조사 결과가 서로 상이한 경우 추가 조사를 수행한다.

(a) 현장시험 : 2중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1개소, 시추공 화상정보(BIPS, 텔레뷰어 등)

(b) 실내시험 : 일축압축강도시험을 실시하며 일축압축강도 시험이 불가한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(4) D급 땅깅기 비탈면 조사 · 시험방법

(가) 대상

- (a) 화성암 지역 및 사면이 안정한 지역으로 소규모의 붕괴 또는 낙석 발생이 우려되는 지역 및 단순 확장구간으로 기 노출된 사면으로 절리의 방향 및 거칠기 등을 추정할 수 있는 구간
- (b) C등급에 해당하는 지역으로 사면 높이가 10 m 이하인 경우

(나) 본 조사 항목

- (a) 비탈면 전체 조사 : 탄성파탐사 등을 이용하여 암반의 전반적인 암반 분포 상황을 파악한다.
- (b) 시추 조사위치 선정 : 물리탐사(종방향 1회) 결과를 근거로 비탈면 조사 위치를 1개소 이상 선정
- (c) 시추 방법 : 풍화암층이 5 m 이상 깊이로 존재하는 경우 1공에 대하여 3중관 시추기를 이용하여 불교란 시료를 채취하며, 모든 시추공에 대하여 BIPS, 텔레뷰어 등과 같은 시추공 화상 제공장비를 이용하여 절리면의 방향 및 풍화정도를 조사한다.

(d) 시험 항목

- ① 현장시험 : 물리탐사, 시추조사 1공, 시추공 화상정보시험(BIPS, 텔레뷰어 등)
- ② 토질시험
 - 토질시험 : 공당 1회
 - 강도시험 : 일축압축강도시험을 실시하며, 일축압축강도 시험이 불가능한 경우에는 점하중시험을 실시한다.

(다) 추가 조사 항목

본 조사 결과 평가 후 시추 공간의 조사 결과가 서로 상이한 경우 추가 조사를 수행한다.

- (a) 현장시험 : 2중관 시료채취기를 이용한 시추조사 1개소, 시추공 화상정보(BIPS, 텔레뷰어 등)
- (b) 실내시험
 - ① 일축압축강도시험을 실시하며, 일축압축강도 시험이 불가능한 경우에는 점하중시험을 실시한다.
 - ② 절리면 전단강도시험 : 가장 불안한 절리면에 대하여(1개소) 전단강도시험을 수행한다. 이상과 같이 4등급에 따른 시험항목별 조사 빈도를 정리하면 다음의 표 7.3과 같다.

〈표 7.3〉 4등급에 따른 시험항목별 조사 빈도

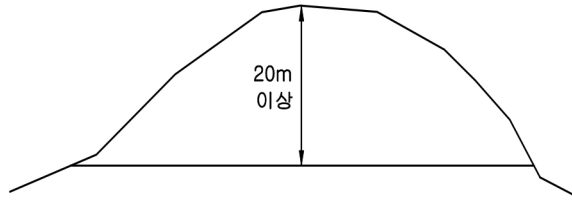
1. 불교란 시료 채취 : 풍화암 층에 대하여 점하중시험을 수행하기 위하여 수행
• A, B 등급 : 모든 풍화암 층에서 수행
• C, D 등급 : 풍화암 층이 5m 이상인 경우에 수행
2. 토질시험 : 본 조사 시 시추공 당 1회 수행하며, 추가 조사 시에는 생략함
3. 점하중시험 : 일축압축강도시험이 불가한 경우에 수행
4. 절리면 전단시험 : 연암보다 양호한 암반에 대하여 공 내 화상정보 분석 후 1공당 가장 불안한 절리면 1개소에 대한 전단시험 수행

구 분	A급		B급		C급		D급	
	본 조사	추가조사	본 조사	추가조사	본 조사	추가조사	본 조사	추가조사
지표지질조사	1식	-	1식	-	1식	-	1식	-
전기비저항탐사 ¹⁾	1식	-	1식	-	1식	-	-	-
탄성파탐사 ¹⁾		-	-	-	-	-	1식	-
시추조사	3공	1공	2공	1공	2공	1공	1공	1공
토질시험	공당1회	-	공당1회	-	공당1회	-	공당1회	-
풍화암 불교란시료채취	1공	-	1공	-	1공 (5m 이상 경우)	-	1공 (5m 이상 경우)	-
시추공 화상정보시험	3공	1공	2공	1공	2공	1공	1공	1공
풍화암층 시추공 전단시험	1개소	1	1개소	-	1개소 (5m 이상 경우)	-	1개소 (5m 이상 경우)	-
연암 및 경암 절리면 전단시험	1공당 1개소	-	1공당 1개소	-	1공당 1개소	-	-	1공당 1개소
풍화내구성 지수시험	1공당 1개소		1공당 1개소		1공당 1개소		1공당 1개소	
팽윤시험	1공당 1개소		1공당 1개소		1공당 1개소		1공당 1개소	
일축압축강도 또는 점하중시험	약 6 m당 1회	-	약 6 m당 1회	-	약 6 m당 1회	-	약 6 m당 1회	-

주) 물리탐사는 A급, B급, C급에서 전기비저항 탐사를 원칙으로 하며, 현장여건에 따라 탄성파탐사로 대체 가능

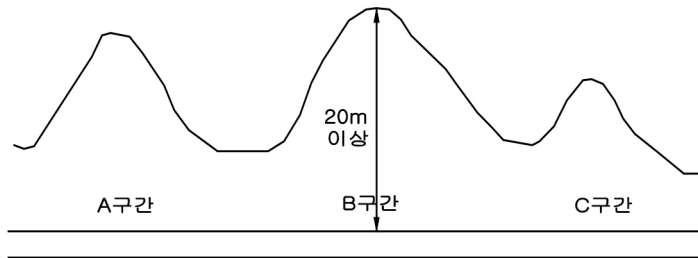
7.3.6 비탈면 연장, 형상별 조사 빈도

(1) 한 개의 능선이 있는 경우



연 장	100 m 이하	300 m 이하	600 m 미만	600 m 이상
향 목				
시추조사	1배	2배	2.5배	3배
시추공 화상정보	1배	2배	2.5배	3배
절리면 전단시험	1배	2배	2.5배	3배
시추공 전단시험	1배	2배	2.5배	3배

(2) 여러 개의 능선이 같이 있는 경우



각 능선의 사면 높이에 따라 A급(20 m 이상), B급(20 m 미만)으로 구분하여 조사 시행

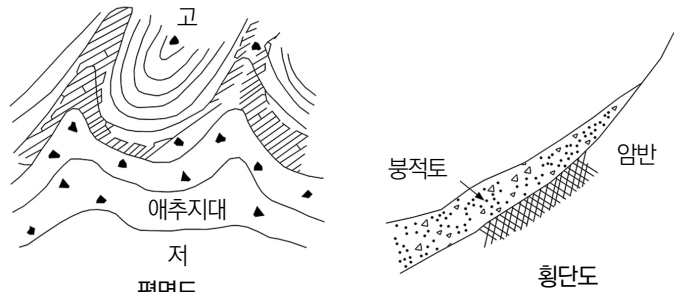
7.3.7 붕괴성 요인을 가지는 원지반 지반조사 시 유의사항

다양한 붕괴성 요인을 가지는 지형, 지질조건의 토대에서 원지반을 땅깁기하는 경우에는 비탈면 붕괴의 위험성이 높기 때문에 정밀한 조사가 필요하다.

(1) 붕적토, 강풍화 비탈면의 땅깁기

붕적토 · 애추 · 풍화암 등의 비탈면이나 구 붕괴지 등에서는 고결도가 낮은 흙이 퇴적되며,

그림 7.5와 같이 불안정한 비탈면 경사를 유지하고 있는 경우가 있다. 이와 같은 불안정한 원지반을 깎는 경우에는 현지답사 초기에 시추조사·탄성파탐사 등 물리탐사 및 토질시험을 실시하여 붕적토사, 풍화암의 층후와 분포, 기반암의 경사각, 지하수위, 입도분포 및 자연함수비 등 비탈면의 안정을 좌우하는 요인을 충분히 조사할 필요가 있다.



〈그림 7.5〉 애추지형에서의 땅깍기 비탈면

(2) 침식에 약한 토질의 땅깍기

화강풍화토 등의 사질계의 토사는 고결도가 그다지 높지 않기 때문에 빗물이나 지하수에 의하여 침식되기 쉽고, 비탈면의 붕괴나 토사 유출이 일어나는 경우가 많다. 이와 같은 원지반을 깎는 경우에는 시추조사, 탄성파탐사, 토질시험, 토양경도시험, 세굴저항시험에서 토사의 층후와 분포·입도분포·고결도·내침식성 등을 조사하는 동시에 유사 토질로 구성된 기존 땅깍기 비탈면이나 자연 비탈면의 상황도 참고하여 종합적 견지에서 판단할 필요가 있다.

(3) 풍화가 빠른 암의 땅깍기

제3기층의 이암·셰일이나 고결도가 낮은 응회암·사문암 등은 땅깍기에 의한 응력 개방에 의하여 흡수팽창을 일으키기 쉽고, 또 땅깍기 후 시간의 경과와 함께 건조·습윤의 반복이나 동결·융해의 반복 작용에 의하여 강도가 저하되고 비탈면 붕괴가 발생하는 경우가 많다.

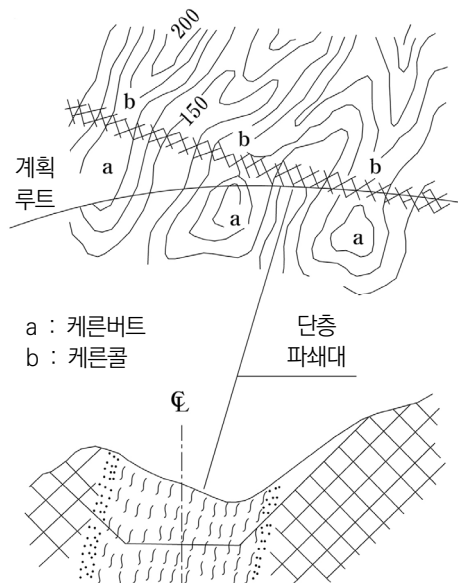
(4) 암에 균열이 많은 경우나 균열이 유발되는 경우의 땅깍기

원지반을 구성하는 암석 자체는 단단하여도 균열(층리, 편리, 절리)이 많은 경우에는 균열을 따라서 붕괴가 생기기 쉽다. 이 경향은 중고생대의 퇴적암이나 오래된 화성암 등 장기간 지각변동이나 풍화작용을 받은 암반지대에서 많이 볼 수 있다. 특히 층리, 편리, 절리 등 일정

방향으로 규칙성을 가진 균열이 발달하고 있는 경우에는 그 경사방향과 같은 방향으로 균열의 경사각보다도 급한 경사로 땅깍기할 경우 균열이 유발되어 붕괴를 일으키는 경우가 많으므로 정밀한 조사가 필요하다. 암반 비탈면의 안정성에 가장 중요한 불연속면(균열)의 방향성은 시추조사만으로는 충분한 자료를 얻기가 거의 불가능하므로 시추공영상처리기법(BIPS, 텔레뷰어 등)을 적용해서 불연속면에 대한 자세한 정량적인 정보를 취득해서 암반 비탈면 안정해석에 적용한다.

(5) 구조적 약선을 가지는 비탈면의 땅깍기

단층 및 단층의 영향을 받은 파쇄대는 단층운동의 반복에 의하여 주위의 암석보다도 현저하게 취약하여지고, 이러한 약선을 따라서 붕괴를 일으키는 일이 많다. 특히 단층 파쇄대가 비탈면에 평행이든가 예각으로 만나는 경우에는 그 부분이 약선이 되어 붕괴하는 일이 있기 때문에 주의가 필요하다. 단층 파쇄대는 보통의 암반에 비하여 침식에 대한 저항이 약하기 때문에 침식지형으로서 직선상의 골짜기나 직선상으로 늘어선 안부를 형성하기 쉽기 때문에 지형에서도 판단할 수 있는 경우가 있다(그림 7.6). 조사는 현지답사에 의한 노두 관찰, 시추코어 및 탄성파 탐사에서 단층·파쇄면의 겉보기 경사각, 파쇄 정도(균열 간격, 점토화의 유무), 층리 등의 분리면의 방향성 및 지하수 등의 정보를 얻도록 한다. 또한 시추조사의 심도는 계획고 하 1~2m에 구애 받지 말고 약선 파악을 위한 필요 깊이까지 수행해야 한다.



〈그림 7.6〉 단층지역에서의 땅깍기 비탈면

7.4 조사 및 시험 방법 일반

7.4.1 시추조사

시추조사는 땅깍기 비탈면을 이루는 원지반의 지질 및 지하수 상태를 확인 조사하는 동시에 실내 시험을 위한 시료 채취 및 시추공을 이용한 시험을 수행하기 위한 선행 작업으로 수행한다.

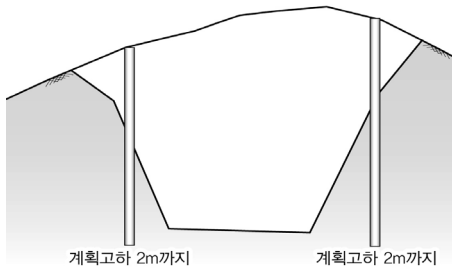
- (1) 시추조사의 위치, 간격, 심도 및 조사공수는 비탈면 조사등급 및 연장에 따라 달라지며, 대규모 땅깍기 비탈면에 있어 시추조사 계획의 예를 (7)에 제시하였다.
- (2) 조사 시 토층이 변화하거나 동일 토층이라도 매 1.0 m 마다 KS F 2318 규정에 의거 표준관 입시험을 연속성 있게 실시한다.
- (3) 시추가 진행되는 동안은 공 내의 붕괴를 방지하기 위하여 공의 붕괴가 없는 풍화암층까지 Casing을 삽입한다.
- (4) 지하수위 측정은 시추 종료 후 24, 48, 72시간 경과 시마다 지하수위를 측정한다.
- (5) 시추조사 결과는 시추주상도에 심도, 토질 및 암의 기본조직, 밀도, 색조, 함수비, 지하수위, N치, Core 회수율 및 R.Q.D 등을 상세히 기록한다. 파쇄대 및 풍화대 시료 채취 시 코아 손실 방지, 파쇄대 충전 물질 및 가우지, 절리면의 거칠기 및 간격, 상태, 색상 등이 관찰 가능하도록 적정한 샘플러를(삼중 코아배럴 등) 사용해야 한다. 채취된 시료는 철저한 관리가 필요하다.
- (6) 표준관입시험 시 채취된 시료는 병에 담아 번호, 일자, 채취 심도, 지층명 및 N치 등을 명기한 Tag를 시료병에 부착하고 시료상자에 정리한다. 표준관입시험은 자동타격방식으로 시행하고, 조사 장비 효율 테스트를 반영하여 표준관입시험결과(N값)을 보정해야 한다.
- (7) 대규모 땅깍기(땅깍기 높이 20 m 이상의 경우) 시추조사 계획(예)
 지역 및 암종 구분 없이 C급의 암반지역에서의 시추조사는 경암 2 m, 또는 계획고 하 2 m 까지 시추조사를 실시하여 하며 계획고 하 2 m 시추 종료 지점에서 단층파쇄대 출현 시 단층 파쇄대를 통과하는 지점까지 추가조사를 실시한다.

(가) 종방향 고려사항

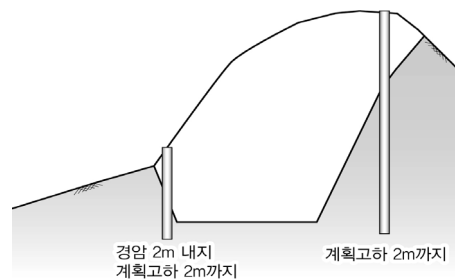
한 개의 능선인 경우와 여러 능선이 같이 있는 경우는 7.3.6 내용 참고

(나) 횡방향 고려사항

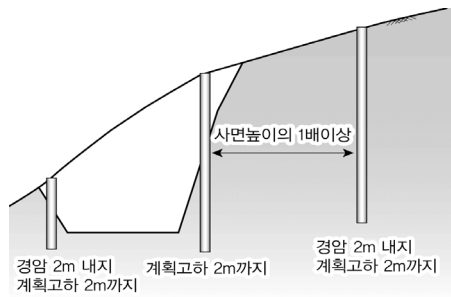
(a) 양 쪽 절취



(1-1) 양 쪽 땅깍기 면이 20 m 이상

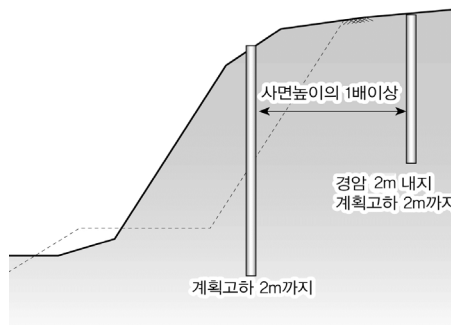


(1-2) 한 쪽 땅깍기 면이 20 m 이상



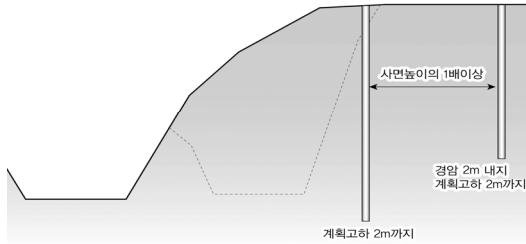
(1-2) ② 한 쪽 땅깍기 면이 20 m 이상(필요 시)

(b) 한 쪽 절취

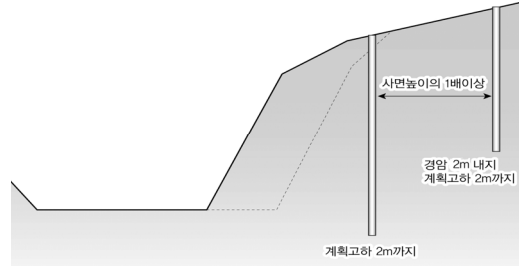


비탈면 경계부(계획고 하 2 m), 비탈면 경계 상부구간(필요 시), (경암 2 m 내지 계획고 하 2 m)

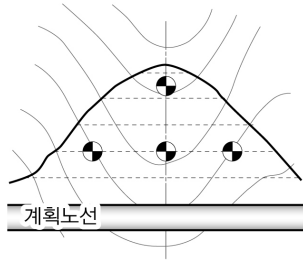
(c) 기존 땅깁기 비탈면 노출 시



(d) 등비탈면 노출 시



구조적 연약대가 예상되는 위치의 시추조사는 입체적인 자료를 획득하기 위하여 종 · 횡방향으로 다음과 같이 배치하여 조사를 실시한다.



7.4.2 시험굴 시험

시험굴 시험은 땅깁기 지반의 구성 상태를 파악하기 위한 조사로 최소 200 m 간격으로 1.2 ~ 1.5 m 심도로 굴착하여 조사하며, 시험굴 시험으로 얻은 시료를 가지고 함수비시험 · 비중시험 · 체분석시험, 입도분석시험, 액성 · 소성한계시험, 다짐시험, 실내 CBR시험 등을 수행한다.

계획노선 중 땅깁기 예정지역을 대상으로 토공작업에 의해 발생될 토사층이 흙쌓기재료 또는 도로 노반재로서의 사용가능성 여부와 흙의 다짐특성, 토량변화율 등을 파악하기 위하여 인력이나 굴착기를 사용하여 지표면으로부터 1.2 ~ 1.5 m 내외의 심도까지 굴착하여 조사한다.

7.4.3 지표지질조사

땅깁기 구간 지표지질조사는 땅깁기 비탈면이 계획되어 있는 지역을 중점적으로 지표에 노출되어 있는 노두를 관찰하여, 지층 · 단층 · 절리, 엽리 등의 불연속면의 지질학적인 특성을 파악하고, 측정된 자료를 이용하여 평사투영법에 의한 땅깁기부 암반 비탈면 안정해석에 활용하는데 목적이 있다.

땅깍기 비탈면 구간에 노출되어 있는 노두를 클리노미터 및 슈미트 햄머 등을 이용하여 단층, 절리, 암상, 노출암의 풍화정도, 절리면 유형, 틈의 크기, 충전물, 절리면의 풍화 정도, 주향 경사 등을 측정하여 비탈면 안정 해석 시 평사투영 혹은 한계평형 해석 자료로 활용한다. 또한, 지표지질조사도를 작성하여 지질조건의 변화에 따른 안전한 비탈면 설계가 될 수 있도록 활용한다.

7.4.4 물리탐사

시추조사는 원지반의 지층 구성 상태나 파쇄대 위치 파악 및 지하수 상황 등을 경제적으로 얻을 수 있는 가장 일반적인 조사방법이지만, 특정지점의 조사이므로 불확실한 지반상태(풍화 정도, 파쇄 정도)의 연속적인 변화 특성을 파악하는데는 어려움이 있어 합리적인 암선 추정에 한계가 있다. 또한 암반 비탈면의 경우 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 불연속면의 방향성을 파악하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 이와 같은 시추조사의 한계성을 극복하고 비탈면의 합리적이고 경제적인 설계를 실시하기 위하여 탄성파탐사, 전기비저항탐사, 토모그래피 및 시추공 화상정보시험(BIPS, 텔레뷰어, ABI 등) 등과 같은 물리탐사를 수행한다.

(1) 탄성파탐사

이 조사의 목적은 땅깍기 비탈면이 계획되어 있는 지역을 중심으로 지반의 탄성파 속도를 측정하여 지반의 지층 구조를 지구 물리학적으로 규명함으로써, 토공 땅깍기 난이도 결정, 탄성파 속도 값에 따라 지층이나 암반의 균열 또는 풍화정도를 파악하고, 시추조사와 비교함으로써 수평 방향의 지질변화를 파악하는데 그 목적이 있다. 탄성파속도의 측정법에는 여러 가지가 있으나 현지의 상황·탐사의 심도범위·기기 여건 등을 감안하여 결정해야 하나, 일반적으로 굴절법을 사용한다.

(2) 전기비저항탐사

전기비저항탐사는 땅에 접지시킨 한 쌍의 전류전극을 통하여 땅속에 전류를 흘려 보내고, 역시 접지한 한 쌍의 전위전극 사이의 전위차를 측정하여 지하 매질의 전기 비저항 변화 양상을 탐지하고, 이를 해석함으로써 지하 하부의 층서구조·단층 파쇄대·연약대·지하 공동, 지하수, 지열지대의 존재 여부 및 양상 등을 탐사하는 물리탐사법이다. 탄성파탐사보다 정확도가 높고 다양한 지반상태와 관련된 정보를 얻을 수 있는 탐사법으로서, 지표지질조사 결과와 같이 활용하여 땅깍기 비탈면 기반암 조사에 효과적으로 사용될 수 있다.

(3) 시추공 화상정보기법(BIPS, 텔레뷰어 등)

시추조사의 경우 비탈면 안정성에 큰 영향을 미치는 불연속면의 방향성을 파악하는 것이 거의 불가능하고, 특히 활동면으로 작용할 가능성이 큰 연약한 절리 충전물의 경우 굴진수의 압력에 의하여 손실되거나 혼탁해지는 취약점을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고 절리의 발달 상태를 정량적으로 표현하기 위한 방법으로 최근 시추공 화상정보기법(BIPS, 텔레뷰어 등)을 실시하고 있다. 시추 공벽 상의 실제 이미지를 구하여 암반 비탈면 안정에 있어 매우 중요한 인자인 절리면의 방향성 및 상태 정보를 획득하고, 이로부터 붕괴 가능성 및 붕괴 원인을 파악하는데 매우 유효하다.

(4) 지표레이다(GPR)탐사

지표레이다탐사는 지하에 묻혀 있는 대상체를 찾아내거나 지하에 존재하는 불균질대 또는 파쇄대 등의 지질학적 구조를 규명하는데 사용할 수 있다. 탐사는 송수신 안테나를 일정 간격으로 위치시킨 후 측선을 따라 두 안테나를 동시에 일정 간격씩 옮겨가며 측정한다.

(5) 시추공간물리탐사

시추공간물리탐사는 2개소 이상의 시추공 사이의 연속적이고 상세한 지반 상태를 파악하기 위해 실시한다.

(가) 지오토포그래피(geotomography)

- (a) 지오토포그래피 탐사는 두 개 또는 그 이상의 시추공을 이용하며, 시추공 내에 위치하는 송신원에서 발생된 탄성과 또는 전자기파(레이더파)를 매질로 방사시켜 시추공 사이의 다양한 경로를 따라 전파되는 파의 주행시간이나 진폭을 측정하고, 측정된 자료의 행렬 역산 등을 통하여 2차원 또는 3차원의 지하 매질의 속도, 흡수성 또는 전기비저항과 같은 물성의 분포를 영상화해야 한다.
- (b) 전기비저항 토모그래피의 경우에는 탐사 목적에 맞는 전극 배열을 선정하고 2차원 또는 3차원 수치 역산을 통하여 대상 단면의 전기비저항 영상을 작성해야 한다.
- (c) 전자탐사토모그래피의 경우에는 사용 주파수 및 측정 간격을 탐사 대상, 해상도에 맞게 결정하고, 회절토모그래피나 역산법에 의한 결과인 대상 단면의 전기비저항 영상을 작성해야 한다.

(나) 시추공간 탄성파탐사(cross hole test) 및 하향식 탄성파탐사(down hole test)

- (a) 시추공간 탄성파탐사는 현지 암반의 심도별 탄성파속도(P파 및 S파)를 측정하고, 하향식 탄성파탐사는 심도별 구간 속도를 측정하여 암질 구분과 동탄성계수를 산정함을 목적으로 한다.
- (b) 측정 간격은 탐사 목적 및 현지 암반의 상태 등에 따라 적절히 설정해야 한다.
- (c) 시추공간 및 하향식 탄성파탐사 수행 시 서로 반대 방향의 극성을 가지는 S파를 발생시키고, 이들의 진폭 및 위상을 분석하여 S파의 도달 시간을 정확히 판독해야 한다.
- (d) 시추공간 탄성파탐사의 경우에는 시추공의 편향도를 측정하는 공곡(verticality)의 측정을 필수적으로 수행하여 송신기간 거리를 정확히 산출해야 한다.

7.5 땅깍기 비탈면 경사

7.5.1 표준 비탈면 경사

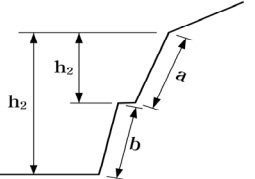
땅깍기 비탈면 경사는 지반을 구성하는 지층의 종류, 상태 및 땅깍기 높이에 따라 일반적인 토층이라면 표 7.4 및 표 7.5의 값을 표준으로 한다. 붕괴성 요인을 가진 토층부는 별도로 검토하여 종합적으로 판단해야 한다. 특히, 암반 비탈면의 경우는 지표지질조사 및 시추조사, 시추공내시험에 의하여 파악된 절리의 방향성 및 발달 상태에 따라 각각의 비탈면에 대하여 안정 해석을 실시하여 비탈면 경사를 결정하는 것을 우선으로 한다.

(1) 원지반 토질에 따른 표준 비탈면 경사

〈표 7.4〉 원지반 토질에 대한 표준 비탈면 경사의 범위

원 지 반 의 토 질		땅깍기 높 이	경 사	분류기호 (통일분류)
모 래	밀실하지 않고 입도 분포가 나쁜 것		1:1.5~5	SW, SP
사 질 토	밀실할 것	5 m 이하	1:0.8~1:1.0	SM, SP
		5~10 m	1:1.0~1:1.2	
	밀실하지 않고 입도 분포가 나쁜 것	5 m 이하	1:1.0~1:1.2	
		5~10 m	1:1.2~1:1.5	
자갈 또는 암괴 섞인 사질토	밀실하고 입도 분포가 좋은 것	10 m 이하	1:0.8~1:1.0	SM, SC
		10~15 m	1:1.0~1:1.2	
	밀실하지 않거나 입도 분포가 나쁜 것	10 m 이하	1:1.0~1:1.2	
		10~15 m	1:1.2~1:1.5	
점 성 토		0~10 m	1:0.8~1:1.2	ML, MH, CL, CH
암괴 또는 호박 돌 섞인 점성토		5 m 이하	1:1.0~1:1.2	GM, GC
		5~10 m	1:1.2~1:1.5	

- 주1) 실트는 점성토로 간주한다. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
 주2) 표 속의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일 비탈면 경사이다.
 주3) 땅깍기 높이의 구체적인 예는 아래 그림과 같다.



- h_1 : a 비탈면 경사는 땅깍기 높이 h_1 에 따라 결정된다.
 h_2 : b 비탈면 경사는 땅깍기 높이 h_2 에 따라 결정된다.
 주4) 대규모 땅깍기 비탈면에 대해서는 7.11을 참조할 것.
 주5) 1:1.5란 1:1.5보다 완만한 경사를 말한다.

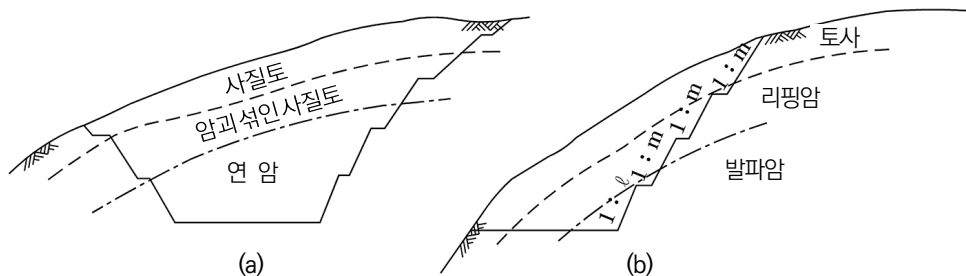
(2) 암반의 특성에 따른 표준 비탈면 경사

〈표 7.5〉 암반의 특성에 따른 표준 비탈면

암반 구분	암반 파쇄 상태		굴 착 난이도	경 사	소단 설치	비 고
	NX 시추 시(BX)					
	TCR(%)	RQD(%)				
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20 % 이하	10 % 이하	리핑암	1:1.0 ~ 1:1.2	H = 5 m 마다 1.5 m 소단 및 소단배수 (L5-1)	* 높이 10 m 발파암 연결구간은 3.0 m 소단 및 소단배수(L5) 설치 * 소단사이에 토사와 리핑 구분선이 발생 시 많은 쪽 비탈면 경사를 적용
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20 ~ 40 %	10 ~ 25 %	발파암 (연암)	1:0.8 ~ 1:1.0	H=10 m 마다 3 m 소단 및 소단배수(L5)	* 특수한 경우(지반조건, 지장물, 무한사면 발생 등) 발파암 구간등의 소단폭원은 1 ~ 3 m 범위에서 조정가능하며, 소단 폭원 조정 시 낙석방지시설 별도검토 후 적용
	40 ~ 60 %	25 ~ 50 %	발파암 (보통암)	1:0.7		
	60 % 이상	50 % 이상	발파암 (경암)	1:0.5		

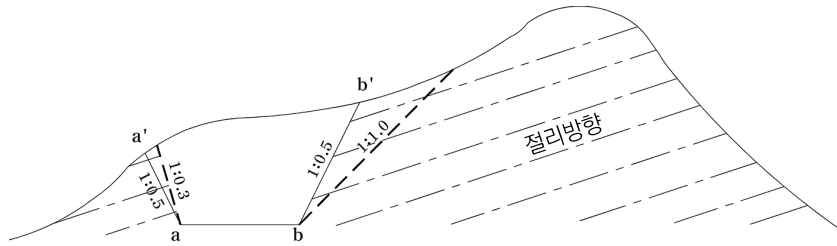
- (1) 자연지반은 아주 복잡하고 불균일하며, 더구나 땅깍기된 비탈면은 시공 후 시간의 경과와 함께 차차로 불안정하게 된다. 따라서, 땅깍기 비탈면의 안정을 검토하는 경우, 안정 계산에 의미가 있는 경우는 아주 드물다고 생각하여도 좋다. 표 7.4 및 표 7.5는 경험적으로 구한 비탈면 경사의 표준치 범위를 표시한 것이고, 비탈 표면에 침식을 방지하는 정도의 보호공을 전제로 한 표준 경사이다.

- (2) 발파 암반 하부에 두꺼운 층의 리핑암이 나타나면 상부 발파암도 하부 리핑암에 준하여 경사를 실시하되 안정성 검토를 실시하여 최종경사를 결정해야 한다.
- (3) 토질이 동일하지 않은 지역에서 대규모 땅깍기를 할 경우는 그림 7.7과 같이 비탈면 경사를 각 토질에 맞는 비탈면 경사로 하는 것이 바람직하다.
- (4) 소단과 소단사이에 토사와 리핑암 구분선이 발생할 때에는 많은 쪽의 비탈면 경사 적용을 원칙으로 하며, 미관 및 현장 시공 여건을 고려하여 조정 설치할 수 있다.



〈그림 7.7〉 토질이 고르지 않은 경우의 땅깍기 비탈면 경사

- (5) 경암으로 된 암반이라도 불연속면으로 인한 붕괴의 위험이 없으면 1:0.5 보다 더 급한 경사이어도 안전하며, 반면에 경암이라도 불연속면으로 인한 붕괴위험이 예상되면 경사를 1:0.5 보다 낮추거나 보강공법을 시행해야 안전하게 되는 경우가 있다. 그러므로 비탈면 경사의 결정은 반드시 각각의 땅깍기 비탈면의 특성에 맞는 비탈면 설계로 최적의 땅깍기 경사를 결정해야 한다. 지표지질조사 및 시추조사에 의하여 파악된 절리의 방향성 및 발달상태에 따라 각각의 비탈면에 대하여 안정해석을 실시하여 땅깍기 비탈면 경사를 결정한다. 그 예로 그림 7.8의 a-a' 비탈면과 같이 붕괴의 위험이 없는 비탈면은 경암층이라도 표준경사인 1:0.5 보다 더 급한 경사이어도 안정성 확보가 예상되어지므로 FEED BACK 작업을 통하여 합리적인 땅깍기 비탈면 경사를 적용한다. 또한 b-b' 비탈면과 같이 붕괴의 위험이 예상되는 비탈면은 경암층이라도 표준경사인 1:0.5 보다 더 낮추거나 보강공법을 시행해야 안정성 확보가 이루어질 수 있는 비탈면으로 분류하여 설계하도록 한다.



〈그림 7.8〉 절리방향에 따른 비탈면경사의 조정

7.5.2 붕괴성 요인을 갖는 지질의 비탈면 경사

자연지반의 지질 및 지층 구조는 매우 복잡하고 변화가 많으며, 특히 다음에 표시한 것 같은 붕괴성 요인을 갖는 지질의 원지반을 땅깁기하는 경우는 비탈면 붕괴의 위험성이 높아서, 반드시 토질조사 또는 지질조사를 실시하여 비탈면 경사를 검토하고, 비탈면 안정에 대한 대책을 수립해야 한다.

〈표 7.6〉 붕괴성 요인을 갖는 토질

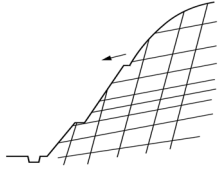
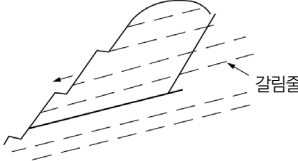
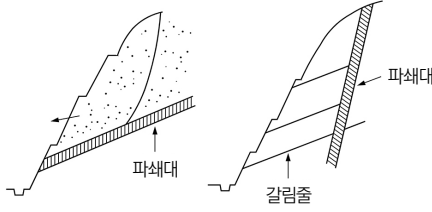
붕괴성 요인을 갖는 지질	대 표 지 질
풍화가 빠른 암석	이암, 응회암, 셰일, 점판암, 사문암, 편암류 등
균열이 많은 암석	편암류, 셰일, 사문암, 화강암, 찰트, 안산암 등
바둑판 모양의 균열이 있는 암석	층리, 절리가 비탈면인 경사 방향과 일치한 편암류, 점판암 등
구조적 약선이 있는 지질	단층 파쇄대, 지반활동지역, 붕괴지 등

(1) 붕괴성 요인을 갖는 지질은 표 7.6과 같이 균열이 많은 암석과 같이 토질이나 암질에 문제가 있는 것과 바둑판 모양의 균열이나 구조적 약선을 갖는 경우와 같이 지질구조에 문제가 있는 것으로 분류된다. 전자는 실내 토질시험 등에서도 어느 정도 추정할 수 있지만, 후자는 설계에서 현지조사를 하여 판단하는 것이 중요하다.

(2) 안정상의 문제점 및 안정 검토에 유의할 점에 대하여 표 7.7에 기술한다.

〈표 7.7〉 땅깍기 비탈면의 문제점 및 유의사항

구분	비탈면 안정상의 문제점	안정을 지배하는 요인 및 공학적 성질	안정상 유의점 및 안정검토에 관한 자료
침식에 의한 토질	- 화강풍화토는 겉보기의 전단강도는 크지만 물이나 지진에 대해서는 대단히 약하다. 건습·동결·침식 등의 반복으로 표면은 박리 혹은 침식을 받으며, 포화되면 점토화되어 큰 재해가 발생하는 경우가 있다. - 침식은 비탈면 보호공사 시공 전의 비탈면이나 식생공의 활착도가 나쁜 비탈면에서 발생할 때가 많다.	- 세굴 되기 쉽기 때문에 원지반의 고결도나 경도가 문제가 된다. 〈공학적 성질〉 1. 토양 경도 2. 탄성파 속도	- 비탈면 및 주변의 배수처리를 정확히 한다. - 비탈면 보호공사를 조기에 시공하고 피복 효과에 기대한다. 〈안정검토 자료〉 • 풍화토
고결도가 낮은 토사나 강풍화암	투수층과 불투수층이 서로 접하여 있고, 그 경계면의 경사와 비탈면이 같은 방향으로 되어 있을 경우 상부의 투수층만이 무너질 경우와 하부의 불투수층이 지하수로 인하여 약해져 먼저 불투수층의 비탈면 표층부가 미끄러져 점차 붕괴가 위로 파급해 가는 경우가 있다. 낭떠러지 등은 전자에 의한 붕괴되는 경우가 많다. 투수층 밑에 암반이 있을 때 투수층과 불투수층이 서로 접하여 있을 때	- 상부 투수층의 고결도, 함수 상태 및 기반의 경사각 등이 문제가 된다. 〈공학적 성질〉 1. 기반 경사각 2. 붕괴토의 두께 3. 자연함수비 4. 74μ체 통과량	- 투수층과 불투수층부의 경계에 넓은 소단을 만든다. - 투수층부의 비탈면 경사는 가능한 완만히 한다. - 배수대책을 세운다. 〈안정 검토 자료〉 1. 붕괴토에서의 안정 검토
풍화가 급속히 진행된 암석	- 강도가 낮은 지층 혹은 제3기의 이암이나 응회암에서 땅깍기 시에는 굳고 안정된 비탈면이라도 시간 경과에 따라 급속히 풍화가 진행되어 표층이 붕괴된다. (사암, 이암이 서로 접하여 있을 때) (단일 지질일 때) - 사문암 속에는 땅깍기 후 흡수팽창에 의한 풍화로 급격히 강도가 낮아져 무너지는 것도 있다.	- 풍화되기 쉽기 때문에 원지반의 고결도나 풍화되기 쉬운 정도가 문제가 된다. - 사문암은 고결도 및 풍화에 따른 강도저하상태가 문제가 된다. 〈공학적 성질〉 1. 토양 경도 2. 표면층 풍화대의 두께 3. 탄성파속도 4. N값 5. 흡수팽창률 6. 건습반복시험에서의 취수량 증가율 7. 균열 간격 8. R.Q.D 9. 일축압축강도	- 풍화가 진행되어도 붕괴되지 않기 위한 안정경사의 확보 - 붕괴가 발생되어도 피해를 최소한으로 막기 위한 소단 설치 〈안정 검토 자료〉 1. 풍화가 빠른 암석에서의 안정 검토 2. 사문암에서의 안정 검토

구분	비탈면 안정상의 문제점	안정을 지배하는 요인 및 공학적 성질	안정상 유의점 및 안정 검토에 관한 자료
단층면의 균열이 많음	- 편암이나 사문암 등에서 암반 속에 절리나 작은 단층이 발달한 지질에서는 균열에 따라 붕괴한다. 균열의 조합에 따라 붕괴의 형태는 다르나 썩기 모양으로 무너질 때가 많다. 균열의 경사가 비탈면과 교차할 때도 붕괴한다.  - 화강암은 풍화의 영향을 거의 받지 않는 경질로부터 서서히 풍화하여 나중에는 풍화토라 불리는 토사로까지 변화의 상태가 심하다. 기반암이 화강암인 표층은 풍화도가 덮고 있을 때가 많고, 땅깍기 후, 호우 등에 의하여 표층의 풍화도가 붕괴한다.	- 절리, 층리의 발달정도 및 풍화나 동결융해에 따른 박리성이 문제가 된다. - 화강암은 풍화의 정도나 고결도 및 균열의 빈도가 문제가 된다. 〈공학적 성질〉 1. 탄성파속도 2. 균열계수 3. 균열 간격 4. 토양 경도 5. R.Q.D	- 탄성파 속도가 2.0 km/sec 이하, 균열계수가 0.8 이상 및 연질의 사문암이나 풍화 상태가 심한 화강암에서 비탈 높이가 10 m 이상의 비탈면에서는 경사 결정에서 충분한 검토 필요 〈안정검토자료〉 1. 탄성파속도와 비탈면 경사 2. 균열계수와 비탈면 경사 3. 화강암에서의 안정 검토
단층면에 따라 활동양상 있음	층리나 절리 등이 규칙적으로 발달한 결정편암이나 점판암 등은 그들의 층리나 절리가 바둑판 모양으로 되는 경우 빗물 등에 의하여 비탈면에 따라 큰 붕괴를 일으킬 때가 있다. 	- 층리, 절리의 경사각과 비탈면 경사와의 관계가 문제가 된다. 〈공학적 성질〉 1. 균열의 겹보기 경사각	- 균열과 겹보기 비탈면이 $25^\circ \sim 45^\circ$ 사이이면 가장 붕괴되기 쉽고, 경사각과 같은 비탈면 경사로 하는 것이 바람직하다. 〈안정 검토 자료〉 1. 활동 비탈면에서의 균열 경사각과 한계 비탈면 경사
구조적 약성을 갖는 지질	단층면 및 단층의 영향을 받아서 파쇄되어 있는 지질은 일반적으로 약화되어 있어 단층면이나 파쇄대를 경계로 한 대규모적이고, 급격한 붕괴를 초래할 때가 있다. 	- 단층의 영향으로 강도 저하가 심할수록 붕괴 위험성이 높고 파쇄 정도가 문제가 된다. - 명백한 단층에서는 단층면의 경사각과 비탈면 경사의 관계가 문제가 된다. 〈공학적 성질〉 1. 균열 간격 2. 탄성파속도 3. 단층면의 겹보기 경사각	- 파쇄도가 심한 단층 파쇄대에서는 비탈면 경사가 1 : 1.2 라도 안정을 확보하기가 곤란할 때가 많다. - 단층면의 외관상 경사각이 $20^\circ \sim 60^\circ$ 부근에는 비탈면 경사도 경사각과 같은 정도로 한다. 〈안정 검토 자료〉 1. 단층파쇄대의 안정 검토 2. 단층면의 경사각과의 비탈면 경사

(3) 산사태지, 붕괴지

산사태 대책의 검토에 대해서는 '제10장 산사태 대책'을 참조한다.

(4) 지하수가 있는 경우

지표면이 항상 습윤 상태에 있거나, 용수가 확인되는 지하수가 많은 곳에서는 땅깍기할 경우 불안정하게 되는 경우가 많아서 '7.10 땅깍기 비탈의 표면수 및 용수의 처리'를 참조하여 세밀히 검토할 필요가 있다.

(5) 땅깍기 비탈면의 안정 해석

(가) 각종 제약 조건으로 안정 경사를 확보하기가 곤란해서, 사전에 구조물에 의한 억지공을 고려할 필요가 있는 경우의 안정 해석은 '8.4.4 억지말뚝공'에 준한다. 이 경우는 지질 상황, 활동면 및 토질정수를 정확히 파악하는 것이 중요하다.

(나) 땅깍기 비탈면의 붕괴나 활동에 대해서 안정해석을 하는 경우는 '7.6 땅깍기 비탈면의 안정해석방법'에 준하는 것으로 한다. 이 경우도 지질 상황, 활동면 및 토질정수를 정확히 파악하는 것이 중요하다.

(6) 붕적토(colluvium)는 중력에 의하여 퇴적된 지층으로서, 원암반이 풍화잔류된 풍화토층에 비하여 치밀하지 못한 경향을 보여주며, 이러한 붕적토층의 특성을 감안하여 적정 비탈면 기울기는 다음의 표 7.8과 같이 추천한다.

〈표 7.8〉 붕적토의 적정 비탈면 기울기

지 하 수 조 건	경 사
강우 시에도 지하수위가 깎기 바닥면보다 낮은 경우	1 : 1.2
강우 시만 지하수위가 깎기 바닥면보다 높아질 경우	1 : 1.5
상시 지하수위가 깎기 바닥면보다 높은 경우	1 : 1.8 ~ 1 : 2.0

7.6 땅깍기 비탈면의 안정해석방법

7.6.1 안전율

비탈면의 안정 여부는 허용안전율을 설정하여 판단하며, 허용안전율은 재하 조건 아래서 피해의 정도와 경제성에 따라 설정한다.

- (1) 안전율은 지반이 가지는 전단강도(S)와 현재 지반에 작용하고 있는 전단응력(τ)의 비로 정의되며, 허용안전율은 강도정수 · 하중 · 파괴모델 등에 대한 불확실성에 대한 대비 수단으로 경험적으로 비탈면 변형을 허용치 이내로 제한하는 기능을 지닌다. 비탈면 안정 해석은 지표 지질조사를 통한 취약 구간 조사 및 물성치 입력, 불확실 인자 상세 검토를 해야 하며, 지반 특성, 지형 여건에 따른 위험도 평가, 불안정 구간의 대책을 강구해야 한다.
- (2) 비탈면 허용안전율의 결정에 영향을 미치는 가장 큰 요소는 비탈면의 형상을 포함한 주변 환경과 지반의 강도정수, 그리고 만약의 경우 비탈면이 붕괴할 때 발생하는 피해의 정도 등이 있다.
- (3) 비탈면의 안전율은 피해의 정도와 경제성에 따라 선택되며, 고속국도의 땅깍기 비탈면 붕괴 시 재산의 피해가 크게 예상되므로 영구적인 안전을 도모하기 위하여 아래의 표 7.9와 같이 추천한다.

〈표 7.9〉 땅깍기비탈면의 최소안전율 기준

구분	기준안전율	참 조
건기	$FS > 1.5$	• 지하수가 없는 것으로 해석
우기	$FS > 1.2$ 또는 $FS > 1.3$	• 연암 및 경암 등으로 구성된 암반 비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이 나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행($FS=1.2$ 적용) • 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정 해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 • 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수 조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하 수위를 결정한 근거를 명확히 기술($FS=1.2$ 적용) • 강우의 침투를 고려한 안정 해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형 조건, 배수 조건과 설계계획빈도에 따른 해당 지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정 해석을 실시하며, 해석 시 적용한 설계정수와 해석 방법을 명확히 기술($FS = 1.3$ 적용) • 위험도 평가 후 불안정 1.25(1.35), 매우 불안정 1.3(1.4)
지진 시	$FS > 1.1$	• 지진관성력은 파괴 토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 우기 시 조건과 동일하게 적용
단기	$FS > 1.1$	• 1년 미만의 단기간적인 비탈면의 안정성(시공 중 포함) • 지하수 조건은 장기 안정성 검토의 우기 시 조건과 동일하게 적용
* 비탈면 상부 파괴 범위 내에 1·2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토		
* 위험도 평가 후 '불안정 및 매우 불안정' 비탈면은 안전율 상향		

〈표 7.10〉 암반비탈면 위험도 평가표

항 목		구 분	배 점
계획 비탈면 형상 (50)	비탈면 높이(30)	10 m 이하	5
		20 m 이하	10
		30 m 이하	20
		30 m 초과	30
	비탈면 경사(20)	1 : 1.2 이하	5
		1 : 1.0 이하	10
		1 : 0.7 이하	15
		1 : 0.5 이하	20
지질적 요인 (60)	평사투영 해석 (40)	계획비탈면에 대해 파괴우려 없음	20
		계획비탈면에 대해 전도파괴 우려	30
		계획비탈면에 대해 썰기파괴 우려	35
		계획비탈면에 대해 평면파괴 우려	40
		자료 미확보로 인한 평사투영 해석 불가	40
	암 종 (20)	유문암, 화산암 등	10
		퇴적암, 편암, 편마암, 천매암, 사암, 화강암, 셰일, 응회암, 각섬암, 반암, 안산암, 사암 등	15
		변성퇴적암 및 석회암 등	20
지형적 요인 (30)	상부 기울기 (30)	내리막 또는 평탄(10° 이하)	10
		약간 오르막(10° 초과 ~ 20° 이하)	20
		오르막(20° 초과 ~ 40° 이하)	25
		오르막(40° 초과)	30
이력 (50)	붕괴 이력 (50)	붕괴이력도에 의한 구간 분석 (Low / Lesser Moderate / Moderate / Lesser High / High)	8/11/14/17/20
		풍화등급도에 의한 구간 분석(HW / MW)	20/10
		단층 및 이상 지질구조 (유 / 무) ※ 시추조사, 지표지질조사 등 지반조사 및 문헌 자료 활용	10/5
안전대책 (10)	설치 유무 (10)	낙석방지시설 설치(유 / 무)	5/10
계(200)		200 ~ 181(매우 불안정), 180 ~ 161(불안정), 160 ~ 121(보통), 120 ~ 81(안정), 80 ~ 0(매우 안정)	총 점

- (4) 강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우 지층의 투수계수, 최근 50년 동안 해당지역의 일 최대강우량이 발생한 시점을 기점으로 하여 1개월 동안의 지속시간을 강우조건으로 입력 하도록 한다. 또한, 비탈면 높이에 비해 활동면 깊이가 작은 경우, 토층이 얇은 경우, 느슨한 사질토, 화강풍화토 구간은 비탈면 토사 유실이 발생하지 않도록 강우 침투를 고려한 얇은 파괴 해석을 수행해야 한다(최근의 이상기후 변화에 따라 100년 빈도, 200년 빈도 등의 강우 조건으로 각종 구조물을 설계하는 경향이 있으나 이는 배수구조물에 대한 것이며, 사면 설계 시 입력할 50년 동안의 강우자료는 실무자가 기상청 자료실에서 쉽게 구할 수 있는 자료이며 빈도에 따른 강우조건의 변화가 사면 안정에 미치는 영향은 크지 않은 편이다).
- (5) 지하수위 고려 시 앞에서 언급한 방법 이외에 비탈면 안정에 대하여 지하수의 영향을 보다 합리적으로 고려할 수 있는 방법을 적용하여 최소 안전율 기준을 적용할 수 있다.
- (6) 비탈면 안정 해석 보강 범위 및 보강 공법은 아래의 표 7.11에 따라 검토하여 반영한다.

〈표 7.11〉 비탈면 안정 해석의 보강 범위 및 보강 공법

구분	내용
보강 범위	• 무보강으로 자립할 수 있는 한계자립높이 검토 (보강 범위 제외) • 한계자립높이 이상 구간 중 가장 불리한 단면을 대표 단면으로 적용 ※ 토층 변화 및 지형 여건 등을 고려하여 추가 단면 적용 • 전도파괴 범위 : 30° 적용
보강 공법	• 중력식 네일링 : 토사 및 풍화암층 • 가압식 네일링 : 그라우팅 효과가 양호한 사질토 및 붕적토층, 절리 면 간격이 좁은 풍화대 및 파쇄대 등에 적용하되, 현장 여건 및 경제 성 등을 고려하여 적용

- (7) 깎기·쌓기 비탈면 내 구조물 위치 할 경우 구조물의 실제 영향을(하중, 지하수위 변화 등) 고려하여 비탈면 안정성 해석을 수행해야 한다. 안정성 해석 시 구조물 설계 시의 조사시추 공 활용을 원칙으로 하며, 시추 심도 및 시험은 깎기 비탈면 조사 기준, 기초부 조사기준을 고려하여 실시하고, 기준 안전율을 만족해야 한다.

7.6.2 토층 및 풍화암 비탈면 안정 검토

토층 및 풍화암 지반의 안정 검토는 한계평형해석에 근거한 안전율에 의하여 판단하는 것을 기본으로 하며, 중요도가 큰 비탈면에 대해서는 유한요소법 및 유한차분법 등의 다양한 해석 기법을 적용하여 안정성을 판단한다.

(1) 한계평형해석법

한계 평형 이론에 근거한 비탈면 안정 해석 방법은 여러 가지가 있으나 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석 방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 그러므로 표 7.12의 각각의 해석 방법의 가정 조건과 각 해석 프로그램의 특징(보강재 고려 가능 여부, 외부 하중 고려 가능 여부, 비원호 형태의 파괴 고려 가능 여부 등)을 합리적으로 고려하여 일반적인 범용의 비탈면 해석 프로그램으로 허용안전율을 계산하여 안정성을 판단하도록 한다.

〈표 7.12〉 비탈면 안정 해석방법의 특징

방 법	가정조건	한계평형조건		
		모멘트	수직력	수평력
Fellenius	절편력의 합력은 각 절편의 바닥에 평행	○	×	×
Bishop 간편법	절편력의 합력은 수평방향	○	×	×
Janbu	절편촉력은 수평방향	○	○	○
Morgenstern-Price	$X/E = \lambda f(x)$	○	○	○
Spencer 간편법	X/E 는 모든 비탈면에 대하여 일정	○	○	○
GLE	$X/E = \lambda f(x)$	○	○	○
Corps of Engineers	절편촉력은 비탈면 기울기와 평행	×	○	×
Lowe-Karafiath	절편촉력은 활동면과 비탈면 기울기의 평균	×	○	○

주) X와 E는 각각 절편에 가해지는 힘들의 수직과 수평성분이다.

단, 각각의 해석 프로그램 사용 시에는 다음과 같은 사항에 유의하도록 한다.

- (가) 현장 조건에 적합한 간극수압, 단위중량, 강도정수 등 입력 변수의 합리적 적용 및 적합한 해석방법의 선정(전 응력 해석, 유효응력 해석)
- (나) 사용자의 컴퓨터 프로그램에 대한 이해도 여부
- (다) 사용자와 검토자의 결과에 대한 분석 검토 능력 여부
- (라) 평형조건을 모두 만족시키는 비탈면 안정 해석방법은 사실상 정해에 가까운 안전율을 산정하므로 여러 프로그램을 피상적으로 이해하기 보다는 하나의 프로그램에 대한 장·단점과 기능을 숙지해야 한다.

(2) 비탈면 안정 해석방법의 선택 시 유의사항

- (가) 활동면이 지표면과 평행한 평면인 균일 대규모 땅깍기 비탈면에 대해서는 무한 비탈면 해석 방법이 상당히 정확하다.
- (나) 활동면이 깊이가 얇은 긴 평면이며, 지표면과 평행하지 않는 경우에 대해서는 Fellenius 방법이 간편하고 정확도도 좋다.
- (다) 활동면이 2개 또는 3개의 평면으로 이루어진 경우, Janbu의 간편법을 사용하면 정확도를 향상시킬 수 있다. 임계 활동면과 안전율을 보다 정확히 결정하기 위해서는 Wedge 혹은 Sliding Block 방법을 사용해야 한다.
- (라) 원호활동면인 경우 예비 해석단계에서는 안정도표(stability chart)를 이용할 수 있다. 예비 해석단계에서 Fellenius 방법을 사용할 수도 있으나 활동면의 깊이가 깊거나 간극 수압이 큰 경우 부정확한 결과가 얻어진다. 보다 정확한 해석을 위해서는 Bishop의 간편법을 사용한다.
- (마) 활동면이 임의의 형상인 경우 예비 해석단계에서는 Janbu의 간편법을 사용한다. 보다 정확한 해를 얻기 위해서는 보다 이론적인 방법(예, Janbu의 보편법, Spencer의 방법, Morgenstern and Price 방법, Fredlund and Krahn의 GLE 방법 등)을 이용한 컴퓨터 프로그램을 사용하며, 결과에 대한 신뢰성은 사용자가 확인해야 한다.
- (바) 비탈면 선단부에서 활동면의 경사가 급한 경우에는 측면력의 분포를 예민하게 고려할 수 있는 방법을 선택해야 한다.

(3) 유한요소 및 유한차분해석

비탈면 안정 해석에 있어서 변형에 대한 검토와 예측은 대단히 중요하며, 특히 지진이나 차량하중과 같은 다양한 형태의 하중을 고려한 비탈면 안정 해석의 경우는 전단파괴에 대한 안전율보다는 비탈면에 발생하는 변형이 안정성을 판단하는데 중요한 요소가 된다. 유한요소 및 유한차분 해석방법의 특징으로는 굴착 및 강우에 따른 지하수의 거동 특성(침투 및 과잉 간극수압)을 합리적으로 고려할 수 있다는 점과 시공단계별 안정 검토가 수행 가능하고, 장기 간의 안정에 대한 검토와 다양한 형태의 하중(동하중 등)을 고려할 수 있으며, 국부적인 파괴를 일으키는 지역을 예측할 수 있고 변형벡터를 통하여 파괴 형태를 합리적으로 유추할 수 있다는 등의 장점을 지니고 있다. 그러므로 중요도가 높은 비탈면에 대해서는 이와 같은 해석 기법을 적용하여 안정성을 파악해야 한다.

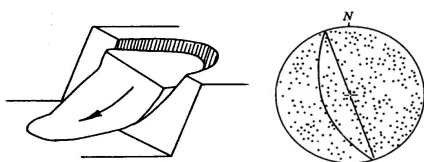
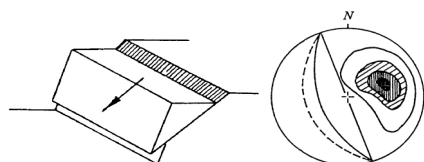
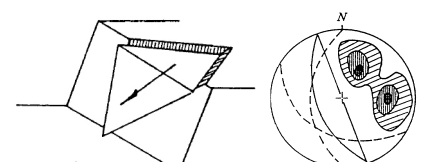
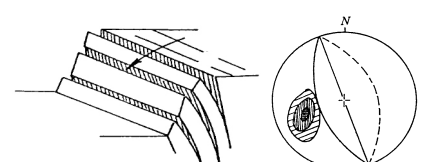
7.6.3 암반 비탈면 안정 검토

리핑암 및 발파암 지반의 안정 검토는 현장의 노출암에 대한 지표지질조사, 시추조사 등에서 얻어지는 암반 불연속면을 고려하여 평사투영법에 의한 개략적인 안정성 평가를 바탕으로 파괴가능성을 가진 비탈면에 대하여 한계평형식에 의한 안정 해석을 실시한다. 중요도가 큰 비탈면에 대해서는 현지 암반의 절리강도 특성을 적절히 반영할 수 있는 개별요소법등에 근거한 불연속체 해석을 추가적으로 실시하여 안정성을 평가하는 것으로 한다.

(1) 평사투영법

깎기 비탈면의 불연속면에 의해 발생하는 파괴형태는 비탈면내에 발달한 불연속면에 대한 조사결과를 평사투영해석(Stereonet project method)을 통하여 결정할 수 있다. 또한, 평사투영해석법은 비탈면의 방향과 경사, 절리면의 방향과 경사 및 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 검토하는 방법으로서, 암반 비탈면의 4가지 일반적인 파괴형태에 대한 평사투영법의 도해는 다음의 표 7.13과 같다.

〈표 7.13〉 암반비탈면의 일반적인 파괴형태

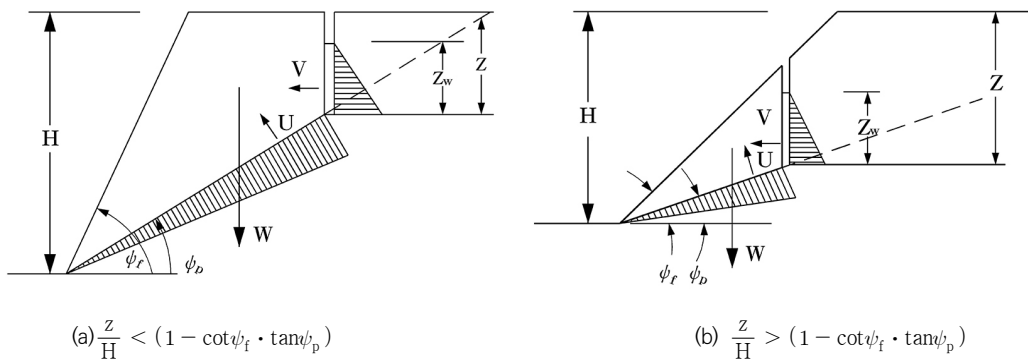
구분 \ 종류	원 호 파 괴	평 면 파 괴
파괴 및 평사투영 형태		
특 징	• 절리의 극점 분포가 매우 분산되어 나타남 • 불연속면의 향성이 없이 매우 불규칙하게 발달된 경우(폐석, 심한 파쇄암반)	• 극밀도가 Daylight Envelope의 중앙에 존재 • 절개면과 비탈면의 경사 방향이 같고 그 주향은 비슷해야 함(층리가 발달된 암반)
구분 \ 종류	쇄 기 파 괴	전 도 파 괴
파괴 및 평사투영 형태		
특 징	• 두 절리의 교선과 비탈면의 경사 방향이 같고, 각 절리면 주향이 비탈면의 주향과 비슷 • 극밀도가 Daylight Envelope의 양 측면에 각각 존재	• 절개면과 절리면의 경사 방향이 반대이고, 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷 • 극밀도가 Toppling Zone에 존재

(2) 한계평형해석법에 의한 암반 비탈면 안정 해석

한계평형식은 강체로서 힘의 균형만으로 안정성을 검토하는 방법이며, 간편한 계산방법으로서, 계산에 필요한 입력치도 수치해석법에 비하여 적고, 지진 및 지하수의 영향도 검토되어 빈번하게 이용되는 방법이다. 해석을 위한 가정사항으로는 ① 활동면과 인장균열의 주향(strike)은 비탈면 방향에 평행하다. ② 인장균열은 수직이고 인장균열 깊이(Z_w)까지 물이 차 있다. ③ 물은 인장균열면의 저부를 따라 활동면으로 들어가고 활동면을 따라 침윤한다. ④ 각각의 힘 W (미끄러지는 블록의 무게), U (활동면에서 수압에 의하여 위로 작용하는 힘), V (인장균열에서의 수압)들은 활동체의 중심을 향하여 작용한다. ⑤ 활동면에서의 전단강도는 식 $\tau = C + \sigma \tan \phi$ 에 관계된 점착력과 내부마찰각에 의해서 정의된다.

(가) 평면파괴의 해석

평면파괴에 대한 기하학적 해석에는 비탈면 위에 인장균열이 있는 비탈면과 비탈면 내에 인장균열이 있는 비탈면으로 구분하여 해석된다.



〈그림 7.9〉 인장균열의 위치에 따른 평면파괴 해석 방법의 차이

평면활동에 대한 안전율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \frac{CA + (W \cdot \cos \psi_p - U - V \cdot \sin \psi_p) \tan \psi}{W \cdot \sin \psi_p + V \cdot \cos \psi_p}$$

여기서, $A = (H - Z) \cdot \operatorname{cosec} \psi_p$,

$$U = [\gamma_w Z_w (H - Z) \cdot \operatorname{cosec} \psi_p] / 2,$$

$$V = (\gamma_w Z_w^2) / 2$$

비탈면 상부에 인장균열 존재 시 $W = [\gamma H^2 (1 - (Z/H)^2) \cot\psi_p - \cot\psi_f] / 2$

비탈면 내부에 인장균열 존재 시

$$W = [\gamma H^2 (1 - (Z/H)^2) (\cot\psi_p \cdot \tan\psi_f - 1)] / 2$$

또한, 지하수위 조건에 따라 다음과 같이 안정율을 산정한다.

- 건기 시 : 인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 없음($V, U=0$)

$$F_S = \frac{CA}{W \cdot \sin\psi_p} + \cot\psi_p \cdot \tan\psi$$

- 우기 시 : 건조상태 후에 갑작스런 폭우가 내렸을 경우에는 인장균열면에서 수압증가($U=0$)

$$F_S = \frac{CA + (W \cdot \cos\psi_p - V \cdot \sin\psi_p) \tan\psi}{W \cdot \sin\psi_p + V \cdot \cos\psi_p}$$

- 인장균열이 없고 비탈면 내에 활동면 만이 존재하는 경우 ($V=0$)

$$F_S = \frac{CA + (W \cdot \cos\psi_p - U) \tan\psi}{W \cdot \sin\psi_p} \quad \text{여기서, } U = \frac{\gamma_w H_w^2 \operatorname{cosec}\psi_p}{4}$$

(나) 썩기파괴의 해석

썩기파괴는 암반의 비탈면 안정해석에서 가장 기본적인 형태로서 썩기를 형성하는 두 불연속면이 마찰력 및 점착력으로 지지되고, 침투수압의 영향을 받을 때 썩기 형상에서 비탈면의 윗쪽 면이 비탈면에 대하여 비스듬하게 기울어져 있는 경우 썩기파괴에 대한 안정율은 다음과 같다.

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

$$\text{여기서, } X = \frac{\sin\theta_{2,4}}{\sin\theta_{4,5} \cdot \cos\theta_{2,na}}, \quad Y = \frac{\sin\theta_{1,3}}{\sin\theta_{3,5} \cdot \cos\theta_{1,nb}}$$

$$A = \frac{\cos\psi_a - \cos\psi_b \cdot \cos\theta_{na \cdot nb}}{\sin\psi_5 \cdot \sin^2\theta_{na \cdot nb}}, \quad B = \frac{\cos\psi_b - \cos\psi_a \cdot \cos\theta_{na \cdot nb}}{\sin\psi_5 \cdot \sin^2\theta_{na \cdot nb}}$$

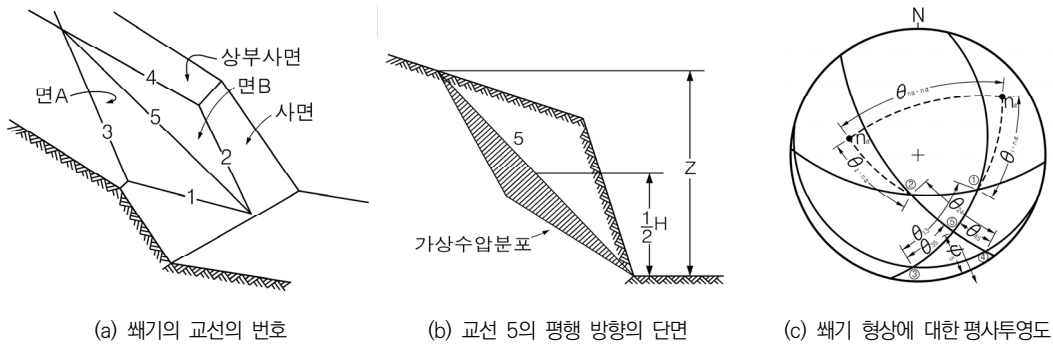
여기서, C_A, C_B : A 및 B면의 점착력

ϕ_A, ϕ_B : A 및 B면의 마찰각

γ, γ_w : 암체 및 물의 단위중량

H : 썩기의 높이

- φ_a, φ_b : A 및 B면의 경사각
 φ_5 : 교선 5의 경사각
 θ : 두 첨자로 표시되는 교선 사이의 각도
 n_a, n_b : A 및 B면의 극점

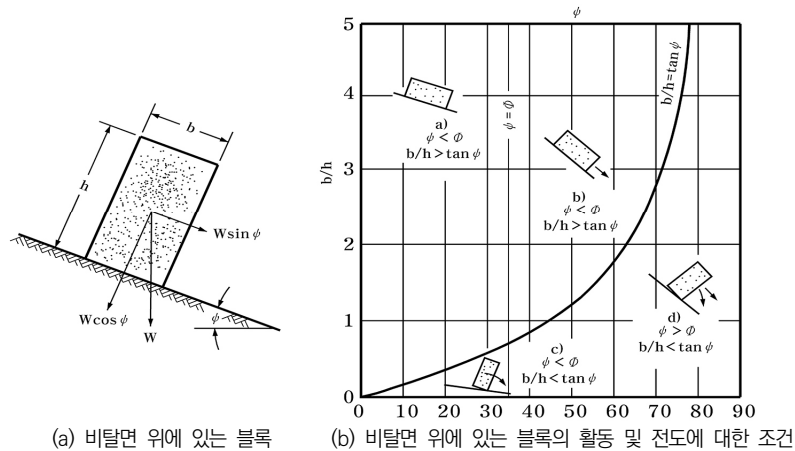


〈그림 7.10〉 뺨기의 일반 해석을 위한 모델

(다) 전도파괴의 해석

전도파괴는 비탈면 경사각 ψ , 블록 저면과 비탈면과의 마찰각 ϕ , 블록의 폭 b 및 높이 h 등의 상호 관계로 결정되며, 다음 조건에 따라 결정된다.

- (a) 안정 영역 φ_a, φ_b : A 및 B면의 경사각역 : $\psi < \phi, b/h > \tan \psi$
 (b) 활동 영역 φ_5 : 교선 5의 경사각역 : $\psi > \phi, b/h > \tan \psi$
 (c) 전도 영역 θ : 두 첨자로 표시되는 교선 사이의 각도역 : $\psi < \phi, b/h < \tan \psi$
 (d) 활동-전도 영역 : $\psi > \phi, b/h < \tan \psi$



〈그림 7.11〉 전도파괴의 조건

(3) 개별요소법에 의한 안정해석

앞에서 언급한 평사투영법 및 한계평형식에 의한 안정성 분석방법은 불연속면의 분포에 따른 기하학적 및 경험적 접근방법으로서, 현지 암반의 특성을 충분히 반영할 수 없다는 단점을 지니고 있다. 그러므로 중요도가 높은 비탈면에 대해서는 절리의 기하학적 분포현황 및 역학적 특성과 응력 및 변위 등 외부적인 조건에 따른 불연속면의 거동을 예측할 수 있는 수치해석기법을 적용하여 안정성을 검토해야 한다.

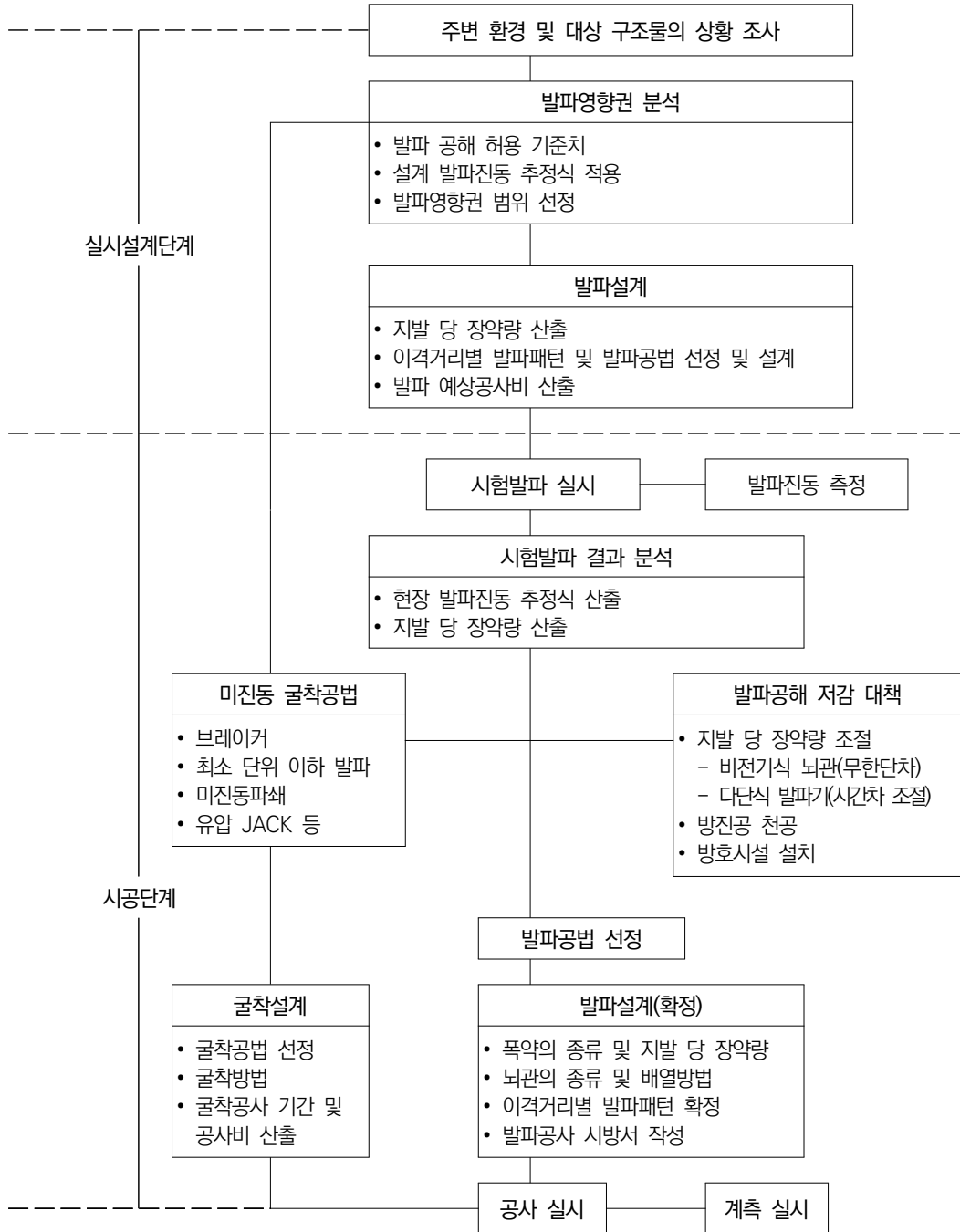
7.7 땅깍기부 암발파공법 및 적용 기준

7.7.1 설계 기본사항

지상에서 작업하는 노천발파는 지하터널과는 달리 용이하게 자유면을 형성할 수 있으므로 다양한 발파설계가 가능하다. 자유면을 형성하여 발파효율을 높이기가 용이한 반면, 발파에 의한 풍압이 대기중으로 직접 전달되어 소음공해가 발생할 수 있고, 파쇄물의 비산으로 인한 피해가 발생할 수 있으므로 이에 대한 사전검토가 충분히 이루어져야 한다.

건설공사에 있어 불가피하게 수행되어지는 발파의 영향으로 소음·진동·비석 등의 환경공해가 발생함에 따라 각종 민원이 빈발하고 있는 점을 감안, 환경공해를 저감시킬 수 있는 적정 발파공법의 적용 기준을 설정하여 효율적인 설계 및 공사 추진을 도모하고 민원 발생을 사전에 예방해야 한다. 또한 발파는 기존 구조물에 손상을 입히지 않고, 진동속도가 허용 기준값을 초과하지 않도록 한다. 발파 작업 전 시험발파를 실시하여 발파진동 수준을 측정하여 허용 진동수준을 초과할 경우에는 발파 패턴 및 발파 방법을 조절하여 허용 기준값을 준수하도록 한다.

7.7.2 땅깍기부 암발파 설계 흐름도



7.7.3 발파 소음 · 진동 규제기준

우리나라 소음 · 진동 규제법은 발파진동과 관련된 독립된 규정은 없고, 발파진동은 광범위하게 소음 · 진동관리법 시행규칙 제20조(생활소음 · 진동의 규제)의 공사장 진동 규제치를 적용한다. 발파진동은 일반 공사장 진동기준으로 충격성 여부에 관계없이 생활소음 · 진동의 연장선에서 규제하고 있다. 외국의 경우는 충격성 진동의 규제기준이 연속성 진동보다 상당히 높기 때문에 발파와 같은 일시적인 진동은 설계를 기준으로 하는 진동속도를 주로 측정하고 있다. 국제규정인 ISO 2631은 연속진동과 충격진동으로 구분하여 진동속도와 진동레벨을 평가항목으로 하여 주간의 경우 충격성 진동에 대해서는 20 ~ 30배 정도로 허용기준을 높게 인정하고 있다. 국내에서는 발파진동에 대한 규제기준이 시공적인 측면보다 환경적인 면을 부각하여 진동레벨로 되어 있다.

〈표 7.14〉 생활소음 · 진동의 규제기준(제20조의 제3항관련, 2010.6.30. 개정)

－ 생활소음 규제기준

[단위 : dB(A)]

대상지역	시간별		아침, 저녁 (05:00 ~ 07:00, 18:00 ~ 22:00)	낮 (07:00 ~ 18:00)	밤 (22:00 ~ 05:00)
	소음원				
가. 주거지역, 녹지지역, 관리 지역 중 취락지구 · 주거 개발진흥지구 및 관광 · 휴양개발진흥지구, 자연 환경보전지역, 그 밖의 지역에 있는 학교 · 종합 병원 · 공공도서관	확 성 기	옥외설치	60 이하	65 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장		50 이하	55 이하	45 이하
	사 업 장	동일 건물	45 이하	50 이하	40 이하
		기 타	50 이하	55 이하	45 이하
	공사장		60 이하	65 이하	50 이하
나. 그 밖의 지역	확 성 기	옥외설치	65 이하	70 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	사 업 장	동일 건물	50 이하	55 이하	45 이하
		기 타	60 이하	65 이하	55 이하
	공사장		65 이하	70 이하	50 이하

- 비고 1. 소음의 측정 및 평가기준은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제2호에 해당하는 분야에 따른 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상 지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사 사전신고 대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 3시간 이하일 때는 +10 dB을, 3시간 초과 6시간 이하일 때는 +5 dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파소음의 경우 주간에만 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10 dB을 보정한다.
6. 2010년 12월 31일까지는 발파작업 및 브레이커·항타기·항발기·천공기·굴삭기(브레이커 작업에 한한다)를 사용하는 공사작업이 있는 공사장에 대하여는 주간에만 규제기준치(발파소음의 경우 비고 제6호에 따라 보정된 규제기준치)에 +3dB을 보정한다.

7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에만 -5dB을 규제기준치에 보정한다.
 - 가. 주거지역
 - 나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교, 「도서관법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역
8. “동일 건물”이란 「건축법」 제2조에 따른 건축물로서 지붕과 기둥 또는 벽이 일체로 되어 있는 건물을 말하며, 동일 건물에 대한 생활소음 규제기준은 다음 각 목에 해당하는 영업을 행하는 사업장에만 적용한다.
 - 가. 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률」 제10조제1항제2호에 따른 체력단련장업, 체육도장업, 무도학원업 및 무도장업
 - 나. 「학원의 설립·운영 및 과외교습에 관한 법률」 제2조에 따른 학원 및 교습소 중 음악교습을 위한 학원 및 교습소
 - 다. 「식품위생법 시행령」 제21조제8호다목 및 라목에 따른 단란주점영업 및 유흥주점영업
 - 라. 「음악산업진흥에 관한 법률」 제2조제13호에 따른 노래연습장업
 - 마. 「다중이용업소 안전관리에 관한 특별법 시행규칙」 제2조제4호에 따른 콜라텍업

－ 생활진동 규제기준

[단위 : dB(V)]

대 상 지 역	주간 (06:00 ~ 22:00)	심야 (22:00 ~ 06:00)
가. 주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역에 소재한 학교·종합병원·공공도서관	65 이하	60 이하
나. 그 밖의 지역	70 이하	65 이하

- 비고 : 1. 진동의 측정 및 평가기준은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제2호에 해당하는 분야에 대한 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상 지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른다.
3. 규제기준치는 생활진동의 영향이 미치는 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장의 진동 규제기준은 주간의 경우 특정공사 사전신고 대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10 dB을, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5 dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파진동의 경우 주간에만 규제기준치에 +10 dB을 보정한다.

〈표 7.15〉 국내 각 기관별 발파진동 규제기준치

(기준 : $kine = cm/sec$)

구분	터널 표준시방서 (1999년 건설교통부 제정)		서울지하철공사		토지개발공사 (암발파 기법에 관한 연구)	
	건 물 종 류	허 용 진동치	건 물 종 류	허 용 진동치	건 물 종 류	허 용 진동치
진동속도에 따른 규제 기준	• 진동 예민 구조물 (문화재 등)	0.3	• 문화재	0.2	• 문화재	0.2
	• 조적식 벽체와 목재로 된 천장을 갖는 조적식 건물 (재래가옥, 저층 일반가옥)	1.0				
	• 지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물 (저층 양옥, 연립주택 등)	2.0	• 결함 또는 균열 있는 건물	0.5	• 결함 또는 균열 있는 건물	0.5
	• 철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물 (중·저층 아파트, 중소상가 및 공장)	3.0	• 균열이 있으나 결함 없는 빌딩	1.0	• 균열이 있으나 결함 없는 빌딩	1.0
	• 철근콘크리트 또는 철골골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물 (내진구조물 즉, 고층 아파트·대형 건물 등)	5.0	• 회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0~4.0	• 회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0~4.0

가축은 그 종류와 품종에 따라서 진동이나 소음에 대한 반응 정도가 현저히 다르므로 일괄적인 기준을 적용할 수 없다는 것이 정설이다. 세계적으로도 허용진동소음기준이 제정되어 있지 않고 일부 국가에서 권고 규정을 두고 있는 정도이며, 미국에서도 권고 규정으로서 진동은 70 dB(V)와 소음은 70 dB(A)를 적용하고 있다.

도로공사 노천발파지침에서는 허용진동수준을 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 5.0 cm/sec로 제시하고 있지만 구체적으로 어떤 수준을 택할 것인지는 설계자의 판단에 맡기고 있다.

대체적으로는 법원의 판례 등을 감안하여 가축의 경우는 57dB(V)를 적용한다. 내진설계가 된 구조물의 경우에는 통상의 허용 진동기준보다 높은 진동기준을 택할 수 있다.

7.7.4 규제법의 기준을 고려한 발파설계

건설 진동이나 소음, 특히 발파진동이나 소음은 결코 상시적인 일반 진동·소음과 동일시 될 수 없는 충격성 진동임에도 불구하고 현행 환경부에서 규제하고 있는 기준에서는 별도로 정해져 있는 발파진동·소음의 계측방법을 반영하지 않은 채 일반적인 진동·소음과 마찬가지로 Equivalent 값에 기초한 진동레벨 또는 소음레벨로 규제하고 있다. 현재 이 분야 전문가들이 충격성 진동에 대한 규제기준을 제안하여 법제화하려 하고 있는 중이므로 현재로서는 진동레벨기로 계측한 자료를 이용하여 시험 발파하고 환산거리식을 적용하거나 적절한 변화식을 이용하여 환산한 진동수준에 대하여 종래의 방식으로 발파설계하는 방법이 바람직할 것이다.

(1) 발파소음의 측정 변수

발파소음은 암반이나 구조물의 파괴를 수반하는 자체 변형으로 인하여 발생하는 공기압력파와 지반진동으로 인한 압력파를 들 수 있으나 주로 공기압력파에 기인하여 발생한다. 발파소음을 표현하는 방법에는 음압(Pa)과 음압레벨(dB)이 있다. 음압은 그 크기가 너무 광범위하고 인체의 감응에 비례하지 않기 때문에 이를 지수척도로 표현한 SPL(sound pressure level)이 많이 사용되고 있다.

$$SPL = 20 \cdot \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

여기서, SPL은 음압레벨[dB(A)], P는 폭풍압(P_a), P_0 는 기준압으로 $2 \times 10^{-5} P_a$

압력이 주파수에 관계없이 일정하더라도 귀는 저주파일수록 둔하게 감각하기 때문에 소음의 dB 단위는 주파수에 따른 사람의 청감에 따라 적절한 보정회로를 사용해야 한다. 건강한 사람이 가청할 수 있는 1,000 Hz 음을 기준으로 주파수에 따른 보정을 하는데, A와 C 보정회

로는 가청응답을 연구하는데 적합하고, 구조물 응답에 관련한 필요정보는 L회로를 사용한다. 이와 같은 청감보정회로를 통하여 측정한 소음을 소음도 또는 소음레벨이라 하며, 일반적인 환경소음에서는 A특성을 사용하고 dB(A)라 표기한다. 발파소음에 의한 인체반응은 Weber · Fechner의 법칙에 따라 대수척도에 비례하므로 청감 보정한 소음레벨 dB(A)가 타당한 규제기준이 된다. 반면 구조물의 피해는 폭풍압에 부가적으로 수반되는 저주파의 진동에 의해서 구조물에 피해를 입히는 것으로 알려져 있으므로 음압레벨 dB(L)이 타당한 규제기준이 된다.

〈표 7.16〉 발파 폭음 크기에 따른 구조물과 인체의 반응(음압 Level)

dB	psi	구조물 및 인체반응
180	3	구조물 손상
170	0.95	대부분의 유리창 깨짐
150	0.095	일부유리창 깨짐
140	0.030	피해 한계, 미광무국 허용 한계치
130	9.5×10^{-3}	미광무국 안전수준
120	3×10^{-3}	고통 한계, 불평한계(접시나 창문이 흔들림)
70	9.5×10^{-6}	일상적인 대화
40	3×10^{-7}	병실
20	3×10^{-8}	속삭임
0	3×10^{-9}	가청 한계

(2) 발파소음을 고려한 설계

발파소음은 불연속면의 틈새나 전색의 불량, 뇌관의 배열 미숙 등 여러 요인에 따라 예기치 않는 큰 폭발음이 발생할 수 있다. 또 온도나 대기의 분포상태 등에 따라서도 변하므로 발파 소음을 예측하는 일은 대단히 어려운 일이다. 실제 발파소음 계측결과 법규상 규제항목인 소음레벨로 예측하는 방법은 음압레벨로 예측하는 방법에 비하여 상관관계가 너무 낮아서 설계에는 부적합하다. Sen, Olofsson 등 외국의 저명한 학자들은 모두 음압레벨을 측정하여 소음을 예측하는 방법을 사용하였다. 발파소음을 고려한 설계의 주안점은 비록 상관관계가 떨어지지만 그나마 가장 비례관계를 보이고 있는 삼승근 환산거리를 이용하여 허용 장약량을

산정하고, 약장약 또는 연약선을 따라서 철포현상이나 비산이 일어나지 않도록 하는 것이다. 많은 현장에서 양형식 교수 외 등이 동시 계측한 발파음압레벨과 소음레벨의 관계는 다음과 같다.

$$dB(L) = dB(A) + 32 \quad (95\% \text{ 신뢰수준})$$

$$dB(L) = dB(A) + 45 \quad (\text{평균예측식})$$

따라서, 주간에 주거지 발파에서 80 dB(A)를 초과하지 않기 위해서는 112 dB(L)을 초과하지 않도록 해야 한다.[Dupont社は 115 dB(L)로 제안]

(3) 발파소음 추정식

국내에서 널리 사용되고 있는 발파소음에 대한 추정식은 표 7.17과 같다.

〈표 7.17〉 국내에서 보편적으로 적용되는 발파소음 추정식의 예

일반적인 경우	$dB(A) = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}$	$P = \text{음압실효치} \left[= 82 \times \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.2} \right]$ $P_0 = \text{기준 음압실효치} (= 2 \times 10^{-5} \text{Pa})$
방폭 매트 설치 시	$dB(A) = -16.02 \log \left(D/W^{1/3} \right) + 95.195$	“소음으로 인한 피해의 인과관계 검토기준 및 산정방법에 관한 연구, 1997, 중앙환경분쟁 조정위원회”

(4) 발파에 의한 지반진동

설계단계에서 예비 검토를 위한 설계 발파진동 추정식은 아래와 같다.

$$v = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.60}$$

여기서, v : 진동속도(cm/sec)

D : 폭원으로부터 이격거리(m)

W : 지발 당 최대장약량(kg)

상수는 국내 도로공사 현장의 실 계측자료로부터 구한 $K = 200$, $n = -1.60$ 이다. 이 추정식은 일반적인 환경에서 예비검토를 위한 추정식으로 사용하며, 발파규모는 ‘발파소음 · 진동 · 비석 영향권’ 분석에 의하여 설정한다.

〈표 7.18〉 거리 ~ 지발 당 장약량 조건표

(단위 : kg)

적용공법	진동속도 이격거리(m)	0.1 cm/s	0.2 cm/s	0.3 cm/s	0.5 cm/s	1.0 cm/s	5.0 cm/s	적용공법
TYPE I 미진동 굴착공법	5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.25	TYPE II
	10	0.01	0.02	0.03	0.06	0.13	0.99	TYPE III
	15	0.02	0.04	0.07	0.13	0.30	2.24	TYPE IV
	20	0.03	0.07	0.12	0.22	0.53	3.98	
	25	0.05	0.11	0.18	0.35	0.83	6.21	TYPE V 일반발파
	30	0.07	0.16	0.27	0.50	1.20	8.95	
	40	0.12	0.28	0.47	0.89	2.13	15.9	TYPE VI 대규모발파
TYPE II 정밀진동 제어발파	50	0.19	0.44	0.74	1.40	3.32	24.9	
	60	0.27	0.64	1.06	2.01	4.79	35.8	
	70	0.37	0.87	1.45	2.74	6.51	48.7	
	80	0.48	1.14	1.89	3.58	8.51	63.6	
TYPE III 소규모 진동제어	90	0.61	1.44	2.39	4.53	10.8	80.5	
	100	0.75	1.78	2.95	5.59	13.3	99.4	
	110	0.90	2.15	3.57	6.76	16.1	120	
	120	1.08	2.56	4.25	8.05	19.1	143	
	130	1.26	3.01	4.99	9.45	22.5	168	
	140	1.47	3.49	5.79	11.0	26.1	195	
TYPE IV 중규모 진동제어	150	1.68	4.00	6.64	12.6	29.9	224	
	160	1.91	4.55	7.56	14.3	34.0	254	
	170	2.16	5.14	8.53	16.2	38.4	287	
	180	2.42	5.76	9.56	18.1	43.1	322	
	190	2.70	6.42	10.7	20.2	48.0	359	
	200	2.99	7.11	11.8	22.4	53.2	398	
	210	3.30	7.84	13.0	24.7	58.6	438	
	220	3.62	8.61	14.3	27.1	64.4	481	
	230	3.96	9.41	15.6	29.6	70.3	526	
	240	4.31	10.2	17.0	32.2	76.6	573	
	250	4.67	11.1	18.4	34.9	83.1	621	
TYPE V 일반발파	260	5.05	12.0	20.0	37.8	89.9	672	
	270	5.45	13.0	21.5	40.8	96.9	725	
	280	5.86	13.9	23.1	43.8	104	779	
	290	6.29	15.0	24.8	47.0	112	836	
	300	6.73	16.0	26.6	50.3	120	895	
TYPE VI	450	15.1	36.0	59.8	113	269	2013	

0.06	미진동 굴착공법	0.25	정밀진동제어발파	1.00	소규모 진동제어발파
3.00	중규모진동제어발파	7.50	일반발파	20.0	대규모발파

- 【주】 1. 위 발파공법별 적용거리 기준 및 지발 당 장약량은 설계 발파진동 추정식 $v = 200(D/\sqrt{W})^{-1.6}$ 에 의하여 설정한 것으로, 발파 대상 현장의 암반특성 및 관리 대상 보안물건의 특성에 따라 증감될 수 있다.
 2. 발파소음의 제어는 지반진동보다 훨씬 어려우므로 만약, 발파소음에 민감한 가축 사육시설 또는 요양원, 종교시설 등이 근접한 경우에는 별도 공법을 적용할 수 있다.
 3. TYPE별 공법 설계는 상기기준에 맞게 하되 현장여건에 따라 조정할 수 있다.
 4. 발파진동은 보안물건의 노후도나 상태, 암반상태, 진동주파수 등에 따라 달라지므로, 설계자 및 발파자는 보안물건상태, 현장조건과 관련법규 등을 검토하여 발파진동 허용기준치를 설정하고 이에 대한 이격거리별 지발당장약량을 산정해야 한다.

거리 ~ 지발 당 장약량 조건표는 설계 발파진동 추정식으로 부터 허용진동수준별, 거리별로 지발 당 장약량을 역산하여 나열한 표이다. 진동속도는 허용진동속도를 의미하며, 보안물건의 종류에 따라 채택한다. 이 표를 활용하는 방법은 다음과 같다.

- 1) 먼저 허용진동수준을 결정한다.
- 2) 거리별로 지발 당 장약량을 확인한다.
- 3) 영역별로 적용 공법을 확인한다. 이 때 영역의 경계는 적절히 조정한다.

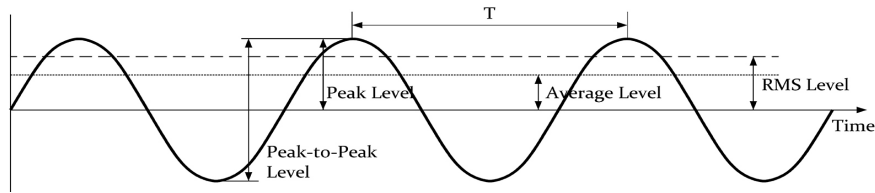
예로서, 진동허용수준을 0.3 cm/sec로 결정하였다면 50 m 지점에서 사용할 수 있는 지발당 장약량은 0.74 kg이다. 이 약량은 0.5 kg 이상, 1.6 kg 미만이므로 TYPE III 소규모 진동제어발파에 해당되며, 이 공법을 적용하는 범위는 보안물건으로부터 40 ~ 70 m 영역이다.

TYPE III의 표준발파패턴에서는 1.0 kg의 장약량을 사용하고 있다. 이 표준패턴은 수량 계산을 위한 것이므로 영역 전체에서 일괄 적용해서는 안 된다. 예컨대 표에서 40 m 지점에서는 0.47 kg을 쓸 수 있도록 되어 있는데 40 m 부근에서 1 kg을 적용하면 목표 진동을 크게 초과할 수 있다. 따라서 40 ~ 70 m 영역에서는 TYPE III 소규모 진동제어발파를 적용하되 40 ~ 50 m 영역에서는 0.5 kg을, 50 ~ 60 m 영역에서는 0.75 kg, 60 ~ 70 m 영역에서는 1 kg의 지발당 장약량을 갖도록 발파패턴을 차등 적용해야 한다.

(5) 영향평가를 위한 척도

(가) 발파진동의 표시

발파진동의 세기는 에너지원이 되는 화약의 종류, 화약이 폭발하는 반응조건, 화약량의 크기에 따라 방출되는 에너지 양에 좌우된다. 화약을 구성하는 화학적 성분과 성분비, 비중 등에 따라 반응열의 생성, 발생가스의 양, 충격력의 강도가 다르게 된다. 진동의 세기는 일반적으로 실효치(RMS level), P-P치(peak-to-peak value), 최대치(peak value) 등으로 정량적인 표현을 할 수 있다. 최대치는 진동이 최대가 되는 순간에서의 수치로 표시하며, P-P치는 어느 순간 한 주기 진동의 최대에서 최소와의 차로 표시하고, 실효치는 어느 순간의 진동치를 제공하여 주기에 대하여 평균한 값의 제공근으로 표시한다. 실효치는 파형의 시간적 변화와 에너지 양을 내포하고 있어 주기적인 진동의 세기를 표시하는데 적합한 척도이며, P-P치는 기계 부품과 같이 진동변위가 최대응력이나 오차에 매우 중요한 허용기준이 될 경우 유용하게 사용할 수 있는 척도이다. 발파진동은 짧은 지속시간을 갖는 일회적인 특성을 갖고 있으므로 최대치를 적합한 척도로 사용할 수 있으나 파형의 시간적 변화가 반영되지 않는 단점이 있다.



〈그림 7.12〉 진동의 세기 표시

진동의 크기는 진동하는 매질의 물리적인 변위(particle displacement, u), 속도(particle velocity, v) 및 가속도(particle acceleration, a)로 표시할 수 있다. 진동이 전달되는 어느 한 지점을 생각하면 대상 점은 시간경과와 함께 진동량이 변화하고 있으며, 변위는 기준위치로부터의 이동거리를 나타내고, 진동속도는 진동변위의 시간에 대한 변화율이며, 진동가속도는 진동속도에 대한 시간의 변화율을 나타낸다.

(나) 진동량의 단위

진동의 수준은 다음과 같이 진동하고 있는 입자의 변위, 속도 또는 가속도로 표현할 수 있다.

〈표 7.19〉 진동량의 측정단위

성 분	기 본 단 위	참 고
변 위	cm, mm, μm	$\mu\text{m} = 10^{-4} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$
속 도	cm/sec, mm/sec	1 cm/sec = 1 kine
가속도	m/sec^2 , cm/sec^2	1 gal = 1 cm/sec^2 $1\text{g} = 980 \text{ cm/sec}^2 \approx 1000 \text{ gal}$
주파수	Hz	1 Hz = 1 cycle/sec(cps)

진동량으로서 cm, cm/sec(kine), cm/sec^2 (gal) 등의 단위는 선형적 척도이다. 발파진동의 경우 건물에 대한 영향을 평가하는 단위로는 진동속도를 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 인체의 감각은 선형적으로 비례하지 않고 Weber · Fechner의 법칙에 따라 대수 척도로 대응하므로 대수척도인 dB을 사용하며 건물의 진동피해에 대하여 최대 진동속도치로 규제하는 방법이 널리 사용되었으나 인체의 감응을 중요시하는 최근의 추세에 따라 dB을 적용하고 있는 사례도 많다.

(다) 인체의 감응을 고려한 척도

종래 발파진동의 영향평가는 구조물이 주체로서, 구조물의 피해와 상관관계가 좋은 진동 속도 파형 중의 최대속도 진폭을 사용한 평가가 이루어지고 있으나 공해진동으로서 인체 영향을 대상으로 하는 진동규제법에서는 정해진 진동가속도로부터 정의된 진동레벨에 의한 평가가 주체가 되고 있다. 따라서 발파진동이 공해진동으로서 문제가 되는 경우에는 그 평가에 있어서 종래의 최대속도 진폭에 의한 평가와 진동레벨에 의한 평가의 양방에 걸쳐서 평가할 필요성이 높아지고 있다. 인체의 진동에 대한 감지방법은 주파수에 의존하며, 연직방향 진동의 경우 4~8 Hz로 가장 민감하다. 진동의 주파수에 대한 인체의 감지방법을 표현하기 위하여 진동레벨 연직·수평의 양 특성을 갖는 진동감각보정회로를 갖추어야 하며, 계측된 가속도의 입력에 대해서 1차 진동 감각 보정회로에 의해서 주파수 보정이 이루어지며, 다음 지시특성회로에 의해서 계속시간에 대한 보정이 행하여진 결과가 진동레벨 값이 된다. 가속도 레벨은 진동 가속도를 dB 단위로 나타낸 것이며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{가속도 레벨 } L = 20 \log \frac{A}{A_0} \text{ (dB)}$$

여기서, A : 측정치의 가속도 실효치(m/sec²)

A₀ : 기준치(10⁻⁵ m/sec²)

가속도 레벨을 주파수에 의한 인체 진동감각으로 보정한 것이 진동레벨(보정 가속도레벨)이며, 수직방향의 주파수 보정(A₀)은 아래와 같다.

진동수 (Hz)	주파수 보정값
1 ≤ f ≤ 4	$A_0 = 2 \times 10^{-5} f^{-1/2} \text{ m/s}^2$
4 ≤ f ≤ 8	$A_0 = 10^{-5} \text{ m/s}^2$
8 ≤ f ≤ 90	$A_0 = 0.125 \times 10^{-5} f \text{ m/s}^2$

선형적으로 나타내는 진동속도치와 진동레벨의 관계는 진동수 8 Hz 이상의 조화진동이라고 가정하면 다음과 같이 표시할 수 있으나, 발파진동과 같은 1회적인 충격파형에 대하여 두 가지 평가법의 관계는 여러 가지 요인에 따라서 일의적으로 결정할 수는 없다.

$$\text{dB(V)} = 20 \log v + 74$$

여기서, v 는 최대 진동속도치(mm/sec), dB(V)는 수직 보정한 진동레벨이다.

(6) 발파진동 추정식

전술한 바와 같이 발파진동이 인체 및 구조물에 주는 영향을 인식하고, 발파계획 단계에서 그 진동치의 크기를 예상하여 피해방지를 위한 관리치 이하가 되도록 발파설계를 할 필요가 있다. 발파진동식은 시험발파 등을 통하여 결정되는 것이나 설계단계에서 여러 가지 이유로 시험발파를 수행하지 못하는 경우가 생기게 된다. 이럴 경우 발파 전 그 진동치의 예측을 위한 하나의 수단으로서 기존의 많은 연구자들의 노력으로 만들어진 발파진동 추정식을 사용하게 된다. 아래 표 7.20에 소개된 발파진동 추정식은 국내에서 보편적으로 적용되고 있는 식들이다.

〈표 7.20〉 국내에서 보편적으로 적용되는 발파 추정식의 예 (단위, V: cm/sec, D: m, A: μ , W: k)

제안자	추정식	발파진동상수
Langefors	$V = KW^{0.5}D^{-0.75}$	$K = 300 \sim 700$
USBM	$V = K(D/W^{0.5})^n$	n: 감쇠지수 1.083 ~ 2.346 $K = 12 \sim 550$
日本油脂	$V = KW^{0.75}D^{-1.5}$	$K = 80 \pm 40$: Dynamite 사용 시 $K = 60 \pm 20$: 제어발파 폭약 $K = 20 \pm 10$: Concrete 파쇄기

7.7.5 발파공법별 비교

일반적으로 비탈면 땅깍기부에 적용되는 발파공법은 다음과 같다.

〈표 7.21〉 땅깍기부 발파공법 비교

구분	비 폭 성 파 쇄 공 법		발 파 공 법		
	무진동파쇄공법 (유압 jack)	대형브레이커 파쇄공법(확장발파)	일반발파공법 (신설 발파)	미진동발파공법 (제어공법)	선균열 발파공법 (pre splitting)
공법 개요	- 파쇄방법 : 천공 후 실린더를 구멍에 삽입. 유압을 작동시켜 암석을 파쇄 - 파쇄원리 : 암석의 인장강도가 작은 특성을 이용 피스톤압에 의하여 파쇄	파쇄방법 : 백호 브레이커를 이용하여 암석을 파쇄	파쇄방법 : 일반 화약을 이용하여 천공 후 발파	- 파쇄방법 : 재래식 발파공법을 개량한 방법으로 천공 후 미진동파쇄기를 장진, 나머지 구멍은 모래로 충전 전기점화하여 파쇄 - 파쇄원리 : 폭발압력에 의하여 발생하는 인장 주응력으로 파쇄 균열 발생	- 파쇄방법 : 예상 땅깍기면 선상에 천공 후 화약류로 제어 발파한 후 2차로 본 발파 수행 - 파쇄원리 : 폭발충격파 발생 시 입사 압축파 보다는 주로 반사 인장파에 의한 파괴유도
발파 제한 범위	제 한 없 음	제 한 없 음	60 m 이상	30 ~ 60 m	60 m 이상
장점 장점	- 진동이 전혀 없고 비석 및 Gas발생이 없음 - 시공이 간편하여 연속작업이 용이하고 안전함 - 파쇄방향 및 파쇄량의 조절이 필요 - 안전시공 유리	- 진동이 없고 비석 발생이 없음 - 시공이 간편하여 연속작업이 용이하고 안전함 - 파쇄 후 마무리 작업 불필요	- 공사비 저렴 - 시공이 용이하고 시공실적이 다수	- 진동이 적음 - 시공이 용이함 - 공사비 저렴	- 선 균열 발생으로 본 발파 시 발파 진동 저감효과 - 땅깍기면 경사 균일 및 미려한 땅깍기면 형성 - 땅깍기 단면 감소로 경제적임 - 모암 균열 최소화로 땅깍기 비탈면의 안전성 증대
단점	- 파쇄 후 마무리면 보완 작업 필요 - 공사비 고가	- 소음이 많이 발생 - 공사기간의 장기화 작업효율 불량 - 시공성 불량	- 소음 및 진동이 크다 - 비석발생 - 안전관리대책 수립 필요 - 파쇄 후 마무리면 보완작업 불필요	- 반응대기시간 필요 - 암질에 따라 뜻밖의 비석 발생으로 방호시설 필요 - 안전관리 대책 수립 필요 - 공사비 고가	- 파단선 선상 암반 미확인 상태에서 발파 - 파단선, 본 발파 2회에 걸친 발파 필요 - 장공 천공 시 천공 오차 최소화를 위한 정밀 천공 요구 - 암질 및 절리각도에 따라 적용

7.7.6 발파공법 적용기준

공사의 효율성과 민원발생 방지를 위하여

- 진동허용 속도 0.5 cm/sec를 기준으로 하고
- 시험발파를 실시하여 지반진동상수 및 지발 당 허용 장약량을 결정한 후
- 지발 당 허용 장약량을 감안 다음과 같이 발파공법 적용기준을 설정 운용하되
- 문화재 및 진동에 민감한 영향을 받는 특수시설물이 인접할 경우는 발파영향 검토를 수행하여 발파공법 조정 적용한다.

〈표 7.22〉 발파공법 적용기준

구 분	발파원과의 거리			비 고
	30 m 이내	30 ~ 60 m	60 m 이상	
소음 및 공기에 영향이 없을 경우	브레이커 파쇄공법	미진동 발파공법	일반 발파	
소음 및 공기에 영향이 있을 경우	무진동 파쇄공법	미진동 발파공법	일반 발파	

주) 발파 시 발파진동, 소음, 폭풍압 등의 계측을 실시하여 현장 상황에 적절하게 허용 지발 당 장약량을 조절하도록 한다.

7.7.7 표준발파공법 패턴별 특성

〈표 7.23〉 발파패턴별 제원

Type	명칭	설계 지발당 장약량 (kg)	발파제원※ W×E×H(m)	천공경 (mm)	공당 파쇄량 [†] (m ³ /공)	사용폭약
I	미진동 굴착공법	폭약기준 0.125 미만	0.7×0.7×1.3	φ 51 이내	0.637	
II	정밀 진동제어발파	0.25	0.7×0.8×1.8	φ 51 이내	1.01	에멀전 폭약 등 (φ25 ~ 32 mm)
III	소규모 진동제어발파	1.0	1.0×1.2×2.4	φ 51 이내	2.88	에멀전 폭약 등 (φ32 mm)
IV	중규모 진동제어발파	3.0	1.6×1.9×3.0	φ 76	9.12	에멀전 폭약 등 (φ50 mm)
V	일반발파	7.5	2.0×2.5×4.8	φ 76	24.0	에멀전 폭약 등 (φ50 mm)
VI	대규모발파	20.0	2.8×3.2×7.3	φ 76 이상	65.4	주폭약 : ANFO 기폭약 : 에멀전

주) ※ W: 최소저항선 E: 공간간격 H: 벤치고 [†] 공당 파쇄량은 평균값임.

1. 설계지발 당 장약량 기준은 설계 발파진동 추정식 $v = K(D/W^b)^n$ 에 의한 “거리~지발 당 장약량” 조건표 기준임(진동상수 $K = 200$, $n = -1.6$, $b = 1/2$).
2. 발파대상 암반의 강도나 지형특성 등에 따라 설계지발 당 장약량과 발파제원이 변동될 수 있음
3. 미진동파쇄기와 유압잭 및 브레이커 파쇄공법 등은 진동전파 특성에 따라 일반 폭약과는 상이하므로 시험 시공에 의하여 지발 당 장약량과 천공패턴 등의 굴착방법을 설정할 것
4. 장소가 협소하거나 현장여건상 크롤러드릴의 사용이 곤란한 장소에서는 착암기를 사용한 발파공법을 적용할 수 있음.

발파제원은 최소저항선과 공간간격 그리고 벤치고로 나타내었다. 벤치고는 수직 천공인 경우 천공장에서 초과 천공장을 뺀 값으로 결정되며, 일반 발파와 대규모 발파의 경우에는 70° 경사천공이므로 경사까지 보정하여 제시한 값이다.

천공장의 선택은 일반적으로 현장에서 사용하는 로드(rod)의 길이와 수에 의하여 결정된다. 통상 로드와 연결 작업에 시간과 노력이 많이 소요되므로 가능한 한 천공을 끝까지 하는 것이 효과적이다. 각 공법별로 설계 지발 당 장약량으로 표시하였는데 이 값은 해당 영역에서 대표적으로 시공될 수 있는 장약량을 나타낸 것이며, 전체 영역에 걸쳐서 이 패턴을 적용하면 경계부근에서는 약장약 또는 과장약이 되므로 영역 내에서도 장약량을 변경하여 시공해야 한다.

7.7.8 표준발파공법별 분류기준

발파공법을 발파효율과 진동제어를 위한 장약량 규모별로 나누어 6가지로 나누었으며, 각각의 표준규격은 표와 같다.

〈표 7.24〉 발파공법

구 분	TYPE I 미진동 굴착공법	TYPE II 정밀진동 제어발파	TYPE III·IV 진동제어발파		TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파
			소규모	중규모		
공법 개요	보안물건 주변에서 TYPE II 공법 이내 수준으로 진동을 저감시킬 수 있는 공법으로서 대형 브레이커로 2차 파쇄를 실시하는 공법	소량의 폭약으로 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이커에 의한 2차 파쇄를 실시하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 존재하는 경우 “시험발파” 결과에 의하여 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법		1공당 최대 장약량이 발파 규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물건과 이격된 영역에 대하여 적용하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 전혀 존재하지 않는 산간 오지 등에서 발파효율만을 고려하는 공법
주 사용폭약 또는 화공품	최소단위미만폭약 미진동파쇄기 미진동파쇄약 등	에멀전 계열 폭약	에멀전 계열 폭약		에멀전 계열 폭약	주폭약 : 초유폭약 기폭약 : 에멀전
지발당장약량 범위(kg)	폭약기준 0.125 미만	0.125 이상 0.5 미만	0.5 이상 1.6 미만	1.6 이상 5.0 미만	5.0 이상 15.0 미만	15.0 이상
천공직경	φ51 mm 이내	φ51 mm 이내	φ51 mm 이내	φ76 mm	φ76 mm	φ76 mm 이상
천공장비	공기압축기식 크롤러 드릴 또는 유압식 크롤러 드릴 선택 사용					

구 분	TYPE I 미진동 굴착공법	TYPE II 정밀진동 제어발파	TYPE III·IV 진동제어발파		TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파
			소규모	중규모		
표준패턴	미진동 굴착공법	정밀진동 제어발파	진동제어발파		일반발파	대규모 발파
			소규모	중규모		
천공깊이 (m)*	1.5	2.0	2.7	3.4	5.7	8.7
최소저항선 (m)*	0.7	0.7	1.0	1.6	2.0	2.8
천공간격 (m)*	0.7	0.8	1.2	1.9	2.5	3.2
표준 지발당 장약량(kg)	-	0.25	1.0	3.0	7.5	20.0
파쇄 정도	균열만 발생 (보통암 이하)	파쇄 + 균열	파쇄 + 균열		파쇄 + 대괴	파쇄 + 대괴
계측관리	필 수	필 수	필 수		선 택	선 택
발파보호공	필 수	필 수	필 수		불 필 요	불 필 요
2차 파쇄	대형브레이커 적용	대형브레이커 적용	-		-	-

* 천공 깊이 · 최소저항선 · 천공간격 치수 등은 평균적으로 제시한 수치이며, 공사시행 전에는 시험발파에 따라 현장
별로 검토 · 적용할 것

7.7.9 표준발파공법 및 진동규제기준별 적용되는 이격거리(m)

“거리 ~ 지발당 장약량 조건표”로부터 각각의 허용진동수준별 적용할 수 있는 공법의 적용범위를 산정 하였으며, 경계선은 현장에서 사용하기 편하도록 10 m 단위로 나누었으며, 근접거리에서 발파를 하는 경우에는 5 m 간격으로 나누었다.

〈표 7.25〉 표준발파공법 및 진동규제기준별 적용되는 이격거리(m)

(단위 : cm/sec)

TYPE	발파공법	v = 0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
I	미진동 굴착공법	40 m 까지	25 m 까지	20 m 까지	15 m 까지	5 m 까지	3 m 까지
II	정밀 진동제어발파	40 ~ 80	25 ~ 50	20 ~ 40	15 ~ 30	5 ~ 20	3 ~ 7
III	소규모 진동제어발파	80 ~ 140	50 ~ 90	40 ~ 70	30 ~ 50	20 ~ 30	7 ~ 10
IV	중규모 진동제어발파	140 ~ 260	90 ~ 170	70 ~ 130	50 ~ 90	30 ~ 60	10 ~ 25
V	일반발파	260 ~ 450	170 ~ 290	130 ~ 220	90 ~ 160	60 ~ 110	25 ~ 40
VI	대규모발파	450 m 이상	290 m 이상	220 m 이상	160 m 이상	110 m 이상	40 m 이상

경계를 엄밀하게 나타낸다면 허용진동속도가 0.1 cm/sec일 때 미진동굴착공법을 적용할 경계선은 40 m와 50 m 사이에 위치할 것이나 최소포장단위 허용장약량 0.1 ~ 0.125 kg을 감안하면 40 m가 타당한 선이 될 것이다. 같은 방법으로 정밀진동제어 발파와 소규모 진동 제어발파의 경계선은 0.50 kg에 아주 가까운 점을 감안하여 80 m 까지로 선정하였고, 소규모와 중규모 진동제어 발파의 경계선도 140 m에서 결정하였다. 중규모 진동제어와 일반발파의 경계는 250 m와 260 m 사이가 되나 5 kg에서 더 가까운 260 m 까지로 정하면 더욱 안전한 선택이 된다. 기타 자세한 발파설계는 도로공사 노천발파설계 시공요령을 참고하기 바란다.

7.8 소단

땅깎기 높이가 높은 비탈면에서는 비탈면의 중간에 원칙적으로 소단을 설치하도록 한다. 깎기 비탈면은 공통적으로 높이 20 m 마다 폭 3.0 m 소단을 설치하고, 발파암 구간은 높이 10 m마다 폭 3.0 m 소단을 설치하며, 토사 및 리핑암은 높이 5.0 m마다 폭 1.5 m 소단을 설치한다. 단, 다른 시설의 설치 장소로서 이용하는 경우는 그 목적을 충분히 이해한 후, 위치와 폭을 결정한다.

- (1) 소단의 목적은 관리 단계에서의 점검 보수용 통로, 비탈면의 침식 방지를 위한 배수시설 설치에 이용하는 것이다. 소단 설치 높이 및 폭에 관한 수치는 점검 통로와 배수시설을 위하여 필요한 일반적 표준치로 정한 것이다.

(2) 소단 폭원 및 배수처리

구 분	현 재	개 선	비고
발파암	• 높이 10 m 마다 1 m 소단 ※ TCR ≥ 60 %, RQD ≥ 50 % : 소단 미설치	• 높이 10 m 마다 3.0 m 소단 및 소단배수(L5) 원칙	
토 사 리핑암	• 높이 5 m 마다 1 m 소단	• 높이 5 m 마다 1.5 m 소단 및 소단 배수(L5-1) * 단, 높이 10 m 발파암 연결 구간은 3.0 m 소단 및 소단 배수(L5)	
공 통	• 높이 20 m 마다 3 m 소단 설치 & 소단 배수 (L5)		

- (3) 특수한 경우(지반조건, 지장물, 무한사면 발생 등) 발파암 구간 등의 소단 폭은 1 ~ 3 m 범위에서 조정 가능하며, 소단 폭 조정 시 낙석방지시설은 별도 검토 후 적용한다.
- (4) 소단에 설치하는 시설로서는 배수시설, 낙석방지책, 봉낙석예방책, 측도 등이 있지만 그들의 기능을 충분히 이해하여 설치 위치 등에 대하여 검토할 필요가 있다.
- (5) 토층이 다른 경우에는 용수를 고려하고 토사와 암석, 투수층과 불투수층의 경계에는 될 수 있으면 소단 및 배수시설을 설치하는 것이 바람직하다.
- (6) 암반사면 내 소단은 “표 7.5 암반의 특성에 따른 표준 비탈면”을 참조한다.

7.9 비탈면의 라운딩

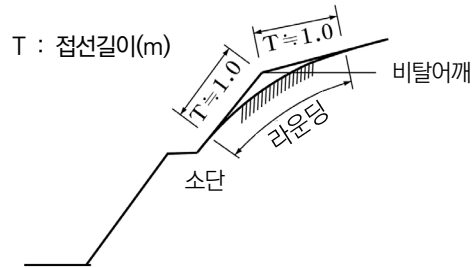
땅깎기 비탈면의 어깨 및 양단부는 원칙적으로 라운딩을 하도록 하고, 그 형상은 매끄러운 원형으로 한다.

- (1) 땅깎기 비탈면의 어깨나 양단부는 원지반이 불안정해서 식생의 정착이 어렵고, 가장 침식을 받기 쉬운 곳이기 때문에 붕괴되기 쉽다. 따라서, 침식 방지, 식생의 정착 및 경관의 측면에서 라운딩하는 것이 바람직하다.
- (2) 비탈 어깨의 라운딩은 원칙적으로 상하 방향으로 접선장 1.0 m 정도로 하지만 휴게소나 인터체인지 내 등 특히 경관을 중시하는 비탈면은 별도로 고려할 필요가 있으며, 다음 식을 기준으로 한다(그림 7.13, 그림 7.14).

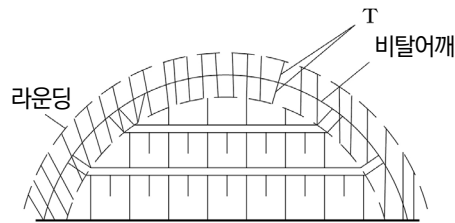
$$T = \frac{a}{3}$$

여기서, T : 접선 길이(m)

a : 비탈면 최대 경사 길이(m)



〈그림 7.13〉 라운딩의 범위



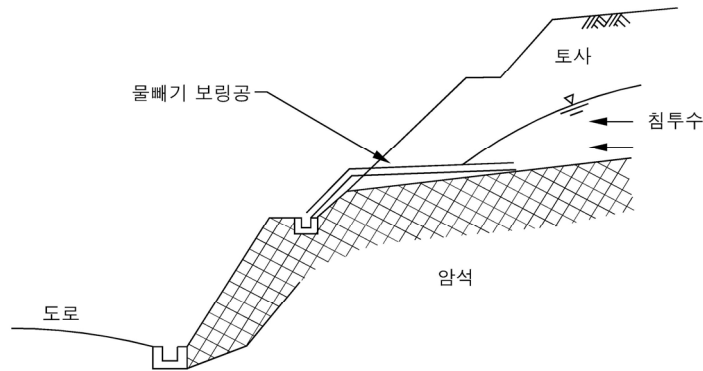
〈그림 7.14〉 종단방향의 라운딩

7.10 땅깍기 비탈의 표면수 및 용수의 처리

표면수나 용수에 의하여 비탈면이 세굴되든가 붕괴될 염려가 있는 경우에는 비탈 어깨나 소단에 배수구를 설치해야 한다. 특히, 용수에 대해서는 용수 지점, 용수량 등을 고려해서 설비의 선정 및 배치에 유의해야 한다.

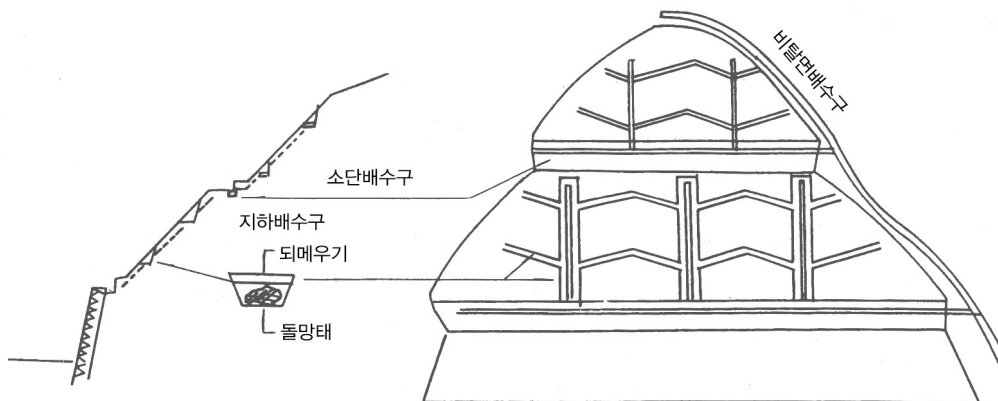
- (1) 비탈면은 기상 조건에 따라 여러 가지 피해를 받으나, 가장 많은 것은 우수의 흐름에 의한 침식이며, 배수가 충분하면 재해를 방지할 수 있는 경우가 많다. 따라서, 비탈면의 배수설비는 되도록 처음에 시공하는 것이 바람직하다.
- (2) 배수구를 설치할 때에는 배수구에 물이 넘치거나 배수구의 측면이나 표면이 세굴되는 경우가 있으므로 주의를 해야 한다. 또한 종배수구, 경사배수구 등을 만들 경우에는 흐르는 물이 비탈면이나 노면으로 넘쳐 세굴 되지 않도록 적당한 조치를 취해야 한다.
- (3) 특히 다음과 같은 지형·지질에서는 용수에 주의해야 하며, 또한 적설지에서는 용설기에 다량의 용수가 발생하기 때문에 주의가 필요하다.

- ① 침식에 약한 토질
 - ② 상부에 투수의 재료(테일러스층, 산모래 등)가 있고 하부에 불투수층(제3기 이암 등)이 있는 경우
 - ③ 습곡지대
 - ④ 붕적토 지대
 - ⑤ 투수층과 불투수층이 접하여 있을 경우
- (4) 용수처리 방법은 비탈면으로 침출하여 나온 것을 비탈 표면에서 처리하는 경우와 비탈면 심부의 침투수를 물빼기 시추나 집수정으로 비탈면 밖으로 배출하는 경우가 있다.
- (가) 비탈면 심부의 침수 처리의 예(그림 7.15)



〈그림 7.15〉 물빼기 시추공의 설치 예

- (나) 비탈 표면에서의 용수처리 예(그림 7.16)



〈그림 7.16〉 지하배수구의 설치 예

- (5) 비탈 표면의 용수처리공은 용수 위치를 잘 조사하여 정확히 배치할 필요가 있다. 사용하는 재료는 돌망태나, 유공관 등 막히지 않는 것을 사용한다.
- (6) 물빼기 시추공은 5° 이상 상향으로 천공하고, 유공관을 삽입한다. 유공관 단부 부근은 돌망태나 콘크리트 벽으로 보호하는 것이 좋다.
- (7) 한랭지에서는 용수 처리가 지표면 부근에서 동결하여 용수의 배출을 저해하거나 유공관 단부 부근의 원지반이나 보호공을 파괴하는 경우가 있다. 따라서, 동결이 심한 지역에서는 특히 유공관 단부의 매설 심도나 종말처리 위치, 방법 등에 대해서 검토할 필요가 있다.

7.11 대규모 땅깍기 비탈면

땅깍기 높이가 20 m 이상의 대규모 땅깍기 비탈면은 비탈면 전체의 토질이 균질하고 견고한 것은 드물게 나타나며, 단층 등의 약선을 수반하고 있는 것이 많기 때문에 안정에 관해서 토질·지하수 상황 등을 보다 상세히 조사하여 설계해야 한다.

- (1) 대규모 땅깍기 비탈면을 설계하는 경우에는 정확하고 상세한 정보를 알기 위한 조사를 행하는 것이 중요하다. 특히, 단층이나 지하수는 비탈면의 안전에 큰 영향을 주는 경우가 많기 때문에 시추조사 외에 지표 답사나 탄성파 탐사 등의 조사를 통한 아주 세밀한 검토가 필요하다.
- (2) 대규모 땅깍기 비탈면은 시공 중의 붕괴나 상태 변화 및 추정 암반선의 변경 등이 발생할 경우 재시공이 많고, 또 관리에서는 점점이 곤란한 것과 보수 시 대규모적인 안전대책을 필요로 하여 비경제적인 경우가 많다. 따라서 시공성과 용지 폭 등을 고려하여 설계하는 것이 중요하다.
- (3) 설계 비탈면 경사와 보호공
 - (가) 대규모 땅깍기 비탈면에 있어서도 통상의 토질이라면 각 소단마다 원지반 토질조건에 부합된 표준 비탈면의 경사를 적용하면 좋다. 보호공에 대해서도 8장에 기술한 통상의 경우와 동일하게 생각하여도 좋다. 그러나 대규모 땅깍기 비탈면은 땅깍기에 의한

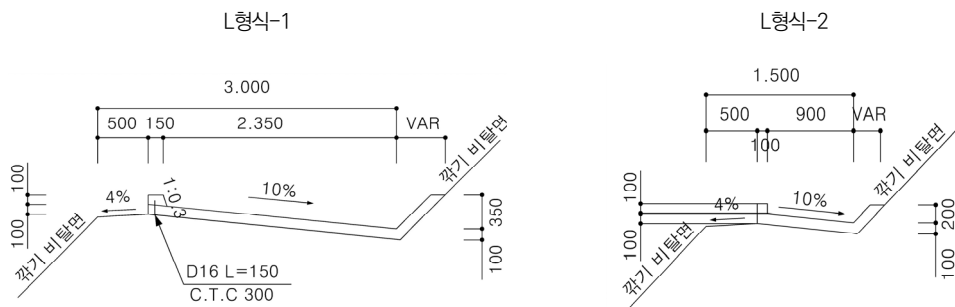
응력 이완의 정도가 크고, 원지반 전체가 안정된 토질인 경우는 적어서, 부분적으로는 7.5.2에 기술한 붕괴성 요인을 갖고 있는 것이 많다. 따라서 조사·설계·시공단계에서 그러한 경우가 확인된 경우는 조속히 비탈면 경사나 보호공에 대해서 검토할 필요가 있다.

- (나) 부득이 대규모 땅깁기 비탈면이 발생하는 경우는 말뚝이나 옹벽 등으로 소비탈면으로 하는 방법이 고려된다. 이 경우, 두 안을 비교한 후에 현지의 토량배분 계획, 용지 상황, 환경대책, 유지관리면 등을 감안하여 경제적인 설계가 되도록 충분히 검토할 필요가 있다.

(4) 소단

대규모 땅깁기 비탈면의 소단은 유지관리상 통상의 비탈면에 비하여 그 필요성과 중요도가 크다. 또한, 폭이 넓은 소단은 소규모적인 상태 변화에 대해서 토사를 멈추는 역할을 하거나, 보수용 작업대로 되기 때문에 대규모 땅깁기 비탈면에서는 수직 높이 20 ~ 30 m 마다 폭 3 ~ 4 m 정도의 소단을 설치하는 것이 바람직하다.

- (5) 최하단부의 소단은 측구를 포함해서 2.7 m를 설치하고, 리핑암과 발파암의 사이는 소단을 설치하지 않는 것으로 한다. 또한 암반의 특성이 급격히 변화하는 곳에 1.0 m의 소단을 설치할 수도 있다.
- (6) 땅깁기 높이 20 m 마다 그림 7.17과 같은 형태의 3.0 m의 소단을 설치하고, 소단 측구는 발파암 구간에는 (L형식-1), 토사, 리핑암 구간에는 (L형식-2)를 설치한다. 토사, 리핑암 구간에서는 높이 5.0 m 마다 1.5 m 소단을 설치하되, 최상부 소단에서 리핑암과 토사의 경계까지 2.5 m 이하일 경우는 리핑암과 토사의 경계에만 소단을 설치하고, 2.5 m 이상일 경우는 최상부 소단과 리핑암과 토사의 경계에 소단을 추가 설치한다.



〈그림 7.17〉 소단의 횡단면

7.12 암파쇄 방호시설

7.12.1 개요

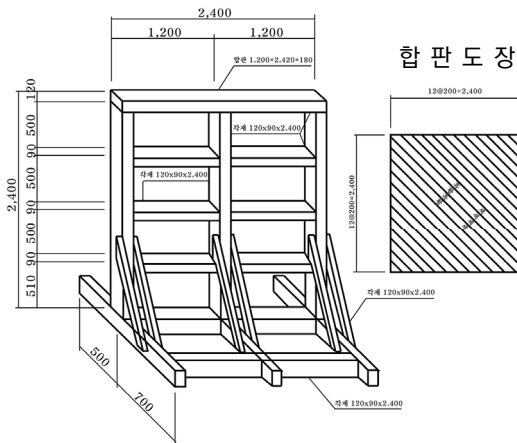
암파쇄 방호시설은 기존 도로의 정비 또는 확장 공사구간의 절취 시 기존의 도로 폭을 확보하기 위하여 설치되며, 절취 및 암파쇄 작업으로 인하여 발생하는 토석 및 암괴의 도로 유입을 차단시켜 안전사고를 방지하고, 통행차량의 안전운행을 도모하기 위하여 설치한다.

- (1) 도로 땅깍기 비탈면의 안정화 작업을 위한 방안으로는 비탈면의 경사를 완화시키는 방법과 비탈면의 안전성을 향상시키기 위한 보강작업 등이 있으며, 이들 작업을 안전하게 수행하기 위하여 도로를 통행하는 차량을 공사에 의한 위험요소로부터 보호하고, 원활한 교통흐름을 유도하기 위한 방법으로 암파쇄 방호시설을 설치하여 운영한다.
- (2) 임시로 설치된 암파쇄 방호시설은 비탈면의 절취 및 암파쇄로 인한 암괴 · 토석의 도로 유입을 차단시키고, 절취로 인하여 발생하는 암괴 및 토석의 임시 적재, 유용토 반출을 위한 통행로 확보 등을 위한 시설물로 사용된다.

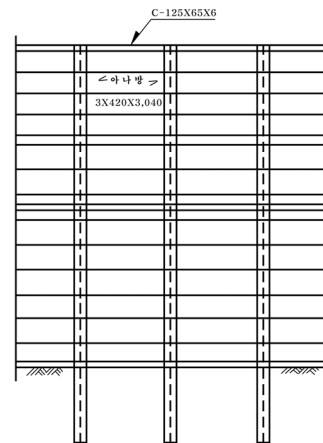
7.12.2 설치 기준

암파쇄 방호시설 설치는 현장 여건을 고려하고 낙석 규모를 고려한 전산 구조 해석을 통하여 결정하며, 구조 해석이 실시되지 못한 경우에는 발파암 땅깍기 높이가 4 m 이상이고, 전체 땅깍기 높이가 10 m 이상인 구간에 암파쇄방호시설을 설치한다.

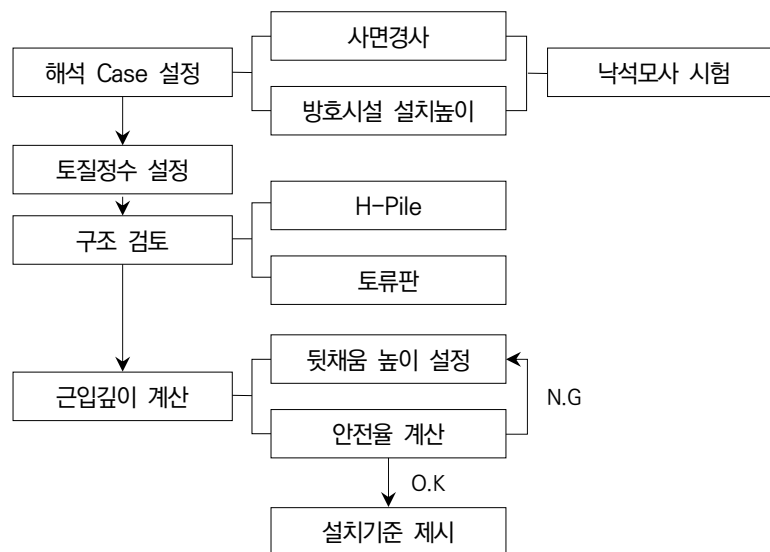
- (1) 발파암 땅깍기 높이가 4 m 미만이고, 전체 땅깍기 높이가 10 m 미만인 구간에는 안전시설목을 설치하고, 발파암 땅깍기 높이가 4 m 이상이고, 전체 땅깍기 높이가 10 m 이상인 구간에는 암파쇄 방호시설을 설치한다.
- (2) 발파암 경사와 땅깍기부 높이를 고려하지 않고, 일률적으로 암파쇄 방호시설을 설치하는 경우 땅깍기부의 높이가 높은 지역에서는 발파작업 시 비산된 암이 도로부에 떨어질 수 있어 통행차량에 위험을 초래할 수 있으며, 땅깍기부가 낮은 지역에서는 불필요한 시설물이 설치되어 경제성이 저하되므로 현장 여건에 부합될 수 있도록 전산 구조 해석(rock fall simulation)을 실시하여 암파쇄 방호시설의 규모를 결정한다.



〈그림 7.18〉 안전시설목



〈그림 7.19〉 암파쇄 방호시설

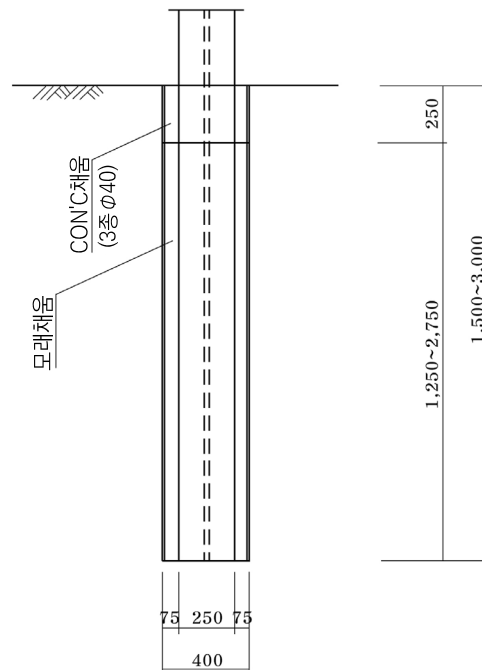


〈그림 7.20〉 설계 검토 흐름도

- (3) 부득이 구조 해석이 실시되지 못한 경우에는 발파암 땅깁기 높이와 전체 땅깁기 높이를 고려하여 다음과 같은 암파쇄 방호시설의 높이와 기초 근입깊이가 확보될 수 있도록 방호시설물을 계획해야 한다.

〈표 7.26〉 암파쇄 방호시설 높이 및 기초 근입깊이 설치기준

구분	땅깍기 비탈면 조건		방호시설 높이	기 초 근입깊이
	발파암 땅깍기 높이	전체 땅깍기 높이		
A	4 m 이상 20 m 미만	50 m 미만	4.5 m	1.5 m
B	4 m 이상 20 m 미만	50 m 이상	6.0 m	2.0 m
	20 m 이상 30 m 미만	50 m 미만		
C	20 m 이상 30 m 미만	50 m 이상	7.5 m	2.5 m
	30 m 이상 40 m 미만	50 m 미만		
D	30 m 이상 40 m 미만	50 m 이상	9.0 m	3.0 m
	50 m 이하	50 m 이하		



〈그림 7.21〉 기초 근입깊이 및 형식

7.12.3 뒤채움 높이

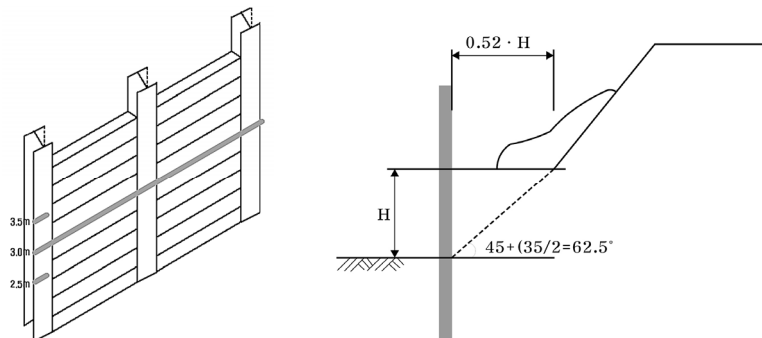
토압의 균형으로 자립하고 있는 암파쇄 방호시설은 임시 적재된 뒤채움토의 높이가 안정성에 매우 중요한 요인으로 작용한다. 따라서, 암파쇄 방호시설의 근입깊이별 뒤채움 허용높이를 기준으로 현장에서 발생할 유유토의 처분 능력을 고려한 뒤채움 높이의 관리가 필요하다.

- (1) 뒤채움토의 높이는 암파쇄 방호시설의 자립의 안정에 중요한 요인이므로 뒤채움 토압에 대한 방호시설의 안전을 유지하기 위하여 다음과 같이 허용높이를 준수해야 한다.

〈표 7.27〉 뒤채움 허용높이

방호시설 높이	기초 근입깊이	허용 뒤채움 높이	비 고
4.5 m	1.5 m	0.9 m	
6.0 m	2.0 m	1.4 m	
7.5 m	2.5 m	1.9 m	
9.0 m	3.0 m	2.4 m	

- (2) 뒤채움 높이의 효율적인 관리를 위하여 H-Pile 또는 토류판에 뒤채움 허용 높이를 표기하여 모든 공사관계자가 육안으로도 뒤채움 허용 높이가 초과되었는지 확인할 수 있도록 한다.
- (3) 공사시방서에 반드시 뒤채움이 허용 높이 이상으로 적치되지 않아야 한다는 사항을 필히 명기해야 한다.
- (4) 뒤채움 허용높이는 가상파괴면의 수평면에 대하여 적용한 것으로 가상파괴면 이내에 존재하는 적재물이 존재하지 않도록 해야 한다.



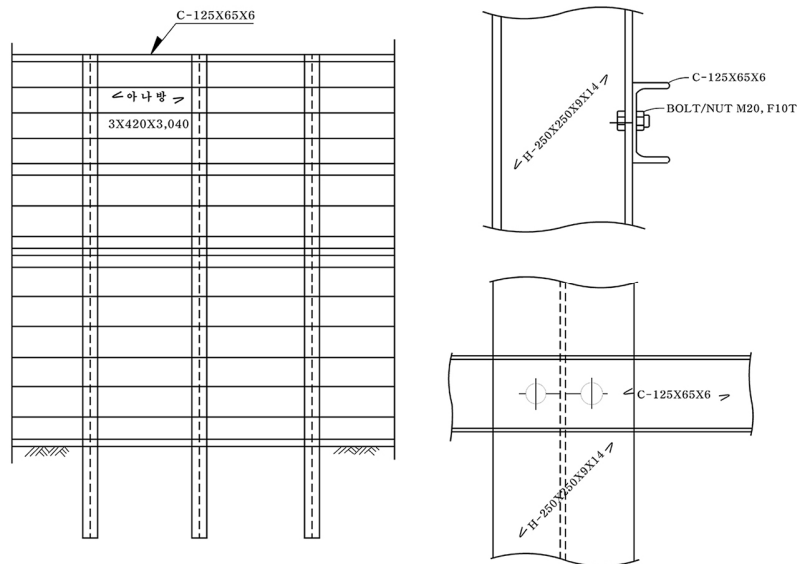
〈그림 7.22〉 뒤채움 허용높이 관리

- (5) 암파쇄 방호시설은 암이 차도 밖으로 이탈하는 것을 방지하는 시설이므로 배면에 암이나 토사를 과도하게 적치하지 않도록 하며, 시공 장비가 배면토 위를 지나가야 할 경우에는 사전에 충분한 검토 후 통과하중을 결정한다.

7.12.4 간격 유지재

간격 유지재는 H-Pile 간격을 유지시키는 보조재로 풍하중 또는 뒤채움 토압에 대한 저항력은 고려되지 않고 단순히 간격만을 유지시키기 위한 목적으로 사용한다.

- (1) 풍하중 또는 뒤채움 토압에 저항하기 위한 구조적 부재라기보다는 H-Pile의 간격을 유지시켜 토류판 설치를 용이하게 하기 위한 간격 유지용 부재로 사용한다.
- (2) H-Pile의 간격을 일정하게 유지하기 위하여 삼단(상, 중, 하)으로 배치한다.



〈그림 7.23〉 간격유지재

7.12.5 토류판

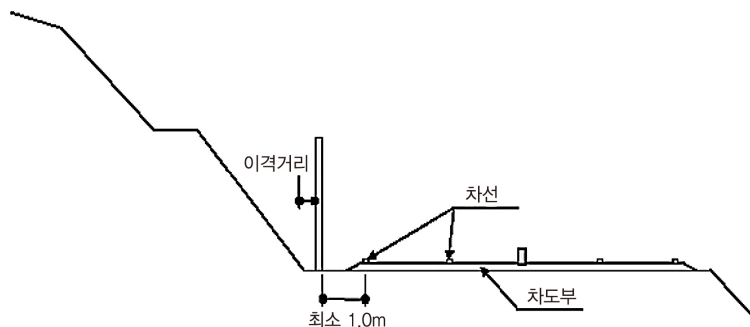
H-Pile 사이에 끼우는 토류판은 목재와 철재 모두를 사용할 수 있으며, 토압에 의하여 발생하는 외력에 저항하기 충분한 강도를 가진 재료를 사용한다.

- (1) 목재의 경우 웅이 등으로 인하여 강도의 저하가 예상되는 것은 사용할 수 없다.
- (2) 철재의 경우 녹이 슬거나 변형이 발생하여 틈이 벌어질 우려가 있는 자재는 사용할 수 없으며, 시공성을 감안하여 토류판의 폭원은 150 ~ 500 mm로 한정한다.

7.12.6 방호시설 설치 이격거리

암파쇄 방호시설이 설치되는 지점은 도로 외측 차로에서 최소 1.0 m 이상 간격을 두어야 하며, 이 간격의 확보가 곤란한 경우에는 우회도로 개설·도로의 확폭 및 차량 교행 계획을 수립해야 한다.

- (1) 기존 도로의 여건상 이격거리의 확보가 어려운 경우 암파쇄 방호시설을 비탈면과 근접하여 시공하는 것이 불가피하고, 낙석의 Rebounding에 의한 도로 유입이 문제 시 될 수 있으므로 이러한 경우에는 현장 여건을 고려한 Rockfall Simulation을 실시하여 암파쇄 방호시설의 높이를 증가시킨다.
- (2) 방호시설 깎기 비탈면 하단부에서 0 ~ 5.0 m 범위에 설치하며, 이격거리가 가까울수록 방호시설의 높이를 증가시켜 통행차량의 안전을 확보한다.



〈그림 7.24〉 방호시설 이격거리

7.13 땅깍기 비탈면 관리방안

7.13.1 땅깍기 비탈면 관리

- (1) 비탈면 설계, 시공 내실화를 위한 검토사항은 시공전 지반조사 계획검토, 깎기 공사 공정계획, 지반조사 및 확인조사, 단계별 현황도, 비탈면 안정해석 관리, 보강, 발파, 보호공법 검토, 비탈면 시공 및 품질관리이다.
- (2) 비탈면 확인 조사 단계에서 필요시 불연속면 등에 대한 추가 시추를 시행한다.

7.13.2 비탈면 시공 전 검토사항

(1) 현장 확인 및 설계도서 검토

- 지형 및 현황측량에 따른 지반고 변경 여부 확인
- 확인조사 결과에 따른 지층조건 변경 여부 확인
- 비탈면 안정해석결과, 보강범위 등의 적정성 확인

(2) 조사 및 분석

- 지표지질조사 계획 검토 및 관리
- 지반조사 계획 적정성 검토 및 관리
- 불연속면 등 추가 시추조사 필요위치 선정 후 발주처 협의
- 확인조사(시추조사 등) 결과 검토

(3) 안정성 검토 및 확정설계 확인

- 설계단계 조사·분석자료와 시공전 조사·분석자료 상이시 안정성 재해석을 통한 확정설계 시행 (안정성 재해석과 확정설계의 관리·검토 업무수행)
- 설계단계 조사·분석 미시행 구간은 시공전 조사·분석 결과를 반영하여 안정성 해석 및 확정설계 시행 (안정성 해석과 확정설계의 관리·검토 업무수행)
- 비탈면 보강공법, 표층보호공법 선정 적정성 검토

(4) 시공 상세도면 검토

- 소단폭원, 깎기 높이, 경사 및 산마루측구 위치 등 적정여부 검토

- ※ 붕괴발생에 대비하여 비탈면 하부 끝단과 본선 측구와의 충분한 이격거리 확보
- 비탈면 보강공법 도면 적정성 검토

7.13.3 비탈면 시공 중 검토사항

(1) 공정계획 검토 및 추진

- 깎기, 배수시설, 보강, 녹화 등이 적기 추진되도록 공정계획 검토
- 지형측량, 시공계획서, 시험발파 계획서 검토

(2) 공사 및 품질관리

- 암판정 계획, 준비 및 결과 검토
- 비탈면 보강 및 보호공법 시공 및 품질(자재 포함) 관리
- 비탈면 시공오차 측정 및 관리
- 발파공법, 공사 중 배수처리 검토
- 토석류 위험도 평가, 등급 선정 및 대책방안 검토
- 낙석방지망, 낙석방지책, 비탈면 점검로 적정성 검토

(3) 비탈면 현황도(Face Mapping) 검토

- 현황도 작성 계획(공구별, 비탈면별 작성 시기·방법 등) 수립 및 관리
- 현황도 작성내용 최종 검토 및 확인
 - 현황도 포함내용 명기 : 기본정보(시점부 GPS 좌표, 공사이정, 높이, 경사, 공사이력 등), 풍화상태, 지질구조(종류, 연장성, 간격, 방향, 경사, 충전물질, 틈새, 거칠기 등), 암종, 지질상태, 용수상태, 식생상태, 상부지형 상태, 집수지역 여부, 불안정 영역, 보강 구역, 보강방법(횡단면도 포함) 및 제원, 사진자료(굴착완료 전경), 대표평면도, 대표횡단면도, 비탈면 안정해석 내용, 설계물성치 등

(4) 안정해석, 보강 및 보호공법 검토

- 위험요인이 있는 경우 안정해석 시행
- 보강 불필요 구간 보강공법 삭제, 축소 등 조정 검토
- 토질 특성에 맞는 녹화공법 검토
- 슬라이딩 발생 비탈면 조사·시험계획 및 처리대책 검토