

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





8. 비탈면 보호 및 보강공

8.1 설계 기본사항

비탈면의 보호공법은 평상시 안전한 사면이라도 우수나 융설수의 침식작용, 풍화작용 등 자연적 원인에 의하여 사면의 안전성이 감소되어 사면파괴가 발생할 수 있으며 이러한 작용으로부터 사면을 보호하기 위해 사면을 공기 중에 노출시키지 않고 여러 가지 방법으로 피복하여 보호하는 공법을 말하며 식생에 의한 비탈면 보호(식생공)와 구조물에 의한 비탈면 보호로 구분된다. 또한, 비탈면 보강공법은 사면의 안전성이 충분하지 못하거나 사면이 붕괴된 경우에 안전율을 증가시킬 수 있는 대책공법을 말하며 사면의 활동력에 대한 저항력을 증가시키거나, 사면이 안전하도록 사면의 활동력을 감소시키는 방안이 있다.

- (1) 비탈면 보호공의 선정에 있어서는 식생공을 원칙으로 하고, 식생이 적당하지 않을 경우 혹은 식생만으로는 비탈면의 안정을 확보할 수 없는 경우에는 상황에 따라 구조물에 의하여 적절한 보호공을 실시하는 것으로 하나, 일반적으로 식생과 비교해서 공사비가 높아지므로 토질 · 비탈면의 안정성 · 경제성 · 미관 · 유지보수 · 기타 현지 상황 등을 충분히 고려한 후에 적절한 보호공을 결정해야 한다.

용수가 있는 비탈면에서는 필터(filter)층, 맨암거 등을 설치해서 용수를 배출해야 한다. 또한, 일반적으로 땅깍기 비탈면은 시간이 경과함에 따라 풍화되어 강도가 저하하는 경향이 있으므로 유지보수를 고려해서 설계해야 한다.

비탈면 보강공은 사면의 활동력을 저항하기 위해 저항력을 증가시키는 방법과 사면이 안전하도록 사면의 활동력을 감소시켜주는 방안이 있으며, 저항력 증가법은 말뚝, 앵커, 네일, 옹벽 등을 사용하여 이들 재료로 전단, 휨, 인장, 압축, 자중 등의 역학적 특성을 이용하는 방법이고, 활동력 감소법은 비탈면의 경사를 보다 완만하게 변경시키기 위해 사면 상부의 흙을 제거하는 깎기공과 사면하부에 흙을 쌓아 활동력을 감소시키는 압성토공을 들 수 있다.

(2) 식생공

식생공은 비탈면에 대해서 식생 피복을 실시하는 것이며, 그 목적으로는 우수 침식의 방지, 지표면 온도의 완화 및 뿌리로 표토를 묶어 동상 붕락의 억제 및 완화에 의한 미적 효과 등이다.

(3) 구조물에 의한 비탈면 보호공

구조물에 의한 비탈면 보호공은 일반적으로 다음의 경우에 실시한다.

(가) 식생이 부적합한 토질조건이나 표면이 불안정하여 녹화공법을 적용할 수 없거나 식생에 의한 보호공만으로는 비탈면의 안정이 유지될 수 없는 경우

(나) 비탈면 경사를 완만하게 해서 안정을 시키는 것은 경제적·지형적으로 바람직하지 못할 경우

(다) 급한 경사로 처리한 후 적절한 구조물로 비탈면을 안정시키는 것이 경제적인 경우

(4) 식생이 부적절한 토질조건과 환경인 경우에는 구조물을 이용한 비탈면 표면보호공법과 병행하거나 녹화보조방법을 병행하여 적용할 수 있다.

- 산성토양으로서 식생의 생육이 적합하지 않은 토양
- 비탈면 표층부가 불안정하여 유실이 쉬운 토질조건
- 비탈면 표층부의 경도가 높아 식물의 생육하지 못하는 토양
- 연·경암 조건의 암반
- 기상(기온, 강우, 일조량, 동결심도 등)이 취약한 곳

(5) 비탈면 보호공의 표준적인 공종과 주요 목적은 표 8.1에 표시한 것과 같다.

〈표 8.1〉 비탈면 보호공과 주요 목적

구분	보 호 공	주 요 목 적
식생공	씨앗 뿔어 붙이기공, 식생 매트공, 식생 줄때공, 줄때공, 식생판공, 식생망태공, 부분 객토 식생공, 목본류 식생공	식생에 의한 비탈면 보호·녹화, 구조물에 의한 비탈면 보호공과의 병용
구조물에 의한 보호공	콘크리트 블럭 격자공, 모르타르 뿔어 붙이기공, 블럭 붙임공, 돌 붙임공	비탈표면의 풍화 침식 및 동상 등의 방지
	현장타설 콘크리트 격자공, 콘크리트 붙임공, 비탈면 앵커공	비탈 표면부의 붕락 방지, 약간의 토압을 받는 흠막이
	비탈면 돌망태공, 콘크리트 블럭 정형공	용수가 많은 곳 부등침하가 예상되는 곳 또는 다소 튀어나올 염려가 있는 곳의 흠막이
	블럭 쌓기공, 돌 쌓기공	흠막이

(6) 비탈면 보강공

비탈면의 안정화를 위하여 적용하는 비탈면 보강공은 앵커, 록볼트, 네일, 억지말뚝 등이 있다. 앵커공은 비탈면 표면을 경사지게 천공하고 앵커체를 삽입한 후 그라우트를 주입하여 양생시킨 다음 반력부재를 설치하고 긴장력을 가하도록 설치하는 형태이다. 지반 정착방식에 따라 마찰형앵커, 지압형앵커 등으로 구분된다. 록볼트공은 소규모의 이완 암괴 탈락이 예상되는 구간을 보강하기 위해 적용하며 층리 및 절리가 발달된 암반 비탈면의 경우에는 암석 자체의 강도에 상관없이 절리의 방향성에 의해 파괴가 발생할 수 있으며 이 경우 록볼트는 암괴의 초기변형을 억제하고 암반을 보다 일체화시키는 작용을 기대할 수 있다. 네일공은 철근 등의 봉 형상의 보강재를 지반의 천공 구멍에 삽입하여 보강재의 인장력으로 비탈면을 보강하는 공법이다. 억지말뚝공은 활동토괴를 관통하여 부동지반까지 말뚝을 설치함으로써 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 전달시키는 공법이다.

8.2 비탈면 보호 및 보강공 선정

비탈면 보호 및 보강공의 선정에 있어서는 지형·지질이나 기후 조건, 보호공에 기대하는 효과를 충분히 파악함과 동시에 경제성·시공성 등을 고려한 최적 공법을 선정하도록 해야 한다.

- (1) 비탈면 보호공의 선정은 통상 기본설계 시, 실시설계 시, 시공 시 등 적어도 3개 시점에서의 검토가 필요하다.
- (2) 동일 비탈면 내에도 토질이나 용수의 상태가 반드시 일정치 않은 경우가 많아서 각각의 조건에 적합한 공종을 선택해야 하지만 가능한 한 유사한 공종을 선정하는 것이 바람직하다.
- (3) 비탈면 보호공의 공종을 결정함에 있어서 시험시공으로 사전에 동일 지질의 비탈에 여러 가지의 보호공을 실시하여 그 결과를 가지고 보호공을 선정하는 것이 중요하다.
- (4) 설계 시 녹화불량구간, 세굴구간의 정확한 선정이 곤란하므로, 상세설계 시 토사 유실 방지 대책공법을 녹화 면적의 5%를 설계에 반영하고, 시공 중 적용 구간 재검토 및 녹화불량구간은 시공 후 정산한다.
- (5) 비탈면 보강공은 지형·지질조건의 적합 여부와 경제성·시공성·자연환경 훼손 정도 등을 고려하여 결정해야 한다.

8.3 비탈면 보호공

8.3.1 식생공

- (1) 식생공은 시공 시기에 따라 공종이 다르고 또한 사용 목적에 따라 공종을 선정할 필요가 있으나, 원칙적으로 평떼공이나 씨앗 뽕어붙이기공에 의하는 것으로서, 시공면적이 적은 경우, 시공시기가 부적기인 때, 기타 평떼공이나 씨앗 뽕어붙이기공이 곤란한 경우에는 다른 식생공에 따른다.
- (2) 시공 적기 및 부적기는 다음과 같다.
- (가) 일평균 기온이 10 ~ 25 °C는 식생공을 위한 최적기이므로 어떤 공종도 가능하다.
- (나) 25 °C 이상은 고온 건조하여 해를 받기 쉬우므로 여름철 시공은 피하도록 한다.
그러나 공기의 형편에 따라 부득이 시공할 경우에는 건조의 해를 잘 받지 않는 공종이 바람직하다. 즉, 흙쌓기 비탈면에는 줄떼공 · 식생줄떼공 · 식생매트(mat)공이 가능하며, 땅깍기 비탈면에 대해서는 식생대공 · 부분객토 식생공 · 식생매트공이 사용될 수 있다.
- (다) 10 °C 이하에서는 동상에 의한 건조의 위험, 붕락 등을 일으키기 쉬우므로 동절기의 시공은 피해야 한다. 그러나 공기의 형편상 부득이 시공할 경우에는 씨앗의 탈락이 적은 식생매트공 등이 사용될 수 있다.
- (3) 때불임공의 시공 시기는 동절기(12 ~ 2월)를 제외하고 연중 가능하며, 3 ~ 4월, 10 ~ 11월이 적기이다. 씨앗 파종은 초여름(5 ~ 6월)이 파종적기이나 4 ~ 9월까지 가능하다.
- (4) 한국도로공사에서 발주 · 시행하는 모든 비탈면 녹화공사에는 기 시행된 각종 지침에 우선하여 “비탈면 녹화 설계 및 시공지침”을 적용해야 하며, “비탈면 녹화 설계 및 시공지침”에 명기되지 않는 사항에 대하여는 고속도로공사 전문시방서(한국도로공사) 및 조경공사 표준시방서(한국조경학회)를 따라야 한다.

식생공은 시공한 후 공용개시까지 일 년 이상을 경과할 것으로 예상되는 경우에는 사전에 매년 일 회 봄에 비료를 뿌리는 것을 고려하는 것이 바람직하다.

〈표 8.2〉 주요 녹화공법 개요 및 특징

구 분	세 부 공법명	적용 범위	시 공 개 요	특 징
때불이기	평 떼	토사	• 각종 공사의 토사 구간에 적합한 일반적인 공법으로 한국적인 기후 및 토질에 가장 적합한 공법 • 0.3 × 0.3 × 0.03 m 잔디를 땅깍기 · 흙쌓기부 전면에 붙임	• 식생완료 후 안정된 비탈면 형성 • 주변 자연환경과 조화 • 초장이 짧아 미관이 수려하고, 식생 천이에 유리 • 시공인력 과다 소요로 공기 불량
	줄 떼	토사	• 평떼와 같이 한국적인 기후 및 토질에 가장 적합한 공법으로 주로 쌓기면에 시공. • 1/2 줄떼, 1/3 줄떼 공법이 있음	• 식생완료 후 안정된 비탈면 형성 • 주변 자연환경과 조화 • 완전 피복 시까지 장기간 소요 • 완전 피복 전 강우 시 토양 유실 우려

구 분	세 부 공법명	적용 범위	시 공 개 요	특 징
보조공법 + 떼붙이기	P.E 블록	토사 리핑암	플라스틱을 원료로 한 합성수지를 여러 가지 형태의 격자형으로 제작한 제품으로서, 이를 비탈면에 연결되게 고정시켜 격자형 사이에 복토한 후 평평하게 시공하는 방법	- 다양한 칼라의 격자 사용 가능 - 시공 후 초기 미관 양호 - 연결부위 정밀시공이 요구됨. - 원지반에 활착되기까지 원지반과 복토 흙 사이 우수에 의한 유실 우려 - 시공비 고가
	Net 잔디 심기	토사 리핑암	정지된 비탈면에 면부직포를 깔 후 합성섬유의 Net 설치하고, 비탈면 보호 잔디판에 잔디를 식재한 후 고정못으로 비탈면에 고정시킨 다음 흙으로 보토하는 방법	- 재배잔디 사용으로 초기 미관 양호 - 급경사지 대단위 비탈면 시공 시 효과적 - 시공비 고가 - Net 설치에 따른 인장력 강화로 비탈면 보호에 적합
종자분사 파종공법	종자분사 파종공법 (seed-spray)	토사 리핑암	기계화 시공으로 종자와 점착제, 침식방지제, 비료, 색소 등을 물과 혼합 후 고압펌프를 사용하여 비탈면에 흩어붙이는 공법	- 공사비 저렴, 시공성이 뛰어남 - 현장여건에 따른 초종 선택 용이 - 우수 시 토양 유실 우려 - 건조 시 발아율 저조
	Verd YOL Seed-spray	마사토 리핑암	유기녹화 공법으로 식물에서 추출한 60여종의 유기물로 된 비탈면 침식방지제를 암분무기를 사용하여 비탈면에 흩어 붙이는 공법	- 비탈면 세굴 및 유실 방지 - 보온, 보습으로 식물의 조기발아 및 성장 촉진 - 시공성 용이 - 풍화암·리핑암 구간 시공 불량
거적덮기 공법	론생공법 (씨앗부착 거적덮기)	토사 리핑암	면 정리 후 식생용지에 종자와 비료를 점착시킨 후 벚짚을 입힌 기성제품으로 비탈면을 덮고 난 뒤 고정핀으로 고정시키는 공법	- 흡습, 보수력이 강하여 씨앗 발아 및 생장에 유리 - 시공성 용이 - 주변 자연경관과 조화 - 지면과 밀착되지 않을 경우 발아율 저조 - 강풍 예상지역 시공에 불리 - 재질이 약하고 토사 유실 시 비탈면 보호기능 미흡
종자분사 파종공법 + 거적덮기	Seed-spray + 거적덮기	토 사 리핑암	Seed-spray 실시 후 그 위에 짚으로 짠 거적을 비탈면 전체에 균일하게 덮고 고정핀을 거적 위에 설치하는 공법	- 흡습 및 보수력이 강하여 파종씨앗의 발아 및 생육에 유리 - 공사비 저렴, 강풍 예상지역에 불리 - 거적이 부식되어 잔디 성장에 필요한 양분 공급 - 재질이 약하고, 토사 유실 시 비탈면 보호기능 미흡
	Coir-mesh, Jute-mesh 등(Seed-spray + Net / Mat)	토 사 리핑암	- Seed-spray 실시 후 Net 및 Mat를 자연스럽게 비탈면 형태로 펼쳐 덮어주는 공법 - 인접한 부분을 200 mm 정도 겹치도록 시공 후 고정핀으로 고정	- 우수에 의한 표토 유실방지 - 수분 함유율 및 보습효과가 높아 발아 및 생육 양호 - 시공비 고가 - 건습 반복 시 Net의 수축에 의한 고정용 앵커핀 탈리 발생

구 분	세 부 공법명	적용 범위	시 공 개 요	특 징
	신식생 공법 (Green-Fix)	토 사 리핑암	- 비탈면 정리 후 Seed-spray로 종자 살포 후 식생공 Mat를 덮는 공법 20 ~ 30 mm 정도 중첩하여 깔아야 하며, m²당 3 ~ 4개의 고정핀 설치 - Mat 위에 약간의 흙을 덮어 지표면에 밀착시키도록 시공	- 보수성과 보비성이 뛰어나 발아 및 생육 양호 - 토양의 손상 및 유실 방지 - 유기질 분해로 토양 내 부식도 함량 증가 - 시공 편리 - 시공비 고가
식 생 기반재 취 공	객토 종자 뿜어 붙이기 (COMAT 공법)	토 사 리핑암	목질로 되어있는 코탄을 주재료로 종자, 시멘트, 톱밥, 비료, 물 등을 혼합하여 뿜어붙이기를 하여 유기질 매트 를 조성하는 공법	- 약간의 인공토 조성으로 조기 녹화 가능 - 현장 여건이나 토질에 따른 취부두께 조정 가능 - 시공성 양호 - 초종 선택이 용이 - 시공비 고가 - 건조기에 돌출 현상이 일부 발생하므로 발아 후 착근까지 살수 필요
	CODRA 공법	리핑암 경 압	암반에 직접 식물을 정착시키는 방법으로 식물망, 철망 등의 보조공법 필요 없이 단기 식물보조제와 종자를 합하여 10 ~ 20 mm 두께로 암반에 살포하는 공법	- 시공성이 좋음 - 다양한 초종 구성 가능 - 시공비 저렴 - 비탈면 낙석 방지 효과 없음 - 우기 시 유실 우려 - 경암지역 시공 시 효과 미흡
	SF분사 녹화공법	토사 리핑암	유기물과 점토를 함유한 식양토, 종자, 물, 양생제, 안정제 등을 혼합하여 뿜어붙이기를 하여 유기물 기반을 조성하는 공법	- 식물생육 최적의 토양 구조 형성 - 지속적 영양 공급에 따른 생장환경 조성 양호 - 목본류의 적극 도입에 따른 조기 수림화 가능 - 시공비 고가
	텍솔공법	토 사 리핑암	화학 원사인 연속장섬유를 설치·고정한 후 굵은 모래, 부엽토, 보습제, 접착제 등을 혼합하여 종자와 함께 60 ~ 100 mm 두께로 비탈면에 쏘아 붙이는 공법	- 비탈면의 요철 등에 구애받지 않음 - 기계화 시공으로 공기 단축 가능 - 종자 선택 용이 - 정밀 시공이 요구됨 - 비탈면 경사 60 % 이하에 적용 - 공사비 고가
	중비토 뿜어 붙이기 공법	리핑암 경 압	암절개지에 철망 설치 후 종자, 비료 등 유기물질 등을 혼합하여 고압분사기를 이용, 인위적으로 토양층을 강제 부착하여 녹화를 유도하는 공법	- 조기 녹화 가능, 시공이 빠름 - 초종 선택의 폭이 넓다. - 공사비 과다 - 우기 시 함수량 증가에 따른 단위 중량의 증가로 비탈면 붕괴의 원인을 제공할 가능성이 있다. - 건조 지속 시 식물체 고사

구 분	세 부 공법명	적용 범위	시 공 개 요	특 징
식 생 기반재 취 부 공 법	비탈면 녹화배토 습식공법 (ASNA 공법)	리핑암 경 암	• 암절개지에 철망 설치 후 종자 및 인조토를 배합하여 고압분사기를 이용, 인위적으로 토양층을 강제 부착하여 녹화를 유도하는 방법	• 조기 녹화 가능, 시공이 빠름 • 시공비 고가 • 망설치 및 취부 시간이 길다 • 영상 기온 유지 시 시공 가능
	PEC - I, II 공법 (poly- eco- control)	경질토 풍화토 풍화암	• 토사 및 암반에 철망 등 보조공법 필요 없이 천연재료인 PEC 특수식생 기반제와 토양안정제, 종자 등을 혼합하여 고압 분사기를 이용 비탈면에 3~5mm 두께로 취부하여 녹화하는 공법 • 유기물 기반 조성	• 약간의 인공토 조성으로 조기 녹화 • 시공성 용이 • 토양 침식이나 유실 방지 효과 양호 • 천연 소재 사용으로 환경 보호 • 토양의 입자와 입자를 중합체 형태로 엮어주어 통기성과 보습성, 식생보호 양호 • 다양한 초종 구성 가능
	PEC - III 공법	풍화암 리핑암	• 토사 및 암반에 철망 등 보조공법 필요 없이 천연재료인 PEC 특수 식생 기반제와 토양안정제, 종자 등을 혼합하여 고압 분사기를 이용 비탈면에 10mm 두께로 취부하여 녹화하는 공법 • 유기물 기반 조성	• 시공비 높음 • 기타 내용 PEC - I, II 공법과 동일
	실-그린 비탈면 녹화공법	경질토 풍화토 풍화암	• 뿌리 활착 및 정착성을 확보하기 위하여 섬유대망(암지역은 PVC 코팅철망을 사용)을 고정핀을 이용하여 부착 후 천연섬유질의 실과 배합토의 성질을 개량한 첨가제를 혼합한 후 그 배합토를 비탈면에 취부 (배합토+자생슬러지+제지슬러지+미생물생증식추진제) ⇒ 취부기 이용 취부)	• 경사지 시공성 양호 • 낙석 방지 효과 약간 기대 • 뿌리 활착, 정착력이 확보 가능 • 비탈면 유실 방지효과 • 시공비가 저렴
기 타	암반 비탈면 부분 녹화공법	리핑암 경 암	• 암반 비탈면에 소발파를 통하여 식혈 후 배양토로 뒷채움한 다음 강건묘목 식재 또는 혼합종자를 파종하는 방법	• 주변 자연환경과 조화 • 목본류의 적극 도입으로 조속한 자연 경관 형성 • 공사비 고가 • 시공 시 발파로 인한 비탈면 붕괴 우려 • 암반 부분 녹화로 인하여 전면 녹화 효과가 떨어짐
	덩굴식물 식재	리핑암 발파암	• 깎기부 옹벽 상단에 객토 시행 후 담쟁이 또는 등나무를 비료와 함께 식재하는 상향식 녹화공법(등나무의 경우 유인철선 필요)	• 시공비 저렴 • 주변 자연 환경과의 조화 양호 • 완전 피복 시까지 장시간 소요

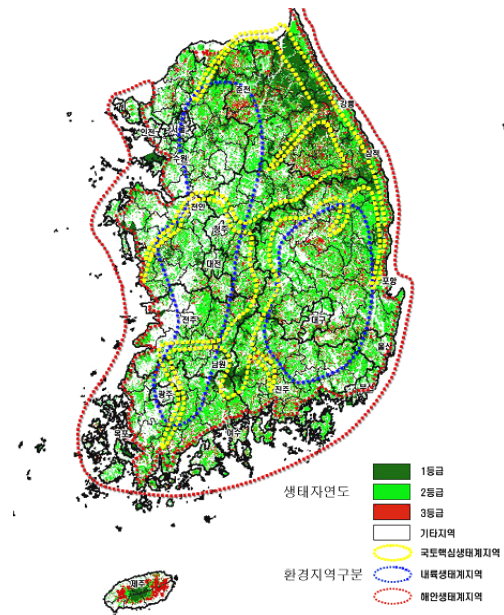
풍화토라도 화강풍화토인 경우 점착성분이 적어 우기 시 우수에 의하여 침식이 심하게 진행되므로 전문가의 자문을 구한 후 식생기반재를 취부하여 식생이 원활히 이루어 질 수 있도록 함이 바람직하다.

(1) 비탈면 녹화 설계 기준

(가) 환경녹화 지역 구분

비탈면 녹화 설계 및 시공 시에는 녹화 대상지역의 기후환경, 지역환경, 산림환경 등을 고려하여 그림 8-1과 같이 3개의 지역(태백산맥을 중심으로 한 국토핵심 생태녹지축 지역, 해안일대 도서지역을 포함한 해안생태계 지역, 내륙생태계 지역)으로 구분하여 시행한다.

환경녹화 지역 선정 시에는 국토환경성 평가도, 녹지자연도, 임상도, 식생도 등 보조자료를 함께 이용하여 정하도록 한다[환경지리정보 시스템(EGIS) 참조].

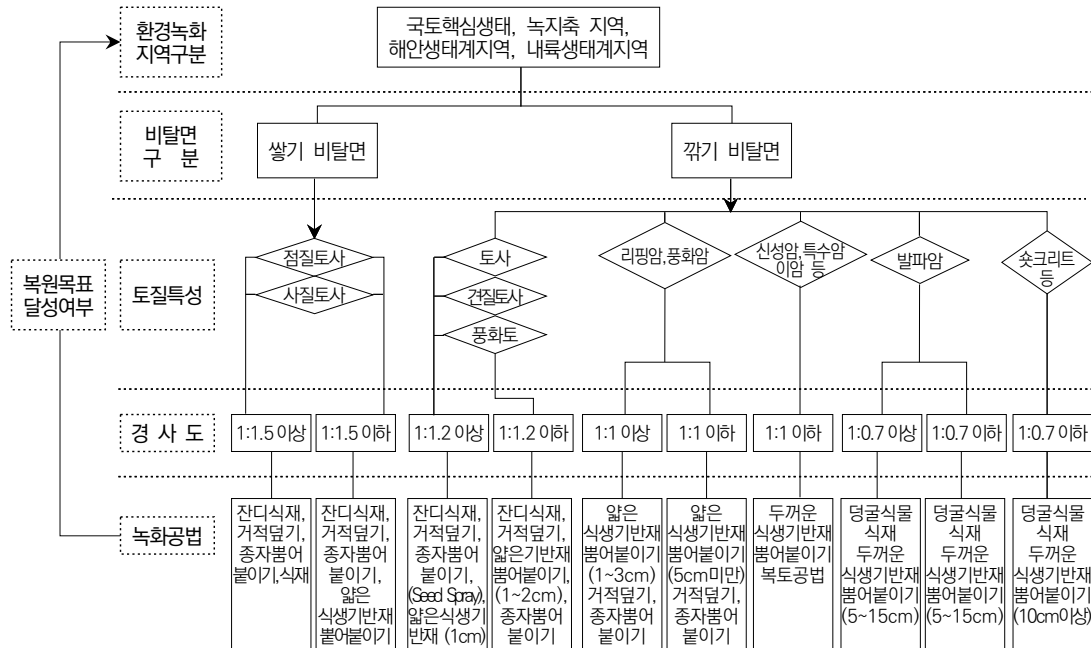


〈그림 8.1〉 환경녹화지역의 구분도

(나) 녹화공법 선정

- (1) 비탈면 녹화 설계 시에는 생태적으로 건전하고 지속적인 환경을 유지하기 위하여 자연환경, 토양 환경, 지질 및 토질(암질) 특성 등을 종합적으로 고려하여 이루어지도록 한다. 또한 설계 시 기본적으로 지역 환경의 선행조사, 분석, 평가 등의 절차를 거쳐 공법별 다양한 특성이 나타날 수 있도록 설계한다.
- (2) 비탈면 녹화 공법 선정 시에는 일반적이고 보편화된 녹화공법을 선정하여 설계에 반영하는 것을 원칙으로 하며, 특별한 사유 없이 특정업체 내지 특정공법으로 설계하는 것은 지양하도록 한다.
- (3) 용수가 발생하는 비탈면의 녹화 설계 시에는 배수시설을 함께 설계한다.
- (4) 비탈면 녹화공법 선정 시는 표 8.3의 흐름도를 기준으로 하여 선정한다.

〈표 8.3〉 비탈면 녹화공법 선정 흐름도



- (a) 종자분사 파종공법의 적용범위는 토사 구간을 원칙으로 하되, 리핑·풍화암 구간의 경우 종자분사 파종공법으로 녹화가 가능한 비탈면에 적용할 수 있다.
- (b) 종자분사 파종공법 적용 시 거적(Net) 덮기는 시행하지 않는 것을 원칙으로 한다.
- (c) 다만, 녹화대상지의 심각한 세굴피해가 예상되는 등 특별한 경우에는 거적(net)덮기를 추가로 시행할 수 있으며, 이 경우 수급인은 사전에 녹화대상지 현황 조사자료를 첨부하여 감독원의 승인을 얻어야 한다.
- (d) 식생기반재 취부공법은 인터체인지, 분기점, 휴게소 및 영업소 등 건물 주위, 터널(측면 포함) 및 시가지 구간 등 경관상 주요지역에 적용한다.
- (e) 다만, 본선 구간의 경우 경관상 주요지역이거나 자연적으로 식물이 자랄 수 없는 건조 척박한 토양, 견고한 점토질 및 균열절리가 심한 비탈면의 경우에는 적용할 수 있다.
- (f) 설계 시 토양의 화학적 특성을 확인할 수 있는 시험(유기물 함량, 전기전도도, 염기치 환용량, 전질소량, 유효태인산함유량)을 시행하여, 건조 척박한 토양 유무 결정하고 토양 정도 값 측정을 통해 세굴 예상구간 판단하여 녹화공법 선정해야 한다.
- (g) 토사비탈면의 경우는 토질 특성을 고려하여 녹화공법 표 8.4를 선정한다.

〈표 8.4〉 토질 특성 구체화를 통한 녹화공법

구분		녹화공법
토사 비탈면	쌓 기	• 보통 토사 : Seed-spray • 화강풍화토 등 세굴 예상구간 : EX-spray(형식-1) • 화강풍화토 등 세굴 예상구간이며 건조 척박한 토양 : EX-spray(형식-2)
	깎 기	• 보통 토사 : Seed-spray • 화강풍화토 등 세굴 예상구간이며 건조 척박한 토양 : EX-spray(형식-2) • 경질토사, 급경사(45° 이상) 구간 : 얇은 식생기반재 붓어붙이기(t = 1 ~ 3)

(다) 종자배합 설계

식물군락의 유형은 복원녹화 목표에 따라 국토환경성평가 등급별로 표 8.5와 같이 초본위주형·목본군락형·생물종다양성 복원형으로 구분하여 시행하되, 주변 환경·비탈면 토질(암질) 및 경사도 등을 고려하여 시행해야 한다.

〈표 8.5〉 국토환경성평가 등급별 복원녹화 목표

환경성 평가 등급		복원녹화 목표		
생태자연도	국토환경성평가도	초본위주형	목본군락형	생물종다양성복원형
1	1 등급(절대 보전지역)		○	○
	2 등급(상대 보전지역)		○	○
2	3 등급(완충 지역)	○	○	
	4 등급(소극적 개발지역)	○	○	
3	5 등급(적극적 개발지역)	○	○	
별도관리지역		○	○	○

- (a) 파종식물의 선정은 감독자와 협의하여 결정하되, 감독자가 공식인 경우와 전문가의 자문이 필요하다고 인정될 경우에는 분야별 전문가의 자문을 받아 결정한다.
- (b) 한국도로공사에서 발주·시행하는 모든 비탈면 녹화 공사의 종자배합 설계 시에는 표 8.6, 표 8.7에 명시된 배합비율을 준수해야 하며, 종자배합 비율에 따라 세부적인 배합량을 산정할 때에는 표 8.8에 제시된 예시를 참고하여 산출한다.
- (c) 종자배합 시 한 종류의 발생기대본수가 총 발생기대본수의 25% 이상이 되지 않도록 한다.
- (d) 종자 배합 시에는 재래종의 비율을 높게 하여 도입 초종에 피압당하지 않도록 해야 하며, 사후 유지관리를 고려하여 초장이 짧은 왜성종(Turf type) 품종을 사용해야 한다.
- (e) 생태계 보전지역, 자연환경 보전지역, 문화재 보호구역, 휴게소, 영업소, 시가지 구간,

인터체인지 및 분기점, 터널 입·출구부(측면 포함) 등 특별히 경관을 고려할 필요가 있는 지역에서는 야생초화류(별노랑이, 산국, 쑥부쟁이, 구절초 등)와 지역 고유의 자생종 종자를 전체 배합비율의 10 % 이상으로 혼합하여 사용할 수 있다.

- (f) 주변 식물군락의 유형에 따라 내음성이 강한 수종을 1종 이상 선정하여 사용할 수 있다.
- (g) 시거 장애 방지 및 효율적인 유지관리를 위하여 흙쌓기 비탈면 상단부(다이크 또는 L형 측구에서 6 m 이내 구간)에는 재래목본 종자를 사용하지 않아야 하며, 땅깍기 비탈면 전 구간에는 재래목본 중 키가 큰 교목류 종자의 사용은 피하도록 한다.

〈표 8.6〉 환경녹화지역별 녹화공법 종자 배합비율(%)

구 분		1 지 역 (국도핵심생태녹지축지역)	2 지 역 (해안생태계지역)	3 지 역 (내륙생태계지역)
초 본 위주형	재래목본	30 ~ 50 ¹⁾	20 ~ 50	15 ~ 40
	재래초본	40 ~ 70	30 ~ 70	30 ~ 65
	외래도입초종	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30
	합 계	100 ²⁾	100	100
목 본 군락형	재래목본	50 ~ 70	35 ~ 60	30 ~ 50
	재래초본	25 ~ 50	35 ~ 65	35 ~ 65
	외래도입초종	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15
	합 계	100	100	100
생물종다양성 복원형	재래목본	60 ~ 80	40 ~ 60	35 ~ 60
	재래초본	20 ~ 40	35 ~ 60	30 ~ 60
	외래도입초종	0	0 ~ 5	5 ~ 10
	합 계	100	100	100

주1) 숫자는 중량 배합 비율을 의미함.

주2) 종자 배합 시 외래 도입 초종의 중량 배합 비율을 우선 정한 다음 재래목본과 재래초본의 비율을 선정하되 외래도입초종 + 재래목본 + 재래초본의 합이 100이 되어야 한다.

〈표 8.7〉 종자 파종량 조건표 (식생기반재 취부공법)

식물종자		1 지 역 (국도핵심생태녹지축지역)	2 지 역 (해안생태계지역)	3 지 역 (내륙생태계지역)
얇 은 식생기반재취부공법	10 ~ 20 mm ¹⁾	20 g/m ² 이상 ²⁾	20 g/m ² 이상	20 g/m ² 이상
	30 ~ 40 mm	30 g/m ² 이상	25 g/m ² 이상	25 g/m ² 이상
두꺼운 식생기반재취부공법	50 ~ 100 mm 미만	70 g/m ² 이상	60 g/m ² 이상	50 g/m ² 이상
	100 mm 이상	100 g/m ² 이상	90 g/m ² 이상	80 g/m ² 이상

주1) 식생기반재 두께는 종자취부층과 생육기반층을 합한 것을 말한다.

주2) 종자파종량은 위의 조건표를 따르되 「비탈면 녹화 설계 및 시공 지침, 표 3.5 자연생태환경 복원목표별 식생생육판정 기준표」를 만족시킬 수 있도록 발아율이 우수한 녹화식물 종자를 사용하고, 특정 종이 전체를 우점하지 않도록 종자배합 설계를 적용해야 한다.

〈표 8.8〉 식물별 종자배합량 조건표 예시 (일반적인 종자분사 파종공법에 한함)

식물종자			지역	1 지역 (국도핵심생태녹지축지역)	2 지역 (해안생태계지역)	3 지역 (내륙생태계지역)
초본 위주형	재래 목본	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목		4.0	2.5	2.0
		낭아초, 싸리류 등 관목		7.0	3.5	2.5
	재래 초본	억새 등 새류		11.0	8.5	7.5
		비수리 등 일반초본류		7.5	7.0	6.0
		썩류 및 기타		0.5	1.0	1.0
	도입 초본	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등		0	2.5	6.0
	합 계			30 g/m ²	25 g/m ²	25 g/m ²
목본 균락형	재래 목본	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목		7.0	4.5	4.3
		낭아초, 싸리류 등 관목		9.0	5.5	5.0
	재래 초본	억새 등 새류		8.0	8.0	6.5
		비수리 등 일반초본류		5.5	4.7	4.5
		썩류 및 기타		0.5	1.0	1.0
	도입 초본	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등		0	1.3	3.7
	합 계			30 g/m ²	25 g/m ²	25 g/m ²
초화류 (추가 혼합)	봄	금계국, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 붓꽃류 등		0.6	0.6	0.6
	여름	금계국, 수레국화, 도라지 등		0.3	0.3	0.3
	가을	구절초, 산국, 벌노랑이, 썩부쟁이류, 벌개미취 등		0.6	0.6	0.6
	합 계			1.5 g/m ²	1.5 g/m ²	1.5 g/m ²

(라) 조기 녹화를 통한 개통 시 비탈면 유실 최소화

- (a) 비탈면 녹화 품질관리를 위하여 시공 시 설계에 반영된 공법을 포함하여 토질(암질) 특성을 고려하여 3개 이상의 공법을 적용한 시험시공을 한다.
- (b) 시험시공 전, 토양의 물리적·화학적 특성 분석을 반드시 시행하고, 분석된 토질 특성 분석으로 최적의 공법을 선정해야 한다.
- (c) 토성 분석 시행 결과 세굴 예상구간 및 건조 척박한 토양인 경우에는 ex-spray 공법을 포함하여 시험시공을 한다.

(2) 녹화용 재료 기준

(가) 종자

- (a) 비탈면 녹화에 사용하는 종자는 도입초본과 재래초본, 재래목본 및 초화류로 구분할 수 있으며, 각 종자는 반드시 품종별로 현장에 반입한 후 감독원 입회하에 현장에서 중량 배합하여 사용해야 한다.
- (b) 도입 초본류는 척박지에 잘 견디고 내건성이 강하며, 뿌리발달이 좋고 지표면을 빨리 피복하는 것이어야 한다.
- (c) 들잔디 종자는 2년 이내에 채취된 것으로 발아 촉진 처리된 것이어야 하며, 발아율 60 % 이상, 순량을 95 % 이상이어야 한다.
- (d) 도입초종은 병충해가 없고 발아촉진 처리된 것으로 발아율 80 % 이상, 순량을 98 % 이상이어야 하며, 종자조달계획서 제출 시 원산지 증명 및 품질보증서를 첨부해야 한다.
- (e) 재래초본은 발아율 30 % 이상, 순량을 80% 이상이어야 한다.
- (f) 재래목본은 발아율 20 % 이상, 순량을 50 % 이상으로서, 내건성·내한성을 갖추고 척박한 지역에서도 활착이 용이하고 생육이 잘되는 것이어야 한다.
- (g) 비탈면 녹화에 사용하는 모든 종자에 대하여는 사용 전·사용 중 각 1회 이상 공인연구기관에 발아율 테스트를 의뢰하여 그 결과를 감독원에게 제출해야 한다. 테스트에 사용하는 종자는 감독자 입회하에 현장에서 추출하여 사용해야 한다.

(나) 식생기반재

- (1) 식생기반재 취부공법에 사용하는 각종 식생기반재는 정부의 인·허가를 받아 필요한 생산시설을 갖춘 공장에서 생산된 제품으로 충분한 발효과정을 거친 제품이어야 하며, 토양 환경에 유해하지 않은 제품이어야 한다.
- (2) 식생기반재 뿔어붙이기 공법에 사용되는 토양 개량재는 다음과 같은 것들이 있다.

- (a) 무기질 토양개량재는 그 자체가 갖고 있는 물리학적 성질의 특성을 이용하여 토양에 물리적 변화를 가져다 주는 토양 자재의 개선 효과가 있어야 한다. 이 종류에는 규조토 소성립, 제오라이트, 버미큘라이트, 펄라이트, 벤토나이트 등이 있다.
- (b) 유기질 토양개량재는 동·식물의 잔해, 가축분 등의 다양한 재료가 사용되며 퇴비계의 자재가 많고, 이탄·부식산질자재·조개껍질·계껍질 분말 등이 있으며, 토양 자재의 유기성분의 개량 효과가 있어야 한다.
- (c) 하수 슬러지(sludge)는 다양한 과정의 탈수 과정을 거쳐서 생산되는 녹화토양 기반재로서 토양개량재로 쓰이는 경우는 카드뮴·비소·납 등의 중금속에 대한 품질시험 절차를 반드시 거쳐야 하며, 「유기성 오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토용 도로의 재활용 방법에 관한 규정(환경부 고시)」에 적합한 제품이어야 한다.
- (d) 식물 발생재는 주로 산림의 벌채·하역작업 등에 의하여 나무의 줄기, 가지, 낙엽 등이 발생되는데 이것을 분쇄하여 녹화공법의 유기질재료로 재활용하는 것을 말한다.
- (e) 피복재료는 식생기반재 취부 시에 종자 등을 피복하여 발아·생육을 돕고 장기적으로 비탈면의 침식 방지역할을 하는 재료를 말한다. 피복 재료에는 섬유류, 시트류, 매트류 등이 있다.
- (f) 보습재료에는 화이버, 수피제품 등이 있는데 이 재료는 주로 시공 후에 녹화공법의 수분유지 역할을 담당하여 종자의 발아 생육을 돕는 역할을 한다.

(다) 거적(net)

- (a) 비탈면 녹화에 사용되는 각종 거적(net)의 종류로는 뽕짚거적, 그린네트, Coir-mesh, Jute-mesh 등이 있다.
- (b) 거적(net) 시공 시 유의사항
 - 거적 시공 시 거적이 우수나 강풍 등에 의하여 흘러내리거나 필러이지 않도록 비탈 상부는 고정핀을 사용하여 단단히 고정한다.

- 거적을 시공할 때에는 비탈면의 위에서 아래로 길게 세로로 깔면서 양단이 50 mm 이상 중첩되게 시공해야 한다.
- 거적이 바람에 날리지 않도록 비탈면에 X자 형태로 각각 2 m 간격의 고정줄(녹화끈, 6 mm)을 설치한 후 2 m² 당 1개의 고정핀(ϕ 10 mm, L = 200 mm)으로 고정한다.
- 거적은 비탈면 세굴방지 및 종자분사파종 지역의 건조피해 방지를 위하여 설치하는 것으로 올라 올 사이가 촘촘해야 하며, 피복 후 지면이 노출되어서는 안 된다.
- 벧짚거적 제조 시 사용하는 벧짚의 양은 벧짚거적의 품질과 직접적인 관계가 있으므로 벧짚거적은 건조 상태가 양호하고, 전 중량 250 g/m² 이상, 피도 75 % 이상의 것이어야 한다.
- 거적 제조에 사용하는 엮음줄은 썩는 재질의 재료를 사용해야 하며, 엮음줄의 간격은 200 mm 이내이어야 한다.

(라) 피복재

- (a) 피복재는 침식방지안정제와 함께 토양을 결집시켜 자재의 유실을 방지하고, 식물의 착생이 용이하게 되도록 첨가하는 자재를 말한다.
- (b) 피복재는 피막을 형성하여 종자의 피복, 보습, 보비 및 보온효과를 갖추어야하며, 식물 생육 후 유기질비료로 이용될 수 있는 식물성 재료이어야 한다.
- (c) 피복재는 종자, 비료, 물 등과 함께 혼합하여 살포하는 방법으로 사용된다.

(마) 침식방지안정제 (합성접착제)

- (a) 침식방지안정제(합성접착제)는 피복재를 토양과 결집시켜 피복을 형성하는 접착제로 종자 · 비료 및 피복보호재의 유실 방지, 객토의 유출 및 침식방지, 토양수분의 증발 완화 및 표면건조 방지, 보온 효과 등의 목적으로 사용된다.
- (b) 침식방지안정제는 식물의 발아와 생육에 악영향을 주어서는 안 되며, 지속성이 풍부한 제품을 사용해야 한다.

(바) 비료

- (a) 비탈면의 토양은 유기물을 함유하지 않은 하층토인 경우가 대부분이므로 식생의 양호한 생육을 위하여 비료를 사용한다.
- (b) 종자 발아 시 초기생육을 왕성하게 하고, 활착이 완료되어 완전한 토양 결집을 이룰 때 까지 서서히 흡수되는 지효성 복합비료를 사용한다.

(사) 색소

색소는 염기성 색소로 균일한 살포를 유도하고, 햇볕 흡수를 통한 온도상승으로 살균효과가 있는 제품을 사용해야 한다.

(아) 기타

비탈면 녹화에 사용되는 재료 중 이 장에서 언급되지 않은 재료의 경우 한국산업규격(KS) 해당 제품규격에 적합한 것이어야 하며, 한국산업규격이 없는 제품의 경우에는 해당 자재의 품질을 증빙할 수 있는 자료를 사전에 제출하여 승인을 얻어야 한다.

(3) 녹화 단계별 검토사항

(가) 현장조사 및 수량 산출

- (a) 비탈면 녹화 계획 수립을 위한 현장 조사 시에는 해당 지역의 각종 환경 인자를 상세히 조사해야 한다.
 - 입지 인자 : 경사(°), 방위, 비탈면 길이(m), 비탈면 높이(m), 비탈면의 형태, 비탈면 위치 등
 - 토양 인자 : 토양산도(pH), 토양경도(mm), 토양습도(%), 암질 상태, 배수 상태, 유기물 함량(%), 토성 등
 - 기상 인자 : 연평균 기온(℃), 연평균 강수량(mm) 등
- (b) 수량 산출 시는 종 · 평면도를 이용하여 작성하고, 구간별 토질(암질)의 종류별로 구분하여 비탈면 면적으로 수량을 산출한다.
- (c) 비탈면 녹화 대상면적 조사 시에는 땅깍기 비탈면과 흙쌓기 비탈면으로 구분하여 세부 수량을 산출한다.
- (d) 땅깍기 비탈면은 토사 구간, 풍화암 및 리핑암 구간, 발파암 구간으로 구분하여 산출하되, L형 측구 상단 소단으로부터 산마루 측구를 지나 비탈면 라운딩 구간을 포함하여 산출하고, 비탈면 사거리로 면적을 산출한다.
- (e) 흙쌓기 비탈면은 쌓기부 길어깨에서 비탈면 끝단까지 산출하고, 라운딩 구간을 포함하여 비탈면 사거리로 면적을 산출한다.
- (f) 작성한 평면도에 지질별, 공법별로 측정별 경계선을 그어 면적을 산출한다.
- (g) 면적이 작은 동일 비탈면의 토질(암질)이 다를 경우 경관을 고려하여 면적이 가장 큰 하나의 공법으로 시행할 수 있다.

(나) 녹화공법 및 종자배합량 선정

- (a) 녹화 대상지역에 대한 현장조사가 완료되고 나면 조사 결과를 면밀히 검토·분석하여 기준에 따라 대상지 환경여건에 가장 적합한 녹화공법을 선정한다.
- (b) 녹화공법 선정 시에는 토목공사에서 시행한 암 판정 결과에 따라 적정 공법을 선정하는 것을 원칙으로 하되, 토공 암 판정 결과와 분야별 전문가의 현장조사결과가 상이할 경우에는 분야별 전문가의 조사결과에 따라 대상지 환경 인자에 가장 적합한 녹화공법을 선정하여 적용해야 한다.
- (c) 녹화공법이 선정되고 나면 종자배합 설계 기준에 따라 대상지 여건에 적합한 종자배합 비율 및 배합량을 산정하여 적용한다.
- (d) 현장조사 결과를 토대로 녹화공법 및 종자배합량이 결정되고 나면 비탈면 녹화 시행을 위한 설계서를 작성하여 발주한다.

(다) 자재공급원 승인

- (a) 비탈면 녹화공사 착공 후 시공에 앞서 수급인은 비탈면 녹화 공사에 소요되는 각종 자재에 대하여 자재공급원 승인 신청을 해야 하며, 감독자는 자재공급원 승인 신청서류를 검토 한 후 이상이 없을 경우에 한하여 승인해야 한다.
- (b) 자재공급원 승인 신청서에는 해당 자재의 공인 시험성적서, 생산업체 사업자등록증, 한국산업규격(KS) 인증서 사본, 카다로그(브로슈어) 및 기타 제품의 품질입증을 위하여 필요한 서류 등을 첨부해야 하며, 자재공급원 승인 신청 시 함께 제출하는 종자조달계획서에는 순량을 및 발아율 테스트 결과, 원산지 증명 및 품질보증서를 첨부하여 제출해야 한다.

(4) 주요 녹화 공법

(가) 종자분사 파종공법(seed spray)

- (a) 종자분사 파종공법에 소요되는 재료 사용량 및 장비의 적용 기준은 다음과 같이 적용한다.

〈표 8.9〉 종자분사 파종공법 재료 및 장비 적용 기준

구 분	규 격	단위	수량 (100 m ² 당)	비 고
종 자	혼합종자	kg	2.5 ~ 3.0	
비 료	복합비료	kg	10	
피 복 제	화이버, 펄프류	kg	12	
침식방지안정제	합성접착제	kg	6	
색 소		kg	0.2	
종 자 살 포 기	2,500 ~ 3,000 ℓ	시간	0.64	
펌 프	φ50 mm	시간	0.80	
트 력	4.5 t	시간	0.64	

※ 종자량은 환경녹화 지역별 배합량에 따라 조정

- (b) 종자분사 파종공법에 사용하는 물은 깨끗하고 오염되지 않은 물을 사용해야 한다.
- (c) 종자분사 파종공법 시공 전에 비탈면의 표면 잡석을 제거하고, 면정리를 해야 한다.
- (d) 파종면이 건조할 경우에는 종자의 발아를 촉진하고 분사물의 침투를 용이하게 하기 위하여 1 ~ 3 ℓ/m²의 물을 미리 살포한다.
- (f) 종자분사 파종공법 1 m² 당 소요되는 자재(종자, 피복재, 합성접착제, 비료, 색소 순)를 4 ℓ의 물에 혼합하여 살포기계를 이용하여 분사 파종하는 것을 표준으로 하며, 뿜어붙이기 후 섬유류(펄프 또는 화이버)가 종자크기의 2 ~ 3배의 두께로 파종지역에 골고루 피복되어 있어야 한다.
- (g) 종자분사 파종공법 시공 후 1개월 이내에 발아되지 않거나 전면에 균일하게 발아 되지 않고 일부만 발아되었을 때에는 처음과 동일한 방법으로 재파종해야 한다. 다만, 추계 파종의 경우에는 익년 춘계 발아 시 하자여부를 판정한 후 보수한다.
- (h) 시공 시기는 동절기(11월 ~ 2월)를 제외하고 연중 시행 가능하나 보통 봄(3월 ~ 6월), 가을(8월 ~ 10월)에 시행한다.
- (i) 씨앗이 비탈면의 한쪽에 치우치지 않도록 하기 위하여 탱크안의 각 재료를 잘 혼합한 후 녹화대상 비탈면에 균일하게 분사해야 하며, 분사공은 반드시 차량에서 하차하여 대상 비탈면을 자세히 살피면서 고르게 살포해야 한다.
- (j) 균일한 분사를 위하여 혼합된 재료를 녹화대상 비탈면에 일시에 한꺼번에 살포하지 말고 녹화대상 비탈면의 위에서 아래로, 아래에서 위로, 좌에서 우로, 우에서 좌로 이 동하면서 수차례에 걸쳐 반복하여 골고루 살포해야 한다.

(나) 거적(net) 덮기 공법

- (a) 거적 덮기 공법에 사용되는 거적의 종류에는 벚짚거적 · 그린네트 · Coir-net · Jute-net 등이 있으며, 거적덮기 공법으로는 론생공법(씨앗부착 거적덮기) · Coir-mesh · Jute-mesh · 신신생공법(green-fix) 등이 있다.
- (b) 거적은 종자분사파종 시행 후 또는 단독으로 시행하여 비탈면 녹화 · 세굴 방지 및 파종지역의 건조피해 방지를 위하여 설치하는 것으로 올라 올 사이가 촘촘해야 하며, 피복 후 지면이 노출되어서는 안 된다.
- (c) 거적 시공 시 비탈 상부는 거적이 우수나 강풍 등에 의하여 흘러내리거나 펄럭이지 않도록 고정핀을 사용하여 단단히 고정한다.
- (d) 시공할 때에는 비탈면의 위에서 아래로 길게 세로로 깔면서 양단이 50 mm 이상 중첩되게 시공하며, 거적이 바람에 날리지 않도록 비탈면에 X자 형태로 각각 2 m 간격의 고정줄(녹화끈, 6 mm)을 설치한 후 2 m² 당 1개의 고정핀(ϕ 10 mm, L = 200 mm)으로 고정한다.

〈표 8.10〉 고정핀 설치 기준

구 분	고정핀 설치 기준	비 고
규 격	ϕ 10 mm, L = 200 mm	
설치기준	1개 / 2 m ²	

- (e) 사용 벚짚의 양은 벚짚거적의 품질과 직접적인 관계가 있으므로 건조상태가 양호하고 전 중량 250 g/m² 이상, 피도 75 % 이상 이어야 하며, Net 제조에 사용되는 엮음줄은 썩는 재질의 재료를 사용하고 엮음줄의 간격은 200 mm 이내이어야 한다.

(다) 식생기반재 취부공법

- (a) 식생기반재 취부공법의 종류에는 CO-MAT 생태복원공법, CODRA 공법, 암비탈면 보호식재공, Soil Spray공법, 싱싱토 비탈면취부식재공, AGRON SOIL 녹화공, 금비토생태복원공법, SS녹화공법 시스템, Greenpol 녹화공법, Greenpol 암절면보호식재공, 자연생태복원녹화공법, 그린토암비탈면보호식재공, 대생토비탈면 환경녹화공법, SF분사녹화공법, 텍솔공법, 중비토뿔어붙이기공법, 비탈면녹화배토습식공법(ASNA공법), PEC- I, II, III, IV 공법 등이 있다.
- (b) 식생기반재 취부공법은 취부 두께에 따라 얇은 식생기반재취부공법(T = 10 ~ 40 mm)과 두꺼운 식생기반재취부공법(50 mm 이상)으로 구분하며, 식생기반재 두께는 종자 취부층과 생육기반층을 합한 것을 말한다.

(c) 녹화공법 및 재료 표준화

암 깎기 비탈면 녹화에 사용되는 각종 유사 공법 및 재료는 식생기반재 취부공법, 식생기반재로 표준화(단일화)하여 적용한다.

〈표 8.11〉 재료 표준

구 분	종 전	변 경	비 고
공 법 명	• 암절면보호식재공, 암비탈면보호식재공, 종비토 붓어붙이기, SF분사공법, 유기질토 취부공, CODRA공법 등	• 식생기반재 취부공법 (T = 10 ~ 150 mm)	
토양재료	• 녹생토, 배합토, 녹지토 등	• 식생기반재	

(d) 시공 두께 적용기준

〈표 8.12〉 적용대상별 시공 두께

시공두께	적 용 대 상 지 역	비 고
T= 10 mm	경사가 완만한 흙쌓기 비탈면	1 : 1 보다 완만한 지역은 철망설치 생략 가능
T= 30 mm	경사 1 : 1 이하의 완만한 땅깍기 비탈면	
T= 50 mm	경사 1 : 1 이하의 완만한 경질토 또는 자갈섞인 토사 지역	
T= 70 mm	경사 1 : 1 내외의 토사 · 점토 · 마사토 또는 호박돌 및 자갈 섞인 지역	철망 설치
T= 100 mm	경사 1 : 0.7 내외의 완만한 풍화암 · 연암지역 또는 보통암이 약간 혼재된 지역	철망 설치
T= 150 mm	경사 1 : 0.5 내외의 보통암 또는 경암지역	철망설치 경사 1 : 0.3 이상보다 급한 지역은 식생이 불량

※ 특기사항 : 대상지 환경조건 및 현장조사 결과에 따라 시공 두께 조정 가능.

(e) 시공두께별 재료 적용 기준

〈표 8.13〉 시공두께별 재료 적용기준

구 분	설 치 수 량(m ² 당)			비 고
	T=10 ~ 50 mm	T=70 ~ 100 mm	T=150 mm	
앵커핀 (φ16mm, L=300 mm)	-	0.23 개	0.46 개	매입깊이 : 200 mm
착지핀 (φ16mm, L=200 mm)	-	0.5 개	0.5 개	매입깊이 : 100 mm
부착망 (PVC 코팅, #10×58×58)	-	1.3 m ²	1.3 m ²	
철선 (PVC 코팅, # 8)	-	1.3 m	1.7 m	

※ 특기사항 : 1. 암질에 따라 Pin 설치 깊이 조정.

2. T = 10 ~ 50 mm의 경우 고정핀 및 보조망 등의 보조재료 없이 시공하는 것을 원칙으로 하되, 시공 대상 비탈면 현장여건상 보강이 필요할 경우에는 고정핀 및 보조망 설치 또는 장섬유 포함 등 보조재료 보강 가능.

3. T = 70 mm의 경우 시공 대상 비탈면 현장여건상 앵커핀(착지핀), 부착망 및 철선 등의 설치가 필요하지 않은 경우에는 해당 재료 삭제 또는 삭제 후 일부 재료(고정핀 및 보조망 설치 또는 장섬유 등) 보강.

(f) 식생기반재 제품기준

각종 식생기반재 취부에 사용되는 식생기반재는 상기 사항을 기준으로 사용 전, 사용 중 각 이상 유해물질 및 유효물질 분석을 공인 연구기관에 의뢰 실시한 후 사용해야 하며, 불량 자재 사용으로 인한 환경오염 사례가 없도록 조치해야 한다.

※ 성분시험방법 (pH : KS M 0011)

시험조건 : pH는 증류수 25 ml와 2 mm체를 통과시킨 시료 5 g을 1 : 5의 비율로 초자전극법으로 조사, 재료 용출시간 : 2시간, 온도 : 20 ℃

〈표 8.14〉 제품 기준

구 분		제 품 기 준	비 고
유해물질함량	비소(As)	50 이하	
	카드뮴(Cd)	5 이하	
	크롬(Cr)	300 이하	
	구리(Cu)	500 이하	
	납(Pb)	150 이하	
	수은(Hg)	2 이하	
	아연(Zn)	900 이하	
	니켈(Ni)	50 이하	
유기물 함량		15% 이상	
C / N 율		50 이하	
염분(NaCl)		1% 이하	
수 분		45% 이상	
입자크기		20 mm 이내	
pH		5.5 ~ 7.0	
부 속 도		환경부(안)	

- 유해물질 함량, C/N율의 단위는 건조중량을 기준으로 mg/kg임

(g) 시공 시 유의사항

- 식물의 자연 생육 곤란한 암비탈면에 일정한 품질로 제조된 식생기반재와 종자, 비료 등을 섞어서 조기에 경관적인 녹화와 생태적 복원 및 보전을 도모하도록 시공한다.
- 시공에 앞서 대상 비탈면을 정리하고, 주위의 잡석을 완전히 제거해야 한다.
- 시공두께는 비탈면의 경사, 암반조건 등 대상지 환경조건과 현장조사 결과에 따라

구분하여 적용한다.

- 암의 돌출부 및 수직, 역경사 비탈면은 무리한 시공을 지양하고 자연스럽게 노출시켜 주변경관과 조화를 이룰수 있도록 하며, 시공 면적에서 공제한다.
- 비탈면이 특히 건조되어 있거나 이물질이 붙어있을 때에는 살수를 먼저 시행한 후 시공한다.
- 식생기반재 취부공법에 사용되는 식생기반재는 충분한 발효과정을 거친 제품으로서 토양환경에 유해하지 않은 제품이어야 한다.
- 부착망이 비탈면 굴곡에 맞춰 고르게 펼쳐질 수 있도록 설치해야 하며, 요철이 심한 경우에는 오목한 곳에도 철망이 잘 설치되도록 주의하여 시공해야 한다.
단, 현장 여건상 부착망이 취부두께의 중간에 위치하지 못할 경우에는 각목 또는 스페이서 등을 사용하여 부착망을 설치해야 한다.
- 앵커핀($\phi 16$, L=300 mm) 및 착지핀($\phi 16$, L=200 mm) 설치를 위한 천공작업은 암비탈면에 수직으로 천공하는 것을 원칙으로 하되, 암반의 절리 발달 상태를 확인한 후 천공방향을 정한다(L은 철근의 전체길이를 의미함).
- 비탈면의 상단부는 철망을 지지할 수 있도록 앵커핀을 기준 깊이 이상으로 견고히 설치해야 하며, 철망이 겹치는 부분은 벌어지지 않도록 철선 및 앵커핀으로 고정시켜야 한다.
- 취부작업은 부착망 설치, 앵커 설치, 종횡선 설치, 착지핀 설치를 완료한 후, 감독원의 검측 후에 취부작업을 시행한다.
- 식생기반재 취부작업 시에는 식생기반재의 부착성 향상 및 양호한 발아환경 조성을 위하여 반드시 습식시공이 되도록 해야 한다.
- 시공두께 판정 시는 취부 표면적 100 m² 마다 4~5개소를 임의로 지정하여 검측하며, 총 검측 개소에 대한 평균값이 설계 두께 이상이어야 하고, 각 검측 개소에 대한 측정값의 최소 허용치는 설계두께의 80 % 이상이어야 한다.

(라) 화강풍화토 비탈면 녹화공법(ex-spray)

- (a) 화강풍화토와 같이 건조 척박한 토양, 세굴 우려구간의 비탈면 보호 목적으로 시공하는 종자 뿔어붙이기공법으로 침식 방지 성능이 검증된 침식방지안정제(식물섬유소)를 물, 비료 등 기타 재료와 혼합한 후 전용 에어스프레이 건을 사용하여 비탈면에 뿔어붙이는 공법이다.

〈표 8.15〉 EX-Spray 형식

구분	형식-1	형식-2 ¹⁾
침식방지안정제	식물섬유소 ²⁾ (천연접착제)	식물섬유소 (천연접착제)
비료	복합비료	복합+부숙유기질비료 ³⁾
분사방식	에어 스프레이건 (회전판+압축공기)	에어 스프레이건 (회전판+압축공기)
거적덮기	가능	필수

주1) 형식-2는 복합비료와 부숙유기질비료를 혼합하여 사용하는 형식으로 거적덮기 공법과 조합하여 시행해야 한다.

주2) 식물섬유소는 질경이에서 추출한 친수폴로이드 입자를 포함하며 물과 반응하여 겔(gel)화 됨으로써 토사 유실을 방지할 뿐만 아니라, 물을 흡수하면 약 30배의 수분보유와 팽창능력이 있어 화강풍화토와 같이 건조 찬박한 토양에서도 식물에 최적의 성장환경을 제공 할 수 있다.

주3) 부숙유기질비료는 농림축수산업 및 제조, 판매과정에서 발생하는 부산물, 인분뇨 또는 음식물류 폐기물을 원료로 하여 부숙 과정을 공급하여 안정적인 식생 생육기반을 형성할 뿐만 아니라, 비탈면의 피복효과를 증대시키는 장점이 있다.

(b) 분사방식

에어 스프레이건을 사용하여 분사하는 방법은 건(gun)의 몸체부에 회전판과 압축공기 공급부를 형성하여 점착성이 증가한 녹화재료를 분쇄·살포함으로써 비탈면에 균일하게 취부 할 수 있다.

(c) 시공 시 유의사항

- 종자뿔어붙이기는 1 m² 당 소요되는 자재(종자, 복합비료 또는 복합+유기질비료, 피복제, 침식방지안정제, 색소)를 5~6 ℓ의 물에 혼합하여 전용 에어스프레이 건을 이용, 뿔어 붙이는 것을 표준으로 한다.
- 시공시기는 동절기(11~2월)를 제외하고 연중시행 가능하며 3~5월이 시공최적기이다. 일평균 기온이 25℃ 이상일 때에는 고온 건조하여 활착에 장애를 받기 쉬우므로 여름철 시공은 가급적 피하도록 한다.
- 뿔어 붙이기 작업은 반드시 상부에서부터 먼저 시작해서 대상지를 면밀히 살피면서 골고루 살포해야 하며, 지형에 따라 상·하, 좌·우 여러 번 고르게 기준량을 살포하여 대상지 전체가 균일하게 피복되어야 한다.
- 거적덮기를 시공할 때에는 식생 피복층이 건조된 것을 확인한 후에 시공해야 하며, 뽕뽕거적이 바람에 날리지 않도록 비탈면 상·하부와 적정한 지점에서 핀으로 고정시킨다.

- 종자 뽐어붙이기와 거적덮기 작업 시, 기 시공된 부위가 훼손되는 일이 없도록 철저히 주의해야 한다.
- 뽐어 붙이기 작업 직후 식생 피복층이 흘러내린 구간은 수분이 건조 된 후에 보완 시공 해야 하며, 두껍게 취부 된 피복층이 비탈면 표면에서 분리 되었을 때에는 신속히 제거하고 재시공해야 한다.
- 식생재료 혼합 시 교반기에 물 · 종자 · 피복제 · 비료 순으로 투입하여 10분 이상 혼합한 후, 침식방지안 정제를 2 ~ 3회로 나누어 투입하고 충분히 혼합하여 뭉치지 않도록 해야 하며, 마지막에 색소를 투입하여 혼합한다.
- 종자 뽐어붙이기 시공 후 1개월 이내에 발아되지 않거나 전면에 균일하게 발아되지 않고 일부만 발아되었을 때에는 처음과 동일한 방법으로 다시 파종해야 한다. 단, 추계파종은 익년 춘계 발아 시 하자 여부를 판정한 후 보수한다.

8.3.2 구조물에 의한 보호공

(1) 돌쌓기공, 블럭쌓기공

돌쌓기공이나 블럭쌓기공은 1:1 이상의 급경사의 비탈면에 사용되며, 비탈면의 풍화 및 침식 등을 방지하고, 옹벽으로서 토압에도 충분히 견딜 수 있는 구조이어야 한다.

(가) 비탈 경사 및 뒷길이

비탈 경사 및 뒷길이는 표 8.16을 표준으로 한다.

〈표 8.16〉 수직 높이에 따른 경사와 뒷길이

구 분			수직높이(m)	0 ~ 1.5	1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0	5.0 ~ 7.0
경사	흙쌓기	메쌓기		1 : 0.3	1 : 0.35	1 : 0.4	1 : 0.45
		찰쌓기		1 : 0.25	1 : 0.3	1 : 0.35	1 : 0.40
	땅깎기	메쌓기		1 : 0.25	1 : 0.3	1 : 0.35	1 : 0.4
		찰쌓기		1 : 0.20	1 : 0.25	1 : 0.3	1 : 0.35
뒷길이 (mm)	메쌓기			250 ~ 350	350	35	35
	찰쌓기			250 ~ 350	300 ~ 350	35	35
	찰쌓기(+ 뒷채움)			300 + 50* = 350	(300 ~ 350) + 100* = 400 ~ 450	300 + 150* = 500	300 + 200* = 550

* 뒤채움 콘크리트의 두께

(나) 뒤채움 돌

(a) 흙쌓기의 경우에는 하부를 두껍게, 상부를 얇게 하고, 표 8.17을 표준으로 한다.

〈표 8.17〉 뒤채움 돌의 두께

구 분		수직높이(m)	0 ~ 1.5	1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0
두께(mm)	상 부		200 ~ 400	200 ~ 400	200 ~ 400
	하 부		300 ~ 600	450 ~ 750	600 ~ 1000

(b) 땅깍기의 경우에는 상·하부 같은 두께로 하며, 두께는 30 ~ 400 mm로 한다.

(c) 표준 단면

흙쌓기에서 돌쌓기공, 블럭쌓기공의 단면은 흙쌓기 재료에 따라 표 8.18을 표준으로 한다.

〈표 8.18〉 흙쌓기에서 돌쌓기공 및 블럭쌓기공의 표준 단면

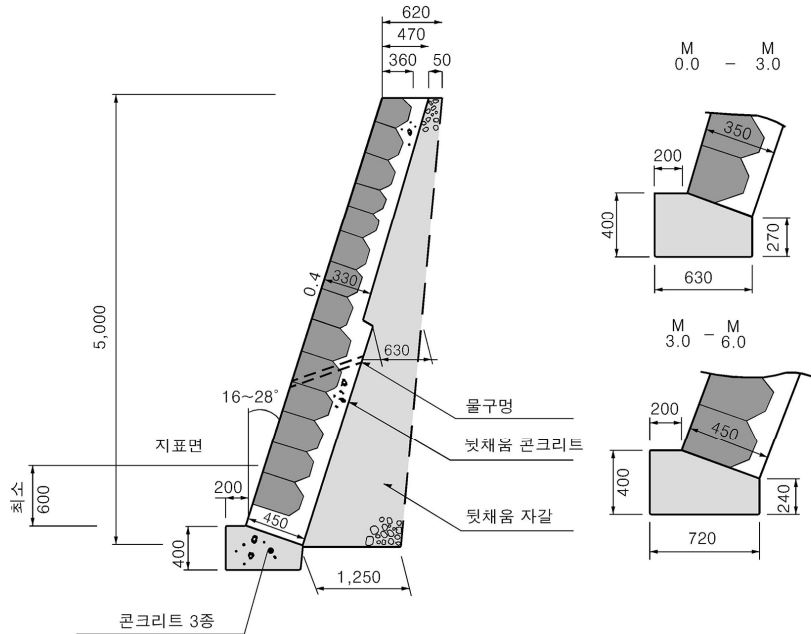
수직높이(m)	구분	흙쌓기재료	메쌓기·찰쌓기	뒷길이	뒤채움 돌(m)		뒤채움 콘크리트
					상 부	하 부*	
0 ~ 1.5		양 호	메쌓기	35	20	33	-
		보 통	"	35	30	45	-
		불 량	"	35	40	57	-
1.5 ~ 3.0		양 호	"	35	20	46	-
		보 통	찰쌓기	35	30	60	-
		불 량	"	35	40	74	10
3.0 ~ 5.0		양 호	"	35	20	63	15
		보 통	"	35	30	80	15
		불 량	"	45	40	99	15

주 *) 수직 높이 1.5 m, 3.0 m, 5.0 m인 뒤채움 돌의 하부 두께

돌쌓기공은 흙막이용, 비탈면 보호용으로 옛날부터 사용되어 왔으나, 최근에는 이것에 대신 해서 블럭쌓기공이 많이 사용되고 있다. 돌쌓기공, 블럭쌓기공은 경사가 1:1 이상의 급한 경우를 말하며, 그것보다 완만한 것은 돌붙임공, 블럭붙임공이라고 부른다. 석재의 종류는 호박돌·할석으로 하고, 크기는 250 mm(호박돌의 경우에만), 350 mm, 450 mm의 3종으로 한정한다.

흙쌓기의 경우 한계 높이는 7 m로 하며, 찰쌓기의 경우는 5 m, 메쌓기의 경우는 3 m를 표준으로 한다. 물구멍은 2 m²에 한 개를 표준으로 한다.

콘크리트 기초를 설치할 경우의 단면 치수는 그림 8.2의 값을 표준으로 한다.



〈그림 8.2〉 돌쌓기공의 표준단면

(2) 돌붙임공, 블록붙임공

돌붙임공, 블럭붙임공은 비탈면의 풍화 및 침식 등의 방지를 주 목적으로 해서, 비탈면 경사도가 1:1 보다 완만한 완경사 비탈면에 점착력이 없는 토사 및 허물어지기 쉬운 비탈면에 사용한다.

(가) 비탈경사의 뒷길이

돌붙임, 블럭붙임의 뒷길이는 비탈면 경사와 사용 목적에 따라 표 8.19의 값을 표준으로 한다.

돌붙임공, 블럭붙임공은 비탈보호공으로서 사용되는 이외에 비탈면 경사를 급하게 하여 용지의 절감이 필요한 경우, 오버브리지의 되메움 보호, 흩쌓기 교대 전면의 보호, 소규모의 비탈면 붕괴의 되메움 보호 등에서도 사용된다.

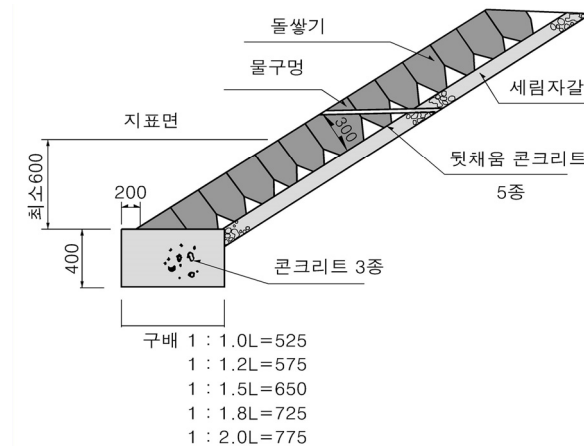
〈표 8.19〉 비탈면 경사와 뒷길이

(단위 : mm)

비탈면 경사 위치 및 공종	일반 비탈면 보호		특수한 곳의 보호, 육교(오버브리지)의 되메움 비탈면, 흙쌓기 교대의 전면 등	
	돌 붙임	블럭 붙임	돌 붙임	블럭 붙임
1 ~ 1.2	350 ~ 250 ¹⁾	350	350	350
1.2 ~ 1.5	350 ~ 250 ¹⁾	350	-	250
1.5 ~ 1.8	-	-	-	180 ~ 140
1.8 이상	-	-	-	140 이하

주 1) 돌붙임의 250 mm는 호박돌에서만 수직 높이 3 m 이하에 적용

돌붙임의 경우 석재의 종류는 호박돌·합석으로 하고, 크기는 250 mm(옥석), 350 mm로 한정한다. 콘크리트 블럭의 뒷길이는 일반적인 경우는 350 mm의 한 종류로 하고, 특수한 곳은 경사에 따라 표 8.19를 표준으로 한다(그림 8.3). 용수나 침투수가 있는 경우에는 뒤채움 돌 혹은 강자갈을 사용한다. 이 경우 뒤채움재의 두께는 200 mm 정도를 표준으로 한다. 메쌓기는 용수가 있는 곳에 적합하다. 비탈면이 높아지면 배가 나오게 될 위험이 있으므로 수직높이 3 m를 한도로 한다. 용수가 있는 높은 비탈면에서는 용수 되는 곳만을 메쌓기로 할 수 있다.



〈그림 8.3〉 돌붙임공의 표준단면

돌구멍은 2 m²에 한 개를 표준으로 한다. 평판 블럭은 육교의 하부나 흙쌓기 높이가 낮고 경사가 완만한 경우에 사용한다.

(3) 콘크리트 불임공

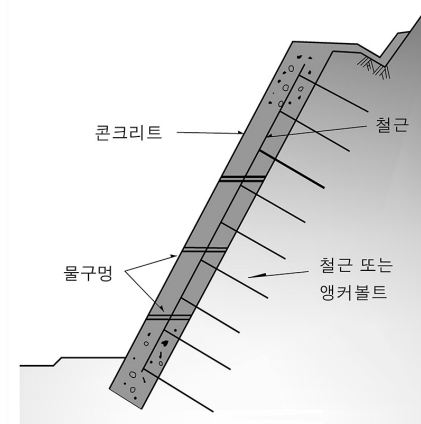
절리가 많은 암석이나 낭떠러지 등에서 붕락의 염려가 있는 경우가 사용된다. 장대비탈면이나 급경사의 비탈면에서는 철망, 철근을 넣음과 동시에 활동 방지를 위한 턱이나 앵커를 두는 것이 바람직하다 [그림 8.4(a)].

일반적으로 철근콘크리트 불임공은 1 : 0.5 정도의 경사, 무근콘크리트 불임공은 1:1 정도의 경사에 사용한다.

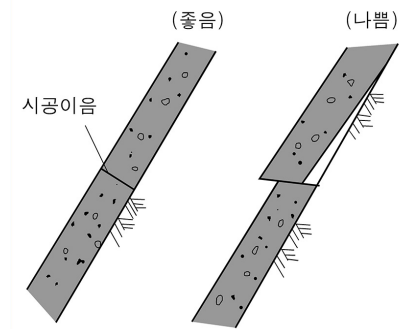
콘크리트 불임공은 찰쌍기와 같이 지표수가 암반 내로 침입하는 것을 방지하고, 풍화에 의한 비탈면의 붕락을 방지할 수가 있다. 따라서, 풍화의 원인이 되는 노출을 피하고 용수가 있는 경우 또는 장래 예상되는 경우에는 상황에 따라 배수구나 물구멍을 두는 등의 조치를 취하여 완전하게 처리하고, 상부가 암반에 잘 밀착하여 수밀한 시공이 되도록 하여 우수의 침입을 방지할 필요가 있다.

물구멍은 원칙적으로 2 m²에 1~2개의 비율로 설치하는 것으로 하며, 무근콘크리트 불임공은 최소 200 mm 정도의 두께가 필요하다. 또한, 시공이음은 비탈면에 수직이 될 수 있도록 설치해야 한다[그림 8.4(b)].

활동 방지를 위한 앵커는 1~2 m²에 한 개, 타입 깊이는 콘크리트 두께의 1.5~2배 정도를 표준으로 한다.



〈그림 8.4(a) 콘크리트 불임공(예)〉



〈그림 8.4(b) 콘크리트 불임공의 시공 이음〉

(4) 콘크리트 블럭 격자공

용수가 있는 땅깍기 비탈면, 장대 비탈면이나 표준경사보다 급한 흙쌓기 비탈면에서 상황에 따라 식생이 적합지 않는 곳, 혹은 식생을 실시하더라도 표면이 붕락할 염려가 있는 경우에 사용된다. 경사가 1:0.8 보다 완만한 비탈면에 사용하는 것이 좋다.

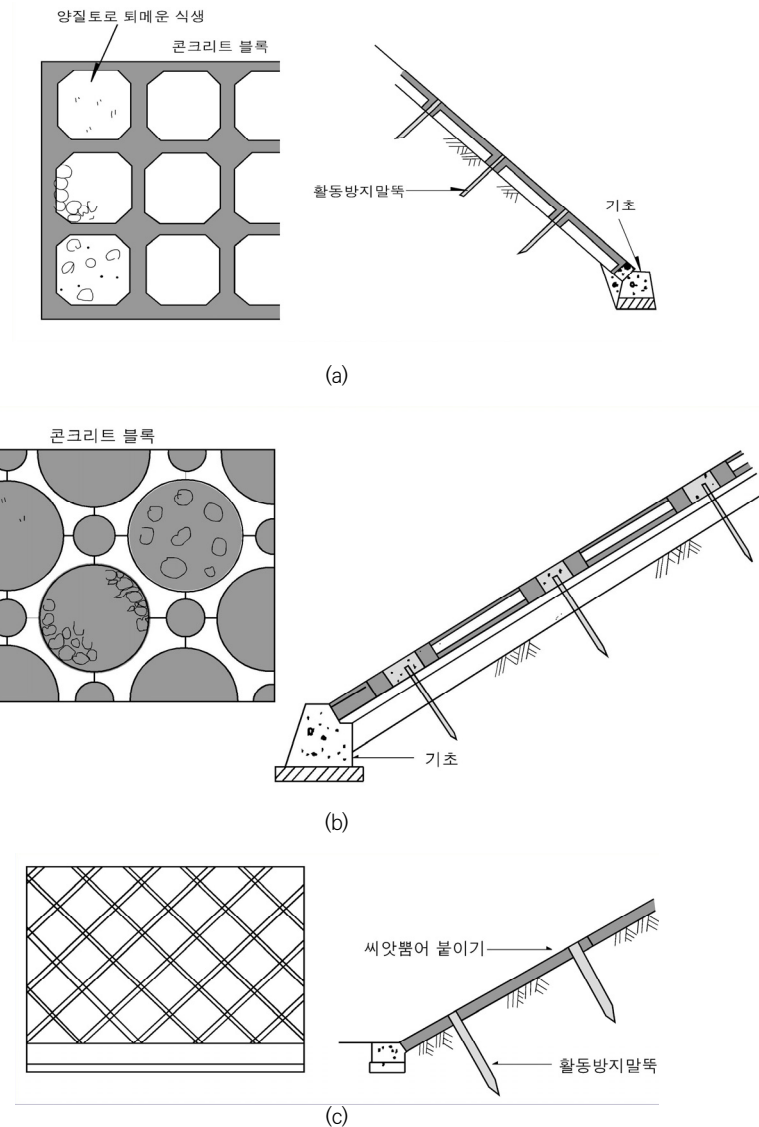
격자블록공법은 비탈면 표면 침식과 유실을 방지하고, 격자블록 내부의 채움토, 흙부대, 석재 등을 안정하게 보호하는 것을 목적으로 한다. 원칙적으로 토압에 대해서는 저항할 수 없는 것으로 간주하며, 미끄러짐이나 붕괴 등의 위험성이 있는 비탈면에는 적합하지 않다. 일반적으로 격자블록공법을 적용하는 조건은 다음과 같다.

- 강우 시 표면수에 의해 침식되기 쉬운 지반조건의 비탈면
- 규모가 큰 쌓기, 깎기 비탈면의 하부
- 안정화된 비탈면이 부분적으로 용수가 있는 경우
- 식생 도입이 곤란한 토질조건의 비탈면

격자블록공법은 자체구조의 안정성과 채움 재료의 이탈을 방지하기 위하여 적정 경사보다 급한 비탈면 경사에는 적용하지 않는 것이 바람직하다. 일반적으로 프리캐스트 격자블록의 경우 비탈면 경사도가 1:1.0보다 완만한 구간에 적용하고, 현장타설식 격자블록의 경우 비탈면 경사도가 1:0.8보다 완만한 경우에 적용한다.

격자블록공법을 연속적으로 적용하는 비탈면높이는 10 m 미만으로 제한한다. 만약 격자블록의 높이가 10 m 이상 되는 경우, 소단을 설치하여 연속 시공되는 높이가 10 m 미만이 되도록 하며 부재의 안정해석을 반드시 수행한다.

일반적으로 격자는 프리캐스트 제품으로서, 격자의 교점 부분에는 활동 방지 말뚝 혹은 철근 등을 설치해야 한다. 격자 내에는 비옥토로 되메움을 하고 식생을 하여 보호하는 것이 좋으나 많은 용수가 있는 경우 혹은 비옥토가 얻기 힘든 경우, 기타 식생만으로는 되메움 한 흙이나 용수가 유출될 염려가 있는 경우 등에는 잡석 등을 넣어서 보호한다. 이 경우 풍화한 돌이나 입경이 작은 돌은 안정상 좋지 않다[그림 8.5(a), (b) 참조].



〈그림 8.5〉 콘크리트 블록 격자공의 예

미관을 중요시할 경우에는 격자 사이에 씨앗 비옥토를 채우거나 씨앗뿔어붙이기공을 병용하며, 식생망태를 사용하여 녹화할 수도 있다. 용수가 특히 많은 경우에는 비탈면에 도수로를 설치할 필요가 있다[그림 8.5(c)].

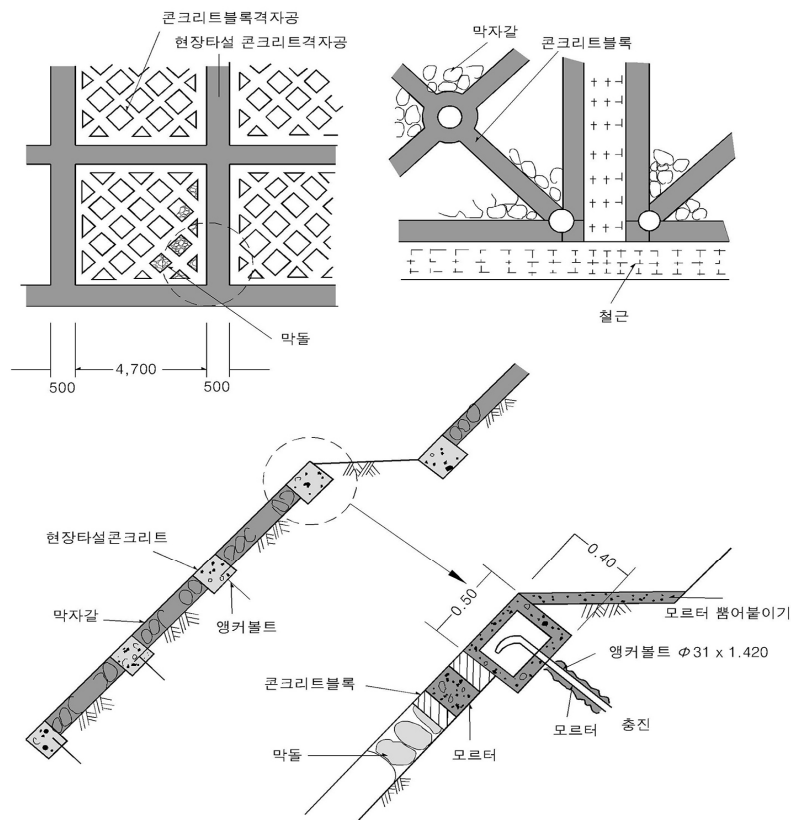
콘크리트 블록 격자에는 여러 가지 단면이 있으며, 그림에 표시한 단면은 한 예에 불과하므로 품질이나 경제성을 고려해서 적절하게 정해야 한다.

(5) 현장 타설 콘크리트 격자공

용수가 있는 풍화암이나 장대 비탈면 등에서 비탈면의 장기적인 안정이 염려되는 곳, 혹은 콘크리트 블록격자공으로는 불량할 염려가 있는 곳에 사용된다.

격자블록공법은 자체구조의 안정성과 채움 재료의 이탈을 방지하기 위하여 적정 경사보다 급한 비탈면 경사에는 적용하지 않는 것이 바람직하다. 현장타설식 격자블록의 경우 비탈면 경사도가 1:0.8 보다 완만한 경우에 적용한다. 현장 타설 격자블록의 연속적인 시공 높이는 20 m 까지로 하며, 부재의 안정해석을 반드시 수행한다.

격자는 철근콘크리트의 현장타설로써 용수처리를 충분히 실시하고, 격자 내에는 상황에 따라 찰쌍기식 돌붙임, 블록붙임, 콘크리트붙임, 식생 등으로 보호한다(그림 8.6).



〈그림 8.6〉 현장 타설 콘크리트 격자공의 예

암반 중에 균열이 많고 물이 침입해서 풍화를 촉진하든가 붕락을 일으킬 염려가 있는 경우에는 모르타르 뽐어붙이기 혹은 시멘트 밀크의 주입 등도 병용된다.

상황에 따라 격자의 교점부분에 활동 방지 말뚝이나 앵커를 설치한다. 격자는 비탈면에 박히도록 하는 방법과 비탈면 위에 설치하는 방법이 있다. 연약한 지반에 설치할 경우에는 콘크리트 기초

(6) 모르타르 및 콘크리트 뽐어붙이기공

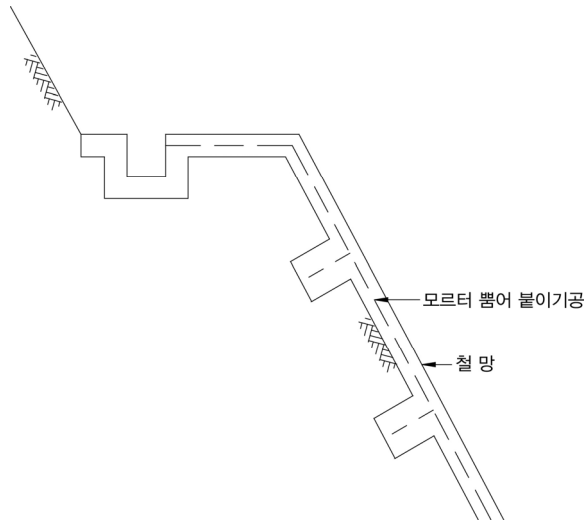
비탈면에 용수가 없고 당장 붕락의 위험성은 없으나 풍화되기 쉬운 암석 또는 풍화해서 박리될 염려가 있는 암석이나 호박돌이 섞인 토사 등에서 식생이 적당하지 않은 곳에 사용된다. 모르타르 뽐어붙이기공은 비교적 얇게 뽐어 붙일 경우에 사용하며, 콘크리트 뽐어붙이기공은 비교적 두껍게 뽐어 붙일 경우에 사용된다.

콘크리트 뽐어붙이기는 비탈면의 풍화 억제와 암반의 탈락을 막기 위해 적용하며, 일반적으로 적용하는 조건은 다음과 같다.

- (가) 비탈면의 경사 및 지반조건에 따라 적용 가능
- (나) 용수가 없고 암반 균열이 적은 곳에 적합
- (다) 넓은 면적에 암반의 탈락 및 소규모 붕락이 예상되는 곳
- (라) 급한 경사면에 요철이 심하고 바위가 돌출한 곳
- (마) 급한 경사면에 단층파쇄대의 풍화진행으로 움푹 패인 구간

콘크리트 뽐어붙이기는 비탈면 붕괴를 방지하는 목적으로는 적당하지 않으며 필요 시 비탈면 보강공법과 같이 적용할 수 있다.

비탈 표면의 형태, 경사 등에 관계없이 간단하게 시공할 수 있다. 일반적으로 뽐어붙이기 두께의 표준은 모르타르 뽐어붙이기공에서는 50 ~ 100 mm, 콘크리트 뽐어붙이기공에서는 100 ~ 200 mm이다(그림 8.7참조). 뽐어붙이기 두께는 비탈면의 상황과 기상 변화가 격심한 지역에서는 100 mm 이상의 두께가 필요하다.



〈그림 8.7〉 모르터 뽐어붙이기의 예

뽐어붙이기에 앞서 비탈 표면의 뜬 돌, 풍화층 등을 압축공기 등으로 완전히 털어낸 후 철망을 비탈면에 붙이고 앵커로 고정시킨다.

앵커는 모르타르 또는 콘크리트를 비탈면에 밀착시키고 또한 소요두께를 점검하기 위하여 필요한 것이며, 비탈면 형태에 따라 다르나 1 m^2 에 1~2개를 표준으로 한다.

뽐어 붙일 면에 다소의 용수가 있는 경우에는 물구멍을 만들어 적절한 배수처리를 해야 하며, 비탈면 용수가 많은 곳은 지하수 배수시설과 병행하여 적용한다. 또한 장래 붕괴의 원인이 될 뽐어 붙여지지 않은 노출된 곳을 남기지 않아야 한다. 또한, 경사가 급한 경우나 두께가 두꺼울 경우에는 활동 방지를 위하여 말뚝의 설치가 필요하다.

8.4 비탈면 보강공

8.4.1 앵커공

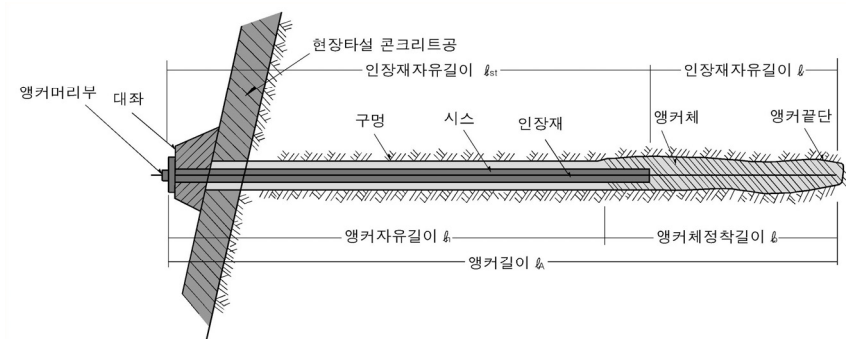
경암 또는 연암의 비탈면에서 암반의 절리 등이 있어 붕괴할 염려가 있는 경우나 불안정한 암반 비탈면의 안정을 꾀할 경우에 사용한다.

- (1) 앵커공은 단독으로 사용하는 것보다 현장 타설 콘크리트 격자공, 옹벽, 말뚝공 등과 병용시키는 경우가 많다.
- (2) 앵커공은 지지력을 구하는 방법, 안전성, 신뢰성, 내구력의 문제 등 미해결된 면이 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다.
- (3) 앵커의 종류는 앵커와 기반의 정착 방식에 따라 표 8.20과 같이 3 종류로 대별된다.

〈표 8.20〉 앵커의 종류

종 류	정 착 방 식	개 념 도
마 찰 형	앵커 주변면과 기초와의 마찰저항에 의하여 앵커 인발력을 기반에 전달한다.	
지 압 형	앵커의 일부 혹은 대부분을 크게 넓혀 뚫고 앵커체 수동토압으로 앵커 인발력에 저항한다.	
복 합 형	마찰형 및 지압형의 복합형	

- (4) 가장 일반적인 마찰형 앵커의 기본적인 구조와 각부의 명칭은 그림 8.8과 같다.



〈그림 8.8〉 앵커의 구조와 명칭

(5) 앵커 인장재에는 고장력이 작용하기 때문에 일반적으로 PC 강재(PC 강봉, PC 강선)가 사용된다.

(6) 앵커공의 설계에서는 다음 조건을 만족시킬 필요가 있다.

(가) 설계 앵커력은 극한 인발력을 다음에 표시한 안전율로 제한한 값 이하일 것.

(a) 가설구조물에 사용하는 앵커 1.5

(b) 영구 구조물에 사용하는 앵커

① 일시적인 하중(단기 하중)만을 받는 앵커 2.0

② 상시 하중(장기 하중)을 받는 앵커 3.0

또한, 극한 인발력이란 주로 지반의 조건으로 파괴가 발생하는 경우에 필요한 힘을 말한다. 안전율은 크리프 변형이 문제가 되는 지반이나 반복하중을 받는 경우에는 토질조건을 충분히 검토하여 결정해야 한다.

(나) 인장재와 주입재와의 부착응력도가 허용부착 응력도 이하일 것, 허용부착 응력도에 대해서는 철근 콘크리트의 부착강도를 고려하는 방법에 따르고, 이 경우 PC 강선 등은 이형철근으로, 보통의 PC 강봉 등은 환강에 준하는 것으로 한다.

(다) 인장재의 인장응력도가 다음의 두 식으로 구하여지는 허용인장응력도(σ_{ap}) 이하일 것.

$$\sigma_{ap} \leq 0.6\sigma_{up}$$

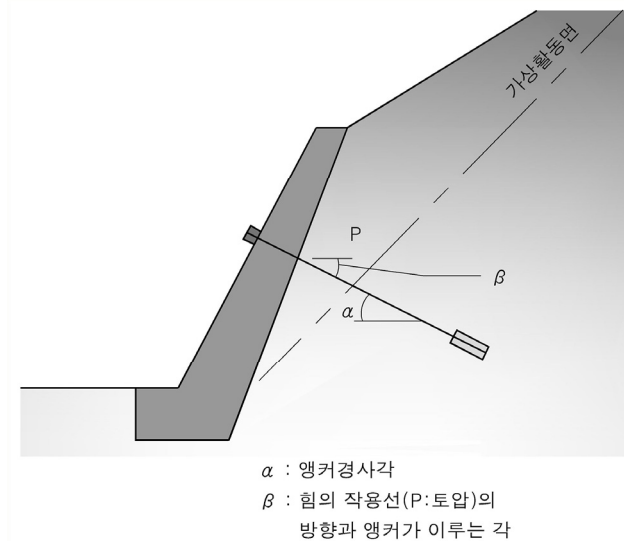
여기서, σ_{up} : 인장재의 인장강도

$$\sigma_{ap} \leq 0.75\sigma_{yp}$$

σ_{yp} : 인장재의 항복점 응력도

(7) 초기 인장력은 구조물이나 앵커의 종류·형상·재료, 지반의 성상 등에 따라서 변화받기 때문에 그들의 요인이나 앵커의 시험결과를 종합적으로 판단해서 결정하는 것이 중요하다. 초기 긴장력의 결정 시 고려해야 하는 사항은 앵커의 저항 개념, 긴장재 정착 직후의 긴장력 감소, 정착지반의 크리프, 긴장재의 릴랙세이션 등이 있다.

(8) 앵커는 가능하면 풍화가 진행되지 않은 기초에 정착시킨다. 또한 앵커는 추정 활동면보다 깊게 설치할 필요가 있기 때문에, 토질조사를 충분히 하는 것이 중요하다.



〈그림 8.9〉 앵커의 각도

(9) 앵커 각(α)은 일반적으로 그라우트 할 때에 물이 고여서 내력이 저하할 염려가 있기 때문에 $-10^\circ < \alpha < 10^\circ$ 는 피하는 것이 바람직하다. 또, 힘의 작용선의 방향과 앵커가 이루는 각(β)이 크면 역학적으로 불리하게 되기 때문에 일반적으로 $\beta \leq 45^\circ$ 로 하는 것이 바람직하다(그림 8.9 참조). 앵커체를 형성하는 주입재는 시멘트 그라우트 및 기타 시멘트 혼합재를 사용하며 그라우트는 필요한 강도와 내구성을 갖고 긴장재와 정착 지반과의 틈을 꼭 채울 수 있는 성질을 갖고 있어야 한다.

(10) 앵커공을 가설구조로 하여 이용하지 않는 경우는 인장 강재 및 앵커 머리에 방청 대책을 한다.

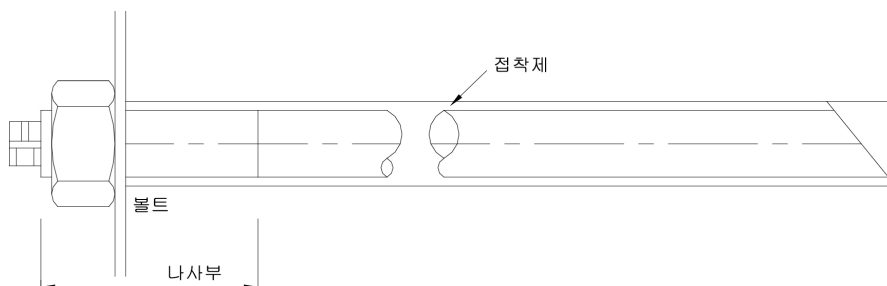
(11) 앵커체의 그라우트가 소정의 강도에 달한 후에 앵커 전 본수의 5% 이상, 또는 3본 이상에 대하여 인장시험을, 또 잔여 전 본수에 대해서 확인 시험을 하도록 한다. 인장시험은 설계 앵커력의 1.2 ~ 1.3배의 하중을, 또 확인시험에서는 1.0 ~ 1.2배의 하중을 최대하중으로 한다. 그라우팅 전에 시험 그라우팅을 실시하고, 주입압력, 젤타입, 주변 지반에 대한 영향 및 손실량 등을 파악한 후에 시공해야 한다. 그라우트의 혼합은 그라우트 믹서에 의하며 소정의 시간동안 혼합하는 것으로 하며, 이전의 그라우트가 완전히 배출된 후 주입해야 한다. 혼합된 그라우트는 90분 이내 주입해야 하며, 90분을 경과한 그라우트는 사용해서는 안 된다.

(12) 앵커의 초기 긴장 작업 이후에 시간의 경과에 따른 릴렉세이션 등이 발견되었을 시에 긴장력을 보정해야 한다. 앵커의 재긴장 또는 긴장력 저하 대비하여 긴장력 조정이 가능한 정착 두부구조를 가진 앵커를 사용하고 재긴장할 수 있는 여유길이와 재긴장 장치를 설치하며 여건상 불가할 경우 앵커가 아닌 다른 방식의 대책공법을 수립한다. 앵커 두부의 정착은 정착구에 의하여 정착 긴장력이 유지되도록 정확히 정착하며 정착은 적합한 인장재를 사용하여 긴장재의 공칭 파단하중 이상의 정착내력을 발휘할 수 있는 켄기 정착방식 또는 너트 정착방식을 사용해야 한다.

8.4.2 록볼트공

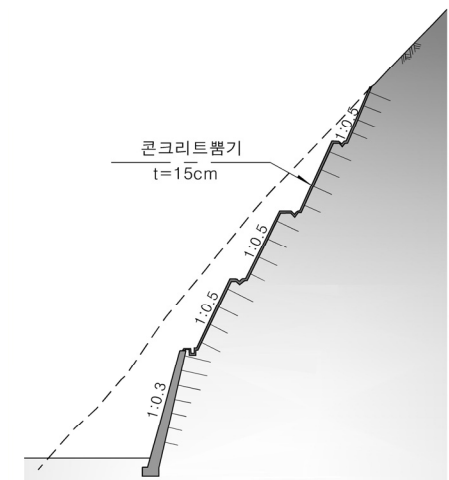
록볼트는 암반과 기암의 일체화 혹은 불연속면을 경계로 한 여러 층을 일체화하여 보강하는 것을 목적으로 사용한다.

- (1) 록볼트의 작용 효과는 부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 직접적인 원지반의 보강뿐만 아니라 간접적으로 원지반의 물성을 강화하는 효과도 있다.
- (2) 록볼트는 부식하기 쉽고, 강산성 토양 지반이나 변전소 부근 등 지중으로 흐르는 전류가 발생하기 쉬운 곳에서의 사용은 피한다.
- (3) 록볼트공은 일반적으로 암반 보강 기구에 의한 분류에서는 ① 접속식, ② 전면 접착식, ③ ① 및 ②의 병용식으로 나뉜다. 비탈면에 사용하는 경우는 전면 시멘트 접착형이나 전면 수지 접착형 등의 접착제를 사용하는 것이 광범위한 토질에 적용할 수 있다(그림 8.10 참조).



〈그림 8.10〉 전면접착식 록볼트

- (4) 록볼트를 사용하는 경우에는 비탈면 표면의 얇은 위치에 견고한 암반이 존재해야 한다.
- (5) 록볼트의 정착력을 정확히 추정하는 것은 곤란한 경우가 많기 때문에 사전에 인발시험을 실시하여 정착 범위를 확인하여 두는 것이 중요하다.
- (6) 록볼트는 보강이 필요한 부분의 상태 또는 규모에 따라 보강되는 부분의 안정성이 확보되도록 랜덤볼트 또는 패턴볼트형식으로 설계한다. 록볼트는 현장용접이나 이음재를 이용하여 연결되는 부분이 최소가 되도록 한다. 지반조건이 록볼트의 적용에 적합하지 않을 경우에는 가급적 적용하지 않아야 하며, 적용 시에는 각각의 적용 제한조건에 대한 보완방안을 고려한 후에 적용해야 한다.
- (7) 비탈면 록볼트공의 설계 예를 그림 8.11에 제시한다.



〈그림 8.11〉 비탈면 록볼트공의 설계 예

8.4.3 네일공

네일공은 이형봉강 및 강봉 등의 강재를 사용하여 비탈면의 파괴에 대한 안정성을 확보하는 공법으로 설계수명기간 동안 보강된 비탈면의 변형과 파괴, 네일 구성 요소의 파손이 발생되지 않도록 주의해야 한다.

- (1) 네일의 안정해석은 네일 보강 비탈면의 전체 안정성, 네일의 인발저항력, 그라우트와 보강재 사이의 부착력, 전면판의 설계 등을 고려하여 실시해야 한다.

(2) 네일로 보강된 비탈면의 안정해석에 적용하는 안전율 기준은 다음과 같다.

〈표 8.21〉 네일 보강 비탈면의 기준안전율

구분	검토항목		안전율
외적안정	네일로 보강된 비탈면의 전체적인 안정성		쌓기 및 깎기비탈면에서 적용하는 안전율 적용
내적안정	네일의 인장 및 전단	평상 시	2.0
		지진 시	1.5
	네일의 극한인발력	평상 시	3.0
		지진 시	2.0

(3) 네일의 내적안정해석

(가) 네일의 내적안정해석은 다음 내적파괴형태를 고려한다.

- (a) 네일 재료 자체의 파단
- (b) 파괴면 바깥쪽의 저항영역에 근입된 네일의 인발파괴
- (나) 네일의 내적안정해석에서는 각각의 내적파괴모드에 대하여 저항력을 구하고 이 값 중에서 최소값을 최대인발저항력으로 한다.
- (다) 네일의 전단저항력을 고려하는 경우에는 최대 인발저항력이 발휘될 때 네일 내부에 발휘되는 전단력을 최대전단력으로 한다.

(4) 네일 보강 비탈면의 안정해석

- (가) 네일 보강 비탈면의 안정해석방법은 파괴면에서의 네일에 의한 저항력을 고려하여 안정 해석을 실시한다.
- (나) 네일로 보강된 비탈면에서 발생하는 파괴면의 형태는 원호, 이중썰기, 단일썰기 등으로 가정할 수 있으며, 지반조건 및 하중조건에 따른 예상파괴 형태를 신중히 고려하여 해석에서 사용하는 파괴면의 형태를 결정한다. 기존 파괴된 비탈면인 경우는 실제 파괴형태와 범위를 고려하여 결정한다.
- (다) 파괴면에서 보강재의 저항력은 내적안정해석에서 계산한 인장력과 인발저항력의 최소값으로 하며, 휨이나 전단 저항의 역할이 확실하다고 판단된 경우에는 이를 고려할 수 있다.
- (라) 안정해석은 네일로 보강된 구간의 내부와 외부로 발생하는 모든 형태의 파괴형태에 대하여 안정하도록 네일의 길이와 간격을 조절하면서 반복적으로 수행한다.

8.4.4 억지말뚝공

억지말뚝공은 비탈면에 수직방향의 원형, H형 강재 등을 설치하여 활동 파괴력을 억지시키는 보강공법이다.

- (1) 억지말뚝의 안정해석은 억지말뚝 보강비탈면의 전체 안정성, 억지말뚝의 내적안정성 (모멘트, 전단), 수동파괴에 대한 안정해석을 고려하여 실시해야 한다.
- (2) 억지말뚝으로 보강된 비탈면의 안정해석에 적용하는 안전율 기준은 다음과 같다.

〈표 8.22〉 억지말뚝 보강 비탈면의 기준안전율

구분	검토항목	안전율
외적 안정	억지말뚝으로 보강된 비탈면의 전체 안정성	쌓기 및 깎기 비탈면에서 적용하는 안전율 적용
내적 안정	모멘트에 대한 안정성	2.0
	전단력에 대한 안정성	2.0
	수동파괴에 대한 안정성	2.0

(3) 억지말뚝의 허용단면력

- (가) 억지말뚝은 모멘트와 전단력으로 비탈면의 대규모 활동력에 저항하므로 휨강성이 크고 장기적인 내구성 및 부식에 저항을 가진 재료와 구조를 사용하며, 허용단면력은 말뚝의 항복응력, 전단강도 및 단면계수를 사용하여 계산한다.
- (나) 두 가지 이상의 재료를 사용한 합성단면의 억지말뚝은 각 재료의 변형특성과 면적비를 고려하여 저항모멘트와 전단저항력을 계산한다.

(4) 억지말뚝의 내적안정해석

- (가) 억지말뚝의 내적안정해석은 모멘트와 전단력에 대한 안정성을 검토하며 다음의 기준 안전율을 만족해야 한다.

$$\frac{M_n}{M_{\max}} \geq FS, \quad \frac{S_n}{S_{\max}} \geq FS$$

여기서, M_n : 저항모멘트

S_n : 전단저항력

$M_{\max}$: 억지말뚝내에 발생하는 최대모멘트

$S_{\max}$: 억지말뚝내에 발생하는 최대전단력

- (나) 억지말뚝 배면의 파괴토체가 횡방향 반력을 발휘하는 경우는 파괴면에서 최대전단력 ($S_{\max}$)이 발생한다고 가정하고 탄성지반상의 보에 대한 탄성값을 구하여 최대모멘트 ($M_{\max}$)를 계산한다.
- (다) 억지말뚝 배면의 파괴토체가 횡방향 반력을 발휘하지 않는 경우는 억지말뚝을 캔틸레버로 가정하고 탄성지반상의 보에 대한 탄성값을 구하여 최대 전단력과 최대 모멘트를 계산한다. 이때 최대 전단력과 최대 모멘트의 작용위치는 파괴면 하부에 위치한다.

(5) 수동파괴에 대한 안정해석

- (가) 억지말뚝은 말뚝주변지반의 수동토압으로 저항하므로 주변지반이 항복상태에 도달하는지 여부를 검토한다.
- (나) 안정해석은 말뚝에 작용하는 최대전단력보다 수동토압이 크면 안정한 것으로 간주하며, 다음 식을 만족해야 한다.

$$\frac{Q_p}{H_{\max}} \geq FS$$

여기서, Q_p : 억지말뚝 주변의 수동토압

$H_{\max}$: 말뚝의 최대수평력

(6) 억지말뚝 보강 비탈면의 안정해석

- (가) 억지말뚝 보강비탈면의 안정해석방법은 비탈면의 파괴형태에 따라 파괴면에서의 억지말뚝에 의한 저항력을 고려하여 실시한다.
- (나) 억지력은 말뚝의 전단저항력에 의해 발휘되는 것으로 간주하며, 억지말뚝의 설치방향과 파괴면의 방향을 고려하여 파괴면에 작용시킨다.
- (다) 억지력은 파괴에 저항하는 힘의 증가로 고려하며, 파괴활동력의 감소로 고려하지 않는다.

(7) 말뚝 간격과 근입길이

- (가) 억지말뚝의 설치간격은 말뚝사이로 파괴토체가 빠져 나가지 않아야 하고, 말뚝에 발생하는 최대모멘트와 최대전단력이 각각 말뚝부재의 저항모멘트와 전단저항력을 초과하지

않도록 결정한다.

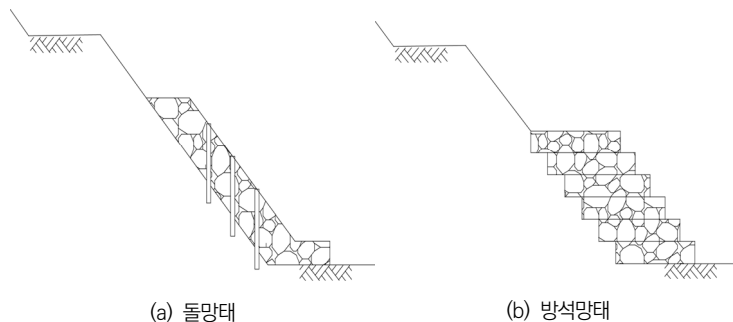
- (나) 역지말뚝은 파괴면 하부에 연직 및 횡방향 지지력이 확보되는 깊이까지 충분히 근입시켜야 한다.

8.5 기타 비탈면공

8.5.1 비탈면 돌망태공(gabion)

비탈면 돌망태공은 비탈면에 용수가 있어서 토사가 유출할 위험성이 있는 경우, 또는 붕괴한 곳을 복구할 경우, 동상으로 비탈면이 붕괴할 위험이 있는 경우, 흙쌓기 비탈면이 수로와 접하는 경우에 사용한다.

- (1) 돌망태는 일반적으로 호안, 교대, 교각의 세굴 방지나 비탈면에 용수가 많은 장소 등에 사용된다. 또한, 변형이 쉽기 때문에 동상 대책으로서도 유효하며, 한랭지의 비탈면공으로도 사용된다. 특히, 유속이 느리거나 수로 이설구 밑에는 시공성 및 경제성 측면에서 유리하다.
- (2) 돌망태를 차도에 가깝고 경사가 급한 곳에 사용할 경우는 장래 철선의 부식으로 인하여 돌이 떨어져서 낙하할 수 있기 때문에 충분한 주의를 한다.
- (3) 안정상 상당한 중량을 필요로 하는 경우는 방석망태를 하는 편이 좋다(그림 8.12).



〈그림 8.12〉 비탈면 돌망태 및 방석망태의 예

- (4) 참고로 돌망태의 형상 및 치수는 그림 8.13과 같다.

1) 보통돌망태



$D = 45, 60, 90\text{cm}$
 $L = 3 \sim 8\text{m}$

3) 자유돌망태



$H = 40, 50, 60\text{cm}$
 $W = 120, 180, 200\text{cm}$
 $L = 2 \sim 4\text{m}$

2) 방석돌망태



$D = 45, 60, 90\text{cm}$
 $H = 30, 40, 60\text{cm}$
 $L = 3 \sim 8\text{m}$

4) 평돌망태



$D_2 = 45, 60, 90\text{cm}$
 $D_2 = 30, 45, 60\text{cm}$
 $L = 3 \sim 8\text{m}$

5) 반원주돌망태



$H = 45, 60\text{cm}$
 $W = 100\text{cm}$
 $L = 3 \sim 6\text{m}$

〈그림 8.13〉 돌망태, 방석망태의 형상 및 치수

8.5.2 보강토 공법

보강토 공법은 지형 등의 제약을 받아서 흙쌓기나 땅깍기의 안정 비탈면 경사를 확보할 수 없는 경우에 비탈면을 보강할 필요가 있는 장소 또는 도시부에서 용지 보상비가 과다한 장소 등에 사용한다.

(1) 보강토 공법은 흙쌓기나 땅깍기 비탈면 내에 강재나 망 등의 보강재를 배치하여 보강재와 흙의 마찰력을 이용하여 파괴나 변형에 저항하는 공법이다.

주된 공법으로서 흙쌓기에서는 보강토 벽공법, 망에 의한 보강공법 등, 땅깍기에서는 철근 삽입에 의한 원지반 보강공법 등이 일반적으로 사용된다.

이들 방법은 설계법이나 내구성 등의 점에 해명되지 않은 점이 있어 이를 사용하고자 할 때는 충분한 검토가 필요하다.

(2) 보강토 옹벽 설계

(가) 보강토 옹벽의 안정 해석은 외적 안정 해석과 내적 안정 해석으로 구분하여 수행한다.

(a) 외적 안정 : 저면 활동, 지지력, 전도, 전체 안정성, 침하에 대한 안정성

(b) 내적 안정 : 인발 파괴, 보강재 파단, 보강재와 전면판의 연결부 파단

(나) 보강토 옹벽의 안정 해석에 적용하는 안전율 기준은 표 8.23을 적용하며, 지진 시는 지진하중을 고려하여 안정성을 검토하는 경우이다.

〈표 8.23〉 보강토의 설계 안전율

구분	검토 항목		평상 시	지진 시	비고
외적 안정	활 동		1.5	1.1	
	전 도		2.0	1.5	
	지지력		2.5	2.0	
	전체 안정성		1.5	1.1	
내적 안정	인발 파괴		2.0	1.5	
	보강재 파단	금속보강재	1.0	1.0	
		지오그리드	1.5	1.0	
		섬유보강재	1.5	1.0	

※ 전도안전율 : 국토교통부 기준

(3) 보강토벽의 설계에서는 아래 사항에 유의할 필요가 있다.

(가) 벽면의 높이는 15 m 정도를 한도로 한다.

(나) 물가의 보강토 벽, 보강토 교대는 원칙적으로 채택하지 않는 것으로 한다.

(다) 보강토의 안정을 확보하기 위하여 아래 사항을 검토할 필요가 있다.

(a) 보강재(strip)의 파단에 대한 검토

(b) 보강재의 인발에 대한 검토

(c) 보강토 전체의 안정에 대한 검토

(d) 지지 지반의 침하에 대한 검토

(e) 보강토 옹벽 상부 및 보강토 내의 구조물 설치에 따른 영향 검토

(라) 사용할 흙쌓기 재료는 내부 마찰각이 큰 모래 계통의 재료를 사용한다.

(마) 벽면재(skin)나 보강재(strip) 등의 부재는 소정의 강도나 품질을 갖는 것을 사용한다.

또한 벽면재나 콘크리트 부재를 사용하는 것을 표준으로 한다. 보강재의 인장강도 산정 시 크리프 감소계수는 표 8.24 기준 값에 따른다. 보강재의 길이는 $0.7H$ (H : 벽체 높이) 및 최소 2.5 m 이상, 수직 간격은 0.8 m 미만(최상단 위치는 표면에서 0.5 m 이내)로 한다.

〈표 8. 24〉크리프 감소계수

폴리머 종류	크리프 감소계수
폴리에스테르(PET)	2.5 ~ 1.6
폴리프로필렌(PP)	5.0 ~ 4.0
폴리에틸렌(PE)	5.0 ~ 2.6

(바) 보강토 벽의 안정에 문제를 일으킨 사례는 배수에 기인하는 것이 많으므로 설계 시 다음 사항에 대해서 충분한 배수대책을 세울 필요가 있다.

- (a) 보강토의 하중에 따라서 파괴나 큰 침하를 일으킨다고 생각되는 연약지반
 - (b) 계곡 등에서 집수 지형을 나타내는 장소나 대량의 용수가 예상되는 장소
 - (c) 중공업 지구나 강산성 토양 지반 등 부식에 관한 환경이 불량한 장소
 - (d) 변전소의 부근 등 지중 미전류가 발생하기 쉬운 장소
 - (e) 장래 보강토의 내부를 굴삭하거나 말뚝을 향타할 위험이 있는 장소
 - (f) 보강토 상면이나 내부에 큰 국부 하중이 작용하는 장소
 - (g) 기타 보강토의 장기 안정성에 문제가 예상되는 곳
- (사) 보강토 옹벽이 기 설치된 구간에 인접하여 파일을 향타할 경우 보강토에 미치는 진동 영향을 관리해야 한다.
- (a) 설계 : 보강토 옹벽의 허용 진동속도(0.5 cm/sec)에 따라 추정된 허용 진동 영향 반경 내(內)는 매입공법, 외(外)는 향타공법으로 설계한다. 진동속도는 현장지반 조건을 고려한 진동속도 추정식, 수치 해석 등을 이용하여 추정한다.
 - (b) 시공 : 가급적 파일 향타 후 보강토 옹벽을 시공하고 변위 발생 우려가 있는 경우 별도 대책을 강구하고 향타 시 허용 진동값 이내로 관리하도록 한다.
 허용 진동 영향 반경에 근접한 구간 말뚝향타 시 향타 지반조건, 보강토 옹벽 형식(높이, 길이, 전면 벽체 종류, 뒤채움 종류)을 고려 필요 시 계측 등 변위를 체크해야 한다.

- (c) 현장 계측 : 보강토 옹벽 전면 벽체에 경사계, 진동측정기를 설치하고 진동 속도 및 벽체 변위계 측을 시행해야 한다.
- (4) 망에 의한 보강토 공법은 불안정한 재료를 사용하는 높은 흙쌓기의 안정 대책으로, 비탈면 부근의 흙쌓기 내에 망 등을 포설하는 방법도 있다.
- (5) 땅깍기 비탈면 내에 철근 등을 삽입하여 원지반을 보강하는 공법은 불안정한 원지반의 강도 증가에 효과적이므로, 충분한 검토를 한 뒤에 채용한다.
- (6) 노선의 종단·평면 선형, 교량의 설계 시 경제성, 유지관리 등을 고려하여 보강토 옹벽 적용을 지양하고, 하천, 연역지반 등에서는 제외하는 것이 바람직하다.
- (7) 옹벽 높이에 따른 RC 옹벽과 보강토 옹벽의 경제성을 검토하여 적용한다.
- (8) 보강토 옹벽 상세 설계 시 구조 계산을 통한 상세설계를 시행하고 설계도면, 구조계산서를 수록하고, 시공 시 현장 여건에 따라 설계 변경이 가능하도록 세부공종별로 내역을 구성한다.