

발간등록번호

AN01145-000145-12

도로설계요령

제2권 토공 및 배수

2020

 한국도로공사

제2권

...

토공 및 배수

제5편 토공
제6편 배수시설
제7편 암거

제5편 토 공





4. 노 체

4.1 설계 기본사항

흙쌓기는 현장에서 발생하는 흙을 효과적으로 사용하여 장래에 받게 될 외력에 대하여 안정된 내구적인 흙 구조물을 구축하는 것을 목적으로 한다. 따라서, 흙쌓기 구조의 대부분을 차지하는 노체는 다음 사항을 충분히 고려하여 경제적인 설계가 되도록 해야 한다.

- 1) 흙쌓기부의 기초지반, 흙쌓기 재료의 특성 및 분포를 파악해야 한다.
- 2) 현장에서 발생하는 흙은 흙쌓기 위치의 검토, 함수비 조절 등 적절한 수단을 강구하여 최대한 효과적으로 사용해야 한다.
- 3) 흙쌓기 시공은 토질에 적합한 기계를 사용하여 다짐규정에 의한 작업이 이루어져야 한다.
- 4) 흙쌓기의 안정성 및 시공성 등에 크게 영향을 미치는 지하수 및 표면수에 대해서 충분한 조사를 실시하고 적절한 대책을 강구해야 한다.
- 5) 강우나 기온 등의 영향을 받기 쉬운 세립토(실트, 점성토 등)에 대해서는 토량 배분계획 및 시공 계획 시 계절을 충분히 고려해야 한다.
- 6) 흙쌓기의 안정 검토에서는 재해 사고나 붕괴가 생길 경우 인접지에 미치는 영향, 복구의 난이 및 안정계산 결과 등을 종합적으로 검토해야 한다.

4.1.1 기초지반 및 흙쌓기 재료의 특성 파악

노체 설계 시 흙쌓기부의 기초지반, 흙쌓기 재료의 특성 및 분포 등을 충분히 파악해야 한다. 즉, 적합한 흙쌓기 설계를 하기 위해서는 충분한 토질조사를 실시하여 토질의 파악에 노력할 필요가 있다. 그러나 지질상황은 복잡하고 설계에서의 토질조사로는 불충분한 경우가 많으므로 시공단계 초기에 시험시공을 실시하고 필요에 따라서 설계나 토량 배분계획 등을 변경하는 것도 중요하다.

4.1.2 현장 내에서 발생한 흙의 유용

최근에는 사토장 확보 및 순성토재 입수의 어려움 등으로 현장 내에서 발생하는 굴착토를

최대한 효과적으로 사용하여 사토량이 최소가 되도록 해야 하며, 다음 사항을 고려하여 가능한 한 유용하도록 해야 한다.

- (1) 안정과 침하발생의 문제가 되는 재료는 장애가 없는 곳에 사용한다.
- (2) 흙의 안정이 염려되는 경우에는 흙쌓기 비탈면 경사를 변경하거나 필터층을 설치하여 사용한다.
- (3) 흙쌓기 재료는 뒹 수 있으면 얇게 펴서 고른 후 충분한 방지기간을 두어 대기건조가 되도록 한다.
- (4) 현장 내에서 발생하는 양질토와 혼합하거나 시멘트, 석회를 혼합하여 차량 진입을 용이하게 한다. 또한 현장 내에서 발생하는 다음과 같은 흙을 유효하게 활용하도록 토량배분 등에서 고려할 필요가 있다.
 - ① 표토는 식생토에 사용
 - ② 투수성이 좋은 사질토 및 자갈 섞인 흙은 필터, 부설모래 등에 사용
 - ③ 전단저항이 크고 투수성이 좋은 암 및 역질토는 안정이 염려되는 흙쌓기에 사용

4.1.3 박층 포설 및 다짐

흙은 잘 다지면 치밀한 구조로 되어 강도·압축성 등의 성질이 향상하고, 외력에 대한 저항이 크게 되어 보다 높은 안정성을 갖는다. 흙쌓기부의 안정성을 장기간 확보하거나 완성 후의 노면에 악영향을 미치는 압축침하를 작게 하기 위해서는 토질에 적합한 시공기계를 사용하여 수평으로 박층 포설하여 균일하게 다지는 것이 중요하다.

4.1.4 지하배수 및 공사 중의 표면 배수처리

흙쌓기부의 비탈면 붕괴가 많은 것은 지하수·강우·폭설의 침투수 등에 의한 흙쌓기부 내 지하수위(간극수압)가 원인이고, 그 중에서도 계곡·습지부·경사지반 등의 용수처리가 큰 문제가 된다. 이 때문에 이러한 곳에서는 계절적인 용수 상황, 적절한 물의 이용 상황, 기초지반의 지층(투수층, 불투수층)상황 등 용수에 관한 정보를 파악하고, 적절한 지하배수공을 설계·시공할 필요가 있다.

한편, 공사 중의 표면수 처리는 흙쌓기부의 품질향상, 시공성의 확보, 용지 외로 토사·탁수의 유출방지 등이 아주 중요하므로 설계 및 시공계획 단계에서 다음 사항에 대하여 충분히 배려할 필요가 있다.

- 1) 비탈면 침식 또는 오수가 용지 외로 유출되는 것을 방지하기 위하여 배수시설을 완비한다.
- 2) 흙쌓기 각 층의 시공에 대해서는 4% 이상의 횡단경사를 설치하고, 매일 작업 종료 시에는 표면을 평탄하게 마무리하여 배수를 양호하게 한다.

4.1.5 기상과 토질

강우나 기온 등의 영향을 받기 쉬운 세립토(실트, 점토 등) 및 세립분이 많은 사질토는 장마철과 겨울에 시공성이 악화되고 차량의 진입이 문제가 되는 경우가 있어서 기상조건이 좋은 계절에 가능한 한 시공하도록 배려하는 것이 바람직하다.

4.2 흙쌓기 비탈면

4.2.1 설계 일반사항

흙쌓기 비탈면은 비탈면 경사의 선정, 소단의 설치, 식생토의 필요성, 비탈면 전압방법, 비탈면 배수처리 등의 기본적 사항을 충분히 검토한 후 설계한다.

비탈면 경사의 선정에 관해서는 흙쌓기 재료, 흙쌓기부의 기초지반 상황, 흙쌓기부의 지형적 위치 및 그 주위의 지형, 토질, 기상, 방재(특히 집중호우) 등을 충분히 고려한 후에 결정해야 한다.

4.2.2 흙쌓기 기본 구조

흙쌓기는 포장과 일체로 되어 원활한 주행성을 확보할 필요가 있다. 따라서 구조 검토 시 흙쌓기의 안정성을 확보함과 동시에 포장에 악영향을 미치게 하는 부등침하가 발생하지 않도록 충분히 유의해야 한다. 흙쌓기에서는 미리 배수대책이나 시공방법의 연구 등 적절한 대책을 강구해야한다. 이를 위하여 노상, 노체 등의 각 부분에 사용되는 흙쌓기 재료의 특성을 고려한 토량배분 및 다짐을 하는 것이 중요하다.

도로 흙쌓기의 일반적인 구조는 표 4.1과 같다.

4.2.3 흙쌓기 비탈면 경사

- (1) 흙쌓기 비탈면은 지반조건, 흙쌓기 재료, 다짐방법 및 비탈면 높이에 따라 그 경사가 달라지며, 소단상의 비탈면은 단일 경사로 시공하는 것이 합리적이다. 쌓기 비탈면 높이는 원지반 조건, 지형조건, 쌓기 재료의 특성, 주변 환경조건, 경제적인 여건을 고려하여 결정한다. 일반적으로 최대높이는 10 m 전후로 하고 안정해석과 제반 여건을 고려한 후에 더 높게 쌓을 수 있다. 비탈면의 최종 경사는 안정성 해석을 수행하여 결정하는 것이 바람직하나, 10 m 미만의 소규모 비탈면의 경우 과거 경험에 의거 설정된 표준경사를 적용할 수 있다.
- (2) 10 m 이상의 높은 흙쌓기 비탈면이나 배수조건 및 원지반 조건 등이 불량한 경우 현지 여건을 고려한 안정해석을 통하여 비탈면의 경사를 결정해야 한다.
- (3) 비탈면 경사를 급하게 하거나 지하수위가 높은 경우 등 필요 시에는 별도의 보강이나 지중 배수시설을 고려하여 안정성을 확보해야 한다.
- (4) 흙쌓기 비탈면의 경사는 표 4.2를 표준으로 하며, 표준경사와 다른 경우 또는 10 m 이상의 높이를 초과한 경우는 별도의 안정해석을 통하여 경사를 결정한다.
- (5) 표준경사 기준표는 기초지반의 지지력이 충분한 경우에 적용하며, 비탈면의 높이는 비탈어깨에서 비탈끝까지 수직높이를 말한다.
- (6) 경사도가 1:4 보다 급한 원지반 위에 쌓기를 하는 경우에는 원지반 표면에 층따기를 실시하여 원지반과 쌓기 지반과의 밀착을 도모하고 쌓기토체의 변형 및 활동을 방지하도록 해야 한다.
- (7) 한쪽깎기·한쪽쌓기 구간은 경계부에서 급격한 침하로 인한 단차가 발생하기 쉬우므로 깎기 구간과 쌓기 구간의 접속부는 점진적으로 경사지게 연속이 되도록 해야 한다.
- (8) 흙쌓기 비탈면은 비탈면 경사의 선정, 소단의 설치, 비탈면 녹화의 필요성, 비탈면 다짐 방법, 비탈면 배수처리 등의 기본적 사항을 충분히 검토한 후 설계한다.
- (9) 연약지반 흙쌓기 시에는 연약지반의 두께, 물리적·역학적 특성을 고려한 흙쌓기 전체 단면에 대해 안정해석을 실시하여 쌓기 속도 및 높이를 결정하여 안정적인 시공이 이루어지도록 해야 한다.
- (10) 쌓기재는 쌓기 대상물 특성에 적합한 재료 및 다짐 기준을 만족해야 한다.

〈표 4.1〉 흙쌓기 일반구조

분 류	개 요 도	특 징
표준 구조		일반적으로 가장 많이 이용 되는 구조
비탈면 피복 구조		<p>화강풍화토 등 비탈면 침식을 받기 쉬운 재료나 식생이 적당하지 않은 재료로 흙쌓기를 하는 경우</p> <ul style="list-style-type: none"> • 두께 30~500 mm의 피복토 설치구조 • 피복토를 기계 전압이 가능한 쪽으로 한 구조 • 덤프트럭 주행이 곤란한 연약토를 흙쌓기 하는 경우 등의 공사용 도로 경용 구조
호층 구조		<ul style="list-style-type: none"> • 점성토 등의 시공 장비 트래커빌리티나 흙쌓기의 안정이 문제가 되는 경우 암괴, 버력, 역, 사질토 등의 양질의 재료와 호층 시공하는 구조 • 비탈면 표층부에 수평배수재를 설치하여 흙쌓기 구조체의 안정성을 도모하는 구조
비탈면 끝단 강화 구조		지하수, 용수가 풍부한 장소나 강우 등에 의하여 비탈면 끝단부가 안정하지 않은 경우 지하배수공을 설치함과 동시에 비탈면 끝단부에 투수성 재료를 시공하여 흙쌓기 구조체의 안정성을 도모하는 구조

〈표 4.2〉 흙쌓기 비탈면의 표준경사

쌓기 재료	비탈면 높이 (m)	비탈면 상·하부에 고정 시설물이 없는 경우 (도로, 철도 등)	비탈면 상·하부에 고정 시설물이 있는 경우 (주택, 건물 등)
입도 분포가 좋은 양질의 모래, 모래자갈 암괴, 암버력	0~5	1:1.5	1:1.5
	5~10	1:1.8	1:1.8~1:2.0
	10 초과	별도 검토	별도 검토
입도 분포가 나쁜 모래 점토질, 사질토, 점성토	0~5	1:1.8	1:1.8
	5~10	1:1.8~1:2.0	1:2.0
	10 초과	별도 검토	별도 검토

4.2.4 소단

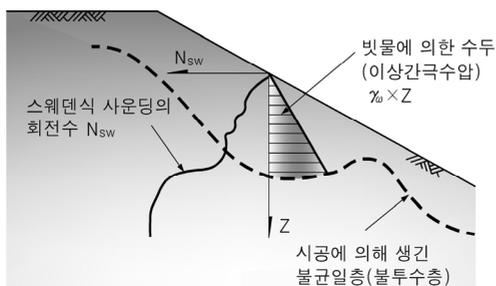
흙쌓기 높이가 5 m 이상인 비탈면에서는 비탈면의 중간에 원칙적으로 소단을 설치하도록 한다. 이 경우 토질에 따라서 비탈 어깨로부터 수직 거리 5 m 마다 설치하고, 폭은 1.0 m를 표준으로 한다. 대규모 쌓기비탈면에는 10 m 높이마다, 대규모 깎기비탈면은 10 m마다 기본적으로 소단배수구를 설치하며, 비탈면 지반조건, 지반상태, 통수거리 등을 감안하여 소단배수구를 추가로 설치할 수 있다 단, 타시설의 설치 장소로 이용하는 경우, 장비 진입 등과 같은 작업 공간 확보가 필요한 경우 및 안정해석상 필요한 경우에는 소단 폭을 여건에 맞게 조정해야 한다.

소단은 흙쌓기의 안정성을 높이고 비탈면에 흘러내리는 물의 유속을 늦추는 한편 우수의 집수면적을 줄여 심각한 침식을 사전에 방지하기 위하여 설치한다. 소단 설치의 높이 및 폭은 유지관리용 통로, 작업대 기능, 비탈면 보호공의 기초 설치를 위한 여유 및 배수시설 등을 고려하여 필요한 폭으로 확장할 수 있다.

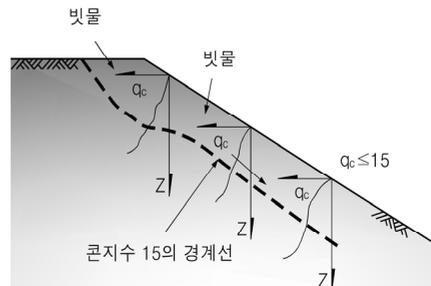
4.2.5 흙쌓기 비탈면의 시공

흙쌓기 비탈면은 흙쌓기 본체와 동시에 대형 다짐기계를 사용하여 균일하게 다짐하는 것을 원칙으로 한다.

흙쌓기는 비탈면의 표층부의 다짐이 특히 중요하다. 흙쌓기 본체는 중량이 큰 다짐기계 등을 사용하여 수평으로 다짐할 수 있지만 비탈면 끝 부분은 다짐이 불충분하게 되기 쉽기 때문에 주의를 요한다. 또한, 비탈면 표층부의 다짐이 불균일하게 되어 강우 등으로 인한 이상간극수압 발생 시 비탈면 붕괴를 초래하는 경우가 있다(그림 4.1 참조).



〈그림 4.1(a)〉 비탈면 표층부 간극수압의 변동



〈그림 4.1(b)〉 흙쌓기 비탈면의 다짐 상황

이러한 붕괴를 방지하기 위해서는 비탈면 표층부의 시공은 흙쌓기 본체와 동시에 대형다짐기계를 사용하여 균일하게 다짐해야 한다.

(1) 비탈면의 다짐

① 불도저 등에 의한 비탈면의 다짐

이 방법은 흙쌓기의 전폭은 1층마다 다짐하고, 1~3층 올라갈 때마다 불도저 등으로 비탈면을 상하로 주행시켜서 비탈면을 다지는 시공 방법이다.

② 인력과 소형 기계에 의한 비탈면의 다짐

소규모 비탈면, 구조물 뒤채움 등은 인력 시공에 의한 경우가 많다. 이 시공방법은 흙쌓기 본체를 구성한 후 비탈면에 흙을 보충하면서 진동 램머, 진동 평판, 진동 로울러 등의 소형 다짐기계를 사용하는 공법이다.

③ 흙쌓기 폭보다 넓게 완성하고 후에 굴착·정형하는 방법

이 방법은 흙쌓기 폭 보다 여유 있게 흙을 쌓아 다짐이 불충분한 흙쌓기 단부를 드래그라인, 트럭 쇼벨로 절취하여 정형하는 시공방법이다. 이 시공법은 흙쌓기 용지 폭이 여유가 있는 경우, 부체도르가 있는 경우 등에 효과적인 방법이지만 너무 많이 절취하지 않도록 주의해야 한다.

(2) 암성토의 비탈면 마무리

(1)에 의한 방법으로 비탈면 다짐을 할 수 없는 암성토의 비탈면 마무리는 암괴가 비탈면으로부터 굴러 떨어지지 않도록 트럭 쇼벨 등을 사용해서 암괴를 안정된 위치로 이동시키고 충분히 두드려 마무리할 필요가 있다.

(3) 비탈면 시공 시 주의사항

① 비탈면 붕괴는 비탈면 표층부의 불균일한 다짐에 의한 것 외에 배수공의 수로 경사가 급변하는 곳에서 유수에 기인하는 것, 종단선형의 오목부, 땅깍기·흙쌓기 경계부, 구조물과의 접촉부, 경사지반상의 흙쌓기, 투수성이 큰 노체 재료, 현장 내 공사용 도로 등에서 강우에 의한 침투수, 용수 등의 불충분한 처리 등에 기인하기 때문에 주의를 요한다.

② 적설량이 많은 지역에서는 초봄의 눈 녹은 물에 의한 비탈면 침식, 표토의 붕괴가 발생할 수 있으므로 침출수, 지하수 등의 처리를 충분히 하는 것이 필요하다.

4.3 흙쌓기의 안정 검토 및 대책

4.3.1 안정 검토를 필요로 하는 흙쌓기

1) 흙쌓기의 안정 검토는 표 4.3에 표시한 조건에 해당하는 경우에 실시하는 것으로 한다. 표로 제시된 이외의 흙쌓기 조건에서 안정이 염려되는 경우에는 동일한 검토를 하는 것으로 한다.

2) 안정 검토에 있어서 안정계산에 의한 안전율만으로 판단할 것이 아니라 종래의 실적 등을 고려하여 신중히 해야 한다.

〈표 4.3〉 안정 검토를 필요로 하는 흙쌓기

구 분	흙 쌓 기 조 건
흙쌓기 자체의 조건	① 흙쌓기 높이가 10 m를 초과하는 경우 ② 비탈면 경사가 표준치보다 급한 경우 ③ 흙쌓기 재료의 함수비가 높고, 특히 전단강도가 낮은 경우 ④ 흙쌓기 재료가 실트와 같이 간극수압이 증가하기 쉬운 흙인 경우
외적 조건	① 붕괴 시 인접 시설물 등에 중대한 손상을 주는 경우(철도 등) ② 붕괴 시 복구에 장기간을 요하고, 도로 기능을 현저하게 저해하는 경우 ③ 흙쌓기의 기초가 연약지반이거나 비탈면 활동이 염려되는 경우(연약지반은 ‘제14장 연약지반상의 흙쌓기’를, 산사태는 ‘제10장 산사태 및 급경사지 관리대책을 참조할 것) ④ 지형조건에 의하여 체체 속으로 물의 침투가 많은 경우(경사지반상의 흙쌓기, 계곡 사이의 흙쌓기 등) ⑤ 홍수 시에 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우(예를 들면, 연못 가운데의 흙쌓기)

(1) 안정 검토는 흙구조물의 기능을 장기간에 걸쳐서 확보하기 위한 필수적인 사항이나 그 실시 여부에 있어서는 여러 가지 조건이 포함되기 때문에 설계에 주의가 필요하다.

흙구조물의 안정계산법(토질조사·시험 포함)에는 많은 가정과 불확정 요소를 포함하고 있어 현재로서는 붕괴를 정확하게 예측할 방법은 없다. 따라서 안전율의 계산이 그대로 안정의 검토라고 생각하는 것은 속단일 수 있으며, 안정계산은 어디까지나 하나의 안정 검토 방법으로 취급하고, 주변 도로 등에서의 유사한 흙쌓기(토질, 높은 흙쌓기 등)의 시공실적, 재해사례 등의 조사자료를 포함한 종합적인 안정 검토를 실시할 필요가 있다. 그 밖에 안정계산을 할 경우에는 정확한 토질조사와 현장 조건에 적합한 토질시험을 실시하도록 노력해야 한다.

(2) 흙구조물은 비록 설계상 안정하다고 할지라도 토질의 변화, 시공방법에 따라서 안정성이 크게 변화하는 경우가 많다. 따라서, 공사단계에 있어서도 흙쌓기의 기초지반, 흙쌓기 재료의 특성 및 분포의 파악에 노력하며, 필요에 따라 토량배분을 변경하고 세심하게 시공 할 필요

가 있다. 또한, 흙쌓기의 규모 및 중요도 측면에서, 특히 안정상 문제가 되는 흙쌓기에 대해서는 흙쌓기 재료의 변화, 지하수위의 변화 등에 주의하면서 충분한 동태관측 체제를 갖추어 시공 중의 안정 확보에 노력해야 한다.

- (3) 흙쌓기의 지진에 대한 안정 검토를 하는 경우, 일반적인 흙쌓기에서는 과거의 경험으로부터 특별한 이상 시(대지진)를 제외하고 표준 비탈면 경사의 범위로 대처할 수 있다고 생각하여도 좋다. 그러나 표 4.3에 표시한 조건을 갖는 흙쌓기에 있어서는 신중한 검토가 필요하다. 그 밖에 지진 시의 흙쌓기 안정해석은 현 시점에서는 토질공학상 아직 해결되지 않은 문제가 많기 때문에 이를 검토할 때는 전문기술자 등의 조언을 얻어 신중히 하는 것이 바람직하다.

〈표 4.4〉 각종 도로의 내진 등급

내진 등급	도 로
내진 1 등급	고속국도, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
내진 2 등급	지방도, 시도, 군도

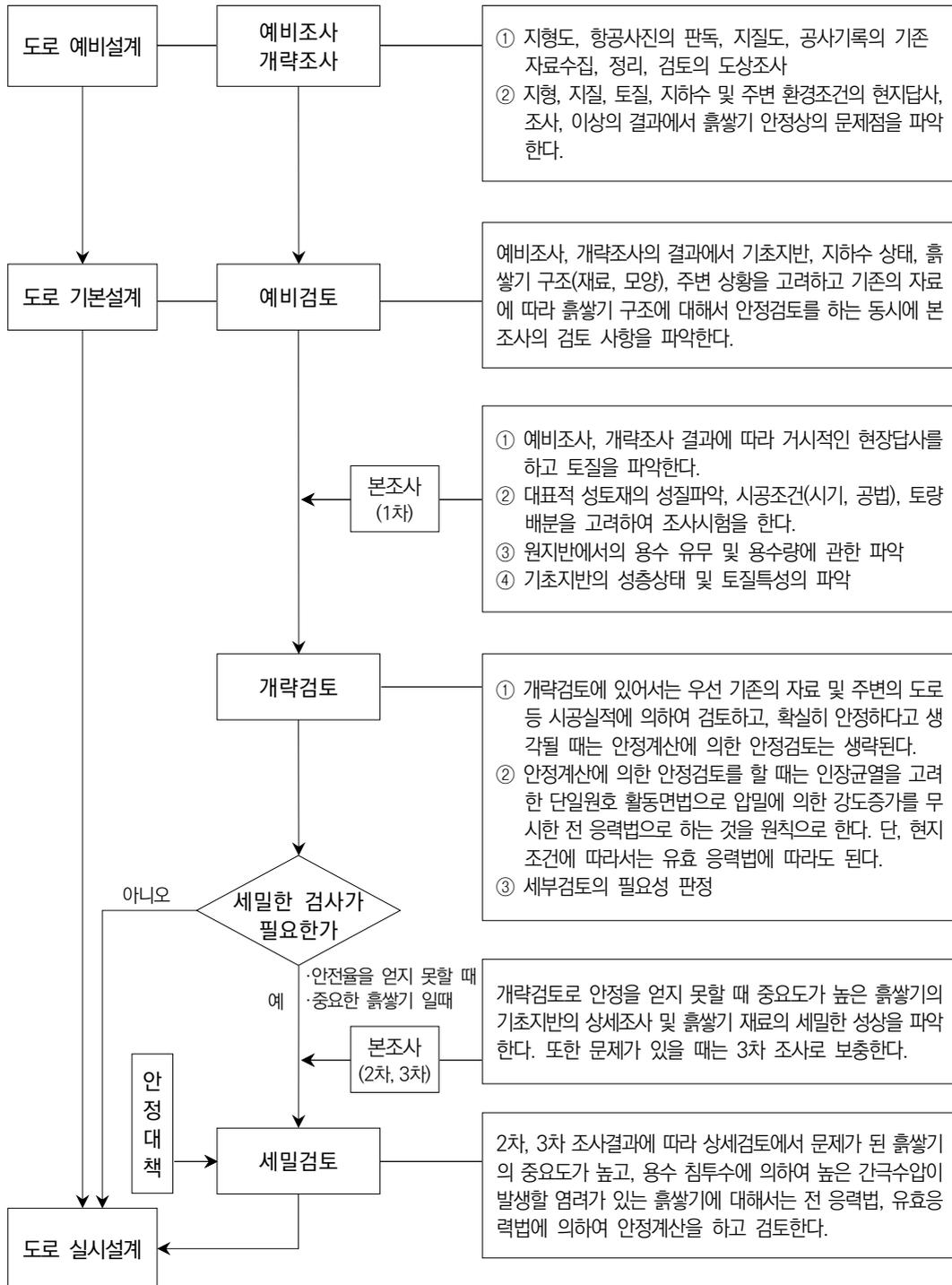
4.3.2 흙쌓기부의 안정 검토

4.3.2.1 안정 검토의 진행 방법

흙쌓기의 안정 검토는 설계의 흐름을 충분히 배려하여 단계적으로 실시하도록 한다. 단, 안정 검토에 관해서는 흙쌓기 재료의 특성을 충분히 고려해야 한다.

(1) 일반사항

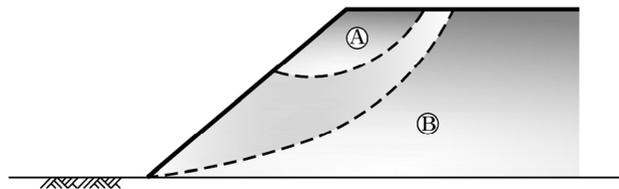
표 4.3에 표시한 조건을 갖는 흙쌓기를 계획하는 경우는 기본설계 단계에서 그림 4.2에 따라 개략적인 검토를 한 후 실시설계 시에 토질조사 결과 등을 이용한 상세한 검토가 필요하다. 일반적으로 흙쌓기 비탈면에서는 시공 직후가 가장 위험한 상태이며, 시간이 경과함에 따라 흙쌓기의 전단강도는 점차 증가해서 안전율은 증가하지만 시공 후에 강우 등에 의한 흙쌓기의 단위체적중량의 증가, 침투수에 의하여 팽창된 흙쌓기부의 전단강도 약화로 인하여 비탈면이 붕괴되는 현상도 발생될 수 있으므로 안정 계산에서는 토질에 따라 이러한 사항을 고려해서 검토할 필요가 있다.



〈그림 4.2〉 흙쌓기부의 안정검토 순서

(2) 흙쌓기 재료의 토질에 따른 안정 검토

흙쌓기부의 붕괴 위험성은 토질에 따라 그림 4.3에 표시한 대로 비탈면 부근의 활동면 ㉠에 따라 붕괴할 위험이 있는 경우와 깊은 활동면 ㉡에 따라 붕괴할 위험이 있는 경우의 두 가지로 나누어진다. 이 두 가지 경우를 토질에 따라서 다음과 같이 검토하고, 안정 계산의 필요 유무도 이 검토를 근거로 판단할 수 있다.



〈그림 4.3〉 비탈면에 가까운 활동면과 깊은 활동면

① 조립토

그림 4.4(a)의 ㉢로 표시되는 점착성이 없는 조립토는 (b)의 ㉢선처럼 흙쌓기 심부에서는 전단강도는 크고 배수가 양호하여 간극수압도 발생하지 않기 때문에 흙쌓기 심부를 통과하는 활동의 위험성은 없다.

또한, 비탈면 부근은 강우 등의 침수에 의하여 팽창하고, 전압할 때는 밀도가 저하한다. 그 상부의 상재하중도 적어 전단강도가 아주 작게 되어 위험하다고 생각되지만 배수가 양호하기 때문에 간극수압의 영향이 없고, 팽창 시에도 내부마찰각은 비탈면의 경사보다도 일반적으로 크기 때문에 비탈면 부근의 활동 위험성은 대체로 없다.

따라서, 점착성이 없는 조립재료로 이루어지는 흙쌓기의 경우, 안정 검토는 지하수의 유입 등을 처리하고 내부마찰각보다 완만한 비탈면 경사를 취하면 안정검토를 생략할 수 있으며, 이러한 재료는 토량배분을 검토하여 흙쌓기의 하부에 사용할 경우 흙쌓기의 안정성 유리하다.

② 조립토와 점성토의 중간 입도조성을 갖는 재료

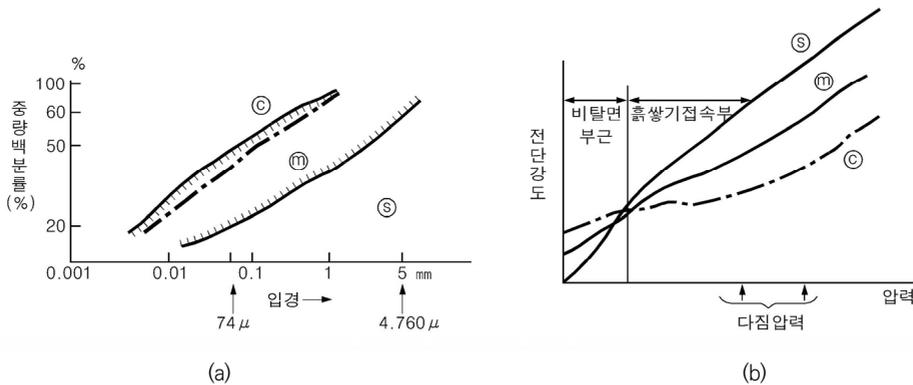
그림 4.4(a)의 ㉣과 같이 점착성이 없는 재료와 점착성이 큰 재료의 중간재료(75 μm : 20 ~ 60 % 정도의 재료)는 그림 4.4(b)의 ㉣선과 같이 ㉢와 ㉣의 중간적인 것으로 될 것이다. 그러나 ㉣과 같은 토질은 투수성이 비교적 양호한 반면 배수성이 매우 불량하기 때문에 비탈 부근은 팽창, 약화됨과 동시에 흙쌓기 내 지하수의 상승으로 유효응력은 감소하

여 전단강도는 크게 감소한다. 따라서, 이러한 재료로 이루어지는 흙쌓기에서는 비탈면에 가까운 활동과 흙쌓기 심부를 통과하는 활동 전체에 대해서 안정을 검토할 필요가 있다. 특히 비탈면 부근의 전단강도는 전술한 바와 같이 팽창 작용에 의하여 현저하게 저하되기 때문에 비탈면을 흘러내리는 물에 침식되기 쉽고, 또 그것이 원인이 되어 비탈면 부근이 붕괴되는 경우가 많으므로 검토가 필요하다.

③ 점착성이 큰 점토, 점성토

그림 4.4(a)의 ㉔로 표시되는 점착성이 큰 점토·점성토 등의 재료는 급속 흙쌓기 할 경우 과잉간극수압이 발생하고, 흙쌓기가 불안정하게 될 위험이 있어서 시공 중 혹은 시공 직후의 안정을 검토할 필요가 있다. 이 경우의 안정계산은 전 응력법으로 하는 것이 좋다. 한편 전단강도는 상재하중에 거의 관계없이 작기 때문에 심부를 통과하는 활동은 활동 모멘트가 커져 위험하게 된다.

비탈면 부근에서는 그림 4.4(b) ㉔선처럼 전단강도는 점착력에 지배되고 있기 때문에 강우 시 비탈면을 흘러내리는 물의 배수처리가 좋지 않을 경우 비탈면이 침식되어 비탈면 부근의 활동원인이 되는 경우도 있으므로 배수에 충분한 조치를 취하도록 검토를 해 둘 필요가 있다.



〈그림 4.4〉 토질과 전단강도의 관계

(3) 안정 해석의 조건

비탈면 안정 해석의 조건은 표 4.5를 참고한다.

〈표 4.5〉 비탈면 안정 해석에 사용되는 전단강도, 수압, 단위중량

구 분	공사 직후의 안정성	장기 안정성
배수가 잘 되는 흙에 대한 해석	c' 와 ϕ' 을 이용한 유효응력 해석	c' 와 ϕ' 을 이용한 유효응력 해석
배수가 잘 안 되는 흙에 대한 해석	현장시험, 삼축시험(UU/CU)에서 얻은 c'(또는 S_u)와 ϕ' 을 이용한 전 응력 해석	c' 와 ϕ' 을 이용한 유효응력 해석
내부 간극 수압	전 응력해석에서는 간극수압 무시($u=0$) 유효 응력해석에서는 간극수압고려	간극수압 고려
외부 수압	고 려	고 려
단위 중량	습윤단위중량	습윤단위중량

- ① 상세한 안정검토를 실시할 경우, 계산식과 토질정수는 그 토질의 입도·컨시스턴시·투수 계수 외에 시공 시의 공정·공법, 차량의 진입성, 토량 배분 및 지하수의 용수, 강우 등에 의한 침투수 등의 현장 조건도 추가하여 신중히 결정할 필요가 있다.
- ② 한쪽깎기·한쪽쌓기부에서 원지반의 지하수가 흙쌓기부로 침투하여 큰 활동파괴를 일으킬 위험이 있는 경우에는 흙쌓기 높이에 관계없이 간극수압을 고려한 상세한 안정 검토가 필요하다.

4.3.2.2 안전율

안전율은 일반 쌓기비탈면과 연약지반 쌓기비탈면으로 구분하며 안정해석 방법과 입력 변수가 내포하는 불확실성을 고려하여 경제성 및 장기적 비탈면의 안정성 확보를 위하여 표 4.6 및 표 4.7을 기준으로 한다.

〈표 4.6〉 일반 쌓기비탈면 안정 해석 시 적용하는 기준 안전율

구 분	기준 안전율	참 조
장기	건기 시	FS > 1.5 쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
	우기 시	FS > 1.3 <ul style="list-style-type: none"> • 지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행 • 한쪽쌓기·한쪽깎기 비탈면에서는 측정된 지하수위 또는 침투 해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 • 쌓기 표면에 강우 침투가 발생하는 경우에는 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 강우 침투를 고려한 해석 실시
	지진 시	FS > 1.1 <ul style="list-style-type: none"> • 지진관성력은 파괴 토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 우기 시와 동일하게 적용
단기	FS > 1.1 <ul style="list-style-type: none"> • 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공 중 포함) • 지하수 조건은 장기 안정성 검토의 우기 시 조건과 동일하게 적용 	

주) 비탈면 상부 파괴범위 내에 1,2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토

〈표 4.7〉 연약지반 쌓기비탈면 안정 해석 시 적용하는 기준 안전율

구 분		기준 안전율	참 조
장기	건기시	FS > 1.3	쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
	우기시	FS > 1.2	<ul style="list-style-type: none"> 지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행 한쪽쌓기·한쪽깎기 비탈면에서는 측정된 지하수위 또는 침투 해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 쌓기 표면에 강우 침투가 발생하는 경우에는 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 강우 침투를 고려한 해석 실시
	지진시	FS > 1.1	<ul style="list-style-type: none"> 지진관성력은 파괴 토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 지하수위는 우기 시와 동일하게 적용
단기	FS > 1.1	<ul style="list-style-type: none"> 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성 (시공 중 포함) 지하수 조건은 장기 안정성 검토의 우기 시 조건과 동일하게 적용 	

- 주1) 도로, 단지, 철도 등의 포장체가 형성되는 쌓기 비탈면의 경우에는 필요 시에 우기 시 안전율을 검토하고, 건기 시의 안전율도 만족하도록 설계함.
 주2) 강도정수를 최대 강도가 아닌 잔류강도로 해석한 경우 위 기준에서 0.1 감소시킴.
 주3) 비탈면 상하부 파괴 범위 내에 가옥, 건물 등의 고정시설물이 있는 경우 위 기준에서 0.05 증가시킴.
 주4) 상기 조건을 중복하여 적용하여 FS < 1.0 인 경우에는 최소 안전율 1.0 적용함.

(3) 토질정수

흙쌓기의 단위체적중량(γ_t)은 토질시험에 따라 구한다. 또, 주변 공사 등에 의하여 경험적으로 알게 되는 경우에는 그 값을 사용하여도 좋다.
 흙쌓기의 전단강도(S)는 원칙적으로 일축압축시험(KS F 2314), 삼축압축시험(KS F 2346) 및 직접 전단시험(KS F 2343)에 따라 구한다.

① 공시체 제작

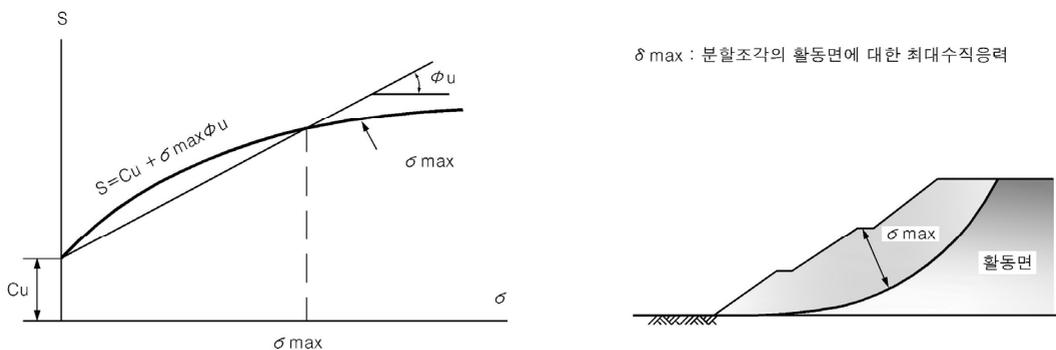
일축압축시험 및 삼축압축시험용 시료의 공시체는 현장에서 예상되는 시료의 상태(함수비, 밀도, 포화도)로 제작하는 것이 바람직하지만 예상하기 어려운 경우에는 표 4.8의 방법으로 공시체를 제작한다.

〈표 4.8〉 공시체 제작 시 시료의 함수비, 밀도, 다짐 횟수

구 분	흙 쌓 기 재 료	
	밀도비로 관리하는 흙	공기간극률로 관리하는 흙
함 수 비	$W_n < W_{opt}$ 의 흙 W_{opt} $W_n \geq W_{opt}$ 의 흙 W_n	W_n
밀 도	KS F 2312 A, B 다짐 γ_{dmax} 의 90%	$S_r = 85 \sim 98\%$ 또는 $v_a = 10 \sim 15\%$ 를 만족하는 밀도

② 전단강도의 계산

- 상세 검토에 있어서 재료 상 문제가 있는 것(고함수비의 점토, 점성토, 실트 등 간극수압이 발생할 가능성이 있는 흙)은 함수비에 의하여 전단강도의 변화, 흙의 교란에 의한 강도 저하 등을 검토하기 위하여 함수비, 다짐 횟수 등을 바꾸어 시험하여 전단강도의 특성을 판단하는 것이 바람직하다.
- 불포화토의 비배수시험인 경우에 그림 4.5과 같이 전 응력으로 정리한 모어 원의 포락선은 곡선으로 된다. 이 경우 계산의 대상이 되는 응력 범위에 대하여 그림과 같이 직선으로 연결하여 C_u , ϕ_u 를 구한다.

〈그림 4.5〉 불포화 세립토의 3축 비배수 시험결과와 설계강도정수 C_u , ϕ_u 의 예

(4) 안정 해석 기준

- (1) 흙쌓기부의 안정 계산은 토사 비탈면에서 발생 가능한 파괴 형태와 메카니즘에 적합한 해석 방법 및 지반정수를 산정하여 수행한다.
- (2) 안정해석은 시공중 공용중으로 구분하여 실시해야 하며, 공용중 해석은 교통하중 등 상재하중을 고려해야 한다.
- (3) 시공중 검토인 경우는 전응력 해석을, 공용중 검토인 경우는 유효응력해석을 수행해야 하며, 배수가 잘 안되는 흙에 대해서는 공용중이라도 전응력해석을 수행 할 수 있다.
- (4) 안정해석시 원지반과 쌓기재의 침하를 구분하여 안정해석을 수행하는 것이 바람직하다.

- ① 해석에서 적용하는 비탈면의 파괴형태는 비탈면 조사를 통하여 발생 가능한 활동형상을 조심스럽게 추정하며 활동형상에 따라 해석방법을 선택하는 것이 바람직하다. 일반적으로 불연속면이 없는 균질한 비탈면의 경우에는 활동면을 원호로 가정하는 것이 무난하다. 무한 비탈면은 평면형태로 활동하지만, 활동길이가 비교적 짧고 깊이가 얕다고 추정되는 경우에는 큰 원호의 일부로 간주하여 안정해석을 할 수 있다.
- ② 처음 발생하는 활동인가 또는 기존에 파괴되었던 면을 따라 발생하는 활동인가를 구분할 필요가 있는데 기존 파괴면을 따라 발생하는 활동은 반드시 잔류강도를 적용하여 안정해석을 수행해야 한다.
- ③ 연약지반쌓기 비탈면은 시공중 성토속도 및 연약지반처리공법에 따라 원지반의 강도가 달라지게 된다. 대개의 경우 시공중 연약지반의 강도증가는 서서히 이루어지며 공용중인 경우에는 강도증가가 대부분 이루어지나 교통하중이 추가로 작용하게된다. 따라서 안정 해석은 이들 조건을 고려하여 각각 시공 중 및 공용 중으로 구분하여 실시해야 하며, 공용 중 교통하중은 13KPa을 도로상면에 작용하는 것으로 한다.
- ④ 쌓기비탈면에서 침하가 발생되어 안정해석을 수행할 경우에 원지반에서 침하가 발생된 것인지 아니면 쌓기재에서 침하가 발생된 것인지 고려하여 안정해석을 수행하는 것이 바람직하다. 침하 발생 위치를 정확히 고려하여 안정해석을 수행하면 침하에 대한 대책방안을 마련하는데 효과적이다.
- ⑤ 연약지반 안정계산에서의 유의사항은 다음과 같다.
 - 아래에 제시된 지반은 안정상의 문제가 많기 때문에 주의를 요한다
 - 연약층 아래의 기반이 경사져 있는 경우
 - 연약층 아래의 기반이 경사진 경우 흙쌓기 하는 경우, 연약층의 두꺼운쪽의 침하가

많이 발생되어 활동도 그 방향으로 발생할 위험이 크다. 또한, 경사면의 지표수 유입으로 활동에 대한 저항력이 약화되고 부등침하 발생 가능성이 크다. 설계시에는 사운딩 조사등에 의해 지반 경사의 상황을 충분히 파악하여 활동 파괴에 대해 가장 위험한 단면에 대한 안정검토가 필요하다. 또한 시공시 흙쌓기 시공순서는 항상 연약층의 깊은 방향에서 얇은 방향으로 시공하도록 하고 지중변위계, 경사계 등을 이용하여 안정관리를 하도록 한다.

- 강도 저하가 현저하고 강도 회복이 늦은 지반

표층에 Peat층이 있으며 그 바로 밑에 점성토층이 있는 지반에서는 설계안전율이 높아도 불안정하게 되는 경우가 많다. 일반적으로 이러한 유형의 지반에서는 안정 설계를 하면 Peat층과 점성토층의 경계를 통과하는 활동원의 안전율이 최소가 되지만, 실제로 활동이 발생하는 것은 그 밑의 점토층인 경우가 많다. 이와 같은 지반에서는 흙쌓기 초기에는 서서히 시공하여 측방변형이 가능한 한 발생하지 않도록 하여, Peat층의 강도를 충분히 증가시키고 점토층의 강도저하를 막는 것이 중요하다. 또한, 안정 검토시에는 이탄층 바로 아래에 있는 점성토의 강도증가율은 하한값에 가까운 값을 취하도록 한다. 특히 예민한 해성점성토는 지반처리에 따라 강도저하가 현저하며, 강도 회복에 장시간을 요하는 경우가 많기 때문에 주의해야 한다.

- 흙쌓기 재료의 전단강도 및 단위체적중량은 안정계산 결과에 미치는 영향이 크기 때문에 충분히 검토하여 적절한 값을 사용하도록 한다.

(5) 해석 방법의 종류

(1) 비탈면 안정성 해석은 다음의 방법을 이용할 수 있다.

- ① 한계평형해석방법(LEM, Limit Equilibrium Analysis Method)
- ② 유한요소해석방법(FEM, Finite Element Analysis Method)
- ③ 유한차분해석방법(FDM, Finite Difference Analysis Method)

(2) 비탈면에서 발생하는 변위 또는 지반 내의 소성화 구간과 응력 상태를 정밀하게 확인하고자 하는 경우에는 연속체 해석을 수행한다.

- ① 한계평형해석법은 근본 원리상 비탈면 안정해석 뿐만 아니라 토압, 지지력 등과 같은 지반 공학적 문제를 설명·해결하는데 근간을 이루는 방법으로 대상지반을 하나의 토체로 간주하여 임의의 파괴면에 대한 힘 또는 모멘트의 평형조건을 고려하는 개념이다. 한계평형해

석법은 굴착에 따른 비탈면 내 응력변화 및 그에 수반되는 변형 거동상태 해석이 가능한 일반적 수치해석방법과는 달리 변형과 관련된 지반문제 해석에 있어서는 적용될 수 없다는 단점이 있다. 그러나 해석방법의 이해가 쉽고 사용이 간편하다는 점과 과거 많은 비탈면 안정해석에 대한 적용 사례로부터 그 신뢰성도 입증된 상태이므로 비탈면 안정해석방법에 가장 많이 사용되고 있다.

- ② 한계상태해석법에 의한 비탈면 안정해석은 여러 가지 관점에 의해 분류될 수 있으나 크게 파괴토체를 단일토체로 보는 방법과 파괴토체를 수 개의 수직절편으로 분할하는 절편법(method of slice)으로 구분할 수 있으며, 절편법에 의한 비탈면 안정해석법이 많이 이용되고 있다. 비탈면 안정해석에 가장 널리 사용되고 있는 한계평형해석법은 Fellenius(1927)와 Bishop(1955)이 제안한 방법들이다.
- ③ 유한요소해석 및 유한차분해석은 지반의 변형 특성을 고려한 탄성 또는 탄소성해석방법으로 지반정수 산정시 많은 현장시험 및 실내시험이 필요하며, 해석 소요되는 시간이 긴 단점을 가지고 있다. 하지만 최근 다양한 문제점들에 대한 해결방법으로서 지반내의 응력상태와 변형상태를 해석하고 전단강도 감소기법의 도입으로 한계평형해석과 마찬가지로 안전율을 계산하는 방법이 제시되는 등 사용이 증가하고 있다. 유한요소해석 및 유한차분해석을 이용한 비탈면 안정해석은 한계평형해석과 달리 지중의 변형과 응력상태를 직접적으로 구하게 되므로 파괴면을 임의로 가정할 필요가 없다

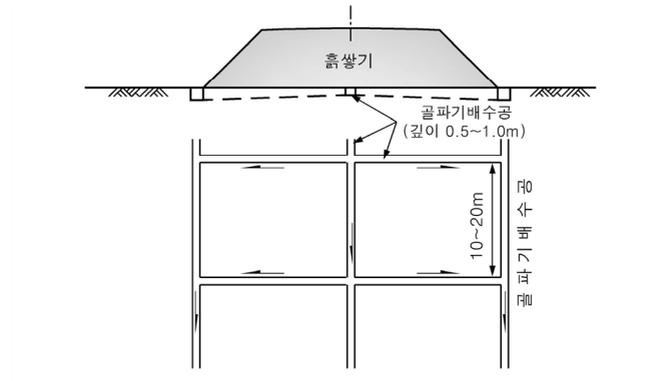
4.3.3 배수처리 대책

4.3.3.1 기초지반의 배수처리 대책

흙쌓기부의 기초지반처리는 흙쌓기부의 안정을 좌우하는 중요한 사항이므로 불안정한 기초지반이 있다고 예상되는 경우에는 상세한 현지조사를 포함한 토질조사를 실시해서 토질의 상태와 분포를 파악하고 필요에 따라 적절한 대책을 강구해야 한다.

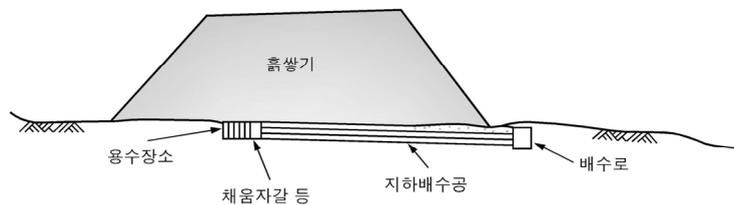
- (1) 토질조사 등의 결과에 따라 흙쌓기의 안정에 영향을 미치는 불안정한 지반(연약지반 및 산허리 붕괴지, 낭떠러지, 산사태 지역 등의 경사 불안정지반 등)인 것이 판명되었다면 그 규모 등에 따라 적절한 대책공을 실시하게 되지만, 여기서는 비교적 간단한 표층부의 처리에 대해서 기술하며, 규모가 큰 것에 대해서는 ‘제14장 연약지반상의 흙쌓기’ 및 ‘제10장 산사태 및 급경사지 관리대책’ 등을 참고한다.

- (2) 표층에 고함수비의 연약층이 존재하고 있어서 시공 기계의 진입이 곤란하고 흙쌓기 재료를 충분히 다질 수 없는 경우에는 흙쌓기 지반에 그림 4.6과 같은 골을 파서 흙쌓기 부지 밖으로 배수하여 흙쌓기 부지를 건조시킨다. 경우에 따라서는 골에 모래, 막자갈 등을 채워서 흙쌓기 후의 지하수 배수를 꾀하는 것이 바람직하다. 또한, 상기의 대책공에서 차량의 진입이 곤란한 경우에는 모래 등을 포설하여 지반처리를 하여도 좋다.



〈그림 4.6〉 골파기 배수공의 예

- (3) 흙쌓기부 내에 용수가 있는 경우에는 제체 속으로 침입하는 것을 방지하기 위하여 지하 배수공 등을 설치하여 흙쌓기부 밖으로 배수해야 한다(그림 4.7).



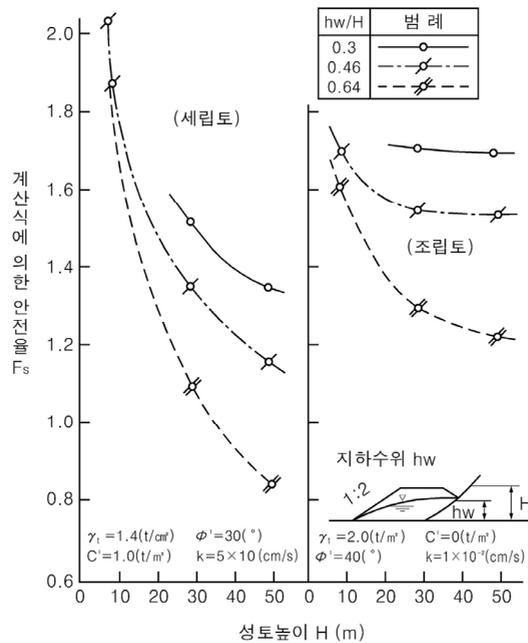
〈그림 4.7〉 용수처리의 예

- (4) 기초지반 내에 폐갱 등의 공동이 있는 경우에는 사전에 충분히 조사할 필요가 있으며, 채움 등의 적절한 조치를 취할 필요가 있다.

4.3.3.2 흙쌓기부의 배수처리대책

흙쌓기부의 붕괴는 침투수 및 용수가 원인이 되어 발생하는 경우가 많다. 이러한 붕괴를 방지하여 흙쌓기의 안정을 도모하기 위하여 필요에 따라 필터층 및 지하 배수공 등의 배수시설을 설치하여 침투수, 용수 등을 적절히 처리하도록 한다.

(1) 흙쌓기의 붕괴 원인 중 대부분은 지하수·강우·용설수 등의 침투수에 기인되기 때문에 계곡·경사지반·원지반 등에서의 용수처리가 기본적인 대책이며, 이를 위해서는 광범위한 답사를 실시하고, 투수층·불투수층을 파악하는 것이 중요하다. 또한 원지반에서의 용수는 시공 중에 최초로 알게 되는 경우가 많기 때문에 시공 중 관찰 및 비가 내린 후의 관찰이 중요하다.

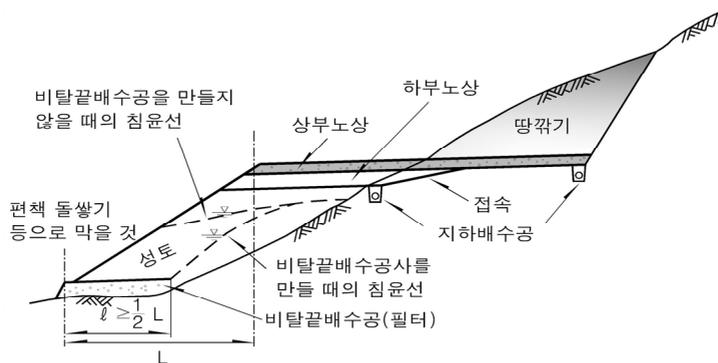


〈그림 4.8〉 지하수위가 흙쌓기의 안정에 미치는 영향

(2) 그림 4.8은 흙쌓기 설계에서 지하수위가 안정에 미치는 영향을 나타낸 것이며, 지하수의 처리가 흙쌓기의 안정에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서, 투수성이 양호한 현지 발생 재료의 이용 및 지하 배수공 등으로 흙쌓기 내의 지하수를 처리하는 것이 흙쌓기 붕괴

방지의 기본적인 대책이 된다.

- (3) 흙쌓기의 안정성 문제가 되는 흙쌓기 재료를 사용하는 경우 또는 비탈 끝 근처에 중요시설이 있는 높은 흙쌓기의 경우에는 필요에 따라서 필터층으로 된 비탈끝 배수공을 설치하여 지하수위 및 간극수압을 저하시켜 흙쌓기의 안정성 향상을 꾀하는 것이 바람직하다. 또한, 기초지반(원지반)으로부터 용수가 있는 경우에는 제체 속으로 침입되지 않도록 하기 위하여 지하배수공 및 비탈끝 배수공을 설치하도록 한다(그림 4.9).



〈그림 4.9〉 배수층의 설치 예

- ① 필터층에 사용하는 재료는 투수성이 양호한 쇄석, 모래 및 동등 품질이상의 것을 사용하는 것으로 한다. 필터의 길이(L)는 소단 간격(H)의 1/2 이상을 표준으로 하지만 '4.3.2 흙쌓기의 안정 검토'에 의한 활동면을 가정할 수 있는 경우는 가상활동면을 고려하여 결정하며, 종단방향으로 현장조건에 따라 연속 또는 불연속적으로 설치한다.

위치는 소단마다 설치하는 것을 표준으로 하나 상황에 따라 변경이 가능하다. 쇄석 또는 모래를 사용하는 경우의 필터 두께는 300 mm를 표준으로 하고, 재료는 현지 발생 재료를 유효하게 이용하도록 한다. 필터층의 효과를 충분히 높이기 위해서는 시공 시에 필터를 평편하게 시공하여 평탄성을 유지하고, 또한 배수 경사(4~5%)가 유지되도록 시공하는 것이 중요하다.

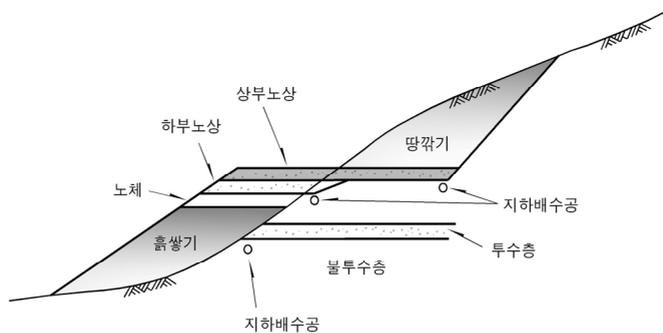
- ② 지하 배수공의 구조는 용수의 상태, 지형, 토질 등을 고려해서 결정하는 것으로 한다(「제6편 배수시설」 참조).

배수거리는 가능한 한 짧게 하고, 배수 끝부분의 접속을 확실하게 해야 한다. 또한, 지하 배수공의 배치는 공사 중에 흙쌓기의 변위, 예상 외의 파손 및 뒤채움 등을 고려하여 배수공이 접속(망)의 형태로 배치되도록 계획될 수 있도록 설계 및 시공하는 것이 바람직하다.

③ 흠쌓기의 높은 높이 및 용수로 인하여 비탈 하단부가 불안하다고 판단될 경우는 비탈끝 부분의 배수공을 검토하여 비탈끝 부분의 안정을 도모할 필요가 있다.

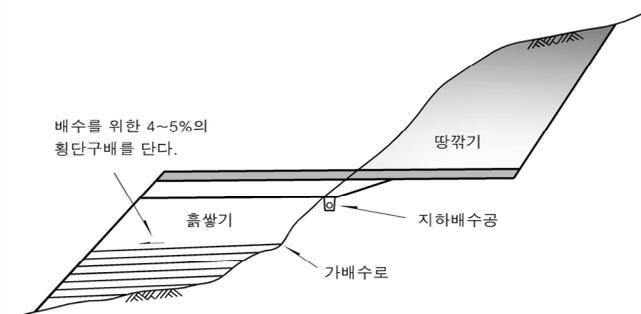
(4) 한쪽깎기·한쪽쌓기부에는 원칙적으로 노체면 또는 땅깎기면에 지하 배수공을 설치하도록 한다. 또 용수가 없는 경우도 계절 및 기후에 따라 용수가 생기는 경우가 있어 한쪽깎기·한쪽쌓기 경계부는 토공면에 내린 우수 등이 흠쌓기와 원지반과의 경계를 따라 흐르기 때문에 주의를 요한다.

또한, 원지반이 투수성인 층과 불투수성의 층으로 되어 있는 경우에는 투수층의 저면에도 지하 배수공을 설치할 필요가 있다(그림 4.10 참조).



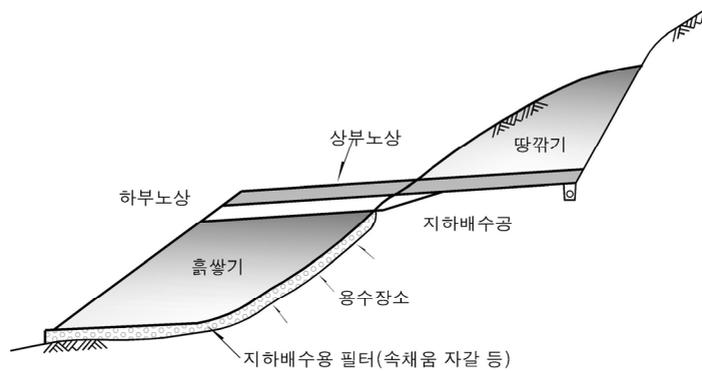
〈그림 4.10〉 한쪽깎기·한쪽쌓기부에서 지하 배수공의 설치 예

(5) 한쪽깎기·한쪽쌓기부의 흠쌓기에서는 시공 중에도 배수시설이 해야 할 역할은 중요하다. 그림 4.11는 시공 중 배수 예를 나타낸 것이다. 한쪽깎기·한쪽쌓기 경계에 설치하는 가배수로는 흠쌓기 시공 중에는 순차적으로 위로 이동하면서 설치하고, 흠쌓기 완성 시에 지하 배수공을 설치하여 한쪽깎기·한쪽쌓기부의 배수를 하도록 한다.



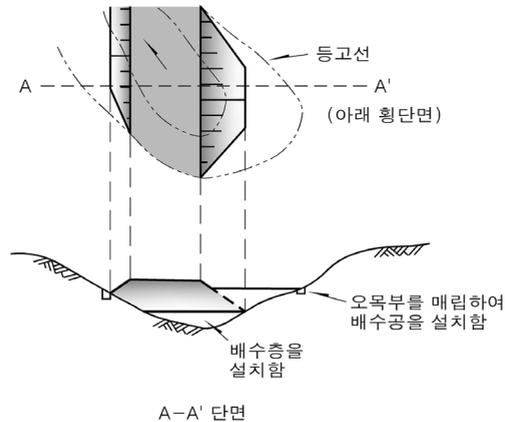
〈그림 4.11〉 시공 중 표면배수의 예

- (6) 용수 발생 개소가 많은 경우에는 그림 4.12과 같이 흠쌓기와 원지반의 경계에 지하 배수용 필터를 설치하여 제체 속으로 물이 침투하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 설계에서는 필터 재료로 적절한 투수성이 좋은 흙과 모래를 섞은 것을 300 mm 두께 정도로 고르게 설치하는 용수량에 따라서는 유공관을 매설할 필요가 있다.



〈그림 4.12〉 지하배수용 필터의 설치 예

- (7) 그림 4.13와 같은 오목부에 흠쌓기 하는 경우에는 오목부를 매립하여 표면에 배수공을 설치하고, 흠쌓기 저부를 통과하는 충분한 배수층을 설치하는 등의 대책이 필요하다.



〈그림 4.13〉 오목부에 배수대책 예

- (8) 흠쌓기 높이가 낮은 구간에는 물의 모관 상승에 의하여 함수비가 높아져 연약해지는 일이 없도록 배수처리를 하고, 배수가 용이한 재료(잡석, 자갈, 모래, 순환골재 등)를 이용하여 흠쌓기를 해야 한다.

4.3.4 높은 흙쌓기

흙쌓기 높이가 10m를 넘는 경우에는 흙쌓기의 안정에 대해서 과거의 실적을 잘 조사하고 지형, 지질, 용수, 지지력 등 기초지반의 상황, 도로 계획고(토량 평형), 붕괴 할 경우의 영향과 복구의 어려움, 현지 발생재의 유용 등을 종합적으로 검토해서 흙쌓기의 구조를 결정한다.

(1) 높은 흙쌓기의 설계 및 시공에 있어서는 흙쌓기의 압축 침하 및 안정에 대해서 보다 세심한 주의가 필요하다. 특히, 비탈 하단에 주요 도로·철도 등의 중요한 시설이 있는 경우나 불안정한 기초지반 위에 높은 흙쌓기를 하는 경우, 또는 고함수비 점성토로 높은 흙쌓기를 하는 경우 등에 대해서는 세심한 주의가 필요하다.

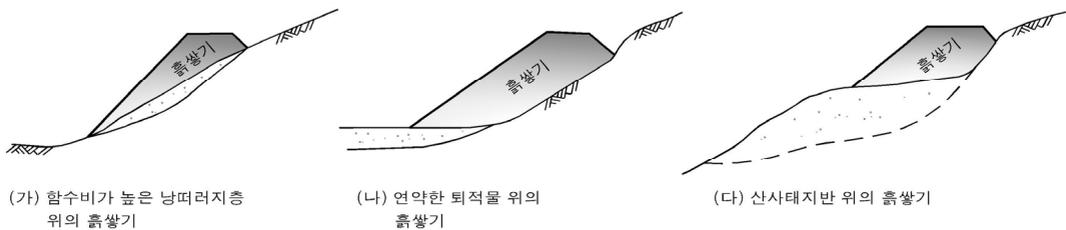
(2) 설계 및 시공 상의 유의사항

① 안정 검토

높은 흙쌓기의 안정을 도모하기 위해서는 기초지반의 개량, 흙쌓기 재료의 선정, 지하배수 대책의 철저, 비탈면 보호공의 강화, 배수대책의 완비 등의 대책이 필요하다. 또한, 안정 검토에 대해서는 ‘4.3.2 흙쌓기부의 안정 검토’에 따르지만 시공에서는 거동 관측을 포함한 안정대책을 세우는 것이 중요하다.

② 기초지반

흙쌓기부의 붕괴 사례 중에는 불안정한 기초지반인 경우에 부주의한 높은 흙쌓기를 실시하여 발생될 수 있기 때문에 연약지반, 경사지반, 사면활동 등 불안정한 기초지반 위에 높은 흙쌓기를 하는 경우는 사전에 보다 세밀히 조사하여 둘 필요가 있다. 또한, 시공단계에서도 현장을 잘 조사하여 기초지반을 파악하는 것이 중요하다(그림 4.14 참조).



〈그림 4.14〉 불안정한 기초지반의 흙쌓기

③ 높은 흙쌓기의 구조를 검토할 때는 다음 사항에 주의하도록 한다.

• 비탈면 경사

비탈면 경사는 흙쌓기의 안정을 결정하는 큰 요인이고, 완만한 경사일수록 흙쌓기는 안정하지만 현지 조건과 건설비의 관계를 충분히 검토해서 결정할 필요가 있다.

• 흙쌓기 재료의 유용

흙쌓기 재료는 도로 선형이 결정될 때에 기초지반의 지질조건으로 결정되는 것이지만 여러 가지 성질을 갖는 현지 발생재를 흙쌓기 각 부의 적재적소에 배분하여 안정성이 높은 흙쌓기로 하는 것이 바람직하다. 따라서, 투수성이 좋은 재료(암편 등)를 최하부(배수층) 필터층에 사용하도록 배려한다.

• 배수 대책

높은 흙쌓기의 배수처리는 흙쌓기의 안정, 시공 중의 차량의 진입, 공용 후의 침하, 붕괴방지에 중요한 영향을 미치는 것이므로 관련 각 항을 참조한 후에 구조에 맞는 설계 및 시공을 하도록 한다. 특히, 배수처리는 끝부분이 중요하므로 확실히 설계 · 시공하도록 한다. 비탈면 높이가 5m 이상인 경우 비탈면의 유지관리를 위한 점검, 배수시설의 설치공간으로 활용하기 위하여 원칙적으로 소단을 설치해야 하며, 비탈면 중간에 5 ~ 10 m 높이에 1 ~ 3 m의 소단을 설치한다. 장비진입 등과 같은 작업공간의 확보가 필요한 경우에는 소단폭을 여건에 맞게 조정할 수 있다. 또한, 높은 흙쌓기의 경우 우수의 소류력으로 인한 비탈면 세굴이 발생할 수 있으므로 비탈면 3단마다 소단에 L형 측구를 설치한다.

• 흙쌓기 비탈면의 보호

흙쌓기 비탈면의 보호를 위하여 현장 여건과 흙쌓기 조건 그리고 강우에 의한 비탈면 침식을 고려하여 비탈면 배수시설을 설치하고, 한쪽깎기 · 한쪽쌓기 구간은 지하수 유출에 따른 비탈면 보호를 위하여 한쪽깎기 · 한쪽쌓기부 및 인접 구간으로 구분하여 돌붙임을 시행하도록 한다.

4.4 노체 재료의 품질 및 다짐

노체에 사용하는 재료의 품질 및 다짐은 표 4.9을 표준으로 한다.

〈표 4.9〉 노체재료의 품질 및 다짐

항목	공종	노 체		시험법
		토 사 ¹⁾	암 괴 ²⁾	
수정 CBR (시방 다짐)		2.5 이상	-	KS F 2320
다 짐 도		90 % 이상	시험시공에 따라 결정	KS F 2312 A, B 방법
시공함수비		다짐시험방법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 90 % 밀도에 대응하는 습윤축 함수비 사이	자연함수비	
다짐 후의 건조밀도		14.71 kN/m ³ 이상	14.71 kN/m ³ 이상	
시공층 두께		300 mm 이하	600 mm 이하	다짐 완료 후의 두께

주1) 토사란 압괴에 해당하지 않는 일반적인 흙쌓기 재료를 말한다.

주2) 압괴란 단단한 암석으로 된 지반을 땅깍기 또는 터널굴착을 했을 때 발생하는 암석 조각을 말한다.

주3) 이암, 혈암, 의회암 등의 재료를 사용한 흙쌓기 중에는 시공 후 큰 압축침하를 일으키는 것이 있으므로 충분한 대책을 강구해야 한다.

주4) 수침 CBR 값이 2.5 이하인 토사의 경우라도 안정처리대책을 강구하여 사용할 수 있다.

주5) 페콘크리트 등의 건설부산물은 최대입경 100 mm 이하로 파쇄하여 사용한다.

토사 또는 암버력 이외의 재료라 할지라도 포장을 지지하면서 환경과 외력에 대하여 안정적인 노체를 형성할 수 있다면, 노체 재료로 적용할 수 있다. 이러한 경우 재료의 품질은 노체의 구조적인 안정성, 환경에 대한 안전성, 노체로서 기능수행에 대한 적합성, 시공성 등을 고려하여 결정해야 한다.

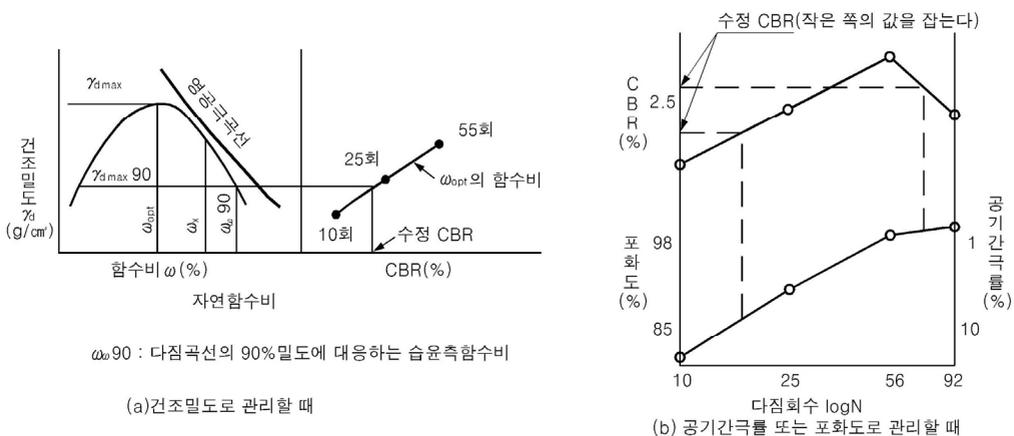
4.4.1 최대 크기

300 mm 이상(300 mm ~ 1 m)의 암괴는 대형 다짐기계를 사용하여도 충분히 다져지지 않아 필 댐이나 도로 흙쌓기에서 압축침하가 생기기 쉽다. 이 때문에 암괴를 재료로 사용한 흙쌓기에 대해서는 시공층 두께에 상응하는 대형 다짐기계를 사용하는 것을 전제로 하고, 최대 크기의 규정은 두지 않는 것으로 한다. 그러나 시공성 등에서 최대 크기는 600 mm 이하로 하는 것이 바람직하다. 또한 박층으로 세밀히 시공하는 것이 보다 안정된 흙쌓기로 되기 때문에 입경이 작아지도록 골삭 시에 배려하는 것을 잊지 말아야 한다.

한편, 토사에 대해서는 300 mm 이상의 큰 덩어리가 혼입되어 있는 비율이 아주 적기 때문에 그것이 원인으로 되어 관리에 지장을 초래한다고 생각하기 어려우므로 최대 크기의 규정은 특별히 두지 않는 것으로 하였다. 단, 300 mm 이상의 전석이 다량으로 유입된 토사에 있어서는 시공성이나 경제성을 고려한 후 전석의 처리방법을 결정할 필요가 있다.

4.4.2 수정 CBR

- (1) 노체는 다음의 이유로 인하여 수정 CBR 2.5 이상의 재료를 사용하는 것이 바람직하다.
- ① 노상의 바로 아래 면은 노상 및 포장 시공 시의 교통하중의 영향을 조금이라도 받기 때문에 이 부분의 강도를 규제하는 것이 일반적으로 경제적이다.
 - ② 노상은 충분한 다짐을 필요로 하기 때문에 그 다짐의 기초가 되는 노체는 작고 가벼운 견인식 타이어 로울러로 전압이 가능한 강도 즉, CBR 2.5 이상인 지지력을 필요로 한다. 단, 현장 내에서 발생하는 흙이 수정 CBR 2.5 이하인 경우는 안정처리대책을 강구하여 사용하여도 무방하다.
- (2) 노체에 있어서 수정 CBR 값은 다음 방법으로 구한다.
- ① 흙의 다짐시험법(KS F 2312)에 따라서 정해진 최대건조밀도의 90% 이상의 밀도가 현장에서 얻어지는 흙에 대해서는 그림 4.15(a)의 방법에 따른다.
 - ② 공기간극률로 다짐 규정을 하는 흙에 대해서는 그림 4.15(b)의 방법에 따른다.



〈그림 4.15〉 수정 CBR을 구하는 방법

4.4.3 다짐도

(1) 흙의 다짐도

- ① 흙의 다짐도는 KS F 2312의 A, B의 방법에 따라 실시한 최대건조밀도의 90% 이상을 목표로 한다. KS F 2312의 방법은 19mm체 잔류량이 30% 이하인 재료에 대해서 실시할 수 있는 방법이며, 30%를 초과할 경우는 다음 식에 따라 최대건조밀도를 추정할 수 있고, 50% 이상인 재료에 대해서는 평판재하시험(KS F 2310)에 의한 다짐관리를 한다.

$$X = \frac{100}{\frac{(100 - P)}{M} + \frac{P}{S}} \quad (4.1)$$

여기서, X : 최대건조밀도

M : 19mm체를 통과한 재료의 최대건조밀도

P : 19mm체 잔류율

S : 19mm체에 잔류한 골재의 비중

- ② 규정된 다짐도는 만족하지 않지만 노체로서 충분한 강도($q_c \geq 10$ 정도)가 확보될 수 있는 경우, 다짐관리 기준은 별도의 시험시공 등에 따라서 결정할 수 있다.

(2) 암괴의 다짐도

암괴는 토사와 같이 건조밀도에 의한 다짐도 관리가 곤란한 재료이다. 이러한 재료에서는 시험시공을 하여 밀도나 표면 침하량 등으로부터 다짐기계나 다짐횟수 등을 결정한다.

〈표 4.10〉 암괴재료의 층당 마무리 두께에 따른 다짐기계의 선정

1층당 마무리 두께	다짐기종(기진력 표시)	비 고
300 mm 미만	진동 로울러 5t 이상(단 진동 로울러가 적당치 않은 재료에서는 타이어 로울러 15t 이상)	진동률이 2축인 것에 대해서는 공칭 기진력 1축으로 환산해서 평가할 것
300mm 이상 600 mm 미만	진동 로울러 13t 이상	
0.60 m 이상 1 m 미만	진동 로울러 20t 이상	

또, 일상 관리는 타코메타, 태스크메타 등에 의하여 하는 것이 바람직하다. 이 방법으로 흙쌓기를 시공하는 경우에는 다짐 기종의 선정이 마무리 품질을 크게 좌우하기 때문에 표 4.10에 표시한 기종을 사용하는 것을 표준으로 한다.

(3) 다짐의 기준

흙쌓기 노체부의 1층 다짐 완료 후의 두께는 300 mm(흙), 600 mm(암괴)이하이어야 하며, 각 층마다 KS F 2312의 A·B 방법에 의하여 정하여진 최대진조밀도의 90% 이상이 되도록 하고, 암괴의 경우 평판재하시험을 실시하여 다짐도 관리를 한다(표 4.11 참조).

〈표 4.11〉 다짐의 판정기준

구 분			노 체		비 고
			암 쌓 기	일반 쌓기	
1층 다짐 완료 후의 두께(mm)			600	300	
다 짐 도(%)			-	90 이상	KS F 2311 KS F 2312 AASHTO T224-86
다 짐 방 법			-	A, B	KS F 2312
평판 재하 시험	아스팔트 콘크리트 포장	침하량(mm)	1.25	2.5	KS F 2310
		지지력계수 (K_{30} , MN/m ³)	196.1	147.1	
	시멘트 콘크리트 포장	침하량(mm)	1.25	1.25	KS F 2310
		지지력계수 (K_{30} , MN/m ³)	196.1	98.1	

(4) 시공함수비

단기간에 대량의 토공공사를 실시해야 하는 도로 토공에 있어서는 대폭적인 함수비 조절은 곤란하므로 노체부의 시공함수비는 다짐시험방법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 90% 밀도에 대응하는 습윤축 함수비를 기본으로 한다.

(5) 시공층 두께

토사 다짐 시 한 층당 마무리 두께는 ① 다짐 결과 ② 시공성 ③ 균일성 등을 고려하여 300 mm 정도를 원칙으로 하며, 노체 완성면에서 깊이에 따라 표 4.12과 같이 다짐층의 두께를 조정할 수 있다.

암괴를 다짐 때에는 표 4.10에 표시한 바와 같이 다짐기계를 사용하는 것을 전제로 한 층당 마무리 두께는 암괴 최대입경의 1~1.5배를 목표로 하여 시험시공으로 결정하며, 600 mm 이하를 표준으로 하고, 최대 900 mm를 초과할 수 없다.

(6) 압축성이 큰 재료의 다짐

이암, 세일, 응회암, 편암 등의 연암재료를 사용한 흙쌓기 중에는 시공 완료 후 장기간에 걸친 지하수위 변동 등의 작용을 받아 세립화되어 큰 압축침하를 일으키는 일이 있다. 따라서 압축성이 큰 재료에 대해서는 지장이 적은 흙쌓기부에 사용하는 것을 검토하고 동시에 큰 압축침하가 생기지 않도록 충분히 파쇄한 후 다짐하도록 한다.

〈표 4.12〉 토사로 흙쌓기를 할 경우 다짐 층의 두께

구 분	노체 완성면에서의 깊이	
	600 mm 이하	600 mm 이상
한층 다짐의 마무리 두께	600 mm 이하 ¹⁾	300 mm 이하

주1) 노체 완성면에서의 깊이 600 mm 이하인 경우에 한하여 한 층 다짐의 마무리 두께를 완화한 것으로, 이러한 경우에는 시험시공을 통하여 각 다짐 층의 깊이에 따른 다짐도가 소정의 다짐 규정을 만족시키는 것이 확인되어야 한다. 또한 기초지반이 경사지반일 경우에는 한 층 다짐의 마무리 두께를 300 mm 이하로 한다.

(7) 전석을 포함한 토사

전석을 포함한 토사는 함유되어 있는 전석의 양이나 크기 등에 따라 시공 방법이 다르다. 전석의 입경이 작은 경우 또는 크더라도 혼입 비율이 적어 시공 상 문제가 없다고 판단되는 경우에는 일반 토사 시공과 같게 하고 공극이 생기지 않도록 주의하여 다짐할 필요가 있다. 입경이 큰 전석(300 mm 이상)을 많이 함유한 토사의 경우에는 압괴에 따라 시험시공을 하여 시공 방법을 검토하는 것으로 한다. 그 밖에 전석 제거나 파쇄가 필요한 경우에는 시공성이나 경제성 등을 충분히 고려하여 전석의 처리 방법을 결정할 필요가 있다.

(8) 석탄회 등의 산업부산물

최근 그 처리 방법이 문제가 되고 있는 석탄회, 고로슬래그, 탄광 또는 광산에서의 선광 작업 후 잔류분 및 기타 산업부산물이 노체재료로 사용될 수 있다. 이러한 경우에는 이들 재료의 다짐 후 물리적 성질이 도로의 노체재료로 적합해야 하고, 지하수 오염 등 주위 환경에 미치는 영향을 검토하여 사용해야 한다.

특히 석탄회를 노체재료로 사용하는 경우에는 한 층당 다짐 두께가 300 mm 이하 또는 다짐 후 마무리 두께를 150 mm로 하여 다짐 효과가 충분히 전달되도록 하고, 지지력이 부족할 경우 이를 증가시키는 방법으로써 일정량의 저회(bottom ash)나 기타 안정제를 혼합하는 방법들이 강구될 수 있다. 안정제를 혼합한 석탄회나 자경성(自硬性)이 있는 석탄회의 경우에는

지체 시간이 석탄회의 다짐과 강도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 물의 첨가와 다짐작업 사이의 시간 간격을 줄이는 것이 중요하다.

(9) 폐콘크리트 등의 건설부산물

폐콘크리트 등은 수집 위치 및 수집 과정에서 유기 불순물이나 그 밖의 이물질로 인한 오염 될 가능성이 있으므로 유해물질 확인 등 환경 특성을 위한 적절한 시험을 실시한다. 또한 유기 분순물이 포함된 경우에는 관련 법률에 따라 건설폐기물로 분류하여 처리해야 한다. 폐콘크리트 등은 콘크리트 덩어리로 최대 입경 100 mm 이하로 파쇄하여 사용하며, 파쇄 과정에서 이물질이 포함되지 않도록 철저한 품질관리를 한다.

(10) 발포폴리스티렌(EPS)

발포폴리스티렌(EPS)를 사용하여 노체를 형성하는 경우 주재료인 EPS 블록은 품질기준에 적합해야 하며, 본체는 EPS 블록과 EPS 블록을 결합시키는 연결점쇠를 사용하여 결합시킨다.

- ① EPS 블록의 압축강도는 9.8 MPa 이상을 사용하며, EPS 블록의 품질기준은 발포 비율에 따라 표 4.13와 같으며, 품질 기준에 대한 시험방법은 KS M 3808(발포 폴리스티렌 보온재), KS M 3831(경질 발포 플라스틱의 압축시험방법)에 따른다.
- ② 형상 및 치수는 각 제원에 제한 허용 범위(1800 × 900 × 600 mm³)의 경우는 길이 1800 ± 10 mm, 두께 600 ± 5 mm(2000 × 1000 × 500 mm³)의 경우는 길이 2000 ± 11 mm, 폭 1000 ± 7 mm, 두께 500 ± 5 mm)이내이어야 하며, 화재에 대비하여 난연재가 첨가되어야 한다.
- ③ 연결점쇠의 재료기준은 표 4.14에 따른다.

〈표 4.13〉 EPS 블록의 품질기준

구 분	단위중량 (kN/m ³)	밀도편차 (%)	흡수량 (kN/100cm ³)	연소성	허용압축응력 (kN/m ²)	압축강도 (kN/m ²)
토목용 1호(D-30)	0.30 이상				90 이상	180 이상
토목용 2호(D-25)	0.025 이상	10	0.00001 이하	자기소화성 (3초 이내 소화)	70 이상	140 이상
토목용 3호(D-20)	0.020 이상				50 이상	1000 이상
비 고	D : 밀도 D-30, D-25, D-20은 밀도를 나타냄				일축탄성한계 (탄성변형 시)	5% 변형 시

〈표 4.14〉 EPS 블록의 연결점식 재료기준

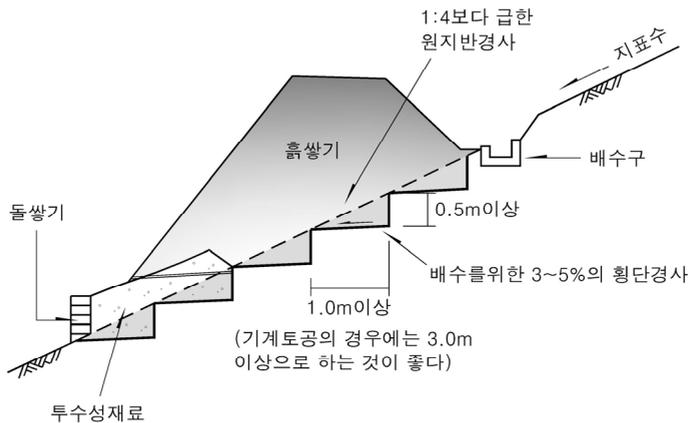
종 류	기 호	아연부착량(kN/m ²)	항복점(kN/m ²)	인장강도(kN/m ²)
일반용	SGCC	0.00220 이상	0.21 이상	0.28 이상

4.5 경사 지반상의 흠쌓기

4.5.1 층따기

1:4 경사보다 급한 경사를 가진 지반 위에 흠쌓기를 하는 경우에는 원지반 표면에 층따기를 실시하여 흠쌓기와 원지반과의 밀착을 도모하고, 소규모의 지반의 변형과 활동을 방지해야 한다.

- (1) 1:4 경사보다 급한 경사지 위에 흠쌓기 하는 경우 그림 4.16과 같은 층따기를 하여 흠쌓기와 원지반과 밀착되도록 하고 흠쌓기의 활동을 방지해야 한다.



〈그림 4.16〉 비탈면 흠쌓기의 층따기

- (2) 경사지반 상의 흠쌓기에서는 물이 흠쌓기와 기초지반과의 경계에 침입하여 활동을 일으킬 때가 있다. 이것을 방지하기 위하여 그림 4.16에서와 같은 위치에 배수구를 설치하여 지표수를 배수시켜야 한다. 또, 층따기 면에는 시공 중의 배수를 위하여 3~5% 경사를 유지한다. 기초지반에 용수가 있는 원지반에 접한 흠쌓기 부분은 투수성의 재료를 사용하든가 배수층을 설치하여 배수하며, 비탈끝에는 흠쌓기가 붕괴되지 않도록 돌쌓기 등을 설치한다.

(3) 층파기의 표준치수는 다음과 같다.

- ① 기초지반이 토사인 경우
 - 최소 높이 : 500 mm
 - 최소 폭 : 1 m (기계 시공 시는 3 m 이상)
- ② 기초지반이 암반인 경우
 - 층파기 깊이는 암표면으로부터 수직으로 최소 400 mm

4.5.2 한쪽깎기 · 한쪽쌓기부

한쪽깎기 · 한쪽쌓기부에서는 땅깎기 단부에서 흙쌓기부 노상 저면의 깊이까지 깎는 것을 원칙으로 하며, 1:4 정도의 경사로 땅깎기부 노상 저면에 접속시킨다. 이 땅깎기 부분은 흙쌓기부 노상재료와 같은 재료로 되메우고, 소정의 다짐도로 균일하게 다져야 한다.

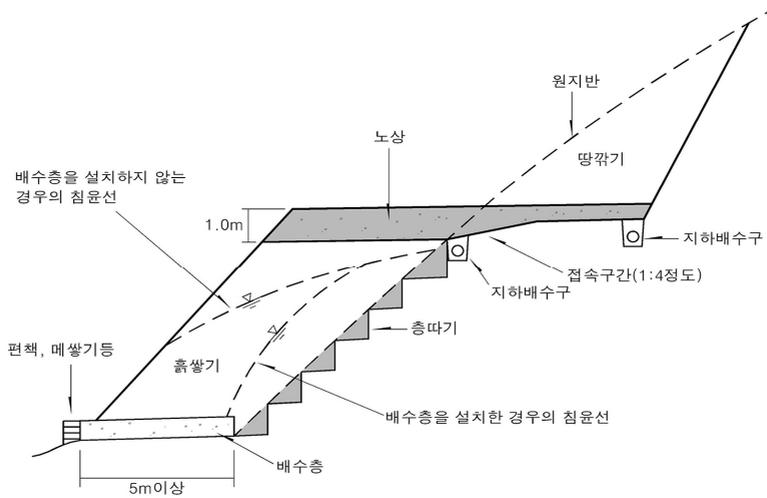
한쪽깎기 · 한쪽쌓기부에서는 단차가 생겨서 포장에 균열이 일어나기 쉽다. 그 원인으로는 다음 사항을 들 수 있다.

- (1) 땅깎기부와 흙쌓기부의 지지력이 불연속적이고 불균등하게 된다.
- (2) 땅깎기부와 흙쌓기부의 경계에는 지표수 · 용수 · 침투수 등이 집중하기 쉽고, 이로 인하여 흙쌓기가 약화되어 침하된다.
- (3) 경계부의 땅깎기는 다짐이 불충분하게 되기 쉽기 때문에 흙쌓기부는 압축에 의한 침하를 일으킨다.
- (4) 한쪽깎기 · 한쪽쌓기부에 있어서는 기초지반과 흙쌓기의 접착이 불충분하게 되기 쉽고, 따라서 지반의 변형과 활동에 의한 단차가 일어나기 쉽다.

이와 같은 이유로 단차가 생겨서 포장에 균열이 생기는 것을 억제하기 위하여 그림 4.17에 서와 같이 땅깎기부 노상 저면(땅깎기면)과 흙쌓기부 노상 저면(노체 상부면)을 연결하는 접속 구간을 설치한다.

또, 배수를 위하여 원칙적으로 노체 상부면 또는 땅깎기면에 지하 배수공을 설치하고 배수 유출구로 유도 배수되도록 한다. 그리고 용출수가 많은 곳은 눈에 잘 띄이도록 유출구를 설치한다.

또한, 용수가 많은 한쪽깎기 · 한쪽쌓기 구간의 흙쌓기 비탈 하단에는 그림 4.17과 같은 배수층을 설치하도록 한다.

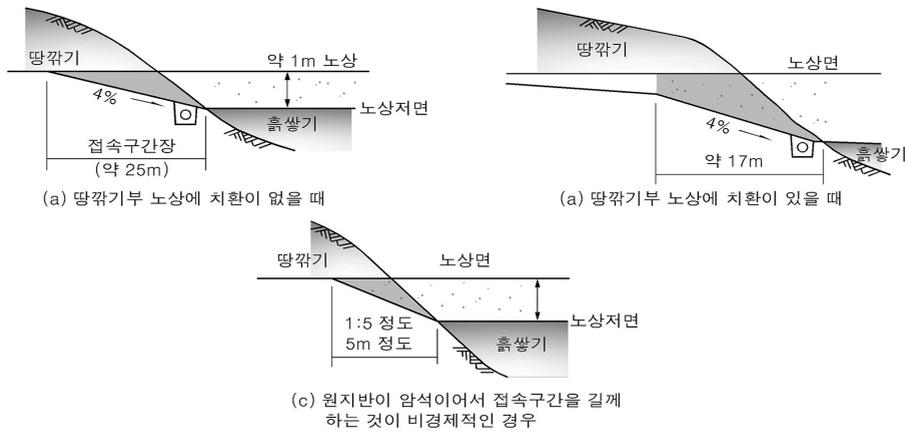


〈그림 4.17〉 한쪽깍기·한쪽쌓기부에서의 층따기 및 배수처리의 예

4.5.3 땅깍기 흡쌍기 경계부

땅깍기·흡쌍기부에서는 흡쌍기부 노상 저면의 깊이까지 기존 지반을 굴착하는 것을 원칙으로 하고, 굴착깊이를 서서히 감소시켜 땅깍기부 노상 저면에 접속시켜야 한다.
이 땅깍기 부분은 흡쌍기부 노상재료와 같은 재료로 되메우고, 소정의 다짐도로 균일하게 다져야 한다.

그림 4.18에 표시한 (a)~(c)에 땅깍기·흡쌍기 경계부의 접속구간 길이에 대한 한 예가 표시되어 있다. 접속구간 길이는 길수록 좋지만, 일반적으로 약 25 m 정도면 충분하다. (c)는 땅깍기 지반이 발파암인 경우로서 이 경우 땅깍기부와 흡쌍기부 노상 사이의 지지력 차이가 가장 크게 나타나므로 접속구간 길이도 가장 길어야 하지만 5 m 정도로 짧게 규정되어 있는 것은 원지반 조건이 암석인 관계로 접속구간을 길게 할 경우 경제성이 저하되는 것을 방지하기 위하여 부득이하게 취하여진 경우를 보여주고 있다.



〈그림 4.18〉 땅깁기 흠쌓기부 접속구간 길이의 설계 예

4.6 노체의 품질관리

흠쌓기 재료의 품질관리를 위하여 선정시험, 관리시험 및 규격관리를 한다.

4.6.1 선정 시험

흠쌓기 재료에 대하여 토취장마다 그리고 토질 변화 시마다 선정 시험을 실시하여 노체의 흠쌓기 재료로서의 적합여부를 확인한다.

흠쌓기에 사용할 재료의 적합 여부를 판단하기 위하여 실시하는 선정 시험의 종목, 방법 및 빈도는 표 4.15와 같다.

〈표 4.15〉 흠쌓기 재료의 선정 시험

시험종목	시험방법	시험빈도(측정빈도)
함 수 량	KS F 2306	1) 토취장 마다 2) 토질 변화 시 마다
입 도	KS F 2302	
비 중	KS F 2308	
액성·소성한계	KS F 2303	
실내 CBR	KS F 2320	
다 짐	KS F 2312	
토질조사(시추)		필요 시 마다

4.6.2 관리 시험

노체 흠쌓기 작업이 승인된 재료를 사용하여 설계도서 및 감독관의 지시에 따라 적합하게 이루어지고 있는지를 확인하기 위한 관리 시험의 종목, 방법 및 빈도는 표 4.16와 같다.

표 4.16에서 현장밀도의 평가는 모래치환법(KS F 2311)에 의한 방법을 기본으로 하며, 평가의 신뢰성이 확보된다면 방사성 동위 원소를 이용한 밀도측정 시험(RI), 표면파기법(SASW) 등의 방법을 적용할 수 있다.

〈표 4.16〉 흠쌓기 작업의 관리 시험

시험종목	시험방법	시험빈도	비고
다 짐	KS F 2312	토질 변화 시 마다	급속함수량 측정기 사용 불가
함 수 량	KS F 2306	포설 후 다짐 전 2,000 m ³	급속함수량 측정기 사용 가능
현장밀도	KS F 2311	1) 2,000 m ³ 마다 (폭이 넓은 광활한 지역의 흠쌓기 작업 시) 2) 층별 450 m 마다 (층다짐, 2차로 기준)	전자렌지를 사용한 급속 함수량 측정가능 ¹⁾
평판재하	KS F 2310	1) 3층 포설 후 150 m 마다 (층 다짐 시, 2차로 기준) 2) 2,000 m ³ 마다 (폭이 넓은 광활한 지역의 흠쌓기 작업 시)	1) 재료 최대치수가 37.5 mm 이상인 경우 2) 19mm체 잔류량이 50 % 이상인 경우 3) 현장밀도시험 불가능 시

주 1) 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법을 적용하기 위해서는 표준함수비 측정방법(KS F 2306)과 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법에서 결정되는 함수비의 차이를 사전에 다짐에 사용되는 흙에 대하여 검토하여 두어야 한다. 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법은 100℃ 이상의 가열온도를 유지하므로 가열시간을 충분히 하면 표준함수비 측정방법에 의한 경우보다 큰 함수비로 평가되며 (다짐도 관리측면에서 안전측으로 함수비 평가), 이러한 전자렌지 가열시간을 사전에 결정하여 두어야 한다.

4.6.3 규격 관리

층따기 작업에 있어서 높이는 토사지반의 경우 500 mm, 암반지반의 경우 400 mm, 폭은 1 m(기계 시공 시는 3 m) 이상 이어야 한다.

흠쌓기 노체의 마무리면의 시공 오차는 ±50 mm 이내이어야 한다.