

KDS 11 30 05 : 2021

연약지반 설계일반

2021년 12월 16일 개정
<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

또한 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2022년 1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

건설기준 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 구조물기초 설계기준, 철도 설계기준, 항만 및 어항공사 표준시방서를 중심으로 건축공사 표준시방서, 도로공사 표준시방서, 터널 표준시방서의 연약지반 설계에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
구조물기초 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 합리적인 설계를 위하여 본구조물 기초설계기준을 기초지반의 성질 및 상부구조의 조건을 고려하여 경제적이고 통일성 있는 체계가 이뤄지도록 기준 제정 	제정 (1971.12)
구조물기초 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 외국자료의 분석과 기 개정된 각종 시방서 시설기준 및 제규정 등과의 상호 연관성을 검토하고, 미비점을 충분히 반영하여 개정. 	개정 (1986.11)
구조물기초 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 그간의 지반공학 분야의 기술발전을 반영하고, 관련기준의 개정에 따른 내용 조정 등 수정하고 국제표준단위인 미터법과 SI단위로 통일 개정. 	개정 (2002.12)
구조물기초 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 구조물기초 설계기준 개정 	개정 (2008.11)
구조물기초 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 토목, 건축공사 등의 건설구조물 기초 설계를 국가의 설계기준형식에 부합시키고, 신기술, 신공법 등의 시대적 변화를 적용시키며 설계자의 창의적 설계를 유도할 수 있도록 개정. 	개정 (2014.2)
구조물기초 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 도심지 지반침하 현상의 지속적 발생으로 국민불안이 증대하고 있으나, 다소 미흡한 지반침하와 관련된 조사 및 설계관련 하여 공동 및 싱크홀을 조사하도록 철도설계기준 개정사항(2015)을 반영하여 개정. 	부분개정 (2016.5)
철도 설계기준(노반편)	<ul style="list-style-type: none"> • 철도노반공사의 총괄적인 시행기준과 조사 및 측량, 토공, 구교 및 배수시설, 지하구조물, 터널, 정거장 등 총 6편으로 구성함. 	제정 (2001.12)
철도 설계기준(노반편)	<ul style="list-style-type: none"> • 철도설계기준(노반편) 개정 	개정 (2004)

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
철도 설계기준(노반편)	<ul style="list-style-type: none"> 일반철도의 열차속도를 시속 200km 이상으로 속도향상시키는 데 필요한 기준을 중점적으로 검토하여 개정 	개정 (2011.5)
철도 설계기준(노반편)	<ul style="list-style-type: none"> 일반철도의 열차속도를 시속 200km 이상으로 속도향상시키는 데 필요한 기준을 중점적으로 검토하고, 철도건설 경쟁력 확보를 위한 제반연구결과 및 그동안 변경된 철도관련 상위법령, 설계기준 및 시방서 등의 개정된 내용을 반영하여 개정. 	개정 (2013.12)
철도 설계기준(노반편)	<ul style="list-style-type: none"> 향후 국내외 철도건설기술 발전 등 기술적 환경변화에 대응할 수 있도록 안전기준 강화 및 철도관련 상위법령, 규정, 기준 등의 개정된 내용 반영하여 개정 	개정 (2015.12)
항만 및 어항 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비시설물을 적용대상에 포함하고, 항만시설장비의 안전성 제고를 위한 설계풍속 및 하중계수 상향, 재추산한 심해파의 적용근거 마련 등 대폭 보완. 	개정 (2005)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> 변화된 항만건설여건을 반영하고 지구 온난화 등 기후변화에도 선제적으로 대비할 수 있도록 전면 개정. 	개정 (2014)
항만 및 어항 설계기준·해설	<ul style="list-style-type: none"> 항만구조물의 내구성증진 및 해안구조물 피해 예방을 도모하는 설계기준 마련, 건설 신기술 소개 등으로 향후 시설물 유지보수비용 절감 및 항만 및 어항 설계기준·해설의 고도화를 도모 	부분개정 (2016.4)
KDS 11 30 05 : 2016	<ul style="list-style-type: none"> 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함 	제정 (2016.6)
KDS 11 30 05 : 2016	<ul style="list-style-type: none"> 한국산업표준과 건설기준 부합화에 따라 수정함 	수정 (2018.7)
KDS 11 30 05 : 2021	<ul style="list-style-type: none"> 기준명 변경과 건설기준의 구체화 및 현실화 반영하고 건설기준 코드작성 지침에 따른 수정 	개정 (2021.12)

제 정 : 2016년 6월 30일

개 정 : 2021년 12월 16일

심 의 : 국토교통부 중앙건설기술심의위원회

자문검토: 국가건설기준센터 건설기준위원회

소관부서 : 국토교통부 기술혁신과

관련단체 : 한국지반공학회

작성기관 : 한국지반공학회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고 기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	1
1.6 연약지반의 판정	2
2. 조사 및 계획	2
2.1 조사 및 계획 일반	2
2.2 연약지반 확인조사	3
3. 설계	3
3.1 일반사항	3
3.2 연약지반 개량공법	4

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준은 지반에 건설되는 구조물에 대하여 안정성을 확보하지 못하는 연약지반의 설계기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

- (1) 이 기준은 지반에 건설되는 구조물에 대하여 안정성을 확보하지 못하는 연약지반의 보강이나 대책공법 설계에 적용된다.
- (2) 연약지반은 쌓기 규모나 구조물 목적에 따라 상대적인 의미로 평가되며, 원지반이 건설되는 구조물에 대해 안정성을 만족하지 못할 경우 연약지반으로 취급하여 지반보강이나 대책을 강구하여야 한다.
- (3) 연약지반 대책공법으로서 지반개량을 시행할 경우 기초지반의 특성, 구조물의 종류와 크기, 시공기간과 난이도, 경제성, 환경영향 등을 고려하여 적합한 개량공법을 선정하여야 한다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

내용 없음

1.3.2 관련 기준

- KDS 11 10 05 지반설계 일반사항

1.4 용어의 정의

- 모르타르 : 시멘트, 잔골재, 물 및 필요에 따라 첨가하는 혼화 재료를 구성재료로 하여, 이들을 비벼서 만든 것, 또는 경화된 것
- 연약지반 : 구조물의 기초 지반으로서 충분한 지지력과 침하에 대한 안정성을 갖지 못하여 지반 개량 또는 보강 등의 대책이 필요한 지반
- 연직배수공법 : 점토층 중에 투수층에 연결된 연직 배수로를 형성하여 압밀을 촉진하는 공법. 배수재로서 모래를 쓰는 샌드드레인, 모래를 자루에 담은 팩드레인, 플라스틱 제품을 사용하는 PVD(Prefabricated Vertical Drain)공법이 있다.
- 전기비저항탐사 : 물리탐사법의 일종으로 지반 내 전류를 흘려보냄으로써 비저항을 측정하여 지반의 지질구조 및 지하수 분포구간 확인 등을 조사하는 방법

1.5 기호의 정의

- 선행압밀하중(σ_{vp}') : 과거에 점토가 받았던 최대유효연직응력

- 압축지수(C_c) : 압밀시험 결과 얻어진 $e - \log \sigma'$ 관계곡선에서 직선 부분(원시 압축)의 기울기
- 재압축지수(C_r) : 압밀시험 결과 얻어진 $e - \log \sigma'$ 관계곡선에서 재압축 곡선(과압밀영역)의 기울기
- 초기간극비(e_o) : 압밀시험 시작 전 시료의 초기 간극비
- 압밀계수(c_v) : 지반의 압밀속도 즉, 지반의 압밀침하가 진행되는 데 걸리는 시간을 계산하기 위해 필요한 값. 압밀시험 결과 얻어진 시간-압축량 관계곡선으로부터 구할 수 있음.

1.6 연약지반의 판정

- (1) 연약지반 유무 판단은 시추조사와 병행하여 실시하는 원위치 조사인 표준관입시험, 콘관입시험 등을 통해 판단하여야 한다.
- (2) 연약지반의 잠재성을 내포하고 있는 지반의 판정은 점성토 지반과 사질토 지반으로 나누어 판단한다.
- (3) 판정기준
 - ① 절대적 판정기준은 곤란하나 실무적 견지에서 판정기준은 필요하며, 일반적인 경우 연약지반의 판정은 표 1.6-1에 따라 연약지반을 판정하며, 구조물에 대해 안정성을 만족하지 못하는 경우에는 연약지반으로 판정한다.
 - ② 점성토 및 이탄질 지반에서의 N값을 이용한 연약지반 판정은 신중하게 적용하여야 한다.
 - ③ 표 1.6-1은 최소 기준이며, 액상화 검토 유무 및 구조물의 허용침하량 기준을 고려하여 연약지반을 판정하여야 한다.

표 1.6-1 연약지반 판정기준

구분	점성토 및 이탄질 지반		사질토 지반
층두께	10 m 미만	10 m 이상	-
N값	4 이하	6 이하	10 이하
q_u (kN/m ²)	60 이하	100 이하	-
q_c (kN/m ²)	800 이하	1,200 이하	4,000 이하

2. 조사 및 계획

2.1 조사 및 계획 일반

- (1) 연약지반 특성 평가를 위한 조사 및 시험 계획 수립 시 다음 사항에 유의하여야 한다.
 - ① 지반조건에 적합한 조사항목과 시험을 계획하여야 한다.

- ② 심도별 응력이력과 전단강도 분포의 추이를 구하기 위해서는 동일 지반정수에 대해 최소한 회귀분석이 가능한 수량이 확보되도록 하여야 한다.
- (2) 지반개량을 실시한 후의 지반에 대하여는 개량 효과 확인을 위해 지반조건에 적합한 시험 계획을 수립하여야 한다.

2.2 연약지반 확인조사

- (1) 표 2.2-1과 같은 상세한 지반조사를 통하여 연약지반의 특성을 확인하여야 한다.
- (2) 연약지반의 침하 문제는 원위치조사에서 확인되지 않는 지형에서 주로 발생할 가능성이 있으므로, 전체노선에 대한 국부적인 연약지반 평가가 필요한 구간에 대해 탄성과 탐사나 전기비저항탐사를 적용할 수 있다.
- (3) 연약지반의 전단변형특성을 파악할 필요가 있을 경우에는 공내재하시험을 적용할 수 있다.

표 2.2-1 연약지반 조사항목

조사항목	시험목적	시험표준
핸드오거	연약지반 확인	KS F 2319
시추조사	지층 확인	KS F 2307
피에조콘 관입시험	연약지반 파악 및 설계정수 획득	KS F 2592
간극수압 소산시험	압밀계수 산정	KS F 2592
베인시험	비배수 전단강도 산정	KS F 2342
탄성파탐사/전기비저항탐사	연약대 파악	
공내재하시험	전단변형특성 파악	
실내시험 (함수비, 밀도, 체분석, 입도, 액성·소성, 전단, 삼축 압축, 일축 압축, 압밀, 기타시험 등)	지반정수 산정	KS F 2306 KS F 2308 KS F 2302 KS F 2303 KS F 2343 KS F 2346 KS F 2314 KS F 2316

3. 설계

3.1 일반사항

- (1) 점성토층의 침하특성 파악을 위해 토성시험 및 압밀시험 결과로부터 선행압밀하중 (σ_{vp}'), 압축 및 재압축지수(C_c, C_r), 초기간극비(e_o), 압밀계수(c_v, c_h) 등을 분석하여야 한다.
- (2) 침하량 계산 시 다음 사항을 고려하여야 한다.

- ① 일반적으로 점토지반의 즉시침하는 매우 작아서 무시하고 압밀침하는 간극수압의 소산으로 발생하는 1차 압밀침하량과 토립자의 재배치에 의한 이차압축침하량으로 구분하여 계산한다.
- ② 침하량 계산방법은 현장 계측값과는 다소의 차이가 있을 수 있으므로 시공 시 계측을 통하여 압밀침하를 관리하여야 한다.
- ③ 허용잔류침하량은 공사목적물에 따라 지반개량공법의 수량 및 지반의 안정, 공사기간에 큰 영향을 미치므로 지반 특성 및 사용목적, 중요도, 공사기간, 경제성 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (3) 압밀시간은 지반개량공사에 있어서 공사기간을 결정짓는 중요한 요소로 작용하며 이를 예측하기 위해서는 시간에 따른 압밀도를 면밀히 파악하여야 한다.
- (4) 전단강도 특성을 분석하는 데 있어서 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 전단강도 특성 분석은 전응력해석과 유효응력해석으로 구분될 수 있으며, 전응력해석 시에는 비배수전단강도를 이용하고, 유효응력해석 시에는 간극수압을 결정하여 해석하여야 한다.
 - ② 연약지반에서는 성토 직후가 가장 위험한 경우이므로 이때를 대상으로 안정성 검토를 수행하여야 한다.
- (5) 압밀에 의한 강도증가율을 산정하는 방법에는 비압밀비배수(UU: Unconsolidated Undrained) 삼축압축시험 및 일축압축시험 결과의 선형회귀분석에 의한 방법, 압밀비배수(CU: Consolidated Undrained) 삼축압축시험과 경험식을 이용하는 방법 등이 있으므로 이들을 종합하여 사용한다.

3.2 연약지반 개량공법

3.2.1 치환공법

- (1) 치환공법은 굴착단면의 안정성, 침하량, 시공성 등을 검토하여 결정한다.
- (2) 치환범위는 치환깊이, 치환폭, 굴착경사 등을 가정한 안정계산과 침하검토를 통해 결정한다.
- (3) 소요 안전율에 가장 가깝게 도달할 때까지 반복해서 단면을 변화시키는 방법으로 최종 치환범위를 정한다.
- (4) 굴착단면의 안정성 검토
 - ① 부분치환에 널말뚝이나 보조공법이 설치된 경우 단면전체의 복합적인 활동에 대한 안정성을 검토한다.
 - ② 전면치환인 경우에도 바닥면이 경사진 경우에는 바닥면에서의 활동을 포함한 복합 활동을 검토한다.
- (5) 치환단면의 하부에 점토가 남아있는 경우(부분치환이나 지반굴착 비탈면의 하부) 압밀침하가 상부 구조물에 미치는 영향을 검토한다.
- (6) 치환재료의 내부마찰각은 입자형태, 입도분포, 투입방법, 투입순서, 방치간격, 재하하중 등의 영향을 고려하여 선정한다.

- (7) 액상화 가능성에 대한 평가를 실시할 경우 입도분포와 N값을 이용하여 검토할 수 있다.
- (8) 치환이 완료된 후 추가적인 침하가 발생하는 경우, 확인조사를 시행하여 국부적인 연약층의 존재 여부를 확인한다.

3.2.2 연직배수공법

- (1) 지반개량을 위한 목표강도 증가량, 공사기간, 구조물의 장래 허용 침하량, 연직배수공 시공범위 등을 고려하여 설계한다.
- (2) 지반개량에 필요한 흙쌓기 높이와 폭은 시공 중 및 완성 시 흙쌓기의 안정에 필요한 한계 쌓기고, 강도 증가량, 장래 허용 침하량 및 주변의 영향 등을 고려하여 결정한다.
- (3) 흙쌓기의 안정에 필요한 흙쌓기 높이와 폭이 결정된 최종단면은 한계 쌓기고를 고려하여 여러 단계로 나누어서 시공하도록 설계한다.
 - ① 각 시공단계의 단면형상은 그 단계까지의 강도 증가량을 고려하여 그 단계의 흙쌓기 안정성을 검토하여 결정한다.
- (4) 연직배수공 설계는 연직배수재의 간격과 직경 및 점성토층 상하부의 배수조건, 그리고 연직배수재 재료의 특성 및 상부 수평 배수층의 특성과 두께를 고려한다.
- (5) 연직배수재 및 상부 수평 배수층은 적합한 배수 기능을 가진 재료를 선택하여 투수저항이 발생하지 않도록 한다.
- (6) 연직배수재의 간격과 배치는 교란효과를 고려하여 필요한 공사기간 내에 요구되는 압밀도를 얻을 수 있도록 **결정**한다.
- (7) 연직배수공법의 압밀이론의 적용에 있어서 다음 사항을 고려하도록 한다.
 - ① 연직배수공법의 적용은 Barron의 압밀이론식과 Hansbo, Youshikuni, Onoue 등의 압밀관련 이론식을 상호 보완하여 적용한다.
 - ② 주어진 기간 내에 소요의 압밀도를 달성할 수 있도록 배수재 간격을 적정하게 설계하여야 한다.

3.2.3 심층혼합처리공법

- (1) 심층혼합처리공법은 원지반의 연약점성토와 고화제를 강제적으로 혼합하여 지반 중에 견고한 안정처리토를 형성하는 연약지반 개량공법으로서 중력식의 방파제, 안벽 또는 호안의 하부 기초공 등에 적용한다.
- (2) 심층혼합처리공법에 의한 지반개량 설계 시 외부 안정과 내부 안정 및 개량체의 변위를 검토하며, 개량체에 작용하는 외력은 각 검토내용에 따라 적합하게 산정한다.
- (3) 안정처리토 배합설계는 현장시공과 동일조건에서 시행하며, 현장시험 또는 실내 배합시험을 실시하여 배합강도를 결정한다.
- (4) 개량체의 내부응력 검토를 위해서 적합한 허용응력을 설정한다.
- (5) 개량체의 외부안정은 활동, 전도, 지지력에 대해서 안전하도록 설계한다.
- (6) 외력에 의해 개량체에 생기는 응력은 안정 처리토의 허용전단응력 및 허용인장응력을 초과하지 않도록 설계한다.

- (7) 벽식개량의 경우 긴 벽 사이에 있는 미개량토의 압출에 대해서 검토한다.
- (8) 개량체는 원호활동에 대해 안전하도록 설계한다.
- (9) 개량체가 부상형 또는 착저형인 경우에도 지지층의 하부에 점성토가 존재하고 있을 때에는 측방이동 또는 압밀에 의한 변위(수평, 연직)를 검토한다.
- (10) 환경 영향성 평가시험 결과를 통해 지반개량재료를 선정하여, 염분, 유기물 등에 의한 열화현상이 발생되지 않도록 하고, 해수 및 지하수의 오염, 지반오염 등의 지반환경 문제가 발생하지 않도록 설계한다.

3.2.4 고압분사주입공법

- (1) 고압분사주입공법은 공기나 물의 힘으로 지반을 절삭하여 주입액을 초고속 분사함으로써 그 절삭부분의 토사와 치환하거나 토사와 혼합함으로써 계획하는 방향이나 범위 내에 고결체를 형성하는 공법이다.
- (2) 고압분사주입공법에 의한 지반개량 설계 시에는 아래의 항목에 대한 지반조사와 실내시험이 필요하다.
 - ① 대상지반의 지층구성, 지하수위 등
 - ② 지층의 물리적 특성(함수비, 입도조성 등)
 - ③ 지층의 역학적 특성(N값, 점착력, 내부마찰각 등)
- (3) 지반조건과 시공조건으로부터 대상 지반 N값, 시공깊이 등을 고려하여 공법의 적합성을 검토한다.
- (4) (3)항의 방법에 따라 선정할 수 없는 경우 공사목적, 공사규모, 공사기간, 경제성, 공법의 특성 등을 고려하여 현지조건에 가장 적합한 공법을 선정한다.
- (5) 표준 유효경은 토층조건(토질, N값, 투수계수, 입도조성, 점착력 등)과 시공조건(시공심도, 깊이, 시공목적, 설계강도, 지하수위 등)에 따라 결정한다.
- (6) 설계 시 개량체의 단위체적 중량 및 내부마찰각은 원지반과 동등하고 점착력만 증가하는 것으로 가정하며, 개량체의 7일 설계강도는 28일 강도의 30% ~ 40%가 되도록 한다.
- (7) 지반보강 및 차수를 목적으로 하는 경우 중첩배치를 하며, 지반보강만을 목적으로 하는 경우에는 점점배치를 한다.
- (8) 안전율은 시공성과 시공목적을 고려하여 결정한다.
- (9) 강도열화와 지반환경오염에 대한 대책은 이 기준의 3.2.3(10)과 같다.
- (10) 유속이 있거나 모래자갈층, 실트층의 경우 급결분사식 고압분사공법을 적용하여야 한다.
- (11) 고압분사공법은 주변지반의 변위 및 팽창으로 인해 함몰, 융기 등의 위험성이 있으므로 변위를 억제할 수 있는 센서 등을 장착하여, 최소한의 지반변위를 억제 또는 통제할 수 있어야 한다.

3.2.5 저유동성 모르타르 주입공법

- (1) 저유동성 모르타르 주입공법은 저유동성의 몰탈형 주입재를 지중에 압입하여 원기둥 형태의 균질한 고결체를 형성함으로써 주변 지반을 압축, 강화시키는 공법이다.
- (2) 주입재의 배합설계 시 주입재를 통제할 수 있는 유동학적 특성을 고려하여, 골재와 세립토의 입도조성과 주입재의 슬럼프 및 컨시스턴시, 특히 0.08 mm보다 작은 세립분 양의 조절에 주의한다.
- (3) 주입압의 상한 값(지표면이나 구조물의 융기를 일으키는 압력)은 현장 여건을 고려하여 설정한다.
- (4) 정압주입개념으로 허용 주입압을 통해 조절하도록 설계하며 주입률은 현장의 지반특성에 따라 결정한다.
- (5) 주입방식 결정 시 개량 대상지반의 지층구성, 구조물의 구조, 개량목적 등을 고려한다.
- (6) 주입공의 배치와 주입순서는 시공목적과 현장조건을 고려하여 경제성과 주입효과를 극대화하도록 설계한다.
- (7) 지반조사를 통하여 각 주입공 및 단계별로 표준 목표체적을 미리 선정하며 지표면 융기를 발생시키지 않아야 한다.
- (8) 지반개량 목적일 경우, 사전에 목표로 하는 간극률 감소량이나 상대밀도 증가량을 정하여 이를 토대로 주입체적을 산정한다.
- (9) 강도열화와 지반환경오염에 대한 대책은 이 기준의 3.2.3(10)과 같다.

3.2.6 모래 및 쇄석다짐말뚝공법

- (1) 사질토와 실트질 모래 지반을 대상으로 하는 경우 대상지반의 특성 및 시공방법의 특징을 고려하고 시험시공 결과를 참조하여 설계하며, 시험시공 계획은 간극비에 의한 다짐도 검토, 시공실적 등을 종합적으로 판단하여 결정한다.
- (2) 점성토 지반을 대상으로 하는 경우 개량 후 지반의 복합성과 시공에 의한 영향을 고려한다.
- (3) 모래 및 쇄석다짐말뚝공법 설계 시 모래 및 쇄석말뚝의 강도, 말뚝치환율, 구조물에 대한 개량범위의 치환관계, 외부조건(크기, 방향, 하중경로, 재하속도 등), 말뚝 사이 지반의 강도와 구속압, 말뚝 타설에 의한 개량범위 내외의 교란영향, 말뚝 타설에 의한 지표면의 융기 현상과 그 흠의 특성, 그리고 이용 유무 등을 고려한다.
- (4) 모래말뚝 재료는 투수성이 좋고, 세립분(0.08 mm 이하)의 함유량이 적으며, 입도분포가 좋고, 다짐이 쉬우며, 소정의 강도가 기대되고, 케이싱으로부터의 배출이 용이한 재료가 적합하며, 개량목적과 치환율을 고려하여 선정한다.
- (5) 쇄석말뚝 재료는 최대직경이 40 mm 이하이고 세립분(0.08 mm 이하)의 함유량이 적은 재료가 적합하며, 개량목적과 치환율을 고려하여 선정한다.
- (6) 모래 및 쇄석말뚝 재료의 구득이 용이하지 않을 경우 동등 품질 이상의 순환골재를 사용할 수 있다.
- (7) 복합지반의 전단강도 산출식이나 설계 제정수를 산정할 때에는 각각의 조합에 대한

기존의 시공실적을 참조하여 결정한다.

- (8) 설계정수는 원지반의 강도, 안전율, 안정계산방법, 시공속도 등을 고려하여 결정한다.
- (9) 압밀침하량은 안정계산에서 결정된 안전율로부터 말뚝직경, 말뚝배열, 배치(정사각형 또는 삼각형 배치 등)를 구하고 압밀도와 경과시간의 관계를 계산한 후, 계산된 미개량 지반의 최종 압밀침하량에 침하 감소계수를 곱하여 복합지반의 최종 침하량을 계산한다.

3.2.7 로드 콤팩션공법

- (1) 로드 콤팩션(rod-compaction) 공법은 지반 중에 봉상 혹은 말뚝상의 진동체를 타입하고 진동에 의해 지반을 다지는 공법이다.
- (2) 본 공법의 설계는 이 기준의 3.2.6에 준하며, 대상지반의 특성 또는 시공방법의 특성을 충분히 고려하고 기존시공실적 또는 시험시공결과를 반영하여야 한다.

3.2.8 바이브로 플로테이션공법

- (1) 바이브로 플로테이션공법은 수평방향으로 진동하는 진동체를 진동체의 하단에 물을 분출시키면서 소정의 깊이까지 지중에 삽입하여 진동체 주변에 있는 간극에 지표에서 모래나 자갈 등을 보급하면서 끌어 올림으로써 느슨한 모래지반을 심층다짐하는 공법이다.
- (2) 바이브로 플로테이션공법의 설계 시 대상 지반의 특성, 바이브로 플롯의 타설 밀도, 바이브로 플롯의 능력, 개량 전후지반의 N값과의 상관관계를 고려하여야 하며 신뢰할 수 있는 자료가 없는 경우, 실트가 많은 지반, 사질토층과 점성토층이 서로 반복되는 지반에서는 시험시공 결과에 따라 설계한다.
- (3) 원지반에 대한 지반조사를 실시하여 본 공법에 의해 개량되는 지반의 특성이 개량구조물의 성질, 지반에 대한 하중강도, 하중분포 등의 만족 여부를 검토한다.
- (4) 시험시공을 위한 예비 설계는 이 기준의 3.2.6에서 정하는 바를 따른다.

3.2.9 약액주입공법

- (1) 그라우팅(grouting)이라고도 불리는 약액주입공법은 지반 내에 주입관을 삽입하여 약액(주입재)을 압력으로 주입하거나 혼합하여 지반을 고결 또는 경화시켜 강도증대 또는 차수효과를 높이는 공법이다.
- (2) 약액주입공법의 설계는 대상 지반의 특성 및 시공방법의 특징과 기존의 시공실적 또는 시험시공의 결과를 고려하여 수행한다.

3.2.10 진공압밀공법

- (1) 진공압밀공법은 압밀 시 필요한 하중을 기존 재하공법의 성토하중에 의하지 않고 인위적으로 지중을 진공상태로 만들어 이에 작용하는 대기압을 재하하중으로 활용함으로써 지중에 설치한 배수재를 통해 과잉간극수를 배출하여 지반의 압밀을 촉진시키는

공법이다.

- (2) 진공압밀공법의 설계는 대상 지반의 특성 및 시공방법의 특징과 기존의 시공실적 또는 시험시공의 결과를 고려하여 수행한다.

3.2.11 지하수위저하공법

- (1) 지하수위를 낮추는 공법에는 심정공법과 웰포인트공법이 있다.
- (2) 심정공법은 지반을 굴착하여 지중에 우물을 설치하고 중력에 의하여 지반 내의 지하수가 우물 내부로 흘러 들어오면 이를 양수기로 양수함으로써 지하수위를 목표지점까지 저하시켜 압밀침하를 촉진시키는 공법으로, 투수계수가 비교적 큰 사질토 지반에 적용하여야 한다.
- (3) 웰포인트공법은 강관의 선단에 웰포인트(well point)를 부착하여 지중에 관입한 다음 관 내부를 진공화함으로써 간극수의 집수효과를 높이는 공법으로 사질토 지반에 적용하여야 한다.

3.2.12 경량재쌓기공법

- (1) 양질의 쌓기재보다 중량이 작은 경량재를 이용하는 방법 중 고분자 계통의 경량제품인 발포폴리스티렌(EPS: Expanded Polystyrene)을 활용하여 하중을 경감하는 공법이다.
- (2) 연약지반이나 경사지 등에 쌓기에 의한 상부하중에 의한 침하나 측방유동에 의한 구조물의 변위가 발생할 우려가 있는 현장에 적용하여 하중이나 토압에 관련된 문제를 해결한다.
- (3) 교대 등에 적용 시 최대계획 홍수위를 고려하여 충분히 사용 여부를 검토하여야 한다.
- (4) 경량재쌓기를 하여 비탈면이 형성될 경우에는 장래 교통하중과 같은 사용하중에 의해 비탈면측으로의 변위 유무를 검토하여야 한다.

3.2.13 경량혼합토공법

- (1) 경량혼합토공법(lightweight soil method)은 액성한계 이상으로 함수비를 조정하여 슬러리화한 준설토 또는 건설잔토에 시멘트와 기포(air foam) 또는 발포 비드(bead) 등의 경량화재를 첨가하는 공법이다.
- (2) 경량혼합토는 가급적 타설장소와 근접한 위치에서 생산함이 품질확보에 유리하다.
- ① 타설거리가 수 km 이상의 장거리인 경우 배관압송 또는 운반타설(믹스트럭-펌프카)이 가능하며, 배관압송의 경우 최대 500 m까지 시공이 가능하다.
- ② 배합플랜트로부터 시공지점까지의 거리가 장거리인 경우 운반타설이 가능하며, 운반 거리는 약 1시간 이내를 표준으로 한다.
- (3) 경량혼합토 공법의 설계는 성토형상, 하중조건 등을 고려하여 설계에 필요한 단위체적 중량 및 설계강도를 결정하고, 경량혼합처리토에 의한 성토체의 안정, 지반을 포함한 안정 및 부력에 의한 안정 등에 대해 검토한다.
- (4) 경량혼합처리토 내 간극을 발생시키는 기포제는 동물성, 식물성 또는 합성유계 계면

활성작용을 일으키는 것을 이용할 수 있다.

- (5) 건설잔토를 원료토로 활용할 경우 잡초, 나무뿌리 등의 유기물이나 폐콘크리트 등이 혼합되지 않은 것으로 선별하여 사용하여야 한다.
- (6) 경량혼합처리토의 1단계 타설은 타설면 바닥에서 50 cm 이내의 높이를 유지하여 순차적으로 시공하며 시공 시 재료분리가 일어나지 않도록 하여야 한다.



집필위원

성명	소속	성명	소속
강인규	(주)브니엘컨설팅	백승철	안동대학교
김병일	명지대학교	윤찬영	강릉원주대학교
김하영	삼성물산		

자문위원

성명	소속	성명	소속
장용채	목포해양대학교		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	정충기	서울대학교
구재동	한국건설기술연구원	김동민	(주)한국종합기술
김기현	한국건설기술연구원	김범주	동국대학교
김나은	한국건설기술연구원	김운형	(주)다산컨설팅
김태송	한국건설기술연구원	남문석	한국도로공사
김희석	한국건설기술연구원	박이근	(주)지오알앤디
류상훈	한국건설기술연구원	박종호	평화지오텍(주)
원훈일	한국건설기술연구원	여규권	(주)삼부토건
이승환	한국건설기술연구원	오정호	한국교통대학교
이용수	한국건설기술연구원	이규환	건양대학교
이여경	한국건설기술연구원	이선복	동부건설
주영경	한국건설기술연구원	최재희	(주)이산
최봉혁	한국건설기술연구원	최창호	한국건설기술연구원
허원호	한국건설기술연구원	한상재	(주)지구환경전문가그룹

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
권석현	(주)디엠씨엠	김영근	(주)건화
권순철	SK건설(주)	김희룡	(주)천마기술단
김사한	(주)건화	류은영	(주)태암엔지니어링

국토교통부

성명	소속	성명	소속
유병수	기술혁신과	양성모	기술혁신과
백세영	기술혁신과		



KDS 11 30 05 : 2021
연약지반 설계일반

2021년 12월 16일 개정

소관부서 국토교통부 기술혁신과

관련단체 한국지반공학회
05836 서울특별시 송파구 법원로9길 26, C동 701호(문정동,에이치비즈니스파크)
Tel : 02-3474-4428 E-mail : kgssmfe@hanmail.net
<http://www.kgshome.org>

작성기관 한국지반공학회
05836 서울특별시 송파구 법원로9길 26, C동 701호(문정동,에이치비즈니스파크)
Tel : 02-3474-4428 E-mail : kgssmfe@hanmail.net
<http://www.kgshome.org>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>