KDS 17 00 00 : 2018

내진 설계기준

2018년 12월 6일 제정
http://www.kcsc.re.kr

KC CODE

국토교통부

내진 설계기준 체계

KDS 17 10 00 내진설계 일반	`18.12

KDS 17 10 00 : 2024

내진설계 일반

2024년 5월 17일 개정
http://www.kcsc.re.kr

KC CODE

국토교통부

건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

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

건설기준 연혁

• 이 기준은 국가 내진성능 목표를 달성하기 위해 시설별 공통으로 적용되는 내진설계기준을 제시하기 위하여 제정한 것으로 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
KDS 17 10 00 : 2018	• 시설별 공통으로 적용되는 내진설계기준 제정	제정 (2018.12)
KDS 17 10 00 : 2024	• 액상화 평가 방법 및 절차 구체화	개정 (2024.03)
KDS 17 10 00 : 2024	• 수식오류 정정	개정 (2024.05)

제　　정 : 2018년 12월 31일	개　　정 : 2024년 5월 17일
심　　의 : 중앙건설기술심의위원회	자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소관부서 : 국토교통부 시설안전과	
관련단체 : 한국지진공학회	작성기관 : 한국건설기술연구원

• 국토교통부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 고시일을 기준으로 매 3년이 되는 시점마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

목 차

1. 일반사항 ····· 1
1.1 목적 ····· 1
1.2 적용범위 ····· 1
1.3 참고기준 ····· 1
1.4 용어의 정의 ····· 1
1.5 기호의 정의 ····· 4
1.6 품질보증 ····· 5
2. 조사 및 계획 ····· 6
2.1 지반조사 ····· 6
3. 재료 ····· 6
4. 설계 ····· 6
4.1 내진성능기준 ····· 6
4.2 지진재해 ····· 8
4.3 시설물 내진설계 고려사항 ····· 15
4.4 성능기반 내진설계 ····· 17
4.5 지진보호장치 ····· 18
4.6 지진응답계측 ····· 19
4.7 액상화 ····· 19

1. 일반사항

1.1 목적

(1) 이 기준은 지진으로 인한 재해로부터 국민의 생명과 재산 및 기간시설을 보호하는 것을 목적으로 한다.

(2) 이 기준은 (1)의 목적을 이루기 위하여 체계적인 내진성능기준을 제시하고, 시설물의 내진설계기준에서 이를 만족시키기 위한 내진설계의 기본적인 요건과 고려사항을 제시한다.

1.2 적용범위

(1) 이 기준은 지진·화산재해대책법 시행령 제10조제1항에 규정된 시설물 중, 건설산업기본법 제2조제4호에서 정하고 있는 건설공사의 내진설계에 적용한다.

(2) 시설물의 특수성 등으로 인하여 필요한 경우 이 기준 내용에도 불구하고 관계기관과 협의하여 해당 시설물의 내진설계기준에서 별도의 기준을 정할 수 있다.

(3) (1)에 해당되지 않는 경우라도 필요하다면 이 기준을 적용할 수 있다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

- 건설산업기본법
- 지진·화산재해대책법
- 지진·화산재해대책법 시행령

1.3.2 관련 기준

- 지진가속도계측기 설치 및 운영기준(행정안전부)
- KS F 2307 표준 관입 시험방법
- KS F 2498 흙의 액상화 평가를 위한 반복 삼축 강도 시험 방법

1.4 용어의 정의

(1) 이 기준에서 사용되는 주요 용어의 정의는 다음과 같다.

- 감쇠(damping): 점성, 소성 또는 마찰에 의해 구조물에 입력된 동적 에너지가 소산되어 구조물의 진동이 감소하는 현상
- 감쇠시스템(damping system): 구조물의 감쇠능력을 증가시켜 내진성능의 향상을 도모하는 장치의 조합
- 기반암(bed rock): 전단파속도가 760 m/s 이상인 지층
- 내진등급(seismic classification): 시설물의 중요도에 따라 내진설계수준을 분류한 범주로서 내진특등급, 내진I등급, 내진II등급으로 구분
- 내진설계(seismic design): 설계지진에 의해 입력된 에너지를 충분히 견디거나, 소산시키

거나, 저감시키도록 하여 시설물에 요구되는 내진성능수준을 유지하도록 구조요소의 제원 및 상세를 결정하는 작업

- 내진성능목표(seismic performance objectives): 설계지반운동에 대해 내진성능수준을 만족하도록 요구하는 내진설계의 목표
- 내진성능수준(seismic performance level): 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 성능수준. 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준과 붕괴방지수준으로 구분
- 반복전단응력비(cyclic stress ratio, CSR): 지진 시 해당 깊이에서 지반에 발생하는 전단응력과 유효상재압의 비
- 반복저항응력비(cyclic resistance ratio, CRR): 해당 깊이에서 지반의 전단저항응력과 유효상재압의 비
- 반복연화(cyclic softening): 반복전단응력으로 인해 지반의 동적변형이 크게 발생하는 현상
- 부지특성평가(site characterization): 내진설계 및 내진성능평가를 위한 대상부지의 기초자료를 지반조사, 현장 및 실내시험 등으로 평가하는 일련의 과정
- 설계거동한계(design behavior criteria): 요구되는 내진성능수준에 부합되도록 구조시스템 또는 구성요소에 설정된 거동(단면력, 응력, 변위, 변형률, 침하량 등)의 한계값(기준값)
- 설계지반운동(design ground motion): 내진설계를 위해 정의된 지반운동
- 설계지진(design earthquake): 시설물의 부지에서 설계지반운동을 유발하는 지진
- 성능기반 내진설계(performance-based seismic design): 엄격한 규정 및 절차에 따라 설계하는 사양기반설계에서 벗어나서 목표로 하는 내진성능수준을 달성할 수 있는 다양한 설계기법의 적용을 허용하는 설계
- 소성지수(plasticity index): 흙의 소성정도를 나타내는 값으로 액성한계에서 소성한계를 뺀 값
- 스펙트럼보정(spectral matching): 지진파의 시간이력에 대한 응답스펙트럼을 목표로 하는 응답스펙트럼 형상에 부합되도록 시간이력을 보정하는 과정
- 액상화(liquefaction): 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 동하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하고, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상
- 연성거동(ductile behavior): 구조물 또는 부재가 갑자기 파괴되지 않고, 파괴에 이르기까지 상당한 크기의 소성변형을 나타내는 거동
- 예민비(sensitivity): 해당 흙의 비교란 일축압축강도를 완전교란 일축압축강도로 나눈 값
- 위험도계수(risk factor): 평균재현주기가 500년인 지진의 유효수평지반가속도를 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 유효수평지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수
- 유효지반가속도(effective ground acceleration): 지진하중을 산정하기 위한 기반암의 지반운동 수준으로 유효수평지반가속도와 유효수직지반가속도로 구분
- 응답스펙트럼(response spectrum): 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼
- 응답이력해석(response history analysis) (=시간이력해석): 지진의 지속시간 동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법

- 응력감소계수(stress reduction coefficient): 토층의 연성효과로 인한 최대전단응력의 깊이에 따른 감소비를 나타내는 계수
- 재현주기(return period): 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일년 동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수
- 지반-구조물 상호작용(soil-structure interaction): 구조물과 이를 지지하는 지반 사이의 동적상호작용
- 지반응답해석(ground response analysis): 대상부지의 깊이별 지진응답의 변화를 하부지반 조건을 고려하여 평가하는 기법으로 부지특성평가 결과에 기반한 등가선형 또는 비선형해석
- 지반종류(soil profile type): 지반의 지진증폭특성을 나타내기 위해 분류하는 지반의 종류
- 지반증폭계수(site amplification factor): 기반암의 스펙트럼 가속도에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도의 증폭비율
- 지진구역(seismic zone): 유사한 지진위험도를 갖는 행정구역 구분으로서 지진구역I, 지진구역II로 구분
- 지진구역계수(seismic zone factor): 지진구역I과 지진구역II의 기반암 상에서 평균재현주기 500년 지진의 유효수평지반가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값
- 지진격리(seismic isolation) (=면진): 시설물의 지진가속도 응답을 줄이기 위해 시설물을 장주기화와 함께 고감쇠화 시킨 상태
- 지진보호장치(seismic protection device): 시설물을 지진으로부터 보호하기 위한 모든 장치(지진격리(면진)받침, 감쇠기, 낙교방지장치, 충격전달장치(shock transmission unit, STU) 등)
- 지진위험도(seismic hazard)(=지진재해도): 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 연초과 발생빈도
- 지진위험지도(seismic hazard map)(=지진재해지도): 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도로서 정의된 재현주기 또는 초과확률 내에서 지리적 영역에 걸쳐 예상되는 유효지반가속도를 등고선의 형태로 나타낸 지도
- 지반 액상화 가능성 지도(liquefaction potential map): 지진 크기에 따라 지반의 액상화 발생 가능성을 예측하고 수치화 한 지도
- 차단진동수(cut-off frequency): 특정 진동수보다 크거나 작은 진동수 신호를 통과시키거나 감쇠시키는 경계의 진동수
- 최대응답(peak response): 응답의 절댓값의 최댓값
- 최대지반가속도(peak ground acceleration, PGA): 지진에 의한 진동으로 특정위치에서의 지반이 수평 2방향 또는 수직방향으로 움직인 가속도의 절댓값의 최댓값
- 탁월주기(dominant period): 지진파와 같은 불규칙파의 주기성분 중 빈도나 진폭이 다른 주기에 비하여 탁월한 주기
- 파워스펙트럼(power spectrum): 진동의 각 진동수 성분이 가지는 파워를 나타내는 스펙트럼
- 판내부(intra-plate): 지각을 구성하는 지각판들의 경계 안쪽
- 표준설계응답스펙트럼(standard design spectrum): 설계지진에 대하여 5% 감쇠비를 가진

단자유도 시스템의 설계응답스펙트럼
- 푸리에진폭(Fourier amplitude): 시간이력 파형을 여러 주기를 갖는 정현파들의 합으로 변환하였을 때 해당 진동수에 대한 정현파의 진폭

1.5 기호의 정의

(1) 이 기준에서 사용되는 기호는 다음과 같이 정의된다.
- C_D : 감쇠보정계수
- C_N : 관입저항측정값(N과 q_c)의 상재압 보정계수
- C_σ : K_σ 식의 상수
- C_V : 전단파속도(V_s)의 상재압 보정계수
- CH : 고소성 점토
- CL : 저소성 점토
- $CRR_{7.5}$: 지진규모 7.5에서의 반복저항응력비
- CSR : 반복전단응력비
- F_a : 토사지반 표준설계응답스펙트럼에서의 단주기지반증폭계수
- F_v : 토사지반 표준설계응답스펙트럼에서의 장주기지반증폭계수
- FC : 세립분 함량, %
- H : 기반암 깊이, m
- I : 위험도계수
- K_σ : $CRR_{7.5}$에 대한 상재압 보정계수
- LL : 액성한계
- MH : 고소성 실트
- ML : 저소성 실트
- MSF : 규모보정계수
- $MSF_{\max}$: 규모보정계수 최댓값
- N : 표준 관입 시험방법(KS F 2307)에서 정의하는 표준관입시험의 N값
- $(N_1)_{60}$: 1기압(atm)의 유효상재압 및 에너지효율 60 %로 보정한 표준관입시험의 N값
- $(N_1)_{60,cs}$: 1기압(atm)의 유효상재압, 에너지효율 60 %, 세립분 함량을 보정한 표준관입시험의 N값
- $\Delta(N_1)_{60}$: 표준관입시험의 세립분 함량 보정 상수
- P_a : 대기압 (1 atm = 101.3 kPa)
- PI : 소성지수
- q_c : 콘관입저항력, kPa
- q_{cN} : 1기압(atm)으로 보정한 콘관입저항력, kPa
- q_{c1N} : 상재하중을 보정한 콘관입저항력, kPa
- q_{c1Ncs} : 상재하중 및 세립분 함량이 보정된 콘관입저항력, kPa

- Δq_{c1N} : 콘관입시험의 세립분 함량 보정 상수
- S : 유효수평지반가속도, g
- S_a : 설계스펙트럼가속도, g
- S_1 : 암반지반
- S_2 : 얕고 단단한 지반
- S_3 : 얕고 연약한 지반
- S_4 : 깊고 단단한 지반
- S_5 : 깊고 연약한 지반
- S_6 : 부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반
- T : 진동주기, s
- T_L : 표준설계응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 진동주기(T)의 제곱에 반비례하여 감소하기 시작하는 구간의 통제주기, s
- T_S : 표준설계응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 상수인 구간의 상한통제주기, s
- $T_0 = 0.2\,T_S$: 표준설계응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 상수인 구간의 하한통제주기, s
- V_s : 지반의 전단파속도, m/s
- $V_{s,soil}$: 토층의 평균전단파속도, m/s
- V_{S1} : 1기압(atm)의 유효상재압을 보정한 지반의 전단파속도, m/s
- V_{S1}^* : V_{S1}의 한계값, m/s
- Z : 지진구역계수, g
- α_A : 암반지반 표준설계응답스펙트럼에서의 단주기스펙트럼증폭계수
- ξ : 감쇠비, %

1.6 품질보증

1.6.1 일반사항

(1) 설계자는 시설물의 내진등급별 요구 내진성능수준을 만족하도록 품질보증요건을 문서화하여야 한다.

(2) 품질보증요건은 해당 시설물의 관련 설계기준에 따른다.

1.6.2 품질관리

(1) 설계자는 규정된 내진설계항목을 숙지하고, 요구내진성능 이상을 확보하도록 설계하여야 한다.

(2) 시공자는 품질보증계획에 의해 검사 및 시험을 수행하여야 한다.

1.6.3 유지관리

(1) 시설물 관리주체는 시설물 사용기간 중에도 내진성능을 유지할 수 있도록 관리하여야 한다.

2. 조사 및 계획

2.1 지반조사

(1) 부지특성평가를 위한 지반조사는 지층의 구성, 각 지층의 동역학적 특성 파악 및 실내시험용 시료채취 등을 수행하는 현장시험과 채취된 시료를 이용한 실내시험을 포함하여야 한다.

(2) 내진설계는 지진에 대한 설계 지반운동을 결정하기 위하여 기반암을 확인할 수 있는 심도까지 시추를 수행한다. 기반암은 전단파속도 $V_s = 760\,m/s$ 이상으로 하여야 한다.

(3) 설계지반운동 결정을 위하여 지반의 층상구조, 기반암 깊이, 각 층의 밀도, 지하수위, 전단파속도 주상도, 각 지층의 변형률 크기에 따른 전단탄성계수 감소곡선과 감쇠비 곡선 등을 조사하여야 한다.

(4) 지반조사를 통해 지진 시 지반의 반복저항응력비를 구하기 위해 필요한 정보를 획득하여야 한다.

① 시추주상도와 지하수위를 획득할 수 있는 지반조사를 실시하여야 하며, 표준관입시험의 $(N_1)_{60}$값, 콘관입시험의 q_{c1N}값 또는 전단파속도 V_s값 중 최소 하나의 정보에 대한 주상도를 획득하여야 한다.

② 현장에서 획득한 시료를 대상으로 액상화 위험지층의 소성지수, 입도분포 곡선을 결정하여야 한다.

(5) 지반개량, 매립 등이 계획되어 대상 시설물의 준공 후 지반조건을 지반조사 단계에서 확인할 수 없는 경우에는 반복삼축강도시험(KS F 2498) 또는 반복직접단순전단시험(ASTM D8296-19) 등의 실내시험을 통해 액상화 평가를 위한 반복저항응력비를 추정할 수 있다.

3. 재료

내용 없음

4. 설계

4.1 내진성능기준

4.1.1 내진등급

(1) 시설물의 내진등급은 중요도에 따라서 내진특등급, 내진I등급, 내진II등급으로 분류한다.

(2) 내진특등급은 지진 시 매우 큰 재난이 발생하거나, 기능이 마비된다면 사회적으로 매우 큰 영향을 줄 수 있는 시설의 등급을 의미한다.

(3) 내진I등급은 지진 시 큰 재난이 발생하거나, 기능이 마비된다면 사회적으로 큰 영향을 줄 수 있는 시설의 등급을 의미한다.

(4) 내진II등급은 지진 시 재난이 크지 않거나, 기능이 마비되어도 사회적으로 영향이 크지 않은 시설의 등급을 의미한다.

(5) 시설물의 구체적인 내진등급 분류 기준은 4.3의 기본개념에 따라 해당 시설물의 내진설계기준에서 정의한다.

4.1.2 내진성능수준

(1) 시설물의 내진성능수준은 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준과 붕괴방지수준으로 분류하며, 시설물의 중요도에 따라 요구되는 내진성능수준을 만족하도록 설계하여야 한다.
(2) 기능수행수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 경미하여 그 구조물이나 시설물의 기능이 유지될 수 있는 성능수준이다.
(3) 즉시복구수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 크지 않아 단기간 내에 즉시 복구되어 원래의 기능이 회복될 수 있는 성능수준이다.
(4) 장기복구/인명보호수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 큰 손상이 발생할 수 있지만 장기간의 복구를 통하여 기능 회복이 가능하거나, 시설물에 상주하는 인원 또는 시설물을 이용하는 인원에 인명손실이 발생하지 않는 성능수준이다.
(5) 붕괴방지수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 매우 큰 손상이 발생할 수는 있지만 구조물이나 시설물의 붕괴로 인한 대규모 피해를 방지하고, 인명 피해를 최소화하는 성능수준이다.
(6) 각 시설물의 특성을 고려한 내진성능수준의 구체적인 정의는 해당 시설물의 내진설계기준에서 규정한다.

4.1.3 설계지반운동 수준

(1) 설계지반운동 수준은 다음과 같이 분류한다.
① 평균재현주기 50년 지진지반운동 (5년내 초과확률 10 %)
② 평균재현주기 100년 지진지반운동 (10년내 초과확률 10 %)
③ 평균재현주기 200년 지진지반운동 (20년내 초과확률 10 %)
④ 평균재현주기 500년 지진지반운동 (50년내 초과확률 10 %)
⑤ 평균재현주기 1,000년 지진지반운동 (100년내 초과확률 10 %)
⑥ 평균재현주기 2,400년 지진지반운동 (250년내 초과확률 10 %)
⑦ 평균재현주기 4,800년 지진지반운동 (500년내 초과확률 10 %)

4.1.4 내진성능목표

(1) 내진성능목표는 평균재현주기를 갖는 설계지진과 요구되는 내진성능수준의 조합으로 정의한다.
(2) 내진등급별로 시설물은 표 4.1-1에 규정한 최소 내진성능목표를 만족하도록 설계한다.
(3) 시설물의 내진등급에 따라 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준, 붕괴방지수준 중에서 두 개 이상의 내진성능수준을 선택하여 적용할 수 있다.
(4) 시설물별로 보다 강화된 내진성능목표가 필요한 경우에는 표 4.1-1에 규정된 최소 내진성능목표 이상으로 설계하여야 한다.

표 4.1-1 최소 내진성능목표

	내진성능수준 / 평균재현주기	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
설계지진	50년	내진II등급			
	100년	내진I등급	내진II등급		
	200년	내진특등급	내진I등급	내진II등급	
	500년		내진특등급	내진I등급	내진II등급
	1,000년			내진특등급	내진I등급
	2,400년				내진특등급
	4,800년				내진특등급

4.2 지진재해

4.2.1 지반운동

4.2.1.1 지진구역 및 지진위험도

(1) 지진구역은 표 4.2-1과 같다.

표 4.2-1 지진구역

지진구역	행정구역	
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부[1]
II	도	강원 북부[2], 제주

1 강원 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백
2 강원 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

(2) 지진구역계수 Z는 표 4.2-2와 같다.

표 4.2-2 지진구역계수 (평균재현주기 500년에 해당)

지진구역	I	II
지진구역계수, Z	0.11	0.07

(3) 평균재현주기별 위험도계수 I는 표 4.2-3과 같다.

표 4.2-3 위험도계수

평균재현주기 (년)	50	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

(4) 특정 부지에 대해 지진위험도(지진재해도)를 정밀하게 평가하고자 할 경우에는 행정안전부장관이 정한 국가지진위험지도를 내진설계에 활용할 수 있다.

(5) 부지고유의 설계지진을 합리적으로 정의하는 경우 이를 사용할 수 있으며, 구체적인 검증 방법과 절차는 시설물 내진설계기준에서 정할 수 있다.

4.2.1.2 지반의 분류

(1) 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 표 4.2-4에서와 같이 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6의 6종으로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760 m/s 이상인 지층으로 정의한다.

표 4.2-4 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층평균전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

(2) S_2 ~ S_6 지반의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다. 이때, 탄성파시험은 시추조사를 바탕으로 가장 불리한 시추공에서 수행하는 것을 원칙으로 한다. S_2 ~ S_6 지반의 평균전단파속도는 식(4.2-1)으로 결정할 수 있다.

$$V_{s,soil} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}} \qquad (4.2\text{-}1)$$

여기서, d_i와 V_{si}는 각각 기반암까지의 i번째 지반의 두께(m)와 전단파속도(m/s)이며, n은 기반암까지 지층의 개수를 나타낸다.

(3) 기반암 깊이와 무관하게 토층평균전단파속도가 120 m/s 이하인 지반은 S_5지반으로 분류한다.

(4) 지반종류 S_6은 부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반으로 다음과 같다.

① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8 이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반

② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3 m)

③ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7 m이고, 소성지수 > 75)

④ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36 m)

⑤ 기반암이 깊이 50 m를 초과하여 존재하는 지반

4.2.1.3 설계지반운동의 정의와 고려 사항

(1) 설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서 지반운동으로 정의한다.

(2) 국가지진위험지도(국가지진재해지도)의 값은 유효수평지반가속도(S)이다.

(3) 설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수성분 및 지속시간으로 정의한다.

(4) 설계지반운동은 통계학적으로 독립인 수평 2축운동과 수직운동으로 정의한다.

(5) 수직운동은 수평 2축운동과 별도로 정의한다.

4.2.1.4 설계지반운동의 특성 표현

(1) 설계지반운동의 세기 및 진동수성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.

(2) 암반지반(S_1지반) 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.

① 5% 감쇠비에 대한 수평설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 그림 4.2-1 및 표 4.2-5로 정의되며, 각 주기영역에 대한 설계스펙트럼가속도(S_a)는 표 4.2-6과 같다.

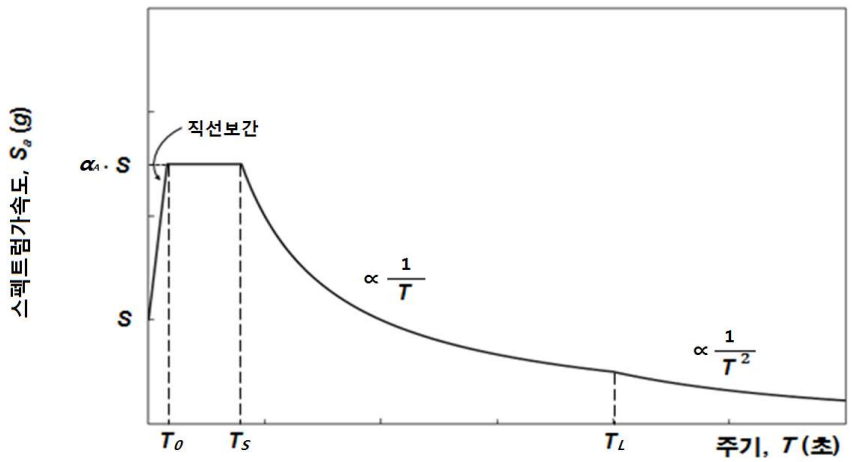


그림 4.2-1 가속도표준설계응답스펙트럼(암반지반)

표 4.2-5 가속도표준설계응답스펙트럼 전이주기

구분	α_A (단주기스펙트럼 증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_o	T_S	T_L
수 평	2.8	0.06	0.3	3

표 4.2-6 주기영역별 설계스펙트럼가속도(S_a)

주기(T, sec)	$0 \le T \le T_0$	$T_0 \le T \le T_S$	$T_S \le T \le T_L$	$T_L \le T$
설계스펙트럼가속도 (S_a, g)	$(1+30T)\times S$	$2.8S$	$\frac{0.84}{T}\times S$	$\frac{2.52}{T^2}\times S$

② 5 % 감쇠비에 대한 수직설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 ①에 있는 수평설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지반가속도의 비는 0.77이다.

③ 수평 및 수직 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼의 감쇠비(ξ, %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 표 4.2-7에 제시한 감쇠보정계수 C_D를 표준설계응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5 %보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답이력해석(=시간이력해석)을 권장한다.

표 4.2-7 감쇠보정계수(C_D)

주기(T, sec)	$T=0$	$0 \le T \le T_o$	$T_0 \le T$
C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T=0$일 때, 1.0 $T=T_o$일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$

(3) 토사지반(S_2~S_5지반) 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.

① 5 % 감쇠비에 대한 수평설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 그림 4.2-2로 정의한다.

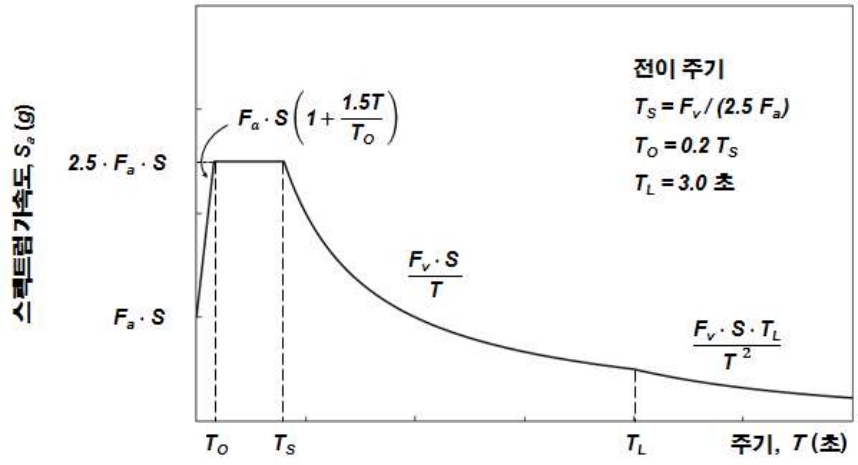


그림 4.2-2 가속도표준설계응답스펙트럼(토사지반)

② 유효수평지반가속도(S)에 따른 단주기지반증폭계수(F_a)와 장주기지반증폭계수(F_v)는 표 4.2-8을 이용하여 결정한다. 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.

표 4.2-8 지반증폭계수(F_a 및 F_v)

지반종류	단주기지반증폭계수, F_a			장주기지반증폭계수, F_v		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

③ 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.

④ 5 % 감쇠비에 대한 수직설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 ①에 있는 수평설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지반가속도의 비는 공학적 판단으로 결정할 수 있다.

(4) 그림 4.2-1 및 그림 4.2-2에서 유효수평지반가속도(S)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국가지진위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만, 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 %보다 작지 않아야 한다.

(5) 행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효수평지반가속도(S)를 결정할 때는 식(4.2-2)와 같이 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도계수(I)를 곱하여 결정한다.

$$S = Z \times I \qquad (4.2\text{-}2)$$

(6) 시설물이 설치될 부지의 특성, 시설물의 구조특성과 설계법을 고려하여 작성된 설계응답스펙트럼이 있는 경우 전문가 그룹의 검증을 거쳐 사용할 수 있다.

(7) 파워스펙트럼

① 설계지반운동의 파워스펙트럼은 (2) 및 (3)에서 규정한 표준설계응답스펙트럼과 일관성을 유지하여야 한다.

(8) 설계지반운동 시간이력

① 지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 시간이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.

② 3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분(수평 2축운동과 수직운동)으로 구성하여야 한다.

③ 설계지반운동 시간이력은 기반암에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.

④ 기반암의 설계지반운동 시간이력은 (9)에 기술된 실지진기록을 활용한 지반운동 시간이력 또는 (10)에 기술된 인공합성 지반운동 시간이력을 사용한다.

⑤ 지반응답해석으로 계산된 S_2 ~ S_6 지반의 설계지반운동의 가속도 시간이력의 평균 응답스펙트럼은 4.2.1.4(3)에 따라 결정된 가속도표준설계응답스펙트럼의 T_0부터 $2T_L$ 주기 영역에서 80 % 이상이어야 한다.

(9) 실지진기록 활용 지반운동 시간이력

① 실지진 기록은 국내 지진환경과 유사한 판내부 지역에서 계측된 기록을 선정한다. 다만, 계측기록 개수 등의 제한이 있는 경우 관련 전문가의 판단하에 판경계에서 계측된 기록을 선정할 수 있다.

② 실지진 기록은 관측소 하부지반이 S_1 지반 혹은 이에 준하는 보통암 지반에서 계측된 지진기록 이어야 하며, 목표하는 설계지진과 유사한 지진규모특성에 부합하도록 선정하여야 한다.

③ 선정된 지진기록은 S_1 지반의 표준설계응답스펙트럼에 맞추어 수정 적용한다. 수정 시 원본파형의 왜곡을 최소화하기 위해 기존파형의 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼에 맞추어 보정(스펙트럼보정)할 수 있다. 이때, 설계 대상구조물의 탁월주기를 주 대상으로 보정할 수 있다.

④ 다수의 입력 지진기록 가속도시간이력으로부터 계산된 5 % 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 T_0부터 $2T_L$주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 90 % 이상이어야 한다. 또한 지진기록의 평균 최대지반가속도는 유효수평지반가속도(S)의 90 % 이상이어야 한다.

(10) 인공합성 지반운동 시간이력

① S_1 지반의 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성한다.

② 지반운동의 장주기 성분이 구조물의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.

③ 시간이력의 차단진동수는 최소 50 Hz 이상이어야 한다.

④ 인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 하며, 지진규모에 따른 구간선형 포락함수의 형상과 지속시간은 그림 4.2-3 및 표 4.2-9와 같다. 이 때 강진동지속시간(t_m)의 한쪽 파워스펙트럼밀도는 식(4.2-3)과 같이 구할 수 있다.

$$S(f) = \frac{|F(f)|^2}{\pi\, t_m} \qquad (4.2\text{-}3)$$

여기서, $F(f)$는 강진동지속시간 구간에 해당되는 가속도시간이력의 푸리에진폭이다.

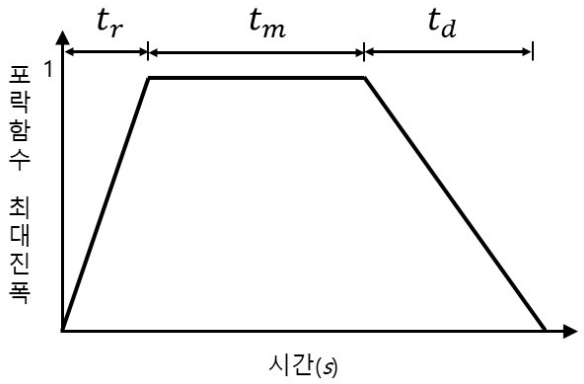


그림 4.2-3 가속도시간이력의 구간선형 포락함수

표 4.2-9 가속도시간이력 구간선형 포락함수에 대한 지진규모별 지속시간(단위: 초)

지진규모	상승시간 (t_r)	강진동지속시간 (t_m)	하강시간 (t_d)
7.0 이상-7.5 미만	2	12.5	13.5
6.5 이상-7.0 미만	1.5	9	10.5
6.0 이상-6.5 미만	1	7	9
5.5 이상-6.0 미만	1	5.5	8.0
5.0 이상-5.5 미만	1	5	7.5

⑤ 그림 4.2-3의 포락함수가 적용되지 않은 경우 강진동지속시간(t_m)은 가속도시간이력의 누적에너지가 5 %에서 75 %에 도달하는 구간으로 정의된다. 누적에너지는 식 (4.2-4)와 같이 정의된다.

$$E(t)=\int_0^t a^2(\tau)d\tau \qquad (4.2\text{-}4)$$

여기서, $a(\tau)$는 지반가속도시간이력이다.

⑥ 다수의 인공합성가속도시간이력으로부터 계산된 5 % 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 T_0부터 $2T_L$ 주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 90 % 이상이어야 한다. 또한 시간이력의 평균 최대지반가속도는 유효수평지반가속도(S)의 90 % 이상이어야 한다.

⑦ 다수의 인공합성가속도시간이력으로부터 계산된 5 % 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 T_0부터 $2T_L$ 주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 130 % 이하여야 한다.

⑧ 어떤 두 개의 가속도시간이력 간의 상관계수는 0.16을 초과할 수 없다.

(11) 지반운동의 공간적 변화 특성 고려

① 해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.

4.2.2 지진해일

(1) 해안지역에 위치한 시설물은 지진해일로 인한 추가적인 파력 작용 및 수위 상승이 있을 수 있으므로 설계 시 이러한 사항을 반영하여야 한다.

4.3 시설물 내진설계 고려사항

4.3.1 일반사항

4.3.1.1 내진설계 기본

(1) 시설물 건설 및 관리주체는 시설물의 내진안전성을 확보하기 위하여 각 시설물의 기능과 특성을 고려한 내진성능목표를 결정한다.

(2) 각 시설물의 특성 및 중요도를 고려하여 목표로 하는 내진성능수준을 만족하도록 각 시설물은 충분한 강도 및 연성을 갖도록 설계하여야 하며, 필요에 따라 지진보호장치를 적용할 수 있다.

4.3.1.2 적용범위

(1) 시설물의 범위

① 시설물 내진설계기준은 관계법령에 따른 대상 시설물에 적용한다.

(2) 내진설계기준의 항목

① 시설물의 분류와 내진등급 설정, 내진성능수준, 설계지반운동 수준 및 표현방법, 내진성능목표, 내진설계 방법과 절차, 지진해석, 품질보증과 지진응답계측에 관한 규정을 포함하도록 권장한다.

② 이 기준에 규정되지 않은 사항은 해당 시설물 내진설계기준에서 규정한다.

4.3.2 시설물의 분류와 내진등급 설정

4.3.2.1 시설물의 분류

(1) 시설물은 기능, 구조방식, 사용재료 등에 따라 분류할 수 있다.

4.3.2.2 내진등급

(1) 4.1.1에 따른다.

4.3.3 내진성능수준

(1) 4.1.2에 따른다.

(2) 내진성능수준은 시설물의 특성을 반영하여 구체적으로 정의되어야 하며, 이에 부합되는 설계거동한계가 정량적 또는 정성적으로 정의되어야 한다.

4.3.4 설계지반운동 수준 및 표현방법

(1) 설계지반운동 수준 및 표현방법은 4.1.3 및 4.2.1.4에 따른다.

4.3.5 내진성능목표

(1) 4.1.4(3)에 따라 두 개 이상의 내진성능수준을 선택할 수 있다.
(2) 구체적인 내진성능수준은 시설물 내진설계기준에서 정의한다.
(3) 즉시복구수준 및 장기복구/인명보호수준은 구조물의 붕괴까지 연성거동능력 또는 붕괴까지 충분한 여유가 전제되어야 하며 그렇지 않은 경우 붕괴방지수준을 선택한다.

4.3.6 내진설계 방법 및 절차

4.3.6.1 설계거동한계

(1) 시설물에 부여된 내진성능수준을 신뢰성 있게 확보하기 위하여 구조시스템 또는 구성요소(구성부재)별 설계거동한계를 설정한다.
(2) 설계거동한계는 내진성능수준별로 정량적 또는 정성적으로 구체화 하여야 하며, 기술적 구현이 가능하도록 공학적 의미가 부여되어야 한다.
(3) 해당 시설물의 내진설계기준이 아닌 다른 시설물의 내진설계기준을 인용하는 경우 설계거동한계가 적절한지 검토하여야 한다.

4.3.6.2 내진설계 방법

(1) 구체적인 절차에 따라 신뢰성 있게 보수적으로 요구 내진성능수준을 확보할 수 있는 설계법 또는 내진성능검증법 등이 제시되어야 한다.
(2) 신뢰성이 입증된 설계법을 따르거나 정밀해석 또는 실험 등을 통해서 객관적으로 입증된 설계법을 적용하여야 한다.
(3) 소성거동을 허용하는 경우 소요연성도 확보를 위한 구조시스템 및 내진상세 등이 제시되어야 한다.
(4) 성능기반 내진설계는 4.4에 따른다.

4.3.7 지진해석

4.3.7.1 지진해석모델

(1) 설계지반운동
  ① 지진해석을 위한 설계지반운동은 4.2.1에 따른다.
  ② 수평2축운동을 기본으로 하고, 필요에 따라 수직운동의 영향을 반영한다.
  ③ 국지적인 토질 조건과 지질, 지형조건이 지반운동에 미치는 영향을 반영한다.
(2) 하중에 대한 고려사항
  ① 지진하중은 구조물에 영향이 큰 다른 하중과 조합하여 사용하며, 구체적인 하중조합은 시설물 내진설계기준에서 규정한다.
  ② 지진응답해석 시에는 필요에 따라 토압, 유체압 등의 영향도 반영한다.

(3) 해석모델에 대한 고려사항
① 해석모델은 지진거동특성이 반영되도록 모델화한다.
② 구조특성, 재료특성, 지반의 저항특성 등에 따라 모델화한다.
③ 부재의 모델링은 역학적 특성과 이력특성을 고려한다.
④ 부재 연결부의 역학적 특성이 반영되도록 모델화한다.
⑤ 감쇠특성은 시설물을 구성하는 부재 등을 고려하여 적절히 부여한다.
⑥ 해석모델의 불확실성을 고려하여 지진응답이 보수적으로 산정되도록 모델화한다.

4.3.7.2 해석방법

(1) 시설물의 지진거동특성, 요구 내진성능수준 등을 고려하여 적합한 지진해석법을 적용하여야 한다.
(2) 상세해석이 필요한 경우 발주자가 인정하는 검증된 정밀 해석법을 사용하여 해석한다.
(3) 지반(또는 유체)-구조물(또는 시설물) 상호작용의 영향을 무시할 수 없는 경우 이를 고려하여야 한다.

4.3.8 품질보증

(1) 품질보증에 관한 기본적인 요구사항은 1.6에 따른다.

4.3.9 지진응답계측

(1) 지진응답계측에 관한 기본 사항은 4.6에 따른다.

4.4 성능기반 내진설계

4.4.1 일반사항

(1) 각 시설물의 내진설계기준에서 규정한 구조시스템, 구조요소 또는 설계법을 사용하지 않는 경우에는 이 규정에 따라 성능기반 내진설계를 수행할 수 있다.
(2) 성능기반 내진설계를 수행할 경우 그 절차 및 근거를 제시하여야 한다.
(3) 설계절차와 설계거동한계 등의 상세한 사항은 각 시설물의 관련설계기준에서 정한다.

4.4.2 내진성능목표

(1) 성능기반 내진설계를 위한 내진성능목표는 4.1.4(4)에 제시된 최소 내진성능목표 이상이어야 한다.

4.4.3 해석방법

(1) 시설물의 성능기반 내진설계를 위하여 선형정적해석, 선형동적해석, 비선형정적해석, 비선형동적해석 방법을 적용할 수 있다.
(2) 시설물의 형상, 응답특성 등을 고려하여 해석방법을 선정하여야 한다.

4.5 지진보호장치

4.5.1 지진격리장치

4.5.1.1 일반사항

(1) 지진격리(면진)장치는 수직방향으로 강성이 크지만 수평방향으로 유연한 거동을 하여, 상부구조에 작용하는 수평방향의 지진하중을 저감시키는 장치로서, 수직방향 지반운동의 지진격리효과는 고려하지 않는다. 지진격리장치는 다음과 같은 필수요건을 만족하여야 한다.
   ① 지진격리장치는 역학적 거동이 명확한 범위에서 사용하여야 한다.
   ② 지진 시의 반복적인 횡변위와 상하진동에 대하여 안정적으로 거동하여야 한다.
   ③ 설계지진변위 범위에서 항상 복원력을 유지하여야 한다.
   ④ 과도한 지진변위 발생을 억제하기 위한 감쇠능력을 보유하여야 한다.

(2) 지진격리장치와 이를 적용한 구조물의 해석 및 설계를 위해서는 구조물의 사용기간 동안 지진격리장치의 물리적 특성의 열화, 오염, 환경노출, 재하속도, 온도 등에 의해서 발생하는 지진격리장치 재료상수의 변동성을 반영하여야 한다.

(3) 지진격리장치는 열화, 크리프, 피로, 주변 온도, 습기 등 지진격리장치의 성능을 저하시킬 수 있는 환경적 요인에 대해서도 대비하여야 한다.

(4) 지진격리 구조물은 설계풍하중에 대하여 사용성에 유해한 변위가 발생하지 않아야 한다.

(5) 지진격리장치는 구조물의 자중을 지지하는 다른 구조요소들과 동등한 수준의 내화성능을 확보하여야 한다.

(6) 지진격리장치는 수평방향으로 최대 설계변위가 발생하였을 때에도 수직하중에 대한 안정성 및 수평복원력을 보유하여야 한다.

(7) 구조물 전체에 작용하는 수평하중에 의한 전도모멘트에 대해서 지진격리장치는 안전하여야 한다.

(8) 지진격리층에서 작용하는 지진력이 상부구조 바닥에 고르게 분포하도록 지진격리 상부층은 충분한 강성를 확보하여야 한다.

(9) 지진격리층을 통과하여 이어지는 설비와 요소는 최대 설계변위에 대해서도 그 기능을 유지하여야 한다.

4.5.1.2 지진격리장치의 해석방법

(1) 지진격리장치의 해석모델에 적용되는 변수는 성능시험과 사용기간 동안의 물리적 특성에 대한 변동성을 고려한 값을 적용하여야 한다.

(2) 지진격리 구조물의 해석에는 지진격리장치의 비선형성을 반영한 해석법을 사용하여야 한다.

4.5.2 감쇠시스템

4.5.2.1 일반사항

(1) 감쇠시스템은 구조물의 감쇠능력을 증가시켜 내진성능의 향상을 도모하는 장치의 조합을 말한다. 기본적으로 다음과 같은 필수요건을 만족하여야 한다.
① 감쇠시스템은 구조물의 상시 안정성에 악영향을 미치지 않아야 한다.
② 역학적 거동이 명확한 범위에서 사용하여야 한다.
③ 지진 시의 반복적인 변위와 진동에 대하여 안정적으로 거동하여야 한다.
(2) 감쇠시스템으로 인한 비틀림 거동을 방지하기 위해 대칭성을 고려하여 장치를 배치하여야 한다.
(3) 감쇠시스템은 지진 시에 그 감쇠성능이 발휘될 수 있도록 구조물에 설치하여야 한다.

4.5.2.2 감쇠시스템 해석 방법

(1) 감쇠시스템의 특성은 진동수, 진폭, 지반운동 지속시간 등에 따라서 달라지며 이는 성능시험을 통해 검증된 값을 적용하여야 한다.
(2) 감쇠시스템이 설치된 구조물의 해석에는 감쇠장치의 비선형성을 반영한 해석법을 사용하여야 한다.
(3) 감쇠시스템의 역학적 특성이 이력과 온도에 따라 변화하는 경우에는 그 영향을 반영하거나 안전측으로 모델링하여야 한다.

4.5.3 충격전달장치

4.5.3.1 일반사항

(1) 충격전달장치는 지진 시 고정단에 집중되는 지진력을 주위의 이동단 구조부재에 고르게 분산되도록 설계, 시공하여야 한다.
(2) 속도에 따른 전달하중의 크기는 국내외에서 인정되고 있는 관련 규준에 따른다.

4.6 지진응답계측

(1) 지진응답계측은 지진가속도계측기 설치 및 운영기준(행정안전부)에 부합하도록 설치·운영한다.

4.7 액상화

(1) 기초 및 지반의 액상화 피해를 최소화할 수 있도록 액상화 발생 가능성을 지반분야 책임기술자가 검토하여야 한다. 이때, 행정안전부 산하 국립재난안전연구원에서 발간한 표준절차서에 따라 작성된 액상화 가능성 지도를 참고 할 수 있다.
(2) 액상화 평가는 시설물별 성능목표에 따른 재현주기를 적용한다.
(3) 액상화 평가는 구조물 내진등급에 관계없이 예비평가와 본 평가의 2단계로 구분하여 수행한다.

(4) 예비평가에서는 지반 조건을 고려하여 단위깊이(지층두께 1.5 m이하)별로 액상화 평가 생략 여부를 결정한다. 액상화 평가 생략 조건은 다음과 같다.

① 연중 최고지하수위 상부에 위치한 지층

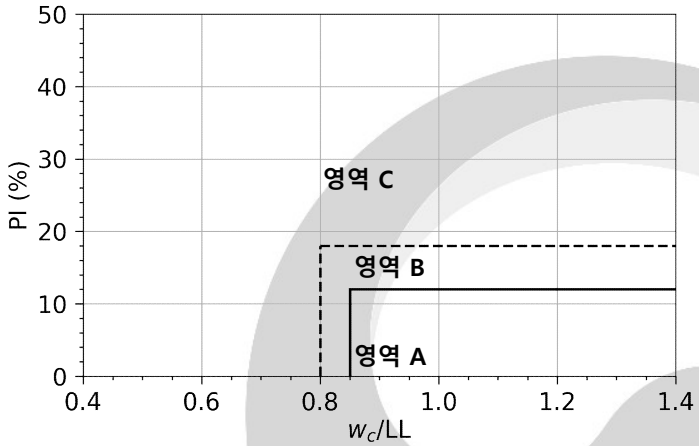
② 지반의 심도가 20 m 보다 깊은 지층

③ 주상도 상의 SPT-N값이 25 초과인 지층

가. N값은 에너지효율 보정이 시행되지 않은 표준 관입시험의 낙하횟수이다.

나. N값은 지층 내 평균값을 사용하지 않으며 측점별 평가를 실시하여야 한다.

④ 고소성의 점토거동 유형 지반: 소성지수(PI), 액성한계(LL), 현장함수비(w_c)가 그림 4.7-1에서의 영역 C에 해당하는 지반(주의: 액상화 발생 가능성은 낮지만, 반복연화가 발생하여 급격한 강도저하 및 대변형이 예상되는 지반)



❑ 각 영역의 경계값

- 영역 A: 액상화 가능성 높음
  PI < 12 %, w_c/LL > 0.85
- 영역 B: 액상화 가능성 있음
  12% < PI < 18 %, w_c/LL > 0.8
- 영역 C: 액상화 가능성 낮음
  A와 B를 제외한 영역

여기서, w_c는 현장함수비, LL은 액성한계, PI는 소성지수이다.

그림 4.7-1 소성지수를 바탕으로한 액상화 가능 범위

(5) 대상 시설물이 내진 특등급일 경우, 실트나 점토에서 액상화로 인한 피해 발생보다는 반복전단응력에 의한 반복연화로 지반의 동적변형이 크게 발생할 수 있으므로, 이를 비배수 반복삼축강도시험 또는 비배수 반복직접단순전단시험 등의 실내시험을 통해 검토해야 한다.

(6) 본 평가에서 액상화 발생 가능성은 대상 지반에서 액상화에 저항하는 반복저항응력비(CRR)를 지진에 의해 발생되는 반복전단응력비(CSR)로 나눈 안전율로 평가하며 안전율 1.0이하를 액상화 발생으로 판정한다. 이때 액상화 평가 안전율 계산은 다음과 같다.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \qquad (4.7\text{-}1)$$

① 반복전단응력비(CSR)는 지반응답해석을 수행하여 다음 식을 따라 결정한다.

$$\text{반복전단응력비}\,(CSR) = 0.65\frac{(\tau_{\max})_{d,\,GRA}}{\sigma_v'} \qquad (4.7\text{-}2)$$

여기서,$(\tau_{\max})_{d,\,GRA}$는 지반응답해석으로 얻어진 최대 전단응력이며, $\sigma_v^{'}$는 반복전단응력비를 산정하는 깊이의 연직유효응력이다. 반복전단응력비는 지반응답해석으로부터 산정된 지표면 최대지반가속도와 응력감소계수를 이용하여 결정할 수도 있다. 단, 지표면 최대지반가속도는 기반암에서의 유효수평지반가속도와 단주기지반증폭계수의 곱보다 크거나 같아야 한다.

② 반복저항응력비(CRR)는 다음의 현장시험 결과값을 현장여건을 고려하고 선택하여 결정한다. 단, 현장상황에 따라 비배수 반복삼축강도시험 또는 비배수 반복직접단순전단시험 등의 실내시험을 이용하여 결정할 수도 있다. 이때 2개 이상의 현장시험을 사용한 경우에는 최소 안전율을 사용한다.

가. 표준관입시험(SPT)방법의 *CRR* 및 *MSF* 계산

$$CRR_{7.5} = \exp\left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right) \tag{4.7-3}$$

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \tag{4.7-4}$$

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \tag{4.7-5}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC+0.01} - \left(\frac{15.7}{FC+0.01}\right)^2\right) \tag{4.7-6}$$

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_v^{'}}\right)^m \le 1.7 \tag{4.7-7}$$

$$MSF = 1 + 0.376 \times (MSF_{\max} - 1) \tag{4.7-8}$$

여기서, $m = 0.784 - 0.0768 \times \sqrt{(N_1)_{60cs}}$, $MSF_{\max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \le 2.2$이다. 최종 *CRR*은 $CRR_{7.5}$에 상재압 보정계수(K_σ)와 규모보정계수(*MSF*)를 곱하여($CRR = CRR_{7.5} \times K_\sigma \times MSF$) 산정하며,

$K_\sigma = 1 - C_\sigma \times \ln\left(\frac{\sigma_v^{'}}{P_a}\right) \le 1.1$, $C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55 \times \sqrt{(N_1)_{60cs}}} \le 0.3$이다.

나. 콘관입시험(CPT)방법의 CRR 및 *MSF* 계산

$$CRR_{7.5} = \exp\left(\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137}\right)^4 - 2.8\right) \tag{4.7-9}$$

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \tag{4.7-10}$$

$$q_{c1N} = C_N \times q_{cN} = C_N \times \frac{q_c}{P_a} \tag{4.7-11}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6}\right) \times \exp\left(1.63 - \frac{9.7}{FC+2} - \left(\frac{15.7}{FC+2}\right)^2\right) \tag{4.7-12}$$

여기서, C_N과 *MSF*는 식(4.7-7)과 식(4.7-8)을 이용하고, $m = 1.338 - 0.249 \times (q_{c1Ncs})^{0.264}$과 $MSF_{\max} = 1.09 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{180}\right)^3 \le 2.2$을 적용한다. 최종 *CRR*은 $CRR_{7.5}$에 상재압 보정계

수(K_σ)와 규모보정계수(MSF)를 곱하여($CRR = CRR_{7.5} \times K_\sigma \times MSF$) 산정하며, K_σ는 SPT 방법에 제시된 것과 같고 $C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27 \times (q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$이다.

다. 전단파속도(V_S)를 바탕으로 CRR 및 MSF를 계산하는 경우에는 다음의 방법 1)과 방법2)로 계산된 CRR 중 작은 값을 안전율 계산에 적용한다.

1) 방법 1

$$CRR_{7.5} = \exp\left(\frac{\left(0.0073 \times V_{S1}\right)^{2.8011} - 4.8981 - 0.0099 \times ln(\sigma'_v) + 0.0028 \times FC - 0.4984}{1.946}\right) \quad (4.7\text{-}13)$$

$$V_{S1} = C_V \times V_S \quad (4.7\text{-}14)$$

$$C_V = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{0.25} \leq 1.5 \quad (4.7\text{-}15)$$

여기서, 최종 CRR은 $CRR_{7.5}$에 규모보정계수($MSF = 1.2165$)를 곱하여($CRR = CRR_{7.5} \times MSF$) 산정한다.

2) 방법 2

$$CRR_{7.5} = 0.022 \times \left\{\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^2 + 2.8 \times \left(\frac{1}{V^*_{S1} - (V_{S1})} - \frac{1}{V^*_{S1}}\right)\right\} \quad (4.7\text{-}16)$$

$$V_{S1} = C_V \times V_S \quad (4.7\text{-}17)$$

$$C_V = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{0.25} \leq 1.4 \quad (4.7\text{-}18)$$

$$V^*_{S1} = \begin{cases} 215 & \text{for } FC \leq 5\% \\ 215 - 0.5 \times (FC - 5) & \text{for } 5\% < FC < 35\% \\ 200 & \text{for } FC \geq 35\% \end{cases} \quad (4.7\text{-}19)$$

여기서, 최종 CRR은 $CRR_{7.5}$에 규모보정계수($MSF = 1.2987$)를 곱하여($CRR = CRR_{7.5} \times MSF$) 산정한다.

(7) 본 평가에서 액상화에 대한 안전율이 1 이하 또는 이 기준의 4.4에 따라 성능기반 내진설계를 수행하는 경우 액상화의 영향을 반영하여 기초 및 지반과 시설물의 안정성 평가를 수행한다.

① 액상화를 반영한 시설물의 안정성 평가는 시설물의 유형, 기초의 형식, 지반의 특성, 액상화로 인한 지반의 강도 저하를 고려한다.

② 액상화를 반영한 시설물의 안정성 평가 결과, 액상화로 인한 시설물의 안정성을 확보하지 못할 경우에는 대책방안을 수립하여 적용한다.

2024년 부분 개정 집필위원

성 명	소 속	성 명	소 속
한진태	한국건설기술연구원	곽동엽	한양대학교
김종관	한국건설기술연구원	김병민	울산과학기술원
박가현	한국건설기술연구원	박헌준	서울과학기술대학교
추연욱	공주대학교	김재현	강원대학교
박두희	한양대학교		

2018년 제정 집필위원

성 명	소 속	성 명	소 속
김동수	한국과학기술원	이경구	단국대학교
김익현	울산대학교	이도형	배재대학교
김정한	부산대학교	최재순	서경대학교
박두희	한양대학교	하동호	건국대학교
박인준	한서대학교	하익수	경남대학교
박지훈	인천대학교	하정곤	한국과학기술원
선창호	울산대학교	한진태	한국건설기술연구원
송종걸	강원대학교	홍기증	국민대학교
유은종	한양대학교		

자문위원

성 명	소 속	성 명	소 속
김익현	울산대학교	김정한	부산대학교
선창국	한국지질자원연구원	송종걸	강원대학교
이기학	세종대학교	이진호	부경대학교
하익수	경남대학교	홍기증	국민대학교
이진선	원광대학교	최재순	서경대학교
강기천	경상국립대학교	정석호	창원대학교
김성렬	서울대학교		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성 명	소 속	성 명	소 속
이영호	한국건설기술연구원	이철호	서울대학교
김기현	한국건설기술연구원	김명철	동부엔지니어링
김나은	한국건설기술연구원	이호용	이레 이앤씨
김민관	한국건설기술연구원	정지영	우리이엔지
김재훈	한국건설기술연구원	정진안	포스코
김태송	한국건설기술연구원	도종남	한국도로공사
김희석	한국건설기술연구원	박재현	한국수자원공사
류상훈	한국건설기술연구원	여규권	삼부토건
안준혁	한국건설기술연구원	이규환	건양대학교
원훈일	한국건설기술연구원		
이상규	한국건설기술연구원		
이승환	한국건설기술연구원		
이용수	한국건설기술연구원		
이원종	한국건설기술연구원		
주영경	한국건설기술연구원		
최봉혁	한국건설기술연구원		
허원호	한국건설기술연구원		

중앙건설기술심의위원회

성 명	소 속	성 명	소 속
김영근	㈜건화	이양규	대림대학교
김윤태	부경대학교	전진구	서경대학교
문인기	엠플러스이엔씨(주)	정평기	㈜화인씨이엠테크
송영석	한국지질자원연구원		

국토교통부

성 명	소 속	성 명	소 속
최진환	시설안전과	이종찬	시설안전과

KDS 17 10 00 : 2024

내진설계 일반

2024년 5월 17일 개정

소관부서 국토교통부 시설안전과

관련단체 한국지진공학회
06130 서울특별시 강남구 테헤란로7길 22 신관 1003호
Tel : 02-555-2782/2838 E-mail : eesk@eesk.or.kr
http://www.eesk.or.kr

작성기관 한국건설기술연구원
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel : 031-910-0114 E-mail : webmaster@kict.re.kr
http://www.kict.re.kr

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