

KDS 24 17 11 : 2018

교량내진 설계기준 (한계상태설계법)

2018년12월31일개정

<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



국토교통부



건설기준 제·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 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 내진설계 일반사항(KDS 17 10 00)의 사항과 기존의 교량 내진설계기준(한계상태설계법, KDS 24 17 11)을 통합 정비하여 기준으로 개정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
도로교 설계기준 (한계상태설계법)	• 도로교 설계기준(한계상태설계법) 제정. 신뢰도 기반의 설계기준	제정 (2011.12)
도로교 설계기준 (한계상태설계법)	• 장경간 케이블 교량의 특수성을 고려한 한계상태설계법 기반 기준 추가	개정 (2015.1)
KDS 24 17 11 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함	제정 (2016.6)
KDS 24 17 11 : 2018	• 내진설계 일반사항(KDS 17 10 00)과 기존의 교량내진설계기준(한계상태설계법, KDS 24 17 11)을 통합하여 정비함	개정 (2018.12)

제 정 : 2016년 6월 30일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 국토교통부 간선도로과

관련단체 : 한국도로협회(한국교량및구조공학회)

개 정 : 2018년 12월 31일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

작성기관 : 한국도로협회(한국교량및구조공학회)

목 차

1. 일반사항	1
1.1 적용범위	1
1.2 용어	1
1.3 기호	3
1.4 내진설계의 기본방침	5
2. 조사 및 계획	6
3. 재료	6
4. 설계	6
4.1 설계 일반사항	6
4.2 해석 및 설계	10
4.3 해석방법	14
4.4 기초 및 교대의 내진설계	17
4.5 강교 설계	20
4.6 콘크리트교 설계	20
4.7 지진격리교량의 설계	36

1. 일반사항

1.1 적용범위

- (1) 이 기준은 지진·화산재해대책법시행령 제10조①항8호에 해당하는 교량의 내진설계에 적용한다.
- (2) 적용하는 교량 및 준용의 방법은 KDS 24 10 11(1.1)에 규정한 바와 같으며, 사장교, 현수교, 사장-현수교와 같이 케이블의 역할이 큰 형식의 도로교량 내진설계는 KDS 24 17 12 에 따른다.
- (3) 특수한 형식의 교량(아치교 등)은 이 설계기준의 설계개념 및 원칙을 준수하여 보정한 내진 설계기준을 작성하여 설계할 수 있다.
- (4) (1)항에 해당되지 않는 경우라도 필요하다면 이 기준을 적용할 수 있다.

1.2 용어

- (1) 이 장에서 사용하는 용어의 의미는 다음과 같다.
 - 구조감쇠: 진동하는 물체가 한 일이 위치에너지로 저장되거나 열 또는 음향에너지로 소산되어 물체의 진동을 줄이는 감쇠
 - 기능수행수준: 설계지진하중 작용 시 교량의 구성요소에 발생한 변형이나 손상이 경미하여 교량의 기능(차량통행)이 유지될 수 있는 성능수준
 - 내진등급: 교량의 중요도에 따라 내진설계수준을 분류하는 범주로서 내진특등급, 내진I등급, 내진II등급으로 구분
 - 내진성능목표: 설계지진하중에 대해 내진성능수준을 만족하도록 요구하는 내진설계의 목표
 - 내진성능수준: 설계지진하중에 대해 교량에 요구되는 성능수준. 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준과 붕괴방지수준으로 구분
 - 다중모드스펙트럼해석법: 여러 개의 진동모드를 사용하는 스펙트럼해석법
 - 단경간교: 경간이 하나인 교량
 - 단부구역: 캔틸레버로 거동하는 기둥의 하단 및 골조로 거동하는 기둥의 하단과 상단
 - 단일모드스펙트럼해석법: 하나의 진동모드만을 사용하는 스펙트럼해석법
 - 모멘트-곡률 해석: 철근콘크리트 구조물의 재료비선형 단면해석의 하나로서, 횡방향철근에 의한 횡구속효과와 축력의 영향 등을 고려하고 철근과 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 이용하여 모멘트와 곡률의 관계를 구하는 해석
 - 붕괴방지수준: 설계지진하중 작용 시 교량의 구성요소에 매우 큰 변형이나 손상이 발생할 수

있지만 그 영향으로 인해 교량이 붕괴되거나 대규모 피해가 초래되는 것을 방지할 수 있는 성능수준

- 설계변위: 설계에서 요구되는 수평방향의 지진변위
- 소성힌지구역: 기둥과 말뚝가구의 단부구역 중 설계휨강도보다 큰 탄성지진모멘트가 작용하는 구역
- 액상화: 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 동하중에 의하여, 지반 내에 과잉 간극수압이 발생하고, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상
- 위험도계수: 평균재현주기가 500년인 지진의 유효수평지반가속도를 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 유효수평지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수
- 유효강성: 지진격리시스템이 최대수평변위를 일으키는 순간의 수평력을 최대수평변위로 나눈 값
- 유효지반가속도: 지진하중을 산정하기 위한 기반암의 지반운동 수준으로 유효수평지반가속도와 유효수직지반가속도로 구분
- 응답수정계수: 탄성해석으로 구한 각 요소의 내력으로부터 설계지진력을 산정하기 위한 수정계수
- 장기복구/인명보호수준: 설계지진하중 작용 시 교량의 구성요소에 큰 변형이나 손상이 발생할 수 있지만 교량을 이용하는 인원에게 인명손실이 발생하지 않고 장기간의 복구를 통하여 교량의 기능이 회복 가능한 성능수준
- 지반계수: 지반상태가 탄성지진응답계수에 미치는 영향을 반영하기 위한 보정계수
- 지반응답해석: 토층의 저면에 입사되는 지진파가 지표면으로 진행될 때 토층의 동적거동에 대한 해석
- 지반종류: 지반의 지진증폭특성을 나타내기 위해 분류하는 지반의 종류
- 지진격리받침: 지진격리교량이 지진 시 수평방향으로 큰 방향 변형을 허용할 수 있도록 수평방향으로는 유연하고, 수직방향으로는 강성이 높은 교량받침
- 지진격리시스템: 수직강성, 수평유연도, 그리고 감쇠를 경계면으로부터 시스템에 제공하는 모든 요소의 집합
- 지진구역: 유사한 지진위험도를 갖는 행정구역 구분으로서 지진구역I, 지진구역II로 구분
- 지진구역계수: 지진구역I과 지진구역II의 기반암상에서 평균재현주기가 500년인 지진의 유효수평지반가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값
- 지진보호장치: 교량구조물을 지진으로부터 보호하기 위한 모든 장치. 지진격리(면진)받침, 감쇠기, 낙교방지장치, 충격전달장치(STU: Shock Transmission Unit) 등
- 최대 소성힌지력: 교각의 소성힌지구역에서 설계기준 재료강도를 초과하는 재료의 초과강도와 심부구속효과로 인하여 발휘될 수 있는 최대 소성모멘트(휨 초과강도)를 전단력으로 변환한

신뢰도 95% 수준의 횡력

- 탄성중합체: 압력을 가하여 상당한 변형이 있는 후 그 압력을 제거하면 초기의 크기와 형상으로 복원되는 고분자 물질로서 여기에는 고무부품이나 고무부품 성형 및 탄성복원 특성을 발휘하는데 사용하는 복합화합물
- 탄성지진응답계수: 지진격리교량의 모드스펙트럼해석법에서 등가정적지진하중을 구하기 위한 무차원량
- 항복강성: 축방향력과 콘크리트의 균열을 고려하여 축방향철근이 항복하는 시점의 강성으로서 항복모멘트와 항복곡률의 비율로 결정되는 교각의 강성
- 항복유효 단면2차모멘트: 축방향력과 콘크리트의 균열을 고려하여 축방향철근이 항복하는 시점의 단면2차모멘트 강성으로서 간편식으로 산정되는 단면2차모멘트

1.3 기호

(1) 이 장에서 사용하는 기호와 정의는 다음과 같다.

A_c : 횡방향철근을 계산하는 데 사용되는 철근콘크리트 기둥 심부의 면적(mm²)

A_g : 횡방향철근을 계산하는 데 사용되는 철근콘크리트 기둥의 총단면적(mm²)

A_{sh} : 직사각형 철근콘크리트 기둥에 쓰인 횡방향철근(후프 또는 스테럽)의 총단면적(mm²)

a : 횡방향철근을 계산하는데 사용되는 직사각형 철근콘크리트 기둥에서 횡방향철근(후프 또는 스테럽)의 수직 간격(mm)

C_s : 탄성지진응답계수(무차원량)

C_{si} : 지진격리교량의 i 번째 모드의 탄성지진응답계수(무차원량)

d : 지반에 대한 상부구조의 총변위($d_i + d_{sub}$)

d_i : 고려방향에 대한 강성중심에서의 등가지진력에 의한 지진 시 설계변위

d_n : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대부변위

d_p : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대양변위

d_s : 나선철근 외측표면을 기준으로 한 콘크리트 심부의 단면 치수(mm)

d_{sub} : 등가지진력에 의한 하부구조의 지진 시 변위

EDC : 지진거동이력 한 사이클 당 소산된 에너지

EI_y : 축방향력을 고려한 교각의 항복강성(축방향철근의 항복)

F_e : 등가지진력

F_n : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대부변위량 발생 시의 수평력

F_p : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대양변위량 발생 시의 수평력

- f_{ck} : 횡방향철근을 계산하는데 사용되는 콘크리트의 설계기준강도(MPa)
 f_{yh} : 횡방향철근(띠철근 또는 나선철근)의 항복강도(MPa)
 g : 중력가속도(m/s^2)
 H : 기둥 또는 교각의 높이(m)
 h : 고려하는 방향으로의 단면 최대 두께
 h_c : 횡방향철근을 계산하는데 사용되는 직사각형 철근콘크리트 기둥 심부의 단면치수(mm)
 I : 위험도계수(무차원량)
 I_g : 철근을 무시한 교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트
 $I_{y,eff}$: 교각의 항복 유효단면2차모멘트
 K_{eff} : 모든 교량받침의 유효선형강성(변위 d_i 에서 계산)과 상부구조물의 세그먼트를 지지하고 있는 하부구조물의 유효선형강성(변위 d_{sub} 에서 계산)의 직렬연결에 의한 강성의 합
 k_{eff} : 원형시험에 의해 결정되는 지진격리받침의 유효강성
 L : 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리(m)
 l_{ct} : 원형단면에 배근되는 보강띠철근에서 갈고리 부분과 연장길이를 제외한 길이(mm)
 M_y : 축방향력을 고려한 교각의 항복모멘트(축방향철근의 항복)
 N : 주거더의 최소지지길이(mm)
 P_u : 교각에 작용하는 계수 축력
 $p_e(x)$: 진동의 기본모드를 나타내기 위해 작용된 등가정적지진하중의 강도(힘/단위 길이)
 p_o : 주기를 계산하기 위해 사용된, 가정한 균일 하중(힘/단위 길이)
 R : 응답수정계수(무차원량)
 R_i : 지진격리교량의 응답수정계수(무차원량)
 S : 유효수평지반가속도(g)
 S_i : 지진격리교량의 지반계수(무차원량)
 s : 띠철근 또는 나선철근의 수직간격(mm)
 T : 교량의 기본주기(초)
 T_{eff} : 고려 방향에 대한 지진격리교량의 주기(초)
 T_i : 지진격리교량의 i 번째 진동모드의 주기(초)
 T_m : 교량의 m 번째 진동모드의 주기(초)
 $v_s(x), v_e(x)$: 각각 작용된 하중 p_o 와 p_e 로 인한 정적처짐형상(길이)
 W : 지진격리받침의 설계를 위한 상부구조물의 총중량
 $w(x)$: 교량 상부구조와 이에 부착된 하부구조의 단위 길이당의 고정하중(힘/길이)
 Z : 지진구역계수
 α : 교량의 주기를 계산하는데 사용되는 계수(길이²)

- β : 교량의 등가정적지진하중을 계산하는데 사용되는 계수(힘×길이)
 β_i : 지진격리시스템의 등가감쇠비
 γ : 교량의 주기를 계산하는 데 사용되는 계수(힘×길이²)
 θ : 최소받침지지길이를 계산하는데 사용되는 받침선과 교축직각방향의 사잇각(도)
 λ_o : 휨 초과강도계수
 ρ_l : 교각의 축방향철근비
 ρ_s : d_s 를 기준으로 결정된 콘크리트 심부에 대한 나선철근의 체적비
 ϕ_y : 축방향력을 고려한 교각의 항복곡률(축방향철근의 항복)

1.4 내진설계의 기본방침

1.4.1 목적

- (1) 이 기준은 설계지진에 대해서 교량의 기능수행, 즉시복구, 장기복구/인명보호 및 붕괴방지 수준의 내진성능 수준 중에서 최소 2개 이상의 내진성능수준을 확보하는데 필요한 최소 설계요구조건을 규정하는 데 있다.
- (2) 다만, 기능수행, 즉시복구, 장기복구/인명보호 수준에 대한 기술적 구현방법에 대해서는 연구가 진행 중에 있어 본 기준에서는 붕괴방지수준에 대한 설계법에 대해서만 규정하고, 추후 기능수행, 즉시복구 및 장기복구/인명보호 수준의 설계법에 대한 연구성과가 축적되면 이를 반영한다.

1.4.2 내진설계기준의 기본개념

- (1) 이 기준은 국토교통부의 내진설계일반(KDS 17 10 00, 2018. 12) 및 기타 연구결과 중 현재 수준에서 인정할 수 있는 일부 규정을 기존 설계기준의 체계에 맞도록 채택하여 개정되었다. 이 기준을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.
- (2) 현재의 설계기준은 다음의 붕괴방지 기본개념에 기초를 두고 있다.
 - ① 인명피해를 최소화 한다.
 - ② 교량 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 전체적인 붕괴는 방지한다. 또한 가능한 한 교량의 기본 기능은 발휘할 수 있게 한다.
 - ③ 이러한 기본 개념을 구현하기 위해서는 강도와 연성을 확보하여야 하며, 낙교방지를 확보하여야 한다. 낙교방지는 가능하면 특별한 장치없이 교각의 연성거동을 수용할 수 있도록 하여 확보하고, 그렇지 않은 경우 낙교방지 장치(전단키, 변위구속장치 등)를 설치하여 확보하여야 한다. 또한, 필요한 경우 지진격리시스템을 설치할 수 있다.

1.4.3 품질보증 요건

- (1) 내진설계에 관한 품질보증 요건은 KDS 17 10 00(1.6)과 KDS 24 10 11(1.5)에 따른다.

1.4.4 지진응답 계측

1.4.4.1 일반사항

- (1) 지진응답계측과 관련한 기본 사항은 KDS 17 10 00(4.6)에 따른다.
- (2) 내진 I 등급교와 내진 II 등급교에 대해서는 유지관리, 내진설계기술 개발 및 개선에 필요한 자료 확보를 위하여 관할기관은 지진계와 가속도계를 설치하고 운영하도록 요구할 수 있다.

1.4.4.2 계측기기의 설치와 관리

- (1) 교량의 지진응답을 계측하기 위한 계측기기의 설치 위치와 종류, 개수와 관리는 이 설계기준의 목적을 달성할 수 있도록 결정되어야 한다.

2. 조사 및 계획

내용 없음.

3. 재료

내용 없음.

4. 설계

4.1 설계 일반사항

4.1.1 설계지반운동

4.1.1.1 일반사항

- (1) 설계지반운동은 교량이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.
- (2) 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하여야 한다.
- (3) 설계지반운동은 흔들림의 세기, 진동수 성분 및 지속시간의 세 가지 측면에서 그 특성을 정의하여야 한다.

- (4) 설계지반운동은 통계학적으로 독립적인 수평 2축 방향 성분과 수직 방향 성분으로 정의하며, 수평 2축 방향 성분은 그 세기와 특성은 동일하다고 가정한다. 수직 방향 성분의 특성은 수평 방향 성분과 동일하지만 세기는 암반지반(S_1)에서는 수평 방향 성분의 0.77, 토사지반($S_2 \sim S_5$)에서는 공학적 판단하에 결정할 수 있다.
- (5) 모든 점에서 똑같이 가진하는 것이 합리적이지 않은 교량 건설부지에 대해서는 지반운동의 공간적 변화모델을 사용하여야 한다.

4.1.1.2 지진위험도 및 유효수평지반가속도

- (1) 지진구역은 KDS 17 10 00 (4.2.1.1(1))에 따른다.
- (2) 지진구역계수(Z)는 KDS 17 10 00 (4.2.1.1(2))에 따른다.
- (3) 평균재현주기가 500년인 지진의 유효수평지반가속도(S)를 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 유효수평지반가속도의 상대적 비율을 의미하는 위험도계수(I)는 KDS 17 10 00 (4.2.1.1(3))에 따른다.
- (4) 교량이 위치할 부지에 대한 지진지반운동의 유효수평지반가속도(S)를 행정구역에 의해 결정하는 경우, 식(4.1-1)과 같이 (3)의 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도계수(I)를 곱하여 결정한다.

$$S = Z \times I \quad (4.1-1)$$

- (5) 유효수평지반가속도(S)를 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, (4)의 행정구역에 의해 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.

4.1.2 내진등급

- (1) 교량의 내진등급은 표 4.1-1과 같이 교량의 중요도에 따라서 내진특등급, 내진I등급, 내진II등급으로 분류한다. 다만, 교량의 관할기관에서 교량의 내진등급을 별도로 정할 수 있다.

표 4.1-1 교량의 내진등급

내진등급	교량
내진특등급	- 내진I등급 중에서, 국방, 방재상 매우 중요한 교량 또는 지진 피해 시 사회경제적으로 영향이 매우 큰 교량
내진I등급	- 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반국도상의 교량 및 이들 도로 위를 횡단하는 교량 - 지방도, 시도 및 군도 중 지역의 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 및 이들 도로 위를 횡단하는 교량 - 해당도로의 일일계획교통량을 기준으로 판단했을 때 중요한 교량
내진II등급	- 내진특등급 및 내진I등급에 속하지 않는 교량

4.1.3 지반의 분류

- (1) 지반의 분류는 KDS 17 10 00(4.2.1.2)에 따른다. 다만, 탄성파 시험 결과가 없는 경우, 표준관 입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다.

4.1.4 내진성능목표

- (1) 교량의 최소 내진성능목표는 KDS 17 10 00(4.1.4(2))에 따른다.
- (2) 표 4.1-2 또는 표 4.1-3과와 같이 기능수행을 포함하고, 즉시복구, 장기복구/인명보호, 붕괴방지 수준 중에서 하나 이상의 내진성능수준을 선택할 수 있다.
- (3) 1.4.1에서 기술한 바와 같이, 잠정적으로 붕괴방지수준만을 내진성능수준으로 선택할 수 있다.

표 4.1-2 교량의 내진성능목표(1)

	내진성능수준	기능수행	즉시복구	장기복구/ 인명보호	붕괴방지
	평균재현주기				
설 계 지 진	50년	내진II등급			
	100년	내진I등급			
	200년	내진특등급			
	500년				내진II등급
	1,000년				내진I등급
	2,400년				내진특등급

표 4.1-3 교량의 내진성능목표(2)

설 계 지 진	내진성능수준 평균재현주기	기능수행	즉시복구	장기복구/ 인명보호	붕괴방지
	50년	내진II등급			
	100년	내진등급			
	200년	내진특등급			
	500년		내진특등급	내진등급	내진II등급
	1,000년				
	2,400년				

4.1.5 응답수정계수

- (1) 4.4와 4.5에서 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 4.6에서 규정한 소성힌지구역에 관련된 모든 설계요건을 충족시키는 경우, 교량의 각 부재와 연결부분에 대한 설계지진력은 4.2.7에서와 같이 규정된 탄성지진력을 표 4.1-4의 응답수정계수로 나눈 값으로 한다. 다만 하부구조의 경우 축방향력과 전단력은 응답수정계수로 나누지 않는다.
- (2) 철근콘크리트 기둥형식의 교각(단일기둥, 다주가구)과 말뚝가구의 소성힌지구역에 4.6.3.4에서 규정한 심부구속철근량을 배근하지 않는 경우에는 4.6.6에 따라 설계하여야 하며, 표 4.1-4의 하부구조에 대한 응답수정계수는 적용하지 않는다. 이때 철근콘크리트 기둥형식의 교각과 말뚝가구는 4.6.3.4의 심부구속철근량을 제외한 모든 설계요건을 만족시켜야 하며, 기초와 연결부분은 4.2.7.1(4)와 4.6.2.5에 따라 설계하여야 한다.
- (3) 응답수정계수 R 은 하부구조의 양 직교축방향에 대해 모두 적용한다.
- (4) 벽식교각의 약축방향은 4.6의 기둥규정을 적용하여 설계할 수 있다. 이때 응답수정계수 R 은 단일 기둥의 값을 적용할 수 있다.

표 4.1-4 응답수정계수, R

하부구조	R	연결부분(1)	R
벽식 교각	2	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 가구 (Bent)			
1. 수직말뚝만 사용한 경우	3	상부구조의 한 지간내의 신축이음부	0.8
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	2		
단일 기둥	3	기둥, 교각 또는 말뚝 가구와 캡빔 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝 가구			
1. 수직말뚝만 사용한 경우	5	기둥 또는 교각과 기초	1.0
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	3		
다주 가구	5		

주 1) 연결부분은 부재간에 전단력과 압축력을 전달하는 기구를 의미하며, 교량받침과 전단키 등이 이에 포함된다. 이때, 응답수정계수는 구속된 방향으로 작용하는 탄성지진력에 대해서만 적용된다.

4.2 해석 및 설계

4.2.1 일반사항

- (1) 탄성지진력은 4.3에 규정한 값으로 한다.
- (2) 기초 및 교대의 설계조건과 강교 및 콘크리트의 내진설계 추가 요구조건은 4.4, 4.5, 4.6에 따른다.
- (3) 교량의 내진설계절차는 모든 내진등급의 교량에 대하여 동일하게 적용한다. 다만, 단경간교에 대한 내진설계는 4.2.5와 4.2.8에 따를 수 있다. 또한 지진구역 II에 위치하는 내진II등급교의 내진설계는 4.2.6과 4.2.8에 따를 수 있다.

4.2.2 기본해석방법

- (1) 교량의 지진해석방법은 다중모드스펙트럼해석법을 기본으로 하며, 1차 고유진동모드가 탁월한 경우에는 4.3에서 규정된 단일모드스펙트럼해석법을 사용할 수 있다.
- (2) 상세해석이 필요한 경우에는 발주자가 인정하는 검증된 정밀 해석법을 사용하여 해석을 수행한다.

4.2.3 탄성지진력 및 탄성변위

- (1) 탄성지진력과 탄성변위는 4.2.2에 규정한 해석방법을 사용하여 기본적으로 수평 2축에 대하여 독립적으로 해석하고 필요에 따라 수직 운동의 영향을 반영한다. 이 때 4.2.4에 규정한 방법으로 조합하여야 한다.
- (2) 수평 2축은 교량의 종방향축과 횡방향축으로 하는 것이 일반적이지만 설계자의 판단 하에 가장 불리한 축을 선정하여야 한다.

4.2.4 탄성지진력 및 탄성변위의 조합

- (1) 부재의 각각의 주축에 대하여 4.2.3에 규정한 방법으로 구한 탄성지진력 및 탄성변위를 다음과 같이 조합하여 사용한다.
- ① 하중경우 1: 종방향축의 해석으로부터 구한 종방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)에 횡방향축 및 수직방향축의 해석으로부터 구한 종방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)의 30%를 합한 경우
 - ② 하중경우 2: 횡방향축의 해석으로부터 구한 횡방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)에 종방향축 및 수직방향축의 해석으로부터 구한 횡방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)의 30%를 합한 경우
 - ③ 하중경우 3: 수직방향축의 해석으로부터 구한 수직방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)에 횡방향축 및 종방향축의 해석으로부터 구한 수직방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)의 30%를 합한 경우

4.2.5 단경간교의 설계규정

- (1) 상부구조와 교대 사이의 연결부에 대하여 고정하중반력에 최대지반가속도를 곱한 값의 수평지진력이 작용한다고 보고 종방향, 횡방향 및 수직방향에 대하여 안전하도록 설계하여야 한다. 이 때 최대지반가속도는 암반지반(S_1)의 경우는 4.1.1.2에서 규정된 유효수평지반가속도(S)로 하고, 토사지반($S_2 \sim S_5$)의 경우는 유효수평지반가속도(S)와 4.3.2(3)에 규정된 단주기 지반증폭계수(F_a)를 곱한 값으로 한다.
- (2) 낙교방지를 위한 최소받침지지길이는 4.2.8에 규정한 값으로 한다.

4.2.6 지진구역Ⅱ에 위치하는 내진Ⅱ등급교의 설계지진력

- (1) 지진구역Ⅱ에 위치하는 내진Ⅱ등급교에서 상부구조와 하부구조를 연결하는 교량받침이나 기계장치는 고정하중의 20%에 해당하는 수평지진력이 구속방향으로 작용한다고 보고 이에 저항하도록 설계하여야 한다.
- (2) 종방향으로 구속되어 있을 경우 종방향의 수평지진력에 사용되는 고정하중은 상부구조의 각 세그먼트의 자중으로 정의된다.
- (3) 횡방향으로 구속되어 있을 경우 횡방향의 수평지진력에 사용되는 고정하중은 그 교량받침에서의 고정하중 반력으로 정의된다.

4.2.7 설계지진력

4.2.7.1 구조부재 및 연결부의 설계지진력

- (1) 4.2.7에서 구하는 설계지진력은 다음의 각 경우에 적용한다.

- ① 상부구조, 상부구조의 신축이음 및 상부구조와 하부구조상단 사이의 연결부
 - ② 하부구조 상단으로부터 기둥이나 교각의 하단까지(단 후팅, 말뚝머리 및 말뚝은 포함하지 않는다.)
 - ③ 상부구조와 교대의 연결요소
- (2) (1)의 설계지진력은 4.2.4의 하중경우 1과 하중경우 2 및 하중경우 3으로부터 구한 탄성지진력을 4.1.5에 규정한 응답수정계수 R 로 나눈 값으로 한다. 철근콘크리트 기둥형식의 교각(단일기둥, 다주가구, 말뚝가구)을 4.6.6에 따라 설계하는 경우에는 이 항에 따라 기둥의 설계지진력을 결정할 필요가 없다.
- (3) (2)의 각 설계지진력을 다른 설계력과 함께 KDS 24 12 11(4.1)에 따라 최대하중을 구한다. 이때 설계지진력의 부호는 양 또는 음 중 불리한 경우를 취한다.
- (4) 표 4.1-4의 응답수정계수가 적용되지 않은 경우, 교각과 상부구조 또는 하부구조와의 연결부분의 설계지진력은 4.6.2.5에 따라 결정된 교각의 최대소성힌지력과 응답수정계수를 적용하지 않은 탄성지진력 중 작은 값으로 한다.

4.2.7.2 기초의 설계지진력

- (1) 확대기초, 말뚝머리 및 말뚝을 포함하는 기초의 설계지진력은 4.6.2.5에 따라 결정된 교각의 최대소성힌지력과 응답수정계수를 적용하지 않은 탄성지진력 중 작은 값으로 한다.
- (2) (1)의 각 설계지진력은 다른 설계력과 함께 KDS 24 12 11(4.1)에 따라 최대하중을 구한다. 이때 설계지진력의 부호는 양 또는 음 중 불리한 경우를 취한다.
- (3) 기초의 각 요소에서 단면의 설계강도는 (2)의 최대하중에 대한 소요강도 이상이어야 하며 4.4의 설계규정을 만족하여야 한다.

4.2.7.3 교대 및 옹벽

- (1) 상부구조와 교대의 연결부(받침, 전단연결재 등)는 4.2.7.1의 설계지진력에 저항하도록 설계하여야 한다.
- (2) 교대는 4.4.3의 규정에 따라 설계하여야 한다.

4.2.8 설계변위

- (1) 4.2.8에서 정한 최소받침지지길이는 모든 거더의 단부에서 확보하여야 한다.
- (2) 최소받침지지길이의 확보가 어렵거나 낙교방지를 보장하기 위해서는 변위구속장치를 설치하여야 한다.

- (3) 단경간교와 지진구역II에 위치하는 내진II등급교의 최소받침지지길이(N)는 식 (4.2-1)에 규정한 값보다 작아서는 안 된다.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H) (1 + 0.000125\theta^2) \text{ (mm)} \quad (4.2-1)$$

여기서, L : 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리(m).

다만, 지간 내에 힌지가 있는 경우의 L 은 힌지 좌·우측방향의 거리인 L_1 과 L_2 의 합으로 한다(그림 4.2-1 참조).

H : 다음 각 경우에 대한 평균 높이(m)

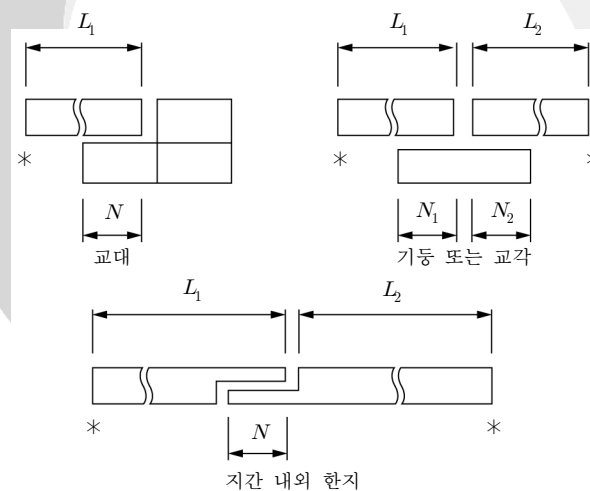
교대 : 인접 신축이음부의 교량상부를 지지하는 기둥의 평균 높이. 단경간교의 평균높이는 0으로 한다.

기둥 또는 교각 : 기둥 또는 교각의 평균높이

지간 내의 힌지 : 인접하는 양측 기둥 또는 교각의 평균높이

θ : 받침선과 교축직각방향의 사잇각(°)

- (4) 단경간교와 지진구역II에 위치하는 내진II등급교를 제외한 모든 교량의 설계지진변위는 4.2.3에 규정된 값과 4.2.8에 규정된 값 중 큰 값으로 한다.



* 신축이음 또는 교량 상판의 단부

그림 4.2-1 최소 받침지지길이 규정에 관한 치수

- (5) 교량의 여유간격

- ① 지진 시에 상부구조물과 교대 혹은 인접하는 상부구조물간의 충돌에 의한 주요 구조부재의 손상을 방지하고, 설계 시 고려된 내진성능이 발휘될 수 있도록 하기 위하여 교량의 단부에는 그림 4.2-1에 나타난 바와 같이 여유간격을 설치하여야 한다.
- ② 교량의 여유간격은 식 (4.2-2)에 의한 값보다 작아서는 안되며, KDS 24 90 11(4.2.2.3)에서 규정하는 여유량을 고려한 가동받침의 이동량보다는 커야 한다.

$$\Delta l_i = d + \Delta l_s + \Delta l_c + 0.4\Delta l_t \quad (4.2-2)$$

여기서, Δl_i = 교량의 여유간격(mm)

d = 지반에 대한 상부구조의 총변위($d_i + d_{sub}$)(mm)

Δl_s = 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량(mm)

Δl_c = 콘크리트의 크리프에 의한 이동량(mm)

Δl_t = 온도변화로 인한 이동량(mm)

- ③ 교축직각방향의 지진 시 변위에 의한 인접교량 및 주요 구조부재간의 충돌가능성이 있을 때는 이를 방지하기 위한 여유간격을 설치하여야 한다.

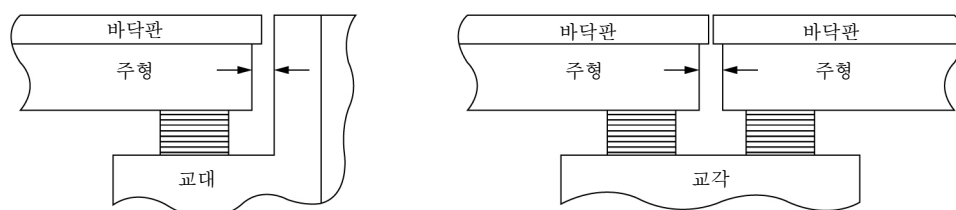


그림 4.2-2 교량의 여유간격

4.2.9 지반의 액상화 평가

- (1) 지진 시 액상화로 인해 교량의 피해가 예상되는 경우에는 지반의 액상화 발생 가능성을 검토하여야 한다.
- (2) 액상화 평가 기준은 KDS 17 10 00(4.7)에 따른다.

4.3 해석방법

4.3.1 일반사항

- (1) 4.3의 규정은 4.2.2에서 규정한 교량의 지진해석에 대한 규정이며 다음과 같은 두 가지의 해석방법을 제시한다.
 - ① 단일모드스펙트럼해석법
 - ② 다중모드스펙트럼해석법
- (2) 두 가지 방법 모두에 있어서 모든 고정된 기둥과 교각 또는 교대지점들은 동일 시점에 있어서 동일한 지반운동을 한다고 가정한다. 가동지점에서는 이 절에서 기술된 해석으로부터 구한 변위가 4.2.8에서 규정된 최소 요구치보다 큰 경우 이 값을 사용하여야 한다.

4.3.2 스펙트럼가속도

- (1) 탄성지진력 산정을 위한 스펙트럼가속도(S_a)는 표준설계응답스펙트럼으로부터 산정한다.

- (2) 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 KDS 17 10 00 (4.2.1.4(2))에 따른다.
- (3) 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 KDS 17 10 00 (4.2.1.4(3))에 따른다.

4.3.3 단일모드스펙트럼해석법

- (1) 종방향 및 횡방향 지진에 의한 부재의 단면력과 처짐을 계산하는 등가정적 지진하중 $p_e(x)$ 는 다음 식으로 산정할 수 있다.

$$p_e(x) = \frac{\beta S_a}{r} w(x) v_s(x) \quad (4.3-1)$$

여기서, $p_e(x)$ = 등가정적 지진하중이며 진동의 기본모드를 대표하기 위해 가하는 단위길이당 하중 강도(그림 4.3-2)

S_a = 스펙트럼가속도(g)

- (2) 교량의 주기 T 는 다음과 같다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{p_o g \alpha}} \quad (4.3-2)$$

g = 중력가속도, 9.81m/s^2

$w(x)$ = 교량 상부구조와 이의 동적거동에 영향을 주는 하부구조의 단위길이당 고정하중

$v_s(x)$ = 균일한 등분포하중 p_o 에 의한 정적처짐 (그림 4.3-1)

$$\alpha = \int v_s(x) dx \quad (4.3-3)$$

$$\beta = \int w(x) v_s(x) dx \quad (4.3-4)$$

$$r = \int w(x) v_s(x)^2 dx \quad (4.3-5)$$

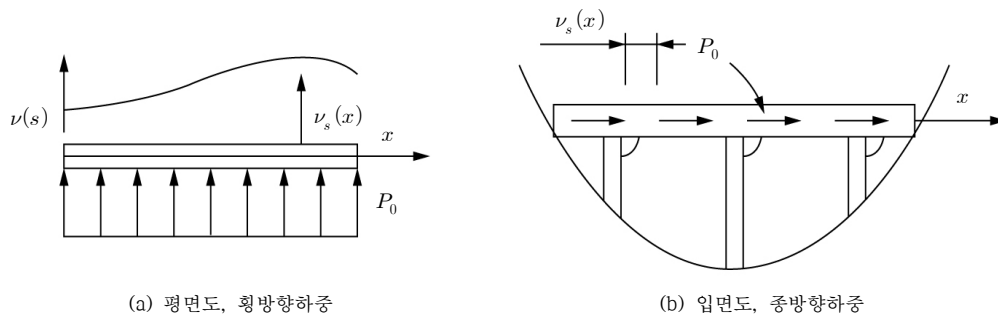


그림 4.3-1 횡방향 및 종방향으로 가정된 하중을 받는 교량 상판

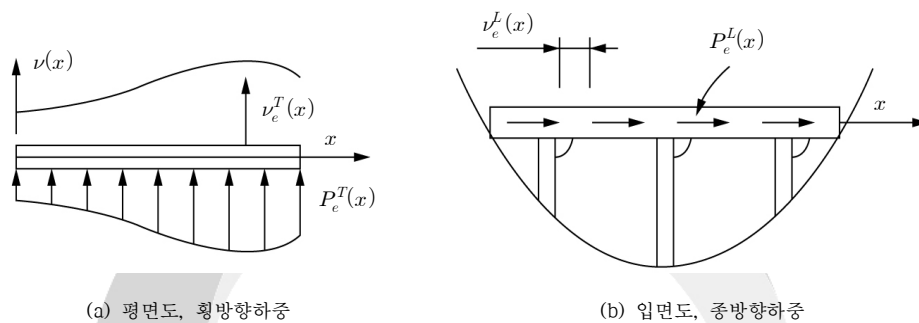


그림 4.3-2 횡방향 및 종방향으로 등가하중을 받는 교량 상판

4.3.4 다중모드스펙트럼해석법

4.3.4.1 일반사항

- (1) 다중모드스펙트럼해석법은 비정형 교량의 3방향 연계효과와 최종응답에 대한 다중모드의 기여 효과를 결정하기 위해 공인된 공간뼈대 선형 동적해석 프로그램을 사용하여 수행하여야 한다.

4.3.4.2 수학적 모형

- (1) 교량은 그 구조물의 강성과 관성효과를 실제에 가깝게 모형화하기 위해 연결부와 절점으로 구성된 3차원 공간 뼈대 구조물로 모형화하여야 한다.
- (2) 각 연결부와 절점은 6개의 자유도, 즉 3개의 이동 자유도와 3개의 회전 자유도를 갖도록 모형화하여야 한다.
- (3) 구조 질량은 최소한 3개의 이동 관성향을 갖는 집중질량으로 모형화하여야 하며, 구조 질량은 하부 구조를 포함하여 관련된 모든 요소들을 고려하여야 한다.
- (4) 지진 시에도 교량에 큰 활하중이 재하되어 있을 가능성이 많은 경우에는 그 활하중의 관성효과를 고려하여야 한다.

- (5) 상부구조는 최소한 각 경간단부의 연결부와 지간의 1/4지점마다 절점을 가진 공간뼈대부재의 집합체로 모형화하여야 한다. 신축이음부와 교대의 불연속 부분도 상부구조에 포함하여야 하며, 이 때 집중질량의 관성효과를 분배하여야 한다.
- (6) 하부구조에서 중간 기둥 또는 교각들은 일반적으로, 인접 지간길이의 1/3 보다 짧은 길이를 갖는 짧고 강성이 강한 기둥에 대해서는 중간 절점이 불필요하나, 길고 유연한 기둥은 기둥단부의 연결부 외에 2개의 1/3지점을 중간 절점으로 모형화하여야 한다. 하부구조의 모형은 상부구조에 대한 기둥의 편심을 고려하여야 한다. 기둥 또는 교각하부와 교대에서의 지반은 등가의 선형 스프링계수를 이용하여 모형화할 수 있다.

4.3.4.3 진동모드의 형상, 주기 및 구조감쇠

- (1) 고려중인 방향에 대하여 해석에 필요한 교량의 주기와 모드형상은 고정지반 조건에 대해서 지진에 저항하는 전체 시스템의 질량과 강성을 고려하여 이론적으로 확립된 방법에 의해 계산하여야 한다.
- (2) 해석에 사용하는 교량 구성요소의 감쇠는 구성요소의 역학적 거동특성을 고려하여 산정하여야 한다.
- (3) 각 진동모드의 구조감쇠는 안전측으로 설계가 되도록 산정하거나 각 구성요소의 감쇠의 기여도를 고려하여 산정하여야 한다.

4.3.4.4 모드 수

- (1) 응답해석 시 고려되는 모드의 수는 지간 수의 3배 이상이어야 한다. 이 때, 잔여모드를 모두 포함하여 해석하더라도 응답이 10 % 이상 증가하지 않는 개수의 모드를 고려하여야 한다.

4.3.4.5 부재력과 변위

- (1) 부재의 단면력과 변위는 개별 모드들로부터 구한 각각의 응답성분(예를 들면, 힘, 변위 또는 상대변위)을 CQC방법(Complete Quadratic Combination)으로 조합하여 계산하여야 한다.

4.4 기초 및 교대의 내진설계

4.4.1 적용범위

- (1) 이 절에서는 교량의 기초 및 교대의 내진설계에 대해 규정한다.
- (2) 교량의 기초 및 교대는 지진 하중이외의 수직 및 수평 하중을 지지할 수 있도록 설계된 것을 전제로 한다. 이런 전제 조건은 기초를 위한 조사의 범위, 성토, 사면안정, 기초지반의 지지력 및 수평토압, 배수, 침하, 말뚝기초의 요건 및 지지력 등에 대한 기준을 포함한다.

4.4.2 기초

4.4.2.1 조사

- (1) 지진구역 I에서는, 평상시 설계에 필요한 조사 이외에 지진에 대한 사면의 불안정, 액상화, 성토지반의 침하, 수평토압 증가와 관련된 지진 피해 가능성 판단과 내진설계에 필요한 조사를 추가하여야 한다.
- (2) 최대지반가속도는 암반지반(S_1)의 경우에는 유효수평지반가속도(S), 토사지반($S_2 \sim S_5$)의 경우에는 유효수평지반가속도(S)에 4.3.2(3)의 단주기 지반증폭계수(F_a)를 곱한 값 또는 부지 고유의 지반응답해석결과로 한다.

4.4.2.2 기초설계를 위한 해석과 검토

- (1) 기초는 등가정적 또는 동적해석을 수행하여 기초 구조체의 최대 응력 또는 단면력, 상부구조의 최대 변위 그리고 기초의 전도, 활동, 침하 및 지지력을 검토한다.
- (2) 얇은기초에 대한 등가정적해석
 - ① 얇은기초에 작용하는 등가정적하중은 기초 지반과 상부구조물의 응답특성을 고려하여 결정한다.
 - ② 얇은기초는 미끄러짐, 지지력, 전도에 대하여 안전하여야 하고, 변형 및 침하량이 허용치를 넘지 않아야 된다.
 - ③ 기초지반이 액상화가 발생할 수 있는 지반이라면 액상화 대책공법을 적용하여야 한다.
- (3) 말뚝기초에 대한 등가정적해석
 - ① 말뚝기초 등가정적해석에서는 기초 지반과 상부구조물의 특성을 고려하여 지진하중을 말뚝머리에 작용하는 등가정적하중으로 환산한 후 정적해석을 수행한다.
 - ② 등가정적하중을 말뚝머리에 작용시키고 군말뚝 해석을 수행하여 각 말뚝에 작용하는 하중을 산정한다. 이 때, 가장 큰 하중을 받는 말뚝을 내진성능평가를 위한 말뚝으로 선정하고, 등가정적해석을 수행한다.
 - ③ 내진성능평가 대상 말뚝에 대해서는 말뚝 본체 및 두부의 응력 또는 단면력, 말뚝의 변위량 및 모멘트를 검토한다.
- (4) 동적해석
 - ① 기초에 대한 동적해석이 필요한 경우에는 기초와 지반, 구조물의 상호작용을 고려하는 동적해석방법을 사용할 수 있다.
 - ② 현장시험과 실내시험으로부터 얻은 지반의 물성치와 기초의 제반사항을 고려하여, 설계지진하중으로 전체 구조물에 대한 응답해석을 실시하여 기초에 작용하는 하중을 결정하고 이를 사용하여 기초의 안정성을 검토한다.

4.4.2.3 말뚝설계 시 특별히 요구되는 사항

- (1) 지반과 교량의 불확실한 응답특성들을 고려한 말뚝의 내진설계에서는 일반 설계에서의 요구조건 이외에 다음의 요구조건을 만족하여야 한다.
 - ① 말뚝의 내진설계에서는 극한지지력 개념을 사용하며 설계지진하중에 대하여 충분한 지지력을 확보하여야 한다.
 - ② 말뚝은 파일캡에 적절히 연결하여야 한다.
 - ③ 콘크리트로 채운 말뚝에 특별한 정착장치를 설치하지 않는 경우에는 말뚝으로 인발력이 전달될 수 있도록 충분한 길이의 철근을 매립하여 정착하여야 한다.
 - ④ 속채움이 없는 강관말뚝, 나무말뚝, 강말뚝은 말뚝의 허용지지력의 10 % 이상인 인발력이 전달될 수 있도록 정착하여야 한다.
 - ⑤ 보강철근은 말뚝과 파일캡을 일체로 하며 하중전달을 용이하게 하기 위해서 파일캡까지 연장하여야 한다.
 - ⑥ 말뚝의 내진설계에서는 기둥이 지표면 위에서 휨모멘트에 의하여 항복하기 이전에 말뚝이 지표면 아래에서 파괴되지 않도록 하여야 한다.
 - ⑦ 깊은기초의 경우 지진으로 인한 수직 및 수평변위를 고려하여 이음부의 안전성을 추가로 검토하여야 한다.

4.4.3 교대**4.4.3.1 일반사항**

- (1) 지진 시 교대의 파괴나 변위로 인한 교량의 손상 또는 파괴가 발생할 수 있으므로 교대의 설계는 신중하게 수행하여야 한다.

4.4.3.2 독립식 교대

- (1) 독립식 교대의 설계에서는 지진에 의한 수평토압과 교대의 관성력을 고려한다. 상부구조물이 자유롭게 미끄러질 수 없는 고정단 받침으로 지지되는 경우에는 상부구조물로부터 전달되는 지진력을 함께 고려하여야 한다.
- (2) 지진 시에 독립식 교대에 작용하는 토압은 Mononobe-Okabe에 의해 개발된 등가정적하중법으로 계산할 수 있으며 이때 토압은 교대의 배면에 균등하게 분포하고 그 합력은 교대 높이의 1/2에 작용하는 것으로 가정한다.
- (3) 구조물의 경제성을 도모하기 위해 교축방향 변위를 허용하는 독립식 교대를 설계할 수 있다. 이 때, 교대는 지진 시에 미끄러짐만 허용하고 전도가 발생하지 않아야 하며, 교대받침의 손상을 최소로 하기 위하여 미끄러짐에 의한 교축방향 변위를 수용할 수 있도록 설계하여야 한다.
- (4) 교축방향 변위를 구속하는 독립식 교대에는 Mononobe-Okabe의 등가정적하중법에 의한 토압보다 큰 수평토압이 작용하므로 이를 고려하여야 한다.

4.4.3.3 일체식 교대

- (1) 일체식 교대는 지진 시 큰 상부관성력이 뒷채움흙에 전달되므로 과도한 상대변위가 발생하지 않도록 하기 위하여 적절한 수동저항력을 갖도록 설계하여야 한다.
- (2) 일체식 교대는 교대-뒷채움흙 구조와 기초의 강성을 계산하여 구조물의 내진설계 과정에 따라 설계할 수 있다.

4.5 강교 설계

4.5.1 일반사항

- (1) 구조용 강재 기둥과 연결부의 설계와 시공은 KDS 24 14 31과 이 절의 추가 요구조건을 만족하여야 한다.

4.5.2 P- Δ 효과

- (1) P- Δ 효과(지진변위로부터 발생하는 편심과 기둥 축력에 의한 모멘트)로 인한 2차 휨을 고려하여 축방향 응력과 휨응력을 계산할 때, 모든 축방향 하중을 받는 부재는 KDS 24 14 31(4.5)에 의거하여 설계하여도 된다.

4.6 콘크리트교 설계

4.6.1 일반사항

- (1) 일체로 현장타설 되는 교각, 확대기초, 연결부의 내진설계는 KDS 24 14 21과 KDS 24 14 51의 규정과 이 절의 추가 요구조건을 만족하여야 한다.
- (2) 이 절에서의 교각은 기둥 형식의 교각(단일기둥과 다주가구), 벽식 교각, 말뚝가구를 총칭한다.
- (3) 단일기둥, 다주가구, 말뚝가구를 설계할 때, 소성힌지구역에 배근되는 심부구속철근은 4.1.5의 응답수정계수와 4.6.3.4의 심부구속철근량에 대한 규정을 적용하는 대신 4.6.6 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계를 적용하여 설계할 수 있다.

4.6.2 교각의 해석 및 설계 강도

4.6.2.1 일반사항

- (1) 철근콘크리트 교각에 대한 구조해석과 단면강도해석에는 균열의 영향과 축방향력의 영향 등 구조적 거동에 영향을 주는 요소를 고려하여야 한다.
- (2) 철근콘크리트 교각의 축방향철근은 설계기준항복강도가 500 MPa을 초과하지 않아야 하며, 인장강도가 항복강도의 1.25배 이상이어야 한다. 철근콘크리트 교각의 횡방향철근은 설계기준항복강도가 500 MPa을 초과하지 않아야 한다.

4.6.2.2 교각의 휨강성

- (1) 지진하중에 대한 구조해석으로 탄성해석을 수행할 때, 교각의 축방향철근이 항복할 것으로 예상되는 경우에는 다음 식으로 결정되는 항복강성을 적용하여 단면력과 변위를 구하여야 한다. 다만, 지진하중에 의한 단면력을 구하기 위한 구조해석에서는, 식 (4.6-1)의 항복강성 대신 철근을 무시한 콘크리트교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트와 콘크리트의 탄성계수로 표현되는 휨강성을 적용할 수 있다.

$$EI_y = \frac{M_y}{\varphi_y} \quad (4.6-1)$$

여기서, EI_y = 축방향력을 고려한 교각의 항복강성(최 외단 축방향철근의 항복)

M_y = 축방향력을 고려한 교각의 항복모멘트(최 외단 축방향철근의 항복)

φ_y = 축방향력을 고려한 교각의 항복곡률(최 외단 축방향철근의 항복)

- (2) 식 (4.6-1)로 정의되는 교각의 항복강성을 구하기 위하여 교각단면에 대한 비선형해석을 수행하지 않는 경우에는, 콘크리트의 탄성계수와 다음 식으로 계산되는 항복유효 단면2차모멘트를 사용할 수 있다.

$$I_{y,eff} = \left(0.16 + 12 \rho_l + 0.3 \sqrt{\frac{P_u}{f_{ck} A_g}} \right) I_g \quad (4.6-2)$$

여기서, A_g = 교각의 총단면적

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도

I_g = 철근을 무시한 교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트

P_u = 계수 축력

ρ_l = 교각의 축방향철근비

- (3) 지진하중에 대한 구조해석으로 탄성해석을 수행할 때, 교각의 축방향철근이 항복하지 않을 것으로 예상되는 경우에는 철근을 무시한 콘크리트교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트와 콘크리트의 탄성계수로 표현되는 휨강성을 적용하여야 한다. 단 교각의 축방향철근이 항복하지 않을 것으로 예상되는 경우에도 변위를 구할 때에는 교각의 항복강성을 적용하여야 한다.

4.6.2.3 교각의 P-Δ 효과

- (1) 철근콘크리트 교각의 총모멘트는 P-Δ 효과를 고려하여 결정하여야 한다. 구조해석에 선형 탄성해석을 수행하는 경우는, 지진해석에 의한 1차모멘트에 횡방향 지진변위와 축력에 의한 2차모멘트를 추가하여 총모멘트를 결정하여야 한다.
- (2) 엄밀한 해석에 의하여 P-Δ 효과를 고려하지 않는다면 (3)과 (4)에 따라 근사적으로 2차모멘

트를 구할 수 있다.

- (3) 캔틸레버로 거동하는 교각에 대하여 4.6.2.2의 휨강성으로 탄성지진해석을 수행한 경우에는 기둥 상단과 하단의 횡방향 최대상대변위의 1.5배에 축력을 곱한 값을 2차모멘트로 취할 수 있다.
- (4) 골조로 거동하는 교각에 대하여 4.6.2.2의 휨강성으로 탄성지진해석을 수행한 경우에는 모멘트가 0인 위치를 기준으로 상단과 하단의 횡방향 상대변위를 각각 구한 후 1.5배를 취한 각각의 횡방향 상대변위에 축력을 곱하여 상단과 하단의 2차모멘트로 취할 수 있다.
- (5) 4.1.5의 응답수정계수를 적용하여 설계할 때에는 응답수정계수를 1차모멘트에만 적용하며 2차모멘트에는 적용하지 않는다.

4.6.2.4 교각의 설계휨강도

- (1) 지진하중에 대한 철근콘크리트 교각의 축력-휨강도를 검토할 때에는, KDS 24 14 21 (1.4.2.3)에 따라 1.0의 재료계수를 적용하여 설계휨강도를 결정한다.
- (2) 철근콘크리트 교각의 휨강도는 KDS 24 14 21(3.1.2.5(2))의 콘크리트 압축 응력분포를 이용한 휨강도 해석이나 콘크리트와 축방향철근의 응력-변형률 곡선을 이용한 모멘트-곡률 해석으로 결정하여야 한다.
- (3) 철근콘크리트 교각의 휨강도 해석에는 축력의 영향을 고려하여야 하며, 4.6.3.5의 철근상세를 갖는 횡방향철근이 배근되는 구간에는 횡구속 효과를 고려하여 KDS 24 14 21(3.1.2.5(3))의 응력-변형률 관계를 적용할 수 있다.

4.6.2.5 교각의 최대 소성힌지력

- (1) 4.6.2.5의 규정은 교각과 연결된 기초, 교각과 일체로 시공된 상부구조, 교각의 전단설계, 그리고 교각과 상부구조 또는 기초의 연결부분에 적용한다.
- (2) 기둥 형식의 교각(단일기둥과 다주가구), 벽식 교각의 약축방향, 말뚝가구의 설계전단력은 4.1.5(1)에 따라 응답수정계수 R 을 1.0으로 하여 결정된 탄성전단력과 이절에 규정된 교각의 최대 소성힌지력 중 작은 값으로 할 수 있다.
- (3) 확대기초, 말뚝머리 및 말뚝을 포함하는 기초의 설계지진력은 이절에 규정된 교각의 최대 소성힌지력과 응답수정계수를 적용하지 않은 탄성지진력 중 작은 값으로 한다.
- (4) 교각의 최대 소성힌지력은 휨 초과강도에 해당하는 전단력으로 결정하여야 한다. 캔틸레버로 거동하는 교각의 최대 소성힌지력은 교각 하단의 휨 초과강도를 교각의 길이로 나누어 결정한다. 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 상단과 하단의 휨 초과강도 합을 교각의 길이로 나누어 결정한다. 이때 교각의 길이는 캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는

기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이로 하며 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이로 한다.

(5) 교각 단면의 휨 초과강도는 다음 두 가지 방법 중 하나를 적용하여 결정하여야 한다.

- ① 설계기준 압축강도의 1.7배인 콘크리트 압축강도와 설계기준 항복강도의 1.3배인 축방향 철근 항복강도를 적용하고, 소성힌지구역 횡방향철근의 심부구속 효과와 축하중의 영향을 고려한 단면의 휨강도로서, 모멘트-곡률 해석을 수행한다.
- ② 콘크리트 설계기준압축강도가 60 MPa 이하이고, 계수 축하중이 $0.3 f_{ck} A_g$ 이하이며, 축방향 철근비가 0.03 이하인 교각의 경우에는, 모멘트-곡률 해석을 수행하는 대신, KDS 24 14 21(3.1.2.5(2))의 압축응력분포를 이용한 축력-휨강도 해석으로 구한 공칭휨강도에 식 (4.6-3)으로 계산되는 휨 초과강도계수 λ_o 를 곱하여 휨 초과강도를 결정할 수 있다. 여기서 R 은 설계에 사용한 응답수정계수이다.

$$\lambda_o = 1.25 + 0.05 R \quad (4.6-3)$$

4.6.2.6 교각의 설계전단강도

- (1) 지진하중에 대한 철근콘크리트 교각의 전단강도를 검토할 때에는 KDS 24 14 21(1.4.2.3)에 따라 1.0의 재료계수를 적용하여 설계전단강도를 결정한다.
- (2) 휨 설계에서 표 4.1-4의 응답수정계수가 적용된 교각에 대하여는, 소성힌지구역의 전단강도를 검토할 때 콘크리트에 의한 전단강도는 KDS 24 14 21(4.1.2.3)의 (1)에서 (3)까지의 규정에 따라 결정하여야 한다.
- (3) 정착이 된 보강띠철근은 4.6.2.6(2)의 전단강도 계산에 포함할 수 있다.

4.6.3 기둥

4.6.3.1 일반사항

- (1) 최대단면치수에 대한 순높이의 비가 2.5 이상인 교각은 일반 기둥으로 간주하여 단일기둥과 다주가구에 대한 4.1.5의 응답수정계수를 적용한다. 기둥상단에서 단면이 커지는 기둥의 경우에는 단면이 커진 부분을 무시하고 최대단면치수를 결정한다.
- (2) 최대단면치수에 대한 순높이의 비가 2.5 미만인 교각은 짧은 기둥으로 간주하여 벽식 교각에 대한 4.1.5의 응답수정계수를 적용한다.
- (3) 벽식 교각은 강축방향에 대하여 4.1.5의 벽식 교각에 대한 응답수정계수를 적용하고 4.6.4에 따라 벽체로 설계하여야 한다. 벽식 교각의 약축방향은 일반 기둥으로 설계할 수 있다.
- (4) 이 절의 규정은 말뚝가구에도 적용된다.

4.6.3.2 단부구역과 소성힌지구역의 설계

- (1) 캔틸레버로 거동하는 기둥의 하단과 골조로 거동하는 기둥의 하단과 상단을 단부구역으로 한다. 기둥 하단의 단부구역은 기초의 상면에서부터의 길이로 결정되며, 골조로 거동하는 기둥의 상단 단부구역은 기둥과 연결된 부재의 하면에서부터의 길이로 결정한다. 기둥에서 단부구역의 길이는 기둥의 최대 단면치수, 기둥 순높이의 $1/6$, 450 mm 중 가장 큰 값으로 하여야 한다.
- (2) 말뚝가구의 상단 단부구역은 기둥의 상단 단부구역과 동일하게 결정하여야 한다. 말뚝가구의 하단 단부구역은 모멘트 고정점에서 말뚝지름의 3배 길이만큼 내려간 위치로부터 진흙선에서 말뚝지름과 450 mm 중 큰 값 이상의 길이만큼 올라간 위치까지의 구간으로 한다.
- (3) (1)과 (2)에서 정의된 단부구역은 4.6.3.3과 4.6.3.4의 규정을 만족하여야 한다.
- (4) 기둥과 말뚝가구의 단부구역 중 설계휨강도보다 큰 탄성지진모멘트가 작용하는 소성힌지구역은 표 4.1-4의 응답수정계수를 적용하고 4.6.3.3에서 4.6.3.5까지의 규정을 만족하도록 설계하여야 한다. 다만, 기둥은 표 4.1-4의 응답수정계수를 적용하는 대신 4.6.6에 따라 연성도 내진설계를 수행하여도 좋다. 단부구역이 아닌 구역이라도 소성거동이 예측되는 구역은 소성힌지구역에 준하여 설계하여야 한다.

4.6.3.3 축방향철근과 횡방향철근

- (1) 축방향철근 단면적은 기둥 전체 단면적의 0.01배 이상, 0.06배 이하로 하여야 한다.
- (2) 단부구역에 배근되는 횡방향철근은 D13 이상으로서, 지름이 축방향철근 지름의 $2/5$ 이상이어야 한다.
- (3) 소성힌지구역에서는 축방향철근을 겹침이음하지 않아야 한다. 소성힌지구역에서 축방향철근의 연결은 완전 기계적 이음을 사용할 수 있다.
- (4) 소성힌지구역 이외의 구역에서 전체 축방향철근 중 $1/2$ 을 초과하여 겹침이음하지 않아야 한다. 기둥의 종방향으로 측정한 이웃하는 겹침이음 사이의 거리는 600 mm 이상이어야 한다. 이때 겹침이음 사이의 거리는 겹침이음의 끝 지점에서부터 기둥의 종방향으로 측정하여, 이웃하는 새로운 겹침이음이 시작되는 지점까지로 한다.
- (5) 소성힌지구역의 심부구속 횡방향철근은 4.6.3.4의 철근량과 4.6.3.5의 철근상세를 만족하여야 하며, 최대 간격은 부재 최소 단면치수의 $1/4$ 또는 축방향철근지름의 6배 중 작은 값을 초과하지 않아야 한다.
- (6) 심부구속 횡방향철근과 단부구역의 횡방향철근은 인접부재와의 연결면으로부터 기둥 치수의 0.5배와 380 mm 중 큰 값 이상까지 연장해서 설치하여야 한다.

- (7) 소성거동이 예측되지 않는 단부구역은 모든 축방향철근이 겹침이음 없이 연속될 필요는 없으나, 횡방향철근은 4.6.3.5의 철근상세를 만족하여야 하며, 간격은 부재 최소 단면치수의 1/4 또는 축방향철근지름의 6배 중 작은 값을 초과하지 않아야 한다.
- (8) 단부구역 이외의 위치에 배근되는 횡방향철근은 4.6.3.5의 철근상세를 만족할 필요가 없으나, 축방향철근이 겹침이음된 구간은 횡방향철근의 간격이 100 mm, 또는 부재 단면 최소치수의 1/4을 초과하지 않아야 한다.
- (9) 나선철근에 대하여는 최대 수직 순간격을 75 mm로 규정한 나선철근의 일반규정을 적용하지 않는다.

4.6.3.4 소성힌지구역에서의 심부구속 횡방향철근량

- (1) 기둥과 말뚝가구에서 소성힌지구역의 콘크리트 심부는 이 절에서 규정하는 철근량과 4.6.3.5의 철근상세를 만족하는 심부구속 횡방향철근으로 구속하여야 한다.
- (2) 원형기둥의 나선철근비 ρ_s 는 식 (4.6-4)로 정의되는 체적비로서, 식 (4.6-5)와 식 (4.6-6)의 값 중 큰 값을 취한다.

$$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{d_s s} \quad (4.6-4)$$

여기서, $\rho_s = d_s$ 를 기준으로 결정된 콘크리트 심부 부피에 대한 나선철근 체적비

A_{sp} = 나선철근의 단면적(mm²)

d_s = 나선철근 외측표면을 기준으로 한 콘크리트 심부의 단면 치수(mm)

s = 나선철근의 수직간격(mm)

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (4.6-5)$$

또는

$$\rho_s = 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (4.6-6)$$

여기서, A_c = 나선철근 외측표면을 기준으로 한 기둥 심부의 면적(mm²)

A_g = 기둥의 총단면적(mm²)

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준 압축강도(MPa)

f_{yh} = 횡방향철근의 설계기준 항복강도(MPa)

- (3) 원형기둥에서 심부구속철근으로 원형띠철근을 사용하는 경우, 원형후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정

하여 나선철근식을 사용할 수 있다.

- (4) 사각형기둥에서 심부구속 횡방향철근의 총단면적 A_{sh} 는 다음 값들 중 큰 값을 취한다.

$$A_{sh} = 0.30 a h_c \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (4.6-7)$$

또는

$$A_{sh} = 0.12 a h_c \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \quad (4.6-8)$$

여기서, a = 띠철근의 수직간격(mm)

A_{sh} = 수직간격이 a 이고, 심부의 단면치수가 h_c 인 단면을 가로지르는 보강띠철근을 포함하는 횡방향철근의 총단면적(mm²). 직사각형 기둥의 두 주축 모두에 대하여 별도로 계산하여야 한다.

h_c = 띠철근 기둥의 고려하는 방향으로의, 띠철근 외측표면을 기준으로 한 심부의 단면 치수(mm)

4.6.3.5 심부구속 횡방향철근상세

- (1) 나선철근은 소성힌지구간에서 겹침이음하지 않아야 한다. 소성힌지구간에서 나선철근의 연결은 기계적 연결이나 완전 용접이음으로 하여야 한다.
- (2) 사각형 심부구속 횡방향철근으로는 하나의 사각형 후프띠철근 또는 중복된 사각형 폐합띠철근을 사용할 수 있으며, 보강띠철근은 후프띠철근과 유사한 크기를 사용하여야 한다.
- (3) 사각형 후프띠철근은 외측 축방향철근들을 감싸는 폐합띠철근 형태이거나 또는 나선철근과 유사하게 연속적으로 감은 연속띠철근 형태로 사용할 수 있다. 사각형 폐합띠철근 형태는 양단에 띠철근 지름의 6배와 80 mm 중 큰 값 이상의 연장길이를 갖는 135°갈고리를 가지거나, 내진성능검증에 의해 이와 동등 이상의 성능을 갖는 완전기계적이음이어야 한다. 사각형 연속띠철근 형태는 양단에 띠철근 지름의 6배와 80 mm 중 큰 값 이상의 연장길이를 갖는 135°갈고리를 가져야 하며 이 갈고리는 축방향철근에 걸리게 하여야 한다.
- (4) 보강띠철근은 하나의 연속된 철근으로 한쪽 단에 135° 이상의 갈고리를 갖고, 다른 쪽 단에 90° 이상의 갈고리를 갖도록 하여야 한다. 이 때, 135°갈고리는 띠철근 지름의 6배와 80 mm 중 큰 값 이상의 연장길이를 가져야 하며 90°갈고리는 띠철근 지름의 6배 이상의 연장길이를 가져야 한다.
- (5) 사각형 후프띠철근에 추가되는 보강띠철근의 갈고리는 외측 축방향철근에 걸리게 하여야 하며, 보강띠철근을 연속적으로 같은 축방향철근에 걸리게 할 경우 90°갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 한다.

- (6) 사각형 심부구속 횡방향철근은 후프띠철근과 보강띠철근의 수평간격과 보강띠철근 간의 수평간격이 350 mm를 초과하지 않도록 하여야 한다.
- (7) 원형 띠철근 중에서 양단에 90°갈고리를 갖고 1개소 또는 2개소에서 철근 지름의 40배 이상으로 겹침이음된 원형 후프띠철근에 2개의 보강띠철근이 후프띠철근의 겹침이음 구간을 감싸는 경우에는 완전원형후프로 간주할 수 있다. 이때 후프띠철근의 90°갈고리는 축방향철근에 걸리게 하여야 하며, 2개의 보강띠철근은 후프띠철근의 겹침이음 구간의 양쪽 끝부분에 배치하여야 한다. 또 교각의 종방향과 단면 평면방향으로 보강띠철근의 90°갈고리가 연달아 걸리지 않도록 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 하며, 원형 후프띠철근의 겹침이음 부분이 교각의 종방향으로 연달아 위치하지 않도록 배치하여야 한다.
- (8) 기둥과 기초사이에 설치되는 첫 번째 심부구속 횡방향철근은 경계면에서 띠철근 간격의 1/2 위치에 배근한다.

4.6.3.6 결합나선철근

- (1) 기둥의 횡방향철근으로 2개 이상의 나선철근을 결합한 결합나선철근(interlocking spirals)을 사용할 수 있다.
- (2) 소성힌지부에서의 결합나선철근량은 4.6.3.4 규정을 적용하여 각각의 나선철근에 대해 독립적으로 계산하여야 한다.
- (3) 소성힌지부에서의 결합나선철근량은 4.1.5의 응답수정계수와 4.6.3.4의 심부구속 철근량에 대한 규정을 적용하는 대신 4.6.6을 적용하여 설계할 수 있다.
- (4) 축방향철근 중심간 수평간격은 200 mm 이하여야 하며, 결합부분에는 최소한 4개 이상의 축방향철근을 배근하여야 한다.
- (5) 결합나선철근의 나선철근간의 중심간격(d_{int})은 심부단면치수(d_s)의 0.75배 이하여야 한다.
- (6) 원형후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정하여 결합원형띠철근을 사용할 수 있으며 결합나선철근과 동등하게 취급할 수 있다.
- (7) 이 절의 규정에 따라 설계된 결합나선철근 또는 결합원형띠철근의 배근구간과 철근상세는 4.6의 해당 규정을 따라야 한다.
- (8) 결합나선철근 및 결합원형띠철근의 경우, 널리 알려진 이론이나 최신의 연구문헌, 실험 또는 해석적으로 안전성을 검증할 수 있는 경우에는 본 규정을 적용하지 않아도 좋다.

4.6.4 벽식 교각

- (1) 벽식 교각의 약축방향은 일반 기둥으로 설계할 수 있다. 벽식 교각의 강축방향은 4.1.5의 벽식 교각에 대한 응답수정계수를 적용하고 이 절에 따라 벽체로 설계하여야 한다.
- (2) 벽체의 양면에는 수평방향 및 수직방향철근을 배치하여야 하며, 인접하는 수평방향철근의 겹침이음이 동일한 위치에 있지 않도록 엇갈리게 배치하여야 한다.
- (3) KDS 24 14 21(4.1)의 극한한계상태 설계와 KDS 24 14 21(4.6.8)의 부재 상세 규정에 따른다.

4.6.5 중공원형 교각

4.6.5.1 일반사항

- (1) 중공원형 교각은 일반적인 원형기둥에 적용하는 규정 이외에, 이 절의 규정을 추가로 적용하여 설계하여야 한다.
- (2) 중공원형 교각에서 중공치수비는 단면의 최대지름에 대한 중공지름의 비율로 정의한다.
- (3) 중공원형 교각의 축력비는 콘크리트 설계기준압축강도와 콘크리트 단면적의 곱에 대한 축력의 비율로 정의한다.

4.6.5.2 중공원형 교각의 단면구분

- (1) 중공원형 교각의 단면은 극한상태에서의 중립축의 위치에 따라 그림 4.6-1과 같이 압축 지배 단면과 휨 지배단면으로 구분한다.
- (2) 극한상태에서 중립축의 위치가 중공단면의 중공부에 존재하여, 벽체두께에 걸쳐 압축응력을 받는 단면을 압축 지배단면으로 정의한다.
- (3) 극한상태에서 중립축의 위치가 벽체두께의 내부, 즉 단면의 외측 면과 내측 면 사이에 존재하는 단면을 휨 지배단면으로 정의한다.
- (4) 극한상태에서의 중립축 위치는 일반적인 축력-휨 강도해석이나 모멘트-곡률 해석 등 엄밀한 해석에 의하여 결정할 수 있다.
- (5) 단면의 분류를 해석에 의하지 않는 경우, 축력비가 0.1 이하이고 중공치수비가 0.5 이하인 경우에는 휨 지배단면으로 분류할 수 있다.

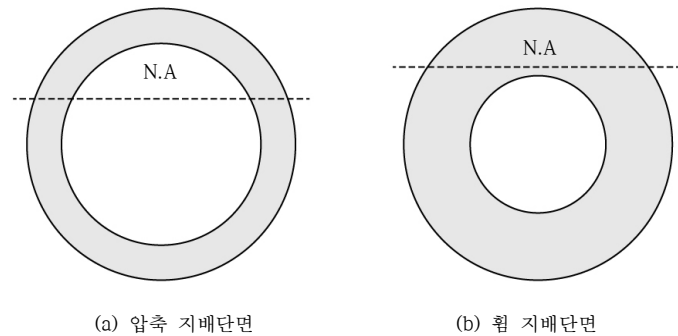


그림 4.6-1 극한상태에서의 중립축 위치에 따른 단면구분

4.6.5.3 축방향철근과 횡방향철근의 배치

- (1) 중공원형 교각의 압축 지배단면은 벽체단면의 외측 면과 내측 면에 인접한 위치에 축방향 철근과 횡방향철근을 배치하여야 한다.
- (2) 중공원형 교각의 휨 지배단면은 벽체단면의 외측 면과 내측 면에 인접한 위치에 축방향철근과 횡방향철근을 배치하거나, 벽체단면의 외측 면에 인접한 위치에만 축방향철근과 횡방향철근을 배치할 수 있다.
- (3) 중공원형 교각의 횡방향철근은 벽체단면에서 콘크리트 단면의 심부와 축방향철근을 감싸도록 배치하여야 한다.
- (4) 벽체단면 외측과 내측의 축방향철근을 감싸는 보강띠철근의 배치는 4.6.5.4에 따른다.

4.6.5.4 소성힌지구역에서의 심부구속 횡방향철근량 및 철근상세

- (1) 중공원형 교각의 심부구속 후프철근은 나선철근이나 완전원형후프, 또는 4.6.3.5의 (7)을 만족하는 띠철근을 사용하여야 한다.
- (2) 표 4.1-4 응답수정계수를 적용한 완전연성설계에서는 식 (4.6-6)에 따라 소요 나선철근비를 계산하여 벽체단면 외측의 축방향철근을 감싸도록 심부구속철근을 배치하여야 한다.
- (3) 4.6.6을 적용한 연성도 내진설계에서는 4.6.6.2와 4.6.6.3의 규정에 따라 소요 나선철근비를 계산하여 벽체단면 외측의 축방향철근을 감싸도록 심부구속철근을 배치하여야 한다.
- (4) 벽체단면 외측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근은 식 (4.6-4) 또는 식 (4.6-14)에 따라 심부구속철근의 지름과 수직간격을 결정하여야 한다. 다만, 중공원형 교각에서는 식 (4.6-4) 또는 식 (4.6-14)의 d_s 를 외측 심부구속철근의 외측표면을 기준으로 형성되는 원형의 지름으로 하여야 한다.
- (5) 휨 지배단면에서 단면의 내측에 축방향철근이 배치되지 않은 경우에는, 내측의 축방향철근을

감싸는 심부구속철근을 배치할 필요가 없다.

- (6) 휨 지배단면에서 단면의 내측에도 축방향철근이 배치된 경우에는, 내측의 축방향철근을 감싸는 횡방향구속철근을 KDS 24 14 21의 규정에 따라 배치하여야 한다.
- (7) 압축 지배단면은 외측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근과 동일한 지름과 간격으로 내측의 축방향철근을 감싸는 심부구속철근을 배치하여야 한다. 다만, 외측 심부구속철근 수직 간격의 2배가 내측 축방향철근 지름의 6배 이하인 경우에는, 내측 심부구속철근의 수직간격을 외측 심부구속철근 간격의 2배로 배치할 수 있다.
- (8) 중공원형 교각의 심부구속 횡방향철근상세는 4.6.3.5의 (1)과 (7)의 규정 외에 4.6.5.4의 (9)~(13)의 규정을 따라야 한다.
- (9) 중공원형 교각에서 심부구속철근의 호칭지름이 이 절의 (4)에 정의된 d_s 의 1/125배 이상인 경우에는 벽체단면 외측과 내측의 축방향철근을 감싸는 보강띠철근을 배치할 필요가 없다.
- (10) 중공원형 교각에서 심부구속 후프철근의 호칭지름이 이 절의 (4)에 정의된 d_s 의 1/125배 미만인 경우에는 벽체단면 외측과 내측의 축방향철근을 감싸는 보강띠철근을 배치하여야 한다. 이때 보강띠철근은 심부구속 후프철근과 동일한 지름의 철근을 사용하여야 한다.
- (11) 심부구속 보강띠철근 상세는 4.6.3.5의 (4)에 따르며, 중공원형 교각에서는 보강 띠철근간의 수평간격이 외측 심부구속철근의 위치에서 심부구속 후프철근 호칭지름의 30배를 초과하지 않도록 하여야 한다.
- (12) 심부구속 보강띠철근은 축방향철근을 감싸도록 배치하여야 하며, 단면 내측에 축방향철근이 배치되지 않은 경우에는 보강띠철근의 배치를 위한 조립용 철근을 축방향으로 배치하여야 한다.
- (13) 보강띠철근을 연속적으로 같은 축방향철근에 걸리게 할 경우에는 90° 갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 하며, 휨지배단면의 경우에는 90° 갈고리가 내측축방향철근에만 걸리도록 배치하는 방법과 90° 갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주는 방법중 하나를 적용하여야 한다.

4.6.5.5 중공원형 교각의 설계전단강도

- (1) 중공원형 교각의 설계전단강도는, 표 4.1-4의 응답수정계수를 적용한 완전연성설계나 4.6.6을 적용한 연성도 내진설계의 구분 없이, 모두 4.6.2.6의 규정에 따른다.
- (2) 휨 설계에서 표 4.1-4의 응답수정계수가 적용된 교각에 대하여는, 소성힌지구역의 전단강도를 검토할 때 콘크리트에 의한 전단강도는 KDS 24 14 21(4.1.2.3(1))에서 KDS 24 14 21(4.1.2.3(3))까지의 규정에 따라 결정하여야 한다.

(3) 정착이 된 보강띠철근은 4.6.5.5(2)의 전단강도 계산에 포함할 수 있다.

4.6.6 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계

4.6.6.1 일반사항

(1) 적용범위

- ① 이 절의 규정은 일반 교량의 내진설계에 적용한다.
- ② 이 절의 규정은 콘크리트의 설계기준 압축강도가 50 MPa 이하인 철근콘크리트 기둥의 내진설계에 적용한다.
- ③ 이 절의 규정은 기둥 형식의 교각(단일기둥, 다주가구, 말뚝가구)에 대한 설계로서 4.1.5의 응답수정계수, 4.6.3.4의 심부구속철근량, 4.6.2.5(2)와 (3)의 소성힌지구역 전단설계에 대한 규정을 대신하여 적용할 수 있다.
- ④ 4.6.6의 규정은 4.6.3.1에서 규정하는 최대단면치수에 대한 순높이의 비 제한값에 무관하게 모든 기둥에 적용할 수 있으며, 4.6.3.2에서 규정하는 단부구역에 적용한다.
- ⑤ 4.6.6의 규정에 따라 설계되는 횡방향철근의 배근구간과 철근상세는 4.6의 해당 규정에 따른다.

(2) 용어의 정의

- ① 연성도 내진설계: 철근콘크리트 기둥의 소요연성도에 따라 횡방향 심부구속철근을 설계하는 설계방법
- ② 소요 응답수정계수: 기둥의 탄성지진모멘트와 설계휨강도의 비율로서 소요연성도를 산정하기 위한 계수
- ③ 상한통제주기: 표준설계응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 상수인 구간에서의 최대주기
- ④ 소요연성도: 기둥의 소성힌지구역의 소요 심부구속철근량을 산정하기 위한 소요 곡률연성도와 소요 변위연성도
- ⑤ 곡률연성도: 단면의 항복곡률에 대한 극한곡률의 비율
- ⑥ 변위연성도: 기둥의 항복변위에 대한 극한변위의 비율

(3) 기호

D_c = 연성도 내진설계에서 교각 소성힌지 구간의 전단강도를 계산하기 위한 심부콘크리트 단면 치수(mm)

k = 변위연성도에 따른 기둥의 전단강도계수

L_s = 기둥 형상비의 기준이 되는 기둥 길이(캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이, 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이의 1/2)

M_{el} = 지진하중을 포함한 하중조합에 따른 기둥의 탄성모멘트

ϕM_n = 기둥의 설계휨강도

R_{req} = 소요 응답수정계수

T_s = 상한통제주기(초)

α = 식 (4.6-16)에서 심부구속 횡방향철근량을 계산하는데 사용되는 계수

β = 식 (4.6-17)에서 심부구속 횡방향철근량을 계산하는데 사용되는 계수

γ = 식 (4.6-18)에서 심부구속 횡방향철근량을 계산하는데 사용되는 계수

λ_{DR} = 변위연성도-응답수정계수 상관계수

μ_{Δ} = 교각의 소요 변위연성도

μ_{θ} = 교각의 소요 곡률연성도

4.6.6.2 소요연성도

(1) 기둥의 소요연성도는 다음과 같이 결정하여야 한다.

- ① 원형단면: 기둥 단면의 두 주축(강축과 약축)에 대한 소요연성도 중 큰 값으로 결정
- ② 원형 이외의 단면: 기둥 단면의 두 주축(강축과 약축)에 대해 각각의 소요연성도를 독립적으로 결정

(2) 소요 응답수정계수는 식 (4.6-9)에 따라 결정한다. 지진하중에 따른 탄성지진모멘트는 4.6.2.2의 휨강성을 적용한 탄성해석을 수행하여 결정하며, 4.2.4의 규정에 따라 조합하여야 한다.

$$R_{req} = \frac{M_{el}}{\phi M_n} \quad (4.6-9)$$

여기서, R_{req} = 소요 응답수정계수

M_{el} = 지진하중을 포함한 하중조합에 따른 기둥의 탄성모멘트

ϕM_n = 4.6.2.4의 규정에 따른 기둥의 설계휨강도

(3) 4.6.3.2에 규정된 단부구역 중에서 소요 응답수정계수가 1.0 이하인 단부구역은 4.6.2.5(2)와 4.6.2.6에 따라 전단강도를 검토하여야 하며, 횡방향철근은 4.6.3.3의 해당 요구조건을 만족하여야 한다.

(4) 소요 응답수정계수가 1.0 이상인 소성힌지구역의 소요 변위연성도 μ_{Δ} 는 식 (4.6-10)에 따라 결정한다. 교량의 주축방향 1차 모드 주기 T 가 상한통제주기 T_s 의 1.25배보다 작은 경우에는 변위연성도-응답수정계수 상관계수 λ_{DR} 을 식 (4.6-11)에 따라 결정하며, 그 외에는 1.0으로 한다. T_s 는 4.3.2의 표준설계응답스펙트럼에 정의되어 있다.

$$\mu_{\Delta} = \lambda_{DR} R_{req} \quad (4.6-10)$$

$$\lambda_{DR} = \left(1 - \frac{1}{R_{req}}\right) \frac{1.25 T_s}{T} + \frac{1}{R_{req}} \quad (4.6-11)$$

(5) 소요 변위연성도의 최댓값은 식 (4.6-12)에 따라 결정한다.

$$\mu_{\Delta, \max} = 2(L_s/h) \leq 5.0 \quad (4.6-12)$$

(6) 소요 곡률연성도 μ_ϕ 는 식 (4.6-13)에 따라 결정하여야 한다.

$$\mu_\phi = \frac{\mu_\Delta - 0.5 \left\{ 0.7 + 0.75 \left(\frac{h}{L_s} \right) \right\}}{0.13 \left(1.1 + \frac{h}{L_s} \right)} \quad (4.6-13)$$

여기서, h = 고려하는 방향으로의 단면 최대 두께

L_s = 기둥 형상비의 기준이 되는 기둥 길이(캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이, 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이의 1/2)

4.6.6.3 심부구속 횡방향철근량

(1) 기둥에서 소요 응답수정계수가 1.0을 초과하는 소성힌지구역의 콘크리트 심부는 이 절에서 규정하는 소요 철근량 이상의 횡방향철근으로 구속하여야 한다.

(2) 원형기둥의 나선철근비 ρ_s 는 식 (4.6-14)로 정의되는 체적비로서, 소요 나선철근비는 식 (4.6-15)에서 식 (4.6-18)까지를 적용하여 결정한다.

$$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{d_s s} \quad (4.6-14)$$

여기서, $\rho_s = d_s$ 를 기준으로 결정된 콘크리트 심부 부피에 대한 나선철근 체적비

A_{sp} = 나선철근의 단면적(mm²)

d_s = 나선철근 외측표면을 기준으로 한 콘크리트 심부의 단면 치수(mm)

s = 나선철근의 수직간격(mm)

$$\rho_s = 0.008 \alpha \beta \frac{f_{ck}}{f_{yh}} + \gamma \quad (4.6-15)$$

$$\alpha = 3(\mu_\phi + 1) \frac{P_u}{f_{ck} A_g} + 0.8 \mu_\phi - 3.5 \quad (4.6-16)$$

$$\beta = \frac{f_y}{350} - 0.12 \quad (4.6-17)$$

$$\gamma = 0.1(\rho_l - 0.01) \quad (4.6-18)$$

여기서, f_{ck} = 콘크리트의 설계기준 압축강도(MPa)
 f_{yh} = 횡방향철근의 설계기준 항복강도(MPa)
 f_y = 축방향철근의 설계기준 항복강도(MPa)
 A_g = 기둥의 총단면적(mm²)
 P_u = 기둥의 계수축력(N)
 μ_ϕ = 소요 곡률연성도
 ρ_l = 기둥의 축방향철근비

- (3) 원형기둥에서 심부구속철근으로 원형띠철근을 사용하는 경우, 원형후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정하여 나선철근식을 사용할 수 있다.
- (4) 사각형기둥에서 심부구속 횡방향철근의 총 소요 단면적 A_{sh} 는 식 (4.6-19)으로 결정하여야 한다.

$$A_{sh} = 0.9 a h_c \left(0.008 \alpha \beta \frac{f_{ck}}{f_{yh}} + \gamma \right) \quad (4.6-19)$$

여기서, a = 띠철근의 수직간격(mm)
 A_{sh} = 수직간격이 a 이고, 심부의 단면치수가 h_c 인 단면을 가로지르는 보강띠철근을 포함하는 횡방향철근의 총단면적(mm²). 직사각형 기둥의 두 주축 모두에 대하여 별도로 계산하여야 한다.
 h_c = 띠철근 기둥의 고려하는 방향으로의, 띠철근 외측표면을 기준으로 한 심부의 단면 치수(mm)

4.6.6.4 전단 설계

- (1) 이 절의 규정에 따라 변위연성도를 고려하여 콘크리트 교각의 전단강도를 검토할 때에는, 1.0의 재료계수를 적용하여 설계전단강도를 결정하여야 한다.
- (2) 설계전단력은 4.1.5(1)에 따라 응답수정계수 R 을 1.0으로 하여 결정된 탄성전단력과 4.6.2.5에 규정된 교각의 최대 소성힌지력 중 작은 값으로 한다.
- (3) 단부구역의 공칭전단강도는 식 (4.6-20)에 따라야 하며, 단부구역을 제외한 구역의 공칭전단강도는 4.6.2.6의 규정에 따른다.

$$V_n = V_c + V_s + V_p \quad (4.6-20)$$

여기서, V_c = 콘크리트에 의한 공칭전단강도
 V_s = 전단철근에 의한 공칭전단강도
 V_p = 축력 작용에 의한 공칭전단강도

- (4) 콘크리트에 의한 공칭전단강도는 전단강도를 검토하는 기둥의 주축에 대한 소요 변위연성도 μ_{Δ} 를 고려하여 식 (4.6-21)에 따라 계산하여야 한다. 소요 변위연성도가 2.0 이하인 경우에는 계수 k 로 0.3을 적용하며, 소요 변위연성도가 2.0을 초과하는 경우에는 식 (4.6-22)에 따른 값을 적용하여야 한다. 전단 유효단면적 A_e 는 원형단면과 사각형단면에 대하여 기둥 총단면적 A_g 의 0.8배를 적용하며, I형 단면이나 사각형 중공단면과 같이 복부가 구분되는 단면은 복부폭과 유효깊이의 곱($b_w d$)을 적용한다.

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e \quad (4.6-21)$$

$$k = 0.3 - 0.1 (\mu_{\Delta} - 2) \quad (4.6-22)$$

- (5) 전단철근에 의한 공칭전단강도를 결정할 때 사각형 띠철근단면에 대해서는 식 (4.6-23), 원형단면의 나선철근 또는 원형 후프띠철근에 대해서는 식 (4.6-24)를 적용한다. 원형 후프띠철근에 보강띠철근이 추가된 경우에는 식 (4.6-25)로 계산되는 보강띠철근에 의한 공칭전단강도를 추가할 수 있다.

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} D_c}{s} \quad (4.6-23)$$

$$V_s = \frac{\pi}{2} \frac{A_{sp} f_{yh} D_c}{s} \quad (4.6-24)$$

$$V_s = \frac{\Sigma A_{ct} f_{yh} l_{ct}}{s} \quad (4.6-25)$$

여기서, A_v = 전단철근으로 작용하는 띠철근의 단면적(mm²)

A_{sp} = 나선철근 또는 원형 후프띠철근의 단면적(mm²)

A_{ct} = 원형단면에 배근되는 보강띠철근의 단면적(mm²)

D_c = 고려하는 방향의 심부콘크리트 단면 치수로서, 원형단면에서는 원형후프띠철근이나 나선철근 중심 간의 심부콘크리트 지름, 사각형 단면에서는 전단철근으로 작용하는 방향으로의 철근 길이로서 철근 단면의 중심을 기준으로 한 심부콘크리트 치수(mm)

f_{yh} = 띠철근 또는 나선철근의 항복강도(MPa)

l_{ct} = 원형단면에 배근되는 보강띠철근에서 갈고리 부분과 연장길이를 제외한 길이(mm)

s = 띠철근 또는 나선철근의 수직간격(mm)

- (6) 축력 작용에 의한 공칭전단강도는 식 (4.6-26)을 적용한다.

$$V_p = 0.15 \frac{P_u h}{L_s} \quad (4.6-26)$$

여기서, P_u = 교각의 최소 계수축력(N)

h = 고려하는 방향으로의 단면 최대 두께

L_s = 기둥 형상비의 기준이 되는 기둥 길이(캔틸레버로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 하단에서 수평하중이 작용하는 위치까지의 길이, 다주가구에서 골조로 거동하는 방향에 대하여는 기둥 순높이의 1/2)

4.7 지진격리교량의 설계

4.7.1 일반사항

4.7.1.1 적용범위

- (1) 4.7은 신설되는 지진격리교량의 설계에 적용한다.
- (2) 적용하는 교량 및 준용의 방법은 KDS 24 10 11(1.1)에 규정한 바와 같으며, 특수한 형식의 교량(아치교 등)은 이 절의 설계개념 및 원칙을 준수하여 보정한 한 지진격리교량 설계기준을 작성하여 설계할 수 있다.
- (3) 이 절은 교량 상부구조의 수평 지진격리시스템에 대하여 규정한다. 또한 수직방향에 대해서는 구조물을 강체로 가정하며 외부에너지를 이용하는 경우는 다루지 않는다.

4.7.2 지진격리설계의 기본방침

4.7.2.1 목적

- (1) 이 코드의 목적은 설계지진에 대한 요구 내진성능의 확보를 위해 지진격리방침을 적용한 경우에 필요한 최소 설계요구조건을 규정하는 데 있다.

4.7.2.2 기본개념

- (1) 지진격리설계는 수평지진력에 의한 지진 시 교량의 가속도응답을 줄일 목적으로, 주로 상부구조와 하부구조 사이에, 지진격리받침을 적용하여 설계기준에서 요구하는 내진성능을 확보하는 방법이다. 이 때, 지진격리받침은 교량의 고유주기를 길게 함으로써 교량에 작용하는 지진력을 줄여주고, 지진에너지흡수성능 향상을 통하여 지진 시 가속도응답을 감소시키는 역할을 한다.
- (2) 지진격리설계의 적용은 교량의 장주기화 혹은 지진에너지흡수성능 향상효과를 상시와 지진 시의 양측면에서 검토한 후에 판단하여야 한다. 특히, 다음의 조건에 해당되는 경우에는 지진격리설계를 적용하지 않는 것으로 한다.
 - ① 하부구조가 유연하고 고유주기가 긴 교량
 - ② 기초주변의 지반이 연약하고 지진격리설계의 적용에 따른 교량 고유주기의 증가로 지반과 교량의 공진 가능성이 있는 경우
 - ③ 받침에 부반력이 발생하는 경우

- (3) 교량의 장주기화로 인한 지진 시 상부구조의 변위가 교량의 기능에 악영향을 주지 않도록 하여야 한다.
- (4) 지진격리받침은 역학적 거동이 명확한 범위에서 사용하여야 한다. 또한 지진 시의 반복적인 횡변위와 상하진동에 대하여 안정적으로 거동하여야 한다.
- (5) 이 절에서 규정하고 있는 지진격리받침 이외에도 그 특성의 안정성이 확인된 각종감쇠기, 낙교방지장치, 지진보호장치 등에 의하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.
- (6) 지진격리교량에 적용하는 지반분류, 표준설계응답스펙트럼 등은 일반교량과 동일하게 적용하여야 하지만 이를 지진격리교량에 적용하는 경우의 보정 등에 관한 연구성고가 부족하여 잠정적으로 기존의 규정을 적용한다. 향후 연구성고가 축적되면 이를 반영한다.

4.7.3 지진격리교량의 유효수평지반가속도

- (1) 4.1.1.2의 일반교량의 내진설계에 사용되는 유효수평지반가속도가 지진격리교량의 내진설계에도 동일하게 사용된다.

4.7.4 지진격리교량의 내진등급과 내진성능목표

- (1) 지진격리교량의 내진등급과 내진성능목표는 4.1.2 및 4.1.4에서 규정된 일반교량의 규정과 동일하다.

4.7.5 지진격리교량의 지반분류 및 지반계수

- (1) 지진격리교량의 지진하중을 결정하는데 사용되는 지진격리교량의 지반계수는 표 4.7-1과 같으며, 지반종류는 표 4.7-2와 같다.

표 4.7-1 지진격리교량의 지반계수 S_i

지진격리교량의 지반계수	지반종류			
	I	II	III	IV
S_i	1.0	1.5	2.0	2.7

표 4.7-2 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30 m 토층에 대한 평균값		
		전단파속도(m/s)	표준관입시험(N치) ¹⁾	비배수전단강도(kPa)
I	경암지반 보통암지반	760 이상	-	-
II	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	> 50	> 100
III	단단한 토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
IV	연약한 토사지반	180미만	< 15	< 50
V	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반 ²⁾			

주 1) 비점착성 토층만을 고려한 평균 N치

주 2) 지반종류 V는 부지의 특성 조사가 요구되는 다음 경우에 속하는 지반으로서, 전문가가 작성한 부지종속 설계응답스펙트럼을 사용하여야 한다.

- ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 키클레이와 매우 민감한 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반
- ③ 매우 높은 소성을 갖은 점토지반
- ④ 층이 매우 두꺼우며 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토

4.7.6 지진격리교량의 응답수정계수

- (1) 4.4와 4.5에서 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 4.6에서 규정한 소성힌지구역에 관련된 모든 설계요건을 충족시키는 경우, 지진격리교량의 각 부재와 연결부분에 대한 설계 지진력은 4.7.7에서 규정된 등가지진력을 표 4.7-3의 지진격리교량의 응답수정계수로 나눈 값으로 한다. 다만 하부구조의 경우, 축방향력과 전단력은 응답수정계수로 나누지 않는다.
- (2) 4.4와 4.5에서 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 4.6에서 규정한 소성힌지구역에 관련된 모든 설계요건을 충족시키지 못하는 경우, 하부구조와 연결부분에 대한 응답수정계수는 1.0을 넘지 못한다. 이때, 지진응답해석을 통하여 설계지진 시에 하부구조가 축방향철근이 항복하지 않는 탄성범위 내에서 거동함을 확인하여야 하고, 철근콘크리트 기둥 형식의 교각과 말뚝가구의 철근상세는 4.6.3의 해당요건을 만족시켜야 한다.

표 4.7-3 지진격리교량의 응답수정계수 R_i

하부구조	R_i	연결부분	R_i
벽식교각	1.5	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 가구 (Bent)			
1. 수직말뚝만 사용한 경우	1.5	상부구조의 한 지간 내의 신축이음부	0.8
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	1.5		
단일 기둥	1.5	기둥, 교각 또는 말뚝 가구와 캡뱀 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝 가구			
1. 수직말뚝만 사용한 경우	2.5		
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	1.5	기둥 또는 교각과 기초	1.0
다주 가구	2.5		

4.7.7 해석방법

4.7.7.1 일반사항

(1) 4.7.7의 규정은 지진격리교량의 지진해석에 대한 규정이며 다음과 같은 네 가지 해석법 또는 발주자가 인정하는 검증된 정밀해석법을 사용할 수 있다.

- ① 등가정적하중법
- ② 단일모드스펙트럼해석법
- ③ 다중모드스펙트럼해석법
- ④ 응답(시간)이력해석법

(2) 교량해석은 지진격리받침의 특성을 고려하여 수행한다. 지진격리받침의 비선형거동을 단순화하기 위해서 이중선형모델을 사용할 수 있다.

(3) 지진격리받침의 유효강성 k_{eff} 및 지진격리시스템의 등가감쇠비 β_i 는 원칙적으로 식 (4.7-1) 및 식 (4.7-2)에 의해 산출한다. 해석에 사용되는 지진격리받침의 유효강성은 설계변위에서 계산하여야 한다.

$$k_{eff} = \frac{F_p - F_n}{d_p - d_n} \quad (4.7-1)$$

$$\beta_i = \frac{1}{2\pi} \frac{\text{전체 EDC면적}}{\sum (k_{eff} d_i^2)} \times 100 (\%) \quad (4.7-2)$$

여기서, F_{nz} : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대부변위량 발생 시의 수평력

F_p : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대양변위량 발생 시의 수평력

d_n : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대부변위

d_p : 지진격리장치의 원형시험 시, 한 사이클 동안의 최대양변위

d_i : 고려하고 있는 방향에 대한 강성중심에서의 등가지진력에 의한 지진 시 설계변위

EDC : 한 사이클 당 소산된 에너지이다.

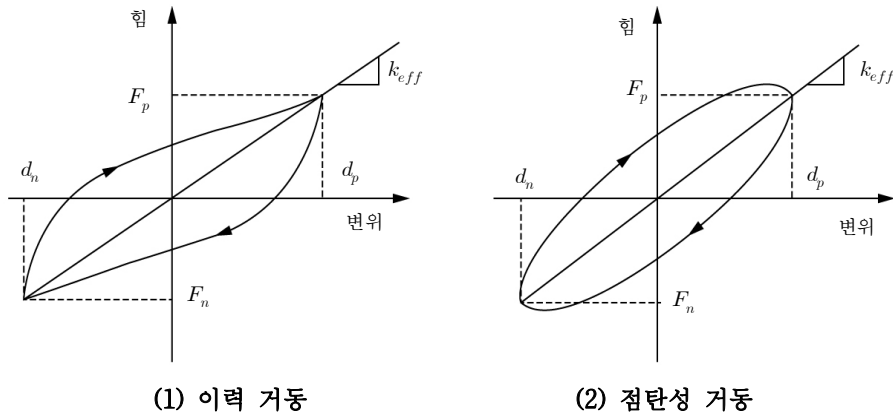


그림 4.7-1 지진격리받침의 유효강성 및 지진격리시스템의 등가감쇠비 산출

- (4) 유효주기가 3초보다 긴 교량 또는 등가감쇠비가 30%를 초과하는 지진격리받침을 사용하는 경우에는 지진격리받침의 비선형성을 고려한 응답(시간)이력해석을 수행하여야 하며, 교각의 비선형 거동이 예상되는 경우에는 교각의 비선형성도 고려하여야 한다.

4.7.7.2 등가정적하중법

- (1) 등가지진력은 다음과 같다.

$$F_e = C_s W \quad (4.7-3)$$

여기서, F_e : 등가지진력

W : 상부구조물의 총중량이다.

- (2) 등가지진력을 결정하기 위해서 사용되는 탄성지진응답계수 C_s 는 다음의 무차원식으로 구할 수 있다. 다만, C_s 값은 2.5S 보다 크게 취할 필요는 없다.

$$C_s = \frac{K_{eff} \times d}{W} = \frac{S \cdot S_i}{T_{eff} B} \quad (4.7-4)$$

- (3) 지반에 대한 상부구조의 총변위 d 는 아래의 식으로 구한다.

$$d = \frac{250S \cdot S_i T_{eff}}{B} (\text{mm}) \quad (4.7-5)$$

여기서, B는 표 4.7-4으로부터 구한다.

- (4) 유효주기 T_{eff} 는 아래의 식으로 구한다.

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}} \quad (4.7-6)$$

여기서, K_{eff} 는 지진격리교량의 유효강성이다.

표 4.7-4 지진격리교량의 감쇠계수 B

지진격리교량의 감쇠계수	지진격리시스템의 등가감쇠비 β (%)				
	≤ 2	5	10	20	30
B	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7

4.7.7.3 단일모드스펙트럼해석법

- (1) 종방향 및 횡방향 지진에 의한 부재의 단면력과 처짐을 계산하는 등가정적 지진하중 $p_e(x)$ 는 지진격리받침의 변위에 의하여 4.7.7.2에 따라 결정된 등가지진력을 사용하여 4.3.3에 기술된 대로 수평2축 방향을 따라 구하고, 그 값을 4.2.4에 기술된 대로 조합하여 사용한다.

$$p_e(x) = w(x)C_s \quad (4.7-7)$$

여기서, $p_e(x)$: 등가정적 지진하중의 단위길이 당 하중강도
 $w(x)$: 상부구조의 단위길이 당 고정하중
 C_s : 식 (4.7-4)에 의하여 계산되는 탄성지진응답계수이다.

4.7.7.4 다중모드스펙트럼해석법

- (1) 탄성지진응답계수는 그림 4.7-2와 같이 해당모드주기 T_i 가 $0.8 T_{eff}$ 를 초과하는 경우에만 B에 의해 감소된 값이 적용된다.

$$C_{si} = \frac{SS_i}{T_i} \quad (T_i \leq 0.8 T_{eff}) \quad (4.7-8)$$

$$C_{si} = \frac{SS_i}{T_i B} \quad (T_i > 0.8 T_{eff}) \quad (4.7-9)$$

여기서, C_{si} : i 번째 모드의 탄성지진응답계수
 T_i : i 번째 모드의 주기이다.

- (2) C_{si} 값은 $2.5S$ 보다 크게 취할 필요는 없다.
 (3) 직교하는 지진력의 조합은 4.2.4에 따른다.

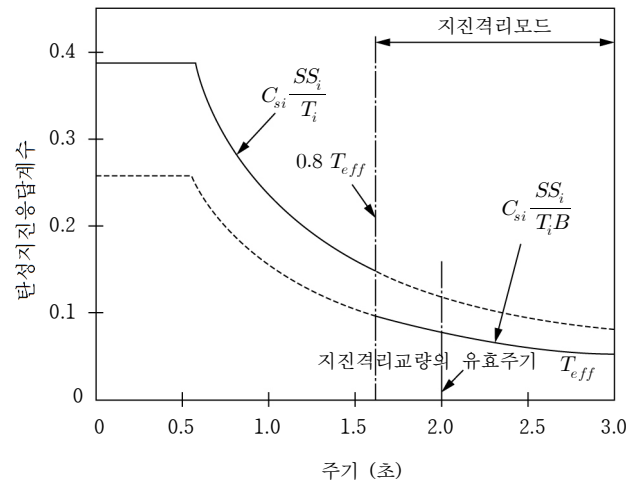


그림 4.7-2 지진격리교량의 탄성지진응답계수

4.7.7.5 응답(시간)이력해석법

(1) 응답(시간)이력해석이 요구되는 지진격리교량의 경우에는 다음 조건들을 적용하여야 한다.

- ① 지진격리받침의 비선형 특성을 고려하여야 하며, 교각이 비선형 거동을 하는 경우에는 이의 비선형 특성도 고려하여야 한다.
- ② 설계지반운동의 시간이력은 KDS 17 10 00(4.2.1.4(8)~(10))에 따른다.
- ③ 실제 기록된 지진운동을 수정하거나 인공적으로 합성된 최소한 4세트 이상의 지반운동 시간이력을 작성하여 사용하며, 7세트 미만의 지반운동 시간이력에 의한 해석결과로부터 얻어진 응답치의 최댓값 혹은 7세트 이상의 해석결과로부터 얻어진 각각의 최댓값의 평균값을 설계값으로 한다.

4.7.8 기타 요구조건

- (1) 지진격리시스템을 구성하는 지진격리받침, 감쇠기, 낙교방지장치, 지진보호장치 등의 성능 기준과 품질기준에 관해서는 KDS 17 10 00(4.5) 및 KDS 24 90 11에 따른다.

집필위원

성명	소속	성명	소속
김익현	울산대학교	하동호	건국대학교
선창호	울산대학교		

건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이용수	한국건설기술연구원	김병석	한국건설기술연구원
구재동	한국건설기술연구원	황훈희	한국도로협회
김기현	한국건설기술연구원	최병호	한밭대학교
김태송	한국건설기술연구원	이호용	이레이앤씨
김희석	한국건설기술연구원	김명철	동부엔지니어링
류상훈	한국건설기술연구원	정지영	디엠씨엠
정상준	한국건설기술연구원	엄종욱	케이에스엠기술
주영경	한국건설기술연구원	김충언	삼현피에프
최봉혁	한국건설기술연구원	이명재	현대건설
		조경식	디엠엔지니어링
		정지승	동양대학교

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
강신구	한국철도기술연구원	송원경	한국지질자원연구원
권석현	(주)도명이앤씨	윤용균	세명대학교
김숙자	계룡시청	최용기	(사)건설문화연대
송병호	한국교통안전공단		

국토교통부

성명	소속	성명	소속
이상현	국토교통부간선도로과		
최규용	국토교통부 간선도로과		

설계기준

KDS 24 17 11 : 2018

교량 내진설계기준(한계상태설계법)

2018년 12월 31일 발행

국토교통부

관련단체 한국도로협회

13647 경기도 성남시 수정구 위례서일로 26(중일라크리움 8층)

☎ 02-3490-1041 E-mail : poonhee@kroad.or.kr

<http://www.kroad.or.kr>

(작성기관) 한국교량및구조공학회

06732 서울특별시 관악구 관악로1 서울대학교 37동 115호 한국교량및구조공학회

☎ 02-871-8395 E-mail : kibse@kibse.or.kr

<http://www.kibse.or.kr>

국가건설기준센터

10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)

☎ 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr

<http://www.kcsc.re.kr>