

KDS 24 17 12 : 2023

교량내진 설계기준(케이블교량)

2023년 9월 12일 개정

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

KC CODE



국토교통부



건설기준 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하여야 합니다. 다만, 이미 설계를 완료하여 공사 중인 교량은 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전의 기준을 사용할 수 있으며, 미시공한 교량은 이 기준으로 검토하여 개선하여야 합니다.

건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 내진설계 일반사항(KDS 17 10 00)과 기존의 도로설계기준(한계상태설계법)-케이블 교량 KDS 24 17 11)을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
KDS 24 17 12 : 2018	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함	제정 (2018. 12)
KDS 24 17 12 : 2022	• 미시공한 교량의 강화된 내진설계 기준의 적용을 위하여 경과조치 개정	개정 (2022. 02)
KDS 24 17 12 : 2023	• 교량공사 안전강화를 위한 교량분야 건설기준 정비연구에 따라 정비하여 개정함	개정 (2023. 09.)

제 정 : 2018년 12월 31일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 국토교통부 도로건설과

관련단체 : 한국도로협회, 한국교량및구조공학회

개 정 : 2023년 9월 12일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

작성기관 : 한국교량및구조공학회

- 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 적용 범위	1
1.3 참고 기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	2
1.6 내진설계의 기본원칙	4
2. 조사 및 계획	5
3. 재료	5
4. 설계	5
4.1 설계일반사항	5
4.2 해석 및 설계에 대한 규정	8
4.3 해석방법	10
4.4 기초 및 교대의 내진설계	12
4.5 콘크리트교의 설계	15
4.6 붕괴방지수준의 내진성능 검증	20

1. 일반사항

1.1 목적

(1) 이 기준은 설계지진에 대한 케이블교량의 내진성능수준을 확보하는데 필요한 최소한의 설계요구조건을 규정하기 위한 것이다.

1.2 적용 범위

(1) 이 기준은 지진·화산재해대책법시행령 제10조①항8호에 해당하는 장경간 케이블 교량의 내진 설계에 적용한다.

(2) 적용하는 교량 및 준용의 방법은 KDS 24 10 12(1.1)에 따른다.

1.3 참고 기준

- KDS 17 10 00 내진설계 일반
- KDS 24 10 12 교량설계 일반사항(케이블교량)
- KDS 24 12 12 교량 설계하중조합(케이블교량)
- KDS 24 12 21 교량 설계하중(한계상태설계법)
- KDS 24 14 21 콘크리트교 설계기준(한계상태설계법)

1.4 용어의 정의

- 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
- 내진성능목표: 설계지진하중에 대해 내진성능수준을 만족하도록 요구하는 내진설계의 목표
- 내진성능수준: 설계지진하중에 대해 교량에 요구되는 성능수준. 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구수준과 붕괴방지수준으로 구분
- 다중모드 스펙트럼해석법: 여러 개의 진동모드를 사용하는 스펙트럼해석법
- 단부구역: 캔틸레버로 거동하는 주탑과 기둥의 하단 및 골조로 거동하는 주탑과 기둥의 하단과 상단
- 모멘트-곡률 해석: 철근콘크리트 구조물의 재료비선형 단면해석의 하나로써, 횡방향철근에 의한 횡구속효과와 축력의 영향 등을 고려하고 철근과 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 이용하여 모멘

트와 곡률의 관계를 구하는 해석

- 발산감쇠: 지진발생 시 구조물로부터 전달된 힘이 지반의 변형에너지로 소산되어 구조물의 진동을 줄이는 감쇠
- 붕괴방지수준: 설계지진하중 작용 시 교량의 구성요소에 매우 큰 변형이나 손상이 발생할 수 있지만 그 영향으로 인해 교량이 붕괴되거나 또는 교량의 손상으로 인하여 대규모 피해가 초래되는 것을 방지할 수 있는 성능수준
- 설계변위: 설계에서 요구되는 수평방향의 지진변위
- 액상화: 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 동하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하고, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상
- 위험도계수: 평균재현주기가 500년인 지진의 유효수평지반가속도를 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 유효수평지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수
- 유효지반가속도: 지진하중을 산정하기 위한 기반암의 지반운동 수준으로 유효수평지반가속도와 유효수직지반가속도로 구분
- 응답(시간)이력해석법: 지진의 지속시간동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법
- 장기복구수준: 설계지진하중 작용 시 교량의 부부재에는 큰 변형이나 손상이 발생할 수 있으나 주부재에는 큰 손상이 발생하지 않아 교량을 이용하는 인원에 인명손실이 발생하지 않고 장기간 보수 및 복구를 통하여 교량의 기능이 회복 가능한 성능수준
- 전단파속도: 진동원에서 발생한 전단파가 지반을 통하여 전파되어 가는 속도
- 지반응답해석: 토층의 저면에 입사되는 지진파가 지표면으로 진행될 때 토층의 동적거동에 대한 해석
- 지반종류: 지반의 지진증폭특성을 나타내기 위해 분류하는 지반의 종류
- 지진구역: 유사한 지진위험도를 갖는 행정구역 구분으로서 지진구역 I, 지진구역 II로 구분
- 지진구역계수: 지진구역 I과 지진구역II의 기반암 상에서 평균재현주기가 500년인 지진의 유효수평지반가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값
- 항복강성: 축방향력과 콘크리트의 균열을 고려하여 축방향철근이 항복하는 시점의 강성으로서 항복모멘트와 항복곡률의 비율로 결정되는 교각의 강성

1.5 기호의 정의

- A_e = 콘크리트 단면의 유효단면적 (4.6.4.2)
 A_g = 콘크리트 단면의 총 단면적 (4.6.4.2)
 A_v = 전단철근의 단면적(mm^2) (4.6.4.2)

- a_x = 타원형 또는 사각형기초의 지진력 방향으로의 단면크기의 1/2 (4.3.3.2)
 a_y = 타원형 또는 사각형기초의 지진력 직각방향으로의 단면크기의 1/2 (4.3.3.2)
 d = 사각형단면의 유효깊이 또는 설계지진 시 지반에 대한 거더의 총 변위($d_i + d_{sub}$)(mm)
 (4.2.6, 4.6.4.2)
 d_i = 설계지진시 거더의 변위(mm) (4.2.6)
 d_{int} = 나선철근간의 중심간격(mm) (4.5.3.6)
 d_s = 심부단면치수(mm) (4.5.3.6)
 d_{sub} = 설계지진시 하부구조의 변위(mm) (4.2.6)
 EI_y = 축력을 고려한 교각의 항복강성(최 외단 축방향철근의 항복) (4.5.2.2)
 $F_{p0.2k}$ = 소선의 변형률이 0.2 %인 곳에서의 케이블 강도(0.2 % 오프셋강도) (4.1.2.4)
 f_{ck} = 콘크리트 기준압축강도(MPa) (4.6.4.2)
 f_y = V_s 산정 시 전단철근의 항복강도 (4.6.4.2)
 h = V_c 산정 시 고려하는 방향으로의 단면 치수 (4.6.4.2)
 I = 위험도계수 (4.1.1.2, 4.4.2.1)
 $[K]$ = 고려하는 진동단위의 교량 구조전체의 강성매트릭스 (4.3.3.3)
 $[K_i]$ = 구성요소 i 의 강성매트릭스 (4.3.3.3)
 k = 직사각형 단면 기초의 가상의 부가질량을 산정하는데 있어 단면형상에 대한 보정계수
 (4.3.3.2)
 M_y = 축력을 고려한 교각의 항복모멘트(최 외단 축방향철근의 항복) (4.5.2.2)
 m_a = 지진 시 기초에 작용하는 수압의 영향을 고려하기 위한 단위 길이 당의 가상 부가질량
 (4.3.3.2)
 n = 각 진동모드의 구조감쇠를 구할 때 고려하는 구성요소의 수 (4.3.3.3)
 P = V_c 산정에서 고려하는 축하중 (4.6.4.2)
 R = 원형단면 기초의 가상의 부가질량 산정하는데 있어 기초의 지름 (4.3.3.2)
 r = \bar{S}_a 를 산정하기 위해서 고려하는 지점의 반력 (4.3.3.1)
 S = 유효수평지반가속도(4.1.1.2)
 S_a = 설계응답가속도(g) (4.3.2, 4.3.3.1)
 \bar{S}_a = 지점의 토질조건의 차이를 고려한 평균설계응답가속도(g) (4.3.3.1)
 s = 전단철근의 배근간격 (4.6.4.2)
 T = 진동모드의 주기(초) (4.3.2)
 T_s = 표준설계응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 상수인 구간의 상한통제주기, s(초)
 (4.3.2)
 t_d = 지반운동 시간이력 포락곡선의 감쇠시간(초) (4.6.3.2)
 t_m = 지반운동 시간이력 포락곡선의 강진동지속시간(초) (4.6.3.2)

t_r	=	지반운동 시간이력 포락곡선의 상승시간(초) (4.6.3.2)
V_c	=	전단성능검증에 사용하는 콘크리트의 전단강도 (4.6.4.2)
V_{max}	=	응답(시간)이력해석에서 얻은 단면의 최대전단력 (4.6.4.2)
V_n	=	전단성능검증에 사용하는 부재의 전단강도 (4.6.4.2)
V_s	=	전단성능검증에 사용하는 전단철근의 전단강도 (4.6.4.2)
Z	=	지진구역계수(4.1.1.2)
α	=	V_c 에서 전단경간비를 고려하는 계수 (4.6.4.2)
β	=	V_c 에서 축방향철근비를 고려하는 계수 (4.6.4.2)
γ	=	V_c 에서 소요변위연성도에 따른 전단강도 감소를 고려하는 계수 (4.6.4.2)
Δl_c	=	콘크리트 크리프에 의한 거더의 이동량(mm) (4.2.6)
Δl_i	=	거더의 이동변위(mm) (4.2.6)
Δl_s	=	콘크리트의 건조수축에 의한 거더의 이동량(mm) (4.2.6)
Δl_t	=	온도변화에 의한 거더의 이동량(mm) (4.2.6)
μ	=	항복변위에 대한 최대응답변위의 비(소요변위연성도) (4.6.4.2)
ρ	=	물의 밀도 (4.3.3.2)
ρ_{solid}	=	V_c 산정 시 단면의 외형치수에 대한 축방향 철근의 영향을 고려하는 계수 (4.6.4.2)
ϕ_j	=	j 차 진동모드의 구조전체의 모드벡터 (4.3.3.3)
ϕ_y	=	축력을 고려한 교각의 항복곡률(최 외단 축방향철근의 항복 시 곡률) (4.5.2.2)

1.6 설계 원칙

1.6.1 목적

- (1) 이 기준은 설계지진하중에 대하여 케이블 교량의 기능수행, 장기복구 및 붕괴방지 수준의 내진 성능수준을 확보하는데 필요한 설계요구조건을 규정하는데 있다.

1.6.2 내진설계의 기본 개념

- (1) 이 기준은 국토교통부의 KDS 17 00 00 및 기타 연구결과 중 현재 수준에서 인정할 수 있는 일부 규정을 채택하여 개정되었다.
- (2) 교량은 설계지진시 요구되는 내진성능수준을 유지할 수 있도록 강도와 연성을 확보하고, 낙교가 방지되도록 설계하여야 한다.
- (3) 이 기준을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

1.6.3 품질보증 요건

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

1.6.4 지진응답 계측

1.6.4.1 일반사항

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

1.6.4.2 계측기기의 설치와 관리

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

2. 조사 및 계획

- (1) 내용 없음.

3. 재료

- (1) 내용 없음.

4. 설계

4.1 설계일반사항

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 2축방향 성분과 수직방향 성분으로 정의하며 수평 2축 방향성분은 그 세기와 특성은 동일하다고 가정한다. 수직방향 성분의 특성은 수평 방향 성분과 동일하지만 세기는 암반지반(S_1)에서는 수평방향 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 유효수평지반가속도를 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 유효수평지반가속도(S)의 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) 내진등급은 내진특등급으로 한다.

4.1.3 지반의 분류

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

4.1.4 내진성능수준과 설계지진수준

4.1.4.1 내진성능수준

- (1) 내진성능수준은 기능수행수준, 장기복구수준, 붕괴방지수준으로 한다.
- (2) 지반운동의 세기는 작지만 발생빈도가 높은 지진에 대하여 기능수행수준을 만족하여야 한다.
- (3) 지반운동의 세기는 중간이지만 발생빈도가 낮은 지진에 대하여 장기복구수준을 만족하여야 한다.
- (4) 지반운동의 세기는 크지만 발생빈도가 매우 낮은 지진에 대하여 붕괴방지수준을 만족하여야 한다.

4.1.4.2 설계지진수준

- (1) 지반운동의 세기는 작지만 발생빈도가 높은 지진은 평균재현주기 200년 지진으로 한다.
- (2) 지반운동의 세기는 중간이면서 발생빈도가 낮은 지진은 교량의 설계수명이 100년인 경우는 평균재현주기 1,000년, 교량의 설계수명이 200년인 경우는 평균재현주기 2,400년 지진으로 한다.
- (3) 지반운동의 세기는 크지만 발생빈도가 매우 낮은 지진은 교량의 설계수명이 100년인 경우는 평균재현주기 2,400년, 교량의 설계수명이 200년인 경우는 평균재현주기 4,800년 지진으로 한다.

4.1.5 내진성능목표

- (1) 교량의 설계수명에 따른 내진성능목표는 표 4.1-1과 같다.

표 4.1-1 내진성능목표

내진성능수준	설계지진의 재현주기(년)	
	설계수명 100(년) yr	설계수명 200(년) yr
기능수행	200	200
장기복구	1,000	2,400
붕괴방지	2,400	4,800

- (2) 붕괴방지수준의 설계지진은 교량 건설 지역의 지진발생 환경을 고려하여 해당 지역에서의 발생 가능한 최대지진을 초과할 필요는 없다.

4.1.6 구성요소의 허용손상수준

- (1) 교량의 구성요소는 교량의 내진성능수준을 만족하기 위하여 요구되는 허용손상수준 내에 거동 하도록 설계하여야 한다.
- (2) 구성요소의 내진성능수준별 허용손상수준은 표 4.1-2와 같다. 다만, 구성요소의 설계 시 KDS 24 12 12(4.1.1.5)의 사용한계상태 하중조합 VI과 극단상황한계상태 하중조합 I에 대해 안전하도록 단면이 결정되었다면 각각 기능수행수준지진과 장기복구수준지진을 만족하는 것으로 간주한다.

표 4.1-2 구성요소의 허용손상수준

구성요소		부재중요도	기능수행수준	장기복구수준	붕괴방지수준
파일		주부재	무손상	최소손상	최소손상
파일 캡		주부재	무손상	최소손상	최소손상
주탑 및 측경간 교각		주부재	무손상	최소손상	복구가능손상
상부구조의 구조요소		주부재	무손상	최소손상	최소손상
상부구조의 비구조요소		부부재	무손상	최소손상	중대손상
버퍼	내진기능 有	주부재	무손상	무손상	무손상
	내진기능 無	부부재	무손상	중대손상	중대손상
받침 및 전단키		부부재	무손상	최소손상	복구가능손상
신축이음장치		부부재	무손상	복구가능손상	중대손상
케이블시스템 (앵커부 및 구조요소 포함)		주부재	무손상	무손상	최소손상
케이블시스템 (비구조요소 포함)		부부재	무손상	최소손상	복구가능손상

주 1) 무손상(no damage)은 구성요소의 공칭저항측면에서 생각할 때 수리, 보수 없이 사용성을 완벽하게 만족시키는 수준.

2) 최소손상(minimal damage)은 구성요소의 일부에서 약간의 비탄성거동이 발생한다고 생각할 수 있지만 전체적으로는 탄성거동을 전제로 함. 콘크리트부재에서는 아주 작은 균열만 허용하고 강재로 만들어진 부부재에서는 일부 중요하지 않은 항복도 허용하는 수준. 또한 케이블시스템의 비구조적 부재에 대한 손상은 허용.

3) 복구가능손상(repairable damage)은 비탄성적인 응답이 발생하여 콘크리트 균열, 철근의 항복, 콘크리트 피복의 탈락, 강부재의 미세한 항복 등을 유발하는 상태를 말하며 철근이나 부재를 교체하지 않고도 지진발생 이전의 상태로 복구할 수 있는 정도의 손상.

4) 중대손상(significant damage)은 부부재에 상당한 변형이 발생하여 보수를 위해 폐쇄가 요구되는 손상.

4.2 해석 및 설계에 대한 규정

4.2.1 일반사항

(1) 이 절은 교량 구성요소의 설계 및 사용성 검토와 관련한 규정이다. 붕괴방지수준의 내진성능검증은 4.6에 따른다.

(2) 기초 및 교대의 설계조건과 콘크리트교의 내진설계 추가 요구조건은 4.4와 4.5에 따른다.

4.2.2 기본해석방법

(1) 교량의 지진해석방법은 4.3에 규정된 다중모드스펙트럼 해석법 또는 4.6.3에 규정된 응답(시간)이력해석법을 사용하는 것을 기본으로 한다.

4.2.3 탄성지진력 및 탄성변위

(1) 다중모드스펙트럼 해석법을 사용하는 경우, 탄성지진력과 탄성변위는 4.3에 규정한 해석방법을 사용하여 두 개의 수평축과 한 개의 수직축에 대하여 독립적으로 해석하고 4.2.4에 규정한 방법

으로 조합하여야 한다. 다만, 두 개의 수평축은 교량의 종방향축, 횡방향축으로 하는 것이 일반적이지만 설계자의 판단 하에 가장 불리한 축을 고려하여야 한다.

(2) 응답(시간)이력해석법을 사용하는 경우는 4.6.3에 따른다.

4.2.4 탄성지진력 및 탄성변위의 조합

(1) 다중모드스펙트럼 해석법을 사용하는 경우, 부재의 각각의 주축에 대하여 4.2.3에 규정한 방법으로 구한 탄성지진력 및 탄성변위를 다음과 같이 조합하여 사용한다.

- ① 하중경우 1 - 종방향의 입력지반운동에 대한 종방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)에 횡방향 및 수직방향의 입력지반운동에 대한 종방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)의 30%를 합한 경우
- ② 하중경우 2 - 횡방향의 입력지반운동에 대한 횡방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)에 종방향 및 수직방향의 입력지반운동에 대한 횡방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)의 30%를 합한 경우
- ③ 하중경우 3 - 수직방향의 입력지반운동에 대한 수직방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)에 횡방향 및 종방향의 입력지반운동에 대한 수직방향 탄성지진력 및 탄성변위(절댓값)의 30%를 합한 경우

(2) 응답(시간)이력해석법을 사용하는 경우는 4.6.3에 따른다.

4.2.5 설계지진력 하중조합

(1) 구성요소의 설계를 위한 설계지진력은 4.2.4에서 규정한 방법으로 조합한 탄성지진력을 설계지진력으로 한다.

(2) 구성요소의 설계를 위한 설계지진력은 KDS 24 12 12(4.1.1.2)의 극단상황한계상태 하중조합 I로 조합한다.

(3) 사용성검토를 위한 설계지진력은 KDS 24 12 12(4.1.1.3)의 사용한계상태 하중조합 VI으로 조합한다.

(4) (2), (3)항의 설계지진력의 부호는 양 또는 음 중 불리한 경우를 취한다.

4.2.6 설계변위

(1) 붕괴방지수준의 설계지진 발생 시 상부구조의 낙교가 발생하지 않도록 모든 거더의 단부에서는 식 (4.2-2) 이상의 받침지지길이를 확보하거나 이동변위제한장치를 설치하여야 한다.

(2) 장기복구수준의 설계지진 발생 시 상부구조와 교대, 혹은 인접하는 상부구조간의 충돌에 의한 주요 구성요소의 손상을 방지하고, 설계 시 고려된 내진성능수준이 발휘될 수 있도록 하기 위하여 모든 거더의 단부에는 식 (4.2-2) 이상의 여유간격을 두거나, 또는 거더의 충돌에 의한 손상을 방지할 수 있는 충돌보호장치를 설치하여야 한다.

(3) 거더의 이동변위는 식 (4.2-2)에 따라 산정한다.

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

여기서,

Δl_i = 거더의 이동변위(mm)

d = 설계지진 발생 시 지반에 대한 거더의 총 변위($d_i + d_{sub}$)(mm)로 (1)에 대해서는 붕괴방지수준의 설계지진으로 하여 4.6에 따라 산정하고, (2)에 대해서는 장기복구수준의 설계지진에 대한 탄성변위로 한다.

d_i = 설계지진 발생 시 거더의 응답변위(mm)

d_{sub} = 설계지진 발생 시 하부구조의 변위(mm)

Δl_s = 콘크리트의 건조수축에 의한 거더의 이동량(mm)

Δl_c = 콘크리트의 크리프에 의한 거더의 이동량(mm)

Δl_t = 온도변화로 인한 거더의 이동량(mm)

4.3 해석방법

4.3.1 일반사항

- (1) 이 절의 규정은 4.2.2에서 규정한 다중모드스펙트럼 해석법에 대한 규정이다.
- (2) 모든 고정된 주탑, 교각 또는 교대지점들이 공간적으로 넓게 분포되는 경우에는 입력되는 지진파에 시간차와 위상차가 발생할 수 있다. 이 차이는 해당지반의 전단파 속도와 지점 간의 거리에 따라 결정되며 교량의 지진응답에 영향을 줄 수 있어 이를 검토하여 지진응답해석을 수행하여야 한다.

4.3.2 스펙트럼가속도

- (1) 탄성지진력을 산정하기 위한 스펙트럼가속도(S_a)는 교량이 건설되는 지역의 지진환경 및 부지 특성을 고려하여 산정하여야 한다.
- (2) 교량이 건설되는 지역의 지진환경 및 부지특성을 고려하여 스펙트럼가속도(S_a)를 합리적으로 산정할 수 없다면 표준설계응답스펙트럼으로부터 산정한다.
- (3) 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 KDS 17 10 00 (4.2.1.4(2))에 따른다.
- (4) 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도표준설계응답스펙트럼은 KDS 17 10 00 (4.2.1.4(3))에 따른다.

4.3.3 다중모드스펙트럼해석법

4.3.3.1 일반사항

- (1) 다중모드스펙트럼해석법은 교량의 3방향 연계 효과와 최종 응답에 대한 다중 모드의 기여 효과를 결정하기 위해 공인된 공간뼈대 선형 동적해석 프로그램을 사용하여 수행하여야 한다.
- (2) 지면 및 표층지반의 길이방향으로 변화가 발생하여 지점별로 동일한 설계응답스펙트럼을 적용할 수 없다면 지진응답이 크게 산정되는 설계응답스펙트럼을 사용하거나 식 (4.3-1)과 같은 부지 평균 설계응답스펙트럼을 사용하여야 한다.

$$\overline{S}_a = \sqrt{\left(\frac{r_j}{\sum r_i} \cdot S_{aj}(T) \right)} \quad (4.3-1)$$

여기서,

r_j : j 지점의 반력

$\overline{S}_a(T)$: 각 지점의 토질조건을 고려한 평균설계응답가속도(g)

$S_{aj}(T)$: j 지점의 설계응답가속도(g)

4.3.3.2 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 병진 자유도와 3개의 회전 자유도를 가진다.
- (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 높고 이에 따라 교량의 지진응답에 상당한 영향이 발생할 수 있다고 판단되는 경우에는 그 활하중의 관성효과를 고려하여야 한다.
- (5) 교량의 구조거동에 영향을 주는 지반 및 물은 이로 인한 거동특성이 반영될 수 있도록 모델화한다.
- (6) 상부구조는 최소한 각 경간단부의 연결부와 지간의 1/4 지점마다 절점을 가진 공간뼈대부재의 집합체로 모형화하여야 한다. 신축이음부와 교대의 불연속 부분도 상부구조에 포함하여야 하며, 이 때 집중질량의 관성효과를 분배하여야 한다.
- (7) 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 1/3 지점을 중간 절점으로 모형화하여야 한다. 하부구조의 모형은 상부구조

에 대한 기둥의 편심을 고려하여야 한다. 기둥 또는 교각하부와 교대에서의 지반은 등가의 선형 스프링계수를 이용하여 모형화할 수 있다.

4.3.3.3 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.

4.3.3.4 모드 수

- (1) 응답해석 시 고려하는 모드의 수는 응답특성이 충분히 반영되는 모드 수 이상이어야 한다.

4.3.3.5 부재력과 변위

- (1) 부재의 단면력과 변위는 개별 모드별로부터 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 적용 범위

- (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 KDS 17 10 00 (4.2.1.4(3))의 표 4.2-8의 단주기 지반증폭계수

(F_a)를 곱한 값 또는 부지고유의 지반응답해석결과로 한다.

4.4.2.2 기초설계를 위한 해석과 검토

- (1) 기초는 등가정적 또는 동적해석을 수행하여 기초 구조체의 최대 응력 또는 단면력, 상부 구조의 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 액상화에 따른 교량의 안전성을 평가하고 필요시 대책을 강구하여야 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 균말뚝 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 기초를 스프링으로 모델링 한 후, 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 속채움에 없는 강관말뚝, 나무말뚝, 강말뚝은 말뚝 허용지지력의 10 % 이상인 인발력이 전달 될 수 있도록 정착하여야 한다.
- ⑤ 보강철근은 말뚝과 파일캡을 일체로 하며 하중전달을 용이하게 하기 위해서 파일캡까지 연장 되어야 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 검토 하여야 한다.

4.4.3 교대

4.4.3.1 일반사항

- (1) 지진 시 교대의 파괴나 변위로 인한 교량의 구조적 손상이 발생하지 않도록 교대 설계를 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 이 때 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 콘크리트교의 설계

4.5.1 일반사항

- (1) 일체로 현장타설 되는 주탑, 교각, 확대기초, 연결부의 내진설계는 KDS 24 14 22와 KDS 24 14 52의 규정과 이 절의 추가 요구조건을 만족하여야 한다.
- (2) 이 절에서의 교각은 기둥 형식의 교각(단일기둥과 다주가구), 벽식 교각, 말뚝가구를 총칭한다.

4.5.2 주탑 및 교각의 해석 및 설계강도

4.5.2.1 일반사항

- (1) 철근콘크리트 주탑 및 교각에 대한 구조해석과 단면해석에서는 균열의 영향과 축력의 영향 등 구조적 거동에 영향을 주는 요소를 고려하여야 한다.
- (2) 철근콘크리트 주탑 및 교각의 축방향철근은 설계기준항복강도가 500 MPa을 초과하지 않아야 한다. 소성거동구역을 지나는 축방향철근은 KS D 3504의 특수내진용 S등급철근을 사용하거나 KS D 3504의 일반구조용 철근으로 인장강도가 항복강도의 1.25배 이상인 철근을 사용하여야 한다. 철근콘크리트 주탑 및 교각의 횡방향철근은 설계기준항복강도가 500 MPa을 초과하지 않아야 한다.

4.5.2.2 주탑 및 교각의 휨강성

- (1) 지진하중에 대한 구조해석으로 탄성해석을 수행할 때, 주탑 및 교각의 축방향철근이 항복할 것으로 예상되는 경우에는 식(4.5-1)로 결정되는 항복강성을 적용하여 단면력과 변위를 구하여야 한다. 다만, 항복강성은 모멘트-곡률 해석을 통해 결정하여야 한다.

$$EI_y = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (4.5-1)$$

여기서,

EI_y = 축력을 고려한 교각의 항복강성(최 외단 축방향철근의 항복)

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

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

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

4.5.2.3 주탑 및 교각의 P- Δ 효과

- (1) 철근콘크리트 주탑 및 교각의 총모멘트는 P- Δ 효과를 고려하여 결정하여야 한다. 구조해석에 선형탄성해석을 수행하는 경우는, 지진해석에 의한 1차 모멘트에 횡방향 지진변위와 축력에 의한 2차 모멘트를 추가하여 총모멘트를 결정하여야 한다.
- (2) 엄밀한 해석에 의하여 P- Δ 효과를 고려하지 않는다면 (3)과 (4)에 따라 근사적으로 2차 모멘트를 구할 수 있다.
- (3) 캔틸레버로 거동하는 교각에 대하여 4.5.2.2의 휨강성으로 탄성지진해석을 수행한 경우에는 기둥 상단과 하단의 횡방향 최대상대변위의 1.5배에 축력을 곱한 값을 2차 모멘트로 취할 수 있다.
- (4) 골조로 거동하는 교각에 대하여 4.5.2.2의 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 2차 모멘트로 취할 수 있다.

4.5.2.4 주탑 및 교각의 설계 휨강도

- (1) 지진하중에 대한 철근콘크리트 주탑 및 교각의 휨설계는 KDS 24 14 21(4.1.1)에 따른다.
- (2) 철근콘크리트 주탑 및 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 주탑 및 교각의 휨강도 해석에는 축력의 영향을 고려하여야 하며, 4.5.3.5의 철근상세를 갖는 횡방향철근이 배근되는 구간에는 횡방향철근에 의한 횡구속효과를 고려하여 KDS 24 14 21(3.1.2.5(3))의 응력-변형률 관계를 적용할 수 있다.

4.5.2.5 주탑 및 교각의 설계전단강도

- (1) 주탑 및 교각의 설계전단강도는 KDS 24 14 21(4.1.2)에 따른다.

4.5.3 주탑 및 기둥

4.5.3.1 일반사항

- (1) 이 절은 주탑 및 기둥의 내진설계에 적용한다.
- (2) 전단이 지배적인 벽식교각은 4.5.4에 따라 벽체로 설계하여야 한다.
- (3) 이 절의 규정은 말뚝가구에도 적용한다.

4.5.3.2 단부구역의 설계

- (1) 캔틸레버와 유사하게 거동하는 주탑과 기둥의 하단, 골조로 거동하는 주탑과 기둥의 하단 및 상

단을 단부구역으로 한다. 주탑과 기둥 하단의 단부구역은 기초의 상면에서부터의 길이로 결정되며, 골조로 거동하는 주탑과 기둥 상단의 단부구역은 연결된 부재의 하면에서부터의 길이로 결정한다. 단부구역의 길이는 부재의 최대 단면치수, 휨모멘트의 변곡점까지 높이의 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 4.5.3.3과 4.5.3.5의 규정을 만족하여야 한다.
- (4) 중공단면 주탑 및 중공단면 기둥의 단부구역 중 설계지진에 의하여 소성거동이 예측되는 소성거동구역과 그 근방에서 소성거동의 영향을 받는 영역은 중실단면으로 하거나 또는 충분한 크기의 헨치를 두어 단면을 확대하여야 한다.

4.5.3.3 축방향철근과 횡방향철근

- (1) 축방향철근 단면적은 기둥 전체 단면적의 0.01배 이상, 0.06배 이하로 하여야 한다.
- (2) 단부구역 중 설계지진에 의하여 소성거동을 하는 구역에서는 축방향철근을 겹침이음하지 않아야 하며 겹침이음을 하는 경우에는 축방향철근은 완전한 기계적 이음으로 연결하여야 한다.
- (3) 단부구역 중 설계지진에 의하여 소성거동을 하지 않는 구역에서는 전체 축방향철근 중 1/2을 초과하여 겹침이음을 하지 않아야 한다. 부재의 길이방향으로 측정된 이웃하는 겹침이음 사이의 거리는 600 mm 이상이어야 한다. 이 때 겹침이음 사이의 거리는 겹침이음의 끝 지점에서부터 기둥의 길이방향으로 측정하여 이웃하는 새로운 겹침이음이 시작되는 지점까지로 한다.
- (4) 단부구역 중 설계지진에 대하여 소성거동을 하는 구역의 횡방향철근은 4.5.3.4의 철근량과 4.5.3.5의 철근상세를 만족하여야 한다.
- (5) 단부구역 중 붕괴방지수준의 설계지진에 대하여 소성거동을 하지 않는 구역은 모든 축방향철근이 겹침이음 없이 연속될 필요는 없다.
- (6) 단부구역의 횡방향철근은 인접부재와의 연결면으로부터 부재 치수의 0.5배와 380 mm 중 큰 값 이상까지 연장해서 설치하여야 한다.
- (7) 나선철근에 대하여는 최대 수직 순간격을 75 mm로 규정한 나선철근의 일반규정을 적용하지 않는다.

4.5.3.4 소성거동구역의 횡방향철근량

- (1) 붕괴방지수준의 설계지진에 대하여 주탑 및 기둥에서 소성거동을 하는 단부구역과 단부구역이 아니더라도 소성거동을 하는 구역의 심부콘크리트는 비선형 응답(시간)이력해석으로 구한 콘크리트 압축단면의 최대응답변형률을 만족하도록 아래 (2)에서 구한 횡방향 철근량으로 구속하

여야 한다. 이 때 횡방향철근의 상세는 4.5.3.5에 따른다.

- (2) 비선형 응답(시간)이력해석에 사용되는 횡구속콘크리트의 응력-변형률 곡선과 철근의 응력-변형률 곡선은 KDS 24 14 21(3.1.2.5)와 KDS 24 14 21(3.2.3)을 따르거나 또는 널리 알려진 관계식을 사용하여야 하며 소요 횡방향 철근량은 이 관계식을 이용하여 산정하여야 한다.

4.5.3.5 단부구역의 횡방향철근상세

- (1) 단부구역에 배근되는 횡방향철근은 D13 이상으로서, 지름이 축방향철근 지름의 2/5 이상이어야 한다.
- (2) 횡방향철근의 최대수직간격은 부재 최소 단면치수의 1/4 또는 축방향철근지름의 6배 중 작은 값을 초과하지 않아야 한다.
- (3) 나선철근은 소성거동을 하는 단부구역과 단부구역이 아니더라도 소성거동을 하는 구역에서는 겹침이음을 하지 않아야 한다. 이들 구역에서 나선철근의 연결은 기계적 연결이나 완전 용접이음으로 하여야 한다.
- (4) 사각형 횡방향철근으로는 하나의 사각형 후프띠철근 또는 중복된 사각형 폐합띠철근을 사용할 수 있으며, 보강띠철근은 후프띠철근과 유사한 크기를 사용하여야 한다.
- (5) 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.
- (6) 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.
- (7) 사각형 후프띠철근에 추가되는 보강띠철근의 갈고리는 외측 축방향철근과 후프띠철근에 함께 걸리도록 하거나 외측 축방향철근을 감싸도록 배치하여야 하며 보강띠철근을 연속적으로 감은 축방향철근에 걸리게 할 경우 90° 갈고리가 연달아 걸리지 않도록 연속된 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 한다. 다만, 중공단면의 경우 중공단면 내측으로 축방향철근이 좌굴되지 않는 것이 확인되면 135° 갈고리 부분은 모두 중공단면의 외측으로 배치하여야 한다.
- (8) 사각형 횡방향철근은 후프띠철근과 보강띠철근의 수평간격과 보강띠철근 간의 수평간격은 1 m 이내로 배근하여야 한다.
- (9) 원형 띠철근 중에서 양단에 90° 갈고리를 갖고 1개소 또는 2개소에서 철근 지름의 40배 이상으

로 겹침이음된 원형 후프띠철근에 2개의 보강띠철근이 후프띠철근의 겹침이음 구간을 감싸는 경우에는 완전원형후프로 간주할 수 있다. 이 때 후프띠철근의 90° 갈고리는 축방향철근에 걸리게 하여야 하며, 2개의 보강띠철근은 후프띠철근의 겹침이음 구간의 양쪽 끝부분에 배치하여야 한다. 또 교각의 길이방향과 단면 평면방향으로 보강띠철근의 90° 갈고리가 연달아 걸리지 않도록 보강띠철근의 양단을 바꿔주어야 하며, 원형 후프띠철근의 겹침이음 부분이 교각의 길이방향으로 연달아 위치하지 않도록 배치하여야 한다.

4.5.3.6 결합나선철근

- (1) 주탑 및 기둥의 횡방향철근으로 2개 이상의 나선철근을 결합한 결합나선철근(interlocking spirals)을 사용할 수 있다.
- (2) 소성거동구역의 결합나선철근량은 4.5.3.4의 규정을 적용하여 각각의 나선철근에 대해 독립적으로 계산하여야 한다.
- (3) 축방향철근 중심간 수평간격은 200 mm 이하여야 하며, 결합부분에는 최소한 4개 이상의 축방향철근을 배근하여야 한다.
- (4) 결합나선철근의 나선철근간의 중심간격(d_{int})은 심부단면치수(d_s)의 0.75배 이하여야 한다.
- (5) 원형후프띠철근을 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 연결하거나, 보강띠철근을 추가하여 정착 단에서 슬립이 발생하지 않게 함으로써 나선철근과 동등한 심부구속효과를 발휘할 수 있다면, 완전원형후프로 인정하여 결합원형띠철근을 사용할 수 있으며 결합나선철근과 동등하게 취급할 수 있다.
- (6) 이 절의 규정에 따라 설계된 결합나선철근 또는 결합원형띠철근의 배근구간과 철근상세는 4.5의 해당 규정을 따라야 한다.
- (7) 결합나선철근 및 결합원형띠철근의 경우, 널리 알려진 이론이나 최신의 연구문헌, 실험 또는 해석적으로 안전성을 검증할 수 있는 경우에는 이 규정을 적용하지 않아도 좋다.

4.5.4 벽식 교각

- (1) 벽식 교각의 약축방향은 일반 기둥으로 설계할 수 있다. 강축방향에 대한 벽식 교각의 철근량과 철근상세는 KDS 24 14 21(4.1.5)에 따라 설계할 수 있으며 KDS 24 14 21(4.6.8)의 부재 상세 규정에 따른다.
- (2) 벽체의 양면에는 수평방향 및 수직방향철근을 배치하여야 하며, 인접하는 수평방향철근의 겹침이음이 동일한 위치에 있지 않도록 엇갈리게 배치하여야 한다.

4.6 붕괴방지수준의 내진성능 검증

4.6.1 일반사항

- (1) 단면설계가 완료된 교량은 붕괴방지수준의 내진성능을 만족하는지 검증하여야 한다.
- (2) 붕괴방지수준의 내진성능 검증은 응답(시간)이력해석법으로 수행하며 각 구성요소의 최대응답값(단면력 및 변형률 등)이 4.4.2.4의 허용손상수준을 초과하지 않아야 하며, 상부구조의 낙교가 발생하지 않아야 된다.
- (3) 고려하는 하중조합은 지속하중과 지진하중이며, 하중계수는 1.0을 적용한다.

4.6.2 입력재료강도

- (1) 붕괴방지수준의 내진성능 검증을 위하여 지진해석을 할 때 콘크리트 및 철근의 재료강도는 구성요소의 최대응답값 및 상부구조의 응답변위가 안전측으로 산정되도록 적용하여야 한다.
- (2) 주탑 및 교각의 휨성능을 검증하는 경우와 상부구조의 응답변위를 산정하는 경우의 콘크리트 및 철근의 재료강도는 기준강도를 적용한다.
- (3) 주탑 및 교각의 전단성능과 그 외 부재의 내진성능을 검증하는 경우의 콘크리트 및 철근의 재료강도는 실제강도를 적용한다.
- (4) 콘크리트 및 철근의 실제강도는 통계자료로부터 산정하여야 한다. 다만, 활용 가능한 통계자료가 없는 경우 콘크리트의 실제강도는 기준강도의 1.7배, 철근의 실제강도는 기준강도의 1.3배로 한다.

4.6.3 응답(시간)이력해석법

4.6.3.1 해석방법

- (1) 응답(시간)이력해석은 널리 알려진 실험 또는 이론으로 검증된 재료 및 부재이력모델을 사용하여 수행하여야 한다.
- (2) 응답(시간)이력해석은 두 개의 직교하는 주축방향(교축 및 교축직각방향)과 하나의 수직방향에 통계학적으로 독립된 입력지반운동이 동시에 작용하는 것으로 하여 해석하여야 한다.
- (3) 지면 및 표층지반이 길이방향으로 변화되거나 또는 지간의 길이로 인하여 지점별로 입력지반운동의 공간적 변동을 고려하는 경우에는 지진규모, 진앙거리, 지반조건과 함께 지진파 전달 메커니즘 및 위상차이를 고려하여 입력지반운동의 시간이력을 작성하여야 한다.
- (4) 해석에 필요한 입력지반운동 시간이력 수는 최소 4세트 이상이어야 한다.
- (5) 실제 기록된 지진운동을 수정하거나 인공적으로 합성된 최소한 4세트 이상의 지반운동 시간 이력을 작성하여 사용하며, 7세트 미만의 지반운동 시간이력에 의한 해석결과로부터 얻어진 응답치의 최댓값 혹은 7세트 이상의 해석결과로부터 얻어진 각각의 최댓값의 평균값

을 설계값으로 한다.

4.6.3.2 설계지반운동 시간이력

(1) 설계지반운동의 시간이력은 KDS 17 10 00(4.2.1.4(8)~(10))에 따른다.

4.6.3.3 수직방향 입력지반운동의 고려

(1) 수직방향 입력지반운동의 특성은 4.1.1.1(4)에 따른다.

(2) 다만, 공학적 활성단층이 50 km 이내에 위치하는 지역에서는 진동수 범위에 따라서 설계지반운동의 수평방향 성분세기와 수직방향 성분세기의 비가 달라질 수 있으므로 부지특성을 고려한 수직방향 지반운동을 사용하여야 한다.

4.6.4 주탑 및 교각의 내진성능검증

4.6.4.1 휨성능 검증

(1) 지진해석에 의한 콘크리트 압축단면의 최대압축변형률이 KDS 24 14 21(3.1.2.5)의 표 3.1-2의 극한한계변형률을 초과하지 않으면 4.5.3.5의 (1), (2)에 부합되도록 횡방향 철근을 배근한다. 이 때 횡방향철근상세는 4.5.3.5와 4.5.3.6에 따른다.

(2) 콘크리트 압축단면의 최대압축변형률이 KDS 24 14 21(3.1.2.5)의 표 3.1-2의 극한한계변형률을 초과한다면 심부콘크리트를 구속하기 위한 횡방향철근을 배근하여야 한다. 이 때 필요한 횡방향철근량은 KDS 24 14 21(3.1.2.5)에 따라 산정하며 횡방향철근상세는 4.5.3.5와 4.5.3.6에 따른다.

4.6.4.2 전단성능 검증

(1) 지진해석에 의한 단면의 전단력이 전단강도를 초과하지 않아야 한다.

(2) 전단강도 산정 시 전단강도에 영향을 주는 축력, 축방향철근비, 형상비(모멘트-전단력비), 변위연성도의 영향을 고려하여야 한다.

(3) 검증의 편의를 위하여 식 (4.6-1) ~ 식 (4.6-3)의 전단강도식을 사용하여 검증할 수 있다.

① 전단강도

$$V_n = V_c + V_s \quad (4.6-1)$$

② 콘크리트 전단강도

$$V_c = 0.5 \sqrt{f_{ck}} \alpha \beta \gamma \sqrt{1 + \frac{P}{f_{ck} A_g}} A_e \quad (4.6-2)$$

여기서,

- f_{ck} = 콘크리트 기준압축강도(MPa)
 α = $1.0 - 0.22 \frac{a}{h}$ 다만, $a/h \leq 3$
 a = $\frac{M}{V}$: 검토단면에서 최대응답(단면력) 시의 모멘트(M)와 전단력(V)의 비이며, 단일곡률을 갖는 캔틸레버 교각에서는 교각의 높이로 할 수 있으며 다주가구의 경우에는 모멘트 변곡점까지의 높이로 할 수 있다.
 h = 고려하는 방향으로의 단면의 치수
 β = $0.6 + 22\rho_{solid}$ 다만, $\beta \leq 1.0$
 ρ_{solid} = 단면의 외형치수에 대한 축방향 철근비
 $0 \leq \gamma$ = $\frac{6-\mu}{4} \leq 1$ 다만, $2 \leq \mu \leq 6$
 μ = 소요변위연성도로서 항복변위에 대한 최대응답변위의 비
 P = 축하중
 A_g = 콘크리트 전단면적
 A_e = 콘크리트 유효단면적($= 0.8 \times A_g$)

③ 철근 전단강도

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4.6-3)$$

여기서,

- A_v = 전단철근의 단면적
 f_y = 전단철근의 항복강도
 d = 단면의 유효깊이
 s = 전단철근의 배근간격

④ 식 (4.6-4)를 만족하면 전단성능을 만족하는 것으로 평가할 수 있다.

$$V_n \geq V_{max} \quad (4.6-4)$$

여기서, V_{max} 는 응답(시간)이력해석에서 얻은 검토단면의 최대전단력

4.6.5 다른 구성요소의 내진성능검증

(1) 지진해석에 의한 구성요소의 최대응답값이 4.1.2.4의 허용손상수준을 초과하지 않아야 한다.

4.6.6 낙교방지 내진성능검증

(1) 4.2.6 (1)에 따른다.

집필위원

성명	소속	성명	소속
김익현	울산대학교	하동호	건국대학교
선창호	울산대학교		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	김호경	서울대학교
구재동	한국건설기술연구원	김명철	동부엔지니어링
김기현	한국건설기술연구원	김충언	삼현피엔프
김나은	한국건설기술연구원	박찬희	포스코
김재훈	한국건설기술연구원	백인열	가천대학교
김태승	한국건설기술연구원	손윤기	(주)엔비코컨설팅
김희석	한국건설기술연구원	송종걸	강원대학교
류상훈	한국건설기술연구원	오명석	(주)서영엔지니어링
안준혁	한국건설기술연구원	이태현	한국도로공사
원훈일	한국건설기술연구원	조경식	(주)디엠엔지니어링
이상규	한국건설기술연구원		
이승환	한국건설기술연구원		
이어경	한국건설기술연구원		
이용수	한국건설기술연구원		
주영경	한국건설기술연구원		
최봉혁	한국건설기술연구원		
허원호	한국건설기술연구원		

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
곽종원	한국건설기술연구원	이진선	원광대학교
문인기	엠플러스이엔씨(주)	정평기	(주)화인씨이엠테크
박영빈	우성디앤씨	최인준	산하종합기술
신명수	울산과학기술원		

국토교통부

성명	소속	성명	소속
양희관	국토교통부 도로건설과	김로타	국토교통부 도로건설과
최영록	국토교통부 도로건설과		

설계기준
KDS 24 17 12 : 2023

교량내진 설계기준(케이블교량)

2023년 9월 12일 개정

소관부서 국토교통부 도로건설과

관련단체 한국도로협회
13647 경기도 성남시 수정구 위례서일로 26(중일라크리움 8층)
Tel : 02-3490-1041 E-mail : poonhee@kroad.or.kr
<http://www.kroad.or.kr>

한국교량및구조공학회
06130 서울특별시 강남구 테헤란로7길 22, 한국과학기술회관 1관 514호
Tel : 02-871-8395 E-mail : kibse@kibse.or.kr
<http://www.kibse.or.kr>

작성기관 한국교량및구조공학회
06130 서울특별시 강남구 테헤란로7길 22, 한국과학기술회관 1관 514호
Tel : 02-871-8395 E-mail : kibse@kibse.or.kr
<http://www.kibse.or.kr>

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