

KDS 24 10 10 : 2018

교량설계일반사항 (일반설계법)

2018년 8월 30일 개정
<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE

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 기존의 도로교설계기준의 일반사항에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정 한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
도로교 설계기준	• 도로교 표준시방서(1996)에서 설계기준을 분리하여 제정	제정 (2000.7)
도로교 설계기준	• SI단위계 적용 및 시공중 풍하중 검토, 지진격리교량설계법 추가	개정 (2005.2)
도로교 설계기준	• 인성요구조선 샤프피 흡수 에너지 관련 규정 신설 및 HSB, 볼트재원 추가 등	개정 (2008.9)
도로교 설계기준	• 철근콘크리트 기중의 연성도 내진설계법 추가	개정 (2010.9)
철도 설계기준(노반편)	• 철도노반공사의 시행기준, 조사 및 측량, 토공, 구교 및 배수시설, 지하구조물, 터널, 정거장 등 6편으로 구성	제정 (2001.12)
철도 설계기준(노반편)	• 변경된 철도관련 상위법령, 설계기준 및 시방서 등의 개정된 내용을 반영	개정 (2004.12)
철도 설계기준(노반편)	• 열차속도를 시속 200km 이상으로 속도향상 시키는데 필요한 기준들을 중점적으로 검토	개정 (2011.5)
철도 설계기준(노반편)	• 철도건설 경쟁력 확보를 위한 제반 연구 결과 및 변경된 철도관련 상위법령, 설계기준 및 시방서 등의 개정된 내용을 반영	개정 (2013.12)
철도 설계기준(노반편)	• 변경된 철도관련 상위법령, 설계기준 및 시방서 등의 개정된 내용을 반영	개정 (2015.12)
KDS 24 10 10 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함	제정 (2016.6)
KDS 24 10 10 : 2016	• 한국산업표준과 건설기준 부합화에 따라 수정함	수정 (2018.7)

제 정 : 2016년 6월 30일

개 정 : 년 월 일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

소관부서 : 국토교통부 간선도로과

관련단체 : 한국철도시설공단(한국교량및구조공학회)

작성기관 : 한국철도시설공단(한국교량및구조공학회)

목 차

1. 일반사항	1
1.1 적용범위	1
1.2 용어정의	1
1.3 해석과 설계원칙	6
1.4 설계고려사항	7
2. 조사 및 계획	11
2.1 조사	11
2.2 계획	11
3. 재료	12
3.1 강재	12
3.2 콘크리트	16
4. 설계	18
4.1 사용성 및 내구성	18
4.2 운영을 위한 한계조건	28

1. 일반사항

1.1 적용범위

- (1) 이 기준은 철도건설 및 개량에 따라 철도선로 상에 건설하는 지간 150 m 이하의 교량에 적용하는 것으로 한다.
- (2) 지간이 150 m를 넘는 경우에도 장대교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등에 따라 합리적인 보정을 해야 하는 사항을 제외하고는 이 코드를 따른다.
- (3) 다만, 특별한 조사연구에 의하여 설계할 때에는 이 코드를 적용하지 않을 수 있는데, 이 경우에는 그 설계근거를 명시해야 한다.

1.2 용어정의

이 코드에서 쓰이는 용어의 의미는 다음과 같다.

- 가도교 : 도로 위에 가설된 교량
- 가속도계수(Acceleration Coefficient): 내진설계에 있어 설계지진력을 산정하기 위한 계수로써 지진구역과 재현주기에 따라 그 값이 다르다
- 강도감소계수(Strength Reduction Factor): 재료의 공칭강도와 실제강도 간의 불가피한 차이, 제작 또는 시공, 저항의 추정 및 해석 모형 등에 관련된 불확실성 등을 고려하기 위한 안전계수
- 고유주기(Natural Period): 자유진동하는 구조물의 진동이 반복되는 시간 간격(sec)
- 고유진동수(Natural Frequency): 감쇠효과가 무시된 구조물의 자유진동에서 시간 당 발생 진동수(Hz)
- 공칭강도(Nominal Strength): 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며 강도감소계수를 적용하기 이전의 강도
- 과선교: 철도선로 위에 가설된 교량
- 경간(Span): 교량에서 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 공간을 말함. 연속교인 경우 그 위치에 따라 측경간, 중앙경간 등으로 부르고, 경간 수에 따라 3경간, 5경간 연속교 등으로 부름
- 계수하중(Factored Load): 강도설계법으로 부재를 설계할 때 사용하는 하중으로서, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중

- 교량 종방향 상대변위: 장대레일 축력 제한을 위한 검토에서 판단기준의 한 항목. 단위교량이 연속되었을 때 단위교량의 바닥판과 바닥판 사이, 혹은 교대로 연결되는 부위의 교대 전면과 교량의 바닥판의 사이에 발생하는 각각에 대한 상대변위
- 교량의 전복(뒤집힘): 차량의 탈선 또는 바람의 상향력으로 교량이 뒤집히는 현상
- 구조물 가동 끝단: 궤도가 실린 구조물에서 교대와 만나거나 인접한 구조물과 만나는 상부구조의 단부 끝단
- 구조물 안전성 설계: 일반적인 구조물 안전조건과 변형조건을 포함하는 의미로 구조물에 작용하는 외력이나 주변 조건에 대하여 구조부재가 안전한 내력을 보유토록 설계를 하는 것
- 구조물 온도 신축길이: 구조물의 온도 고정점 간의 길이. 여기서 온도 고정점이란 온도변화에도 구조물의 종방향 변위가 생기지 않는 점을 말하며, 양쪽 교대 사이에 설치되는 구조물의 경우에는 교대의 받침 중심점으로부터 온도 고정점까지의 거리
- 궤도-구조물 간 종방향 상호작용: 장대레일과 교량 구조물과의 결합과 그 상호작용에 의한 장대레일의 파단, 좌굴과 관련된 궤도 종방향력 문제와 변형문제를 야기시키는 작용
- 기초 수평변위: 기초의 지반상태에 따라 교량 축 방향이나 교량 축 직각방향으로 확대기초 저부의 수평이동에 의해 발생하는 변위. 이 이동변위에 의한 상부구조의 종방향 변위량은 높은 교각과 낮은 교각이 같은 양으로 계산됨.
- 기초 회전각변위: 기초의 지반상태에 따라 교량 축 방향이나 교량 축 직각방향으로 확대기초 저부의 회전에 의해 발생하는 변위. 이 기초 회전각에 의한 변형은 상대적으로 높은 교각이 낮은 교각에 비해 교량 종방향 변형에 미치는 영향을 크게 함.
- 내진등급: 중요도에 따라서 교량을 분류하는 범주로서 내진II등급, 내진I등급으로 구분됨.
- 단부각변위: 실제 열차하중에 의한 동적 안정성 검토에서 교량 바닥판의 단부와 단부사이의 상대각변위 또는 교량 바닥판 단부와 교대 사이의 상대각변위
- 다중모드스펙트럼해석법(Multimode Spectral Analysis Method): 여러 개의 진동모드를 사용하는 스펙트럼해석법
- 단일모드 스펙트럼 해석법(Single-Mode Spectrum Analysis Method): 하나의 진동모드만을 사용하는 스펙트럼 해석법
- 동륜하중: 동력차의 구동차륜 하중
- 부가 궤도 종방향응력: 교량의 존재에 의해 부가적으로 발생하는 온도, 시동, 제동하중, 교량 바닥판의 휨 등에 의한 부가적인 응력
- 부하중: 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하지는 않지만 내하력에 영향을 미칠 수 있고, 통상 다른 하중과 동시에 작용하는 하중으로서 하중의 조합에서 반드시 고려해야 하는 하중의 총칭

- 붕괴유발부재(Fracture Critical Member): 그 부재의 파괴가 교량의 붕괴를 초래하거나 교량의 설계기능을 발휘할 수 없도록 하는 부재
- 사용하중(Service Load): 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것이며, 작용하중이라고도 함.
- 상로 플레이트거더교: 통로가 주거더의 상면위치에 배치되는 교량
- 설계강도(Design Strength): 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 강도
- 설계기준압축강도(Specified Compressive Strength): 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준으로 함.
- 설계사용기간: 구조물 또는 부재가 그 사용에 있어서 목적하는 기능을 완수하도록 설계상에 고려하는 기간
- 설계하중: 부재를 설계할 때 사용되는 적용 가능한 모든 하중으로서, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중(사용하중)이 설계하중이 됨.
- 소요강도(Required Strength): 하중조합에 따른 계수하중을 저항하는데 필요한 부재나 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트 등으로 나타낸 설계단면력
- 순경간(Clear Span): 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 전면간의 거리
- 슬랙(Slack): 곡선선로에서 차량의 원활한 운영을 위하여 외측레일을 기준으로 내측레일을 넓혀준 것
- 실제 열차하중 : 동적해석에 사용되는 실제 열차의 차축하중을 모델로 만든 하중
- 2차부재: 주요부재 이외의 2차적인 기능을 갖는 부재로 그 일부가 파괴되어도 열차운행에는 직접 지장이 없는 부재
- 열차풍: 열차의 통과 시 발생하는 풍압에 의한 기류의 변화현상
- 연성(Ductility): 비탄성응답을 허용하는 부재나 접합부의 성질
- 응답수정계수(Response Modification Factor): 탄성해석으로 구한 각 요소의 내력으로부터 설계지진력을 산정하기 위한 수정계수
- 응답스펙트럼(Response Spectrum): 일정한 감쇠비를 가진 구조물의 고유주기나 진동수에 따른 지진의 최대응답을 나타낸 그래프
- 정규교량(Regular Bridge): 경간을 따라 질량, 강성이나 기하학적 특성에 특별한 변화가 없는 교량

- 주하중: 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭
- 주행안전성 검토: 고속열차의 동적 안정성 등을 포함하는 열차의 안전확보를 위한 최소 요구 조건에 대한 검토
- 지반계수(Site Coefficient): 지반상태가 탄성지진응답계수에 미치는 영향을 반영하기 위한 보정계수
- 지반종류(Soil Profile Type): 지진 시에 지반의 응답특성에 따라 공학적으로 분류하는 지반의 종류
- 지진위험도 계수(Seismic Risk Factor): 500년 재현주기를 기준으로 한 지진의 위험도를 나타내는 계수(무차원량)
- 지진구역계수: 우리나라의 지진재해도 해석결과에 근거한 지진구역에서의 평균재현주기 500년에 해당되는 암반상 지진지반운동의 세기를 나타내는 계수
- 최대 지진지반가속도(Peak Seismic Ground Acceleration): 지진에 의해 발생하는 최대의 지반가속도. 가속도계수에 중력가속도를 곱한 값으로 정의(m/sec^2)
- 차축하중: 차량의 좌우측 바퀴의 하중을 합한 하중
- 충격계수: 정적설계 시 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수. 열차 또는 차량의 주행에 의해 구조물에 발생하는 정적응답에 대한 동적응답의 증가비율을 나타냄.
- 캔트: 곡선 선로에서 열차의 원심력에 대항하여 차량의 안전을 도모하기 위해 내측레일을 기준으로 외측레일을 높게 하는데 이 때의 고저 차
- 특수하중: 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려해야 하는 하중의 총칭
- 탄성지진응답계수(Elastic Seismic Response Coefficient): 모드스펙트럼해석법에서 등가정적지진하중을 구하기 위한 무차원량
- 평균재현주기(Mean Return Period): 어떤 크기나 특성을 가진 지진이 발생하는 평균 시간간격
- PS강봉 : KS D 3505의 PS강봉을 말함.
- 하로 플레이트거더교: 통로가 주거더의 하면위치에 배치되는 교량
- 하중계수(Load Factor): 하중의 공칭값과 실제 하중 간의 불가피한 차이, 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 예기치 않은 초과하중, 환경작용 등의 변동을 고려하기 위하여 사용하중에 곱해주는 안전계수
- 허용응력(Allowable Stress): 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것

- 합성거더교: 주거더와 현장치기 바닥판이 전단연결재에 의해 결합되어 주거더와 바닥판이 일체로 된 합성단면으로 하중에 저항하는 교량
- 단경간교(Single Span Bridge): 경간이 하나인 교량
- 단부구역: 캔틸레버로 거동하는 기둥의 하단과 골조로 거동하는 기둥의 하단과 상단
- 말뚝의 p-y곡선: 말뚝의 근입깊이 내에서 발생하는 말뚝의 수평변위 대 단위길이당 지반반력의 상관곡선
- 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
- 설계변위: 지진격리시스템의 설계에서 요구되는 수평방향의 지진변위
- 소성한지구역: 기둥과 말뚝가구의 단부구역 중 설계휨강도보다 큰 탄성지진모멘트가 작용하는 구역
- 액상화: 진동하중에 의해 간극수압 상승과 유효응력 감소로 전단하중에 대한 전단저항을 상실하는 현상
- 옹셋변위: 크리프, 건조수축 그리고 온도변위의 50%에 해당하는 지진격리받침의 수평변위.
- 유효강성: 지진격리시스템이 최대수평변위를 일으키는 순간의 수평력을 최대수평변위로 나눈 값
- 위험도계수: 평균 재현주기별 지진구역계수의 비
- 지반응답해석: 토층의 저면에 입사되는 지진하중이 지표면으로 진행될 때 토층의 동적거동에 대한 해석
- 지진격리받침: 지진격리교량이 지진 시 수평방향으로 큰 축방향 변형을 허용할 수 있도록 수평방향으로는 유연하고, 수직방향으로는 강성이 높은 교량받침
- 지진격리시스템: 수직강성, 수평유연도, 그리고 감쇠를 경계면으로부터 시스템에 제공하는 모든 요소의 집합
- 지진보호장치: 교량구조물의 내진성능과 내진안정성을 향상시키기 위한 모든 장치들로서, 지진격리받침, 감쇠기, 낙교방지장치 등이 이에 해당됨.
- 총설계변위: 지진격리받침의 최대 수평방향 지진변위로서 해석의 결과와 지진격리시스템의 설계에 필요한 변위로부터 산출되는 값이다. 이것은 강성중심에서의 병진변위와 비틀림변위의 고려방향 성분을 포함함.
- 최대 소성한지력: 교각의 소성한지구역에서 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 여기에서는 고무부품이나 고무부품의 생상에 사용하는 복합화합물을 말함.
- 평균반복전단응력: 불규칙한 지진하중을 일정한 반복하중으로 치환할 때, 등가의 전단응력
- 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 해석과 설계원칙

1.3.1 설계의 원칙

- (1) 철도교량은 안전하고도 경제적이며 목적에 맞는 것이어야 한다. 따라서 실험결과 및 과거의 경험을 바탕으로 하여, 구조물이 받는 정적 및 동적하중, 온도변화, 궤도-교량간 상호작용, 지진의 영향, 기상작용, 지반의 지지력 등에 대응할 수 있도록 하고 구조물의 중요도, 시공검사 및 유지관리, 환경조건, 미관 등을 고려해서 교량의 형식, 사용하는 재료 및 강도, 구조세목 등을 정하여 교량을 설계해야 한다.
- (2) 철도교량의 설계에 있어서는 일반적으로 교량 및 부재의 강도, 안정, 정적 및 동적변형, 내구성 등에 대하여 검토해야 한다. 필요한 경우에는 부재의 좌굴, 콘크리트의 균열에 대해서도 검토해야 한다.
- (3) 지진의 영향을 고려하는 경우에는 특히 다음 사항에 대하여 검토해야 한다.
 - ① 지진의 영향으로 과대한 변형, 비틀림, 응력집중 등이 생기지 않는 구조로 한다.
 - ② 재현주기 100년 지진에서도 열차가 주행기능을 수행할 수 있는 궤도안정성이 확보되도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다. 이때 구조물은 탄성설계를 기본으로 해야 한다.
 - ③ 설계지진 발생 후의 피해정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴는 방지할 수 있도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다.
 - ④ 교량 전체의 붕괴를 방지하기 위해 구조상 소성힌지가 생기는 부분에는 급격한 파괴가 생기지 않도록 연성을 갖게 해야 한다.
 - ⑤ 일반적인 내진계산은 교량의 직교 2방향에 대하여 각각 독립적으로 지진의 영향을 고려해서 계산하고 있으나 실제의 지진 진동은 수평 2방향과 연직방향의 3개 성분이 합성된 것이므로 구조물에 수평비틀림이 생기지 않도록 구조물의 강성의 중심과 질량의 중심이 가급적 일치되는 구조형식으로 해야 한다.

- (4) 기초 및 교대, 교각의 단면이 상당히 큰 경우 수화열해석에 의한 검토를 수행해야 하며, 온도 해석 및 응력해석, 이들 결과를 사용한 균열발생의 평가방법은 KCS 14 20 42에 따른다.

1.3.2 설계 계산

- (1) 교량 안전성설계는 정적해석에 의하여 수행해야 하며, 지진이나 충격 등의 영향을 계산하는 경우와 주행안전성 검토는 실제 열차하중을 사용한 동적해석에 의한 검토를 해야 한다.
- (2) 강교의 설계는 허용응력설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 강합성교의 콘크리트 바닥판 등의 설계에는 강도설계법을 적용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 콘크리트교량의 설계는 강도설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 하부구조의 안정성 검토, 기초구조 검토, 프리스트레스가 도입되는 부재의 사용성 검토 등에 대해서는 허용응력으로 적정성을 검토할 수 있다.
- (4) 구조물의 안정검토에서는 일반적으로 받침면, 기초저면 등에서의 전도, 그리고 지반 및 말뚝 등의 수평 및 연직지지 등에 대한 안전도가 확보되도록 한다.
- (5) 구조물의 변형은 일반적으로 열차의 주행안전성, 승객의 승차감, 궤도-교량 간 종방향 상호 작용을 고려한 허용변위량 이내라야 한다.
- (6) 철도교의 설계 내용기간(耐用期間)은 요구되는 공용기간과 환경조건에 대한 교량의 안전성과 내구성능을 고려해서 정한다. 특히, 별도로 규정하지 않는 경우 철도교의 설계 내용기간은 100년으로 한다.

1.4 설계고려사항

1.4.1 설계도 및 설계 계산서

(1) 설계도

- ① 설계자가 설계한 구조물이 실제로 시공될 경우에 설계자의 의도대로 구조물이 만들어지지 않는다면 구조물의 안전도가 확보될 수 없고 또 구조물이 그 목적에 맞지 않게 된다. 따라서 설계도에는 시공에 필요한 사항, 장래 구조물을 유지 관리하는데 필요한 사항 등을 명시해 둘 필요가 있다.
- ② 또 필요한 경우에는 응력, 흙의 내부마찰각, 기초지반의 허용지지력, 기초말뚝의 허용지지력, 지질도, 철근의 이음종류나 이음위치 등도 기재해야 한다.
- ③ 설계도는 구조물 또는 부재의 형상 치수, 철근의 형상 치수, 배치 등을 도시해야 한다.
- ④ 설계도에는 기본적으로 다음에서 제시하는 설계계산의 기초적 사항, 시공의 조건 등을 명기해야 한다.
 - 가. 구조물의 위치 및 명칭
 - 나. 설계하중

- 다. 사용재료의 종류 및 설계기준강도(또는 허용응력) 또는 안전도
- 라. 콘크리트의 내구성 또는 수밀성으로부터 정해지는 물-결합재비의 최댓값
- 마. 굽은골재의 최대치수
- 바. 설계 책임자의 소속, 성명
- 사. 설계 년월일
- 아. 치수단위와 축척
- 자. 관련도면 및 시방서

(2) 설계 계산서

- ① 설계 계산서에는 일정한 조건하에서 구조물 및 부재가 안전도를 갖고 있음을 보여주는 계산과정을 명시해야 한다.
- ② 일반적으로 구조물의 구조와 시공방법과는 밀접한 관계가 있으므로 계산과정에서 일치되어야 한다. 특히 부재접합의 조건(고정, 힌지, 연속 등) 및 시공순서는 계산의 과정과 일치해야 한다.
- ③ 따라서 만일 설계 계산의 조건과 시공의 조건이 일치하지 못하는 경우에는 다시 설계 계산을 하여, 설계 계산서에 그 과정을 명기해야 한다.

1.4.2 철도교의 요구사항

(1) 일반내용

- ① 철도교는 열차의 운행 안전성, 승차감, 그리고 향후 유지관리를 위하여 관련되는 엄격한 기준을 만족해야 한다.
- ② 철도교는 작용하중이 매우 크고, 많은 불리한 하중조건을 만족해야 할 뿐만 아니라 차량 운행과 관계된 특별한 인터페이스를 만족해야 하므로 다음에 기술하는 바와 같은 조건들에 대해 특별히 엄격하고 주의 깊은 설계와 시공, 유지관리, 통제관리 등이 수행되어야 한다.
 - 가. 정적하중 조건(고정하중, 차량하중, 일반 환경적 하중)
 - 나. 동적하중 조건(동적 구조응답, 공진현상 검토)
 - 다. 운행하중 조건(제동하중, 시동하중, 차량횡하중 등)
 - 라. 반복적인 차량 차축하중에 대한 피로 조건
 - 마. 승차감 확보 조건
 - 바. 궤도-교량간 상호작용 효과(변형 한계조건, 온도 신축길이 제한)
 - 사. 상부구조와 하부구조사이의 인터페이스 조건
 - 아. 교량진단과 유지관리 과정에서도 열차의 운행중지를 하지 않을 조건
 - 자. 열차 특수운행 요구사항

③②에서 언급한 조건에 맞는 교량의 설계를 위해 다음 특성을 고려해야 한다.

- 가. 동적안정성의 확보와 작은 처짐을 유도하여 높은 수준의 편안함과 승객의 안전을 보장해야 한다.
- 나. 차량 운행에 따른 공진을 가능한 한 방지할 수 있도록 하거나 공진 시 구조물 변형 안전성을 확보할 수 있어야 한다.
- 다. 구조물에 위험 요소가 발생할 수 있는 요인을 제한하기 위하여 교량상부구조의 경우가 급적 단일구조체로 설계하는 것으로 하고 다음 형식을 피해야 한다.
 - (가) 연결부위가 취약한 구조체
 - (나) 품질관리가 어려운 복잡한 구조체
 - (다) 구조물 점검이 어렵고 복잡한 구조체
- 라. 시공성과 품질관리의 용이성을 높이고, 보다 고품질의 시공 결과물과 고효율 유지관리를 위해 개념적으로 단순한 형식을 적용하도록 해야 한다.
- 마. 열차운행 시 소음문제를 최소화할 수 있는 환경친화적 저소음 형식을 적용하거나 그에 대한 대책을 강구해야 한다.

(2) 하중의 특성

- ① 작용하중의 특성치는 합리적으로 계산되어지고 공인될 수 있는 통계적인 값을 사용해야 한다.
- ② 통계적인 분포가 없을 경우에는 공칭하중이 사용될 수 있다.
- ③ 하중들은 다음의 3가지의 형태를 가진다.
 - 가. 영구적인 작용하중(고정하중, 프리스트레싱, 영구적인 주위환경의 하중 등)
 - 나. 빈도에 관계없이 변동성 있는 하중 또는 준영구적인 작용하중으로 차량과 보행자하중, 기타 여러 작용원인에 의한 다양한 하중들(동적인 증폭관련 외의 어떠한 우발적 사고 상황은 포함시키지 않음.)
 - 다. 우발적인 하중(열차운행 상의 우발적인 하중 또는 기타 환경적인 우발적 하중)

(3) 운영을 위한 조건

- ① 교량은 재료의 특성과 관계된 사항 이외에 추가적으로 진동 한계와 엄격한 변형 제한을 만족해야만 한다.
- ② 다음과 같은 4가지의 독립적인 항목이 반드시 고려되어야 한다.
 - 가. 주행의 안전성
 - 나. 승객의 승차감
 - 다. 교량의 동적 안정성
 - 라. 궤도-교량 간 상호작용
- ③ 차량 운행 조건 검토 시 다음 사항을 만족해야 한다.
 - 가. 차량 운행에 대한 조건은 열차속도 또는 차축간격, 수직하중, 열차의 특성으로 인해 수반되는 운행 조건에 의해 평가되어야 한다.

- 나. 운행 조건 중에서 열차의 수, 열차의 구성과 그 크기는 특히 강구조물의 경우 피로검토를 위해서 반드시 고려되어야 한다.
- 다. 정적설계에 적용되는 교량에 재하되는 운행하중은 표준열차하중을 사용해야 한다.
- 라. 표준열차하중에 동적 충격효과를 고려하기 위한 충격계수가 포함될 때 선로의 운행하중에 상응하는 수평효과들이 고려되어야 한다.
- 마. 교량의 동적해석을 수행하기 위해서는 실제 열차하중이 적용되어야 한다.

(4) 궤도-교량 간 상호작용

- ① 교량 등 선로 상부구조물이 두개의 교대에 걸쳐져 있는 단순구조 형식이거나, 또는 하나의 교대를 포함하는 상부구조를 가지거나, 혹은 레일신축이음장치(REJ)를 가지고 있거나 가지지 않는 복잡한 연속구조물인 경우 등의 모든 경우에 있어서, 장대레일에서 기인하는 교축방향 하중은 구조물과의 상호작용으로 복잡하게 분산되어진다. 이러한 하중들의 일부 분은 다른 선로에 전달되어지며, 또한 교량 구조물은 다음과 같은 영향을 받을 수 있으므로 검토해야 한다.
 - 가. 교량의 종방향 변위에 대한 궤도의 저항
 - 나. 탄성받침 등 종방향 강성을 고려할 수 있는 특정한 형식의 받침에 의한 종방향 변위에 대한 상부구조의 저항
- ② 다음의 하중에 의한 영향은 복합적인 수평방향 거동을 유발하여 반드시 고려해야 한다.
 - 가. 온도변화에 따른 레일과 구조물에서의 서로 다른 거동의 영향
 - 나. 제동과 시동에 준용하는 수평하중의 영향
 - 다. 다음 사항을 유도할 수 있는 수직하중에 의한 교량휨에 기인한 영향
 - (가) 받침 위의 상부구조 단부각변위
 - (나) 교량상부구조의 종방향 변위
 - (다) 레일에서의 추가 휨응력
- ③ 궤도에 추가되는 하중들은 레일, 체결구 등 궤도 구성요소의 특성과 함께 고려되어야 한다. 특히, 장대레일이 부설된 콘크리트궤도에서의 교량 변위 발생에 따른 체결구의 압상(Uplift) 및 압축에 대한 안정성을 검토해야 한다.

(5) 유지관리

- ① 유지관리를 위한 최소치인 유지관리 요구도를 제시하기 위하여 세부적인 설계과정 동안 유지관리에 대한 계획이 수립되어야 한다.
- ② 설계도서에는 유지관리를 위한 사전 고려사항 및 유지관리 시설이 반영되어야 한다.

1.4.3 기록

(1) 교량대장

- ① 교량대장은 유지관리, 금후의 계획, 각종 조사를 위하여 필요한 것으로 특별히 유의하여 정비하고 보관해야 한다.
- ② 교량대장에는 교량의 길이, 교량 폭, 설계하중(시방서명), 설계지진의 크기, 기초의 형식과 근입깊이, 지반조건, 주요부분의 구조도, 준공년월일, 기타 장래의 유지관리에 필요한 기재사항을 기재하여 이것을 보관해야 한다.

(2) 교명판

- ① 교량에는 교명판을 부착시킴을 기본으로 한다.
- ② 교명판에는 교량 명칭, 총연장, 교량 폭, 설계하중, 공사기간, 시행청, 설계자, 시공자, 책임감리원, 준공검사자 등을 기재해야 하며, 교량종류에 따른 교명판의 구체적인 제작요령과 부착위치는 시행청이 정한 바에 따른다.

2. 조사 및 계획

2.1 조사

- (1) 철도교량의 합리적이고 경제적인 설계와 시공을 위해서는 교량가설 예정지점의 상황, 구조물의 규모 등에 따라 필요한 조사를 해야 한다.
- (2) 조사내용 및 방법 등 조사에 관한 제반사항은 KDS 47 10 15를 따른다.

2.2 계획

- (1) 계획에 관한 사항은 KDS 47 10 15를 따른다.
- (2) 가설위치와 형식선정
 - ① 철도교량의 계획에 있어서 가교위치를 선정할 때 열차속도가 향상됨에 따라 선형을 위주로 하여 선정하되 부수되는 문제를 사전에 고려해야 한다.
 - ② 종래에는 노선전체의 선형만을 중시한 결과 사각이 매우 큰 교량이 계획되는 경우도 있었는데 이를 미연에 방지하기 위해서는 교량의 정적 및 동적거동의 안정성, 시공성 등의 측면을 고려한 교량의 종평면 선형, 사각, 교대 및 교각 위치 등을 유념하여 계획해야 한다.
 - ③ 교량의 형식을 선정할 때도 지형, 지질, 기상, 교차물 등의 외부적 조건이나, 열차의 주행안전성, 전차선주의 설치, 시공성, 유지관리, 경제성 및 환경과의 미적인 조화를 고려하여 가설위치 및 교량의 형식을 선정해야 한다.

(3) 교차조건과의 관계

- ① 가교위치, 경간분할, 교각위치, 교각형상 등은 관계기관과 협의하여 정한다.
- ② 교량의 계획단계에서는 교량가설 예정지점의 관계기관과 협의해야 하고, 특히 다음의 여러 입지조건을 고려해야 한다.
 - 가. 하천에 가교(架橋)하는 경우
 - (가) 가교위치, 교량길이와 교대의 위치결정에는 하천의 형상과 개수(改修) 계획 등
 - (나) 경간장, 다리밑 공간, 교각형상의 결정에는 계획홍수위, 계획홍수량, 항운조건, 인접구조물 등
 - (다) 기초상단의 높이 결정에는 개수계획, 세굴상태 등
 - 나. 해협이나 운하에 가교하는 경우
 - (가) 경간장과 다리밑 공간의 결정에는 항로통과 선박의 크기 등
 - 다. 도로나 철도위에 가교하는 경우
 - (가) 교량길이, 경간장, 다리밑 공간, 교각의 위치와 형상 등의 결정에는 도로나 철도의 폭원 구성, 건축한계, 시거 등
 - (나) 교대, 교각 및 기초의 위치와 형상의 결정에는 지하매설물, 지하구조물 등

(4) 건축한계 및 다리밑 공간

- ① 교량의 설계에 있어서 건축한계 및 다리밑 공간(거더밑 공간)에 대한 한계 등은 KDS 47 10 15에 정한 기준을 따른다.
- ② 교량설계 시 규정 등에 정한 건축한계 외에 다리밑 공간에 대한 한계, 교측보도 설치 등의 각종 한계를 고려해야 한다.

3. 재료

3.1 강재

(1) 일반사항

강철도교에 일반적으로 사용되는 재료는 구조용 강재, 연결용 강재, 받침용 재료가 있으며 이들 재료는 특별한 것을 제외하고는 한국산업표준(KS)에 규정된 것을 사용해야 한다. 기술의 진보에 따라 새로운 재료를 적용할 때는 타당한 근거를 가지고 사용해야 한다. KS 규격은 표 3.1-1과 같다.

(2) 구조용 강재

구조용 강재는 KDS 47 10 50의 규정에 따른다.

(3) 연결용 재료

용접재료 및 볼트재료는 KDS 47 10 50의 규정에 따른다.

표 3.1-1 한국산업표준(KS)번호 및 규격명

규격번호	규격명	규격번호	규격명
KS B 1002	6각볼트	KS F 2453	콘크리트의 압축 크리프 시험방법
KS B 1010	마찰접합용 고장력 6각볼트.6각너트. 평와서의 세트	KS F 2527	콘크리트용 골재
KS B 1012	6각너트 및 6각 낮은너트	KS F 2560	콘크리트용 화학혼화제
KS D 3503	일반구조용 압연강재	KS F 4009	레디믹스트 콘크리트
KS D 3504	철근콘크리트용 봉강	KS F 4301	원심력 철근 콘크리트 말뚝
KS D 3505	PC강봉	KS F 4303	프리텐션 방식 원심력 PC 말뚝
KS D 3509	피아노 선재	KS F 4306	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘 크리트 말뚝
KS D 3515	용접구조용 압연강재	KS F 4420	교량지지용 탄성받침
KS D 3529	용접구조용 내후성 열간 압연강재	KS F 4424	교량지지용 포트받침
KS D 3559	경강선재	KS F 4602	기초용 강관말뚝
KS D 3566	일반구조용 탄소강관	KS F 4603	H 형강 말뚝
KS D 3698	냉간압연 스테인리스 강관 및 강대	KS F 4605	강관 시트파일
KS D 3710	탄소강 단강품	KS L 5201	포틀랜드 시멘트
KS D 3752	기계구조용 탄소강재	KS L 5210	고로 슬래그 시멘트
KS D 4101	탄소강 주강품	KS L 5211	플라이애쉬 시멘트
KS D 4102	구조용 고장력 탄소강 및 저합금강 주강품	KS L 5405	플라이애쉬
KS D 4106	용접구조용 주강품	KS M 6617	방진고무용 고무재료
KS D 4301	회주철품		
KS D 4302	구상흑연 주철품		
KS D 7002	PC강선 및 PC강연선		
KS D 7004	연강용 피복 아크 용접봉		
KS D 7006	고장력 강용 피복아크 용접봉		

(4) 받침용 재료

① 받침용 재료는 표 3.1-2의 것을 사용한다.

가. 주조기술의 발달에 의해 GC 250은 GC 150과 큰 가격 차이가 없고 인성도 높기 때문에 주철에 관해서는 GC 250을 사용한다. 최근에 주강받침에서 용접성이 요구되는 경우가 많고, 강도가 높은 것을 필요로 하므로 KS D 4106의 1종 및 2종과 KS D 4102중 저망간 강주강품 1종 및 2종을 첨가했다.

나. 기계구조용 탄소강 강재는 종래 기계부품으로서 사용되어 온 것이지만 생산량 및 사용 실적이 많고 재질면에서도 안정되어 있어 도입되었다.

다. 롤러 및 받침판에 이용하는 특수 스테인레스강에 관해서는 KS화 되어 있지 않으므로 품질 등을 검토해서 이용해야 한다.

라. 동합금 받침판에 관해서는 고체윤활제와 천연흑연과 함께 사용되는데 동합금 받침판이란 받침의 마찰을 줄이기 위해 사용하는 고장력 황동 주물판으로서 그 미끄럼면에 흑연을 주체로 한 고체윤활제를 주입한 것을 말한다.

② 받침에 사용하는 강재의 기준허용응력

강재의 기준허용휨응력 및 허용전단응력은 표 3.1-3에 의해야 한다. 강재의 기준허용지압응력은 다음과 같이 정해야 한다.

표 3.1-2 받침용 재료

종류	규격	기호
주강	KS D 4101(탄소강주강품) 3종 및 4종	SC 450 및 SC 480
	KS D 4106(용접구조용주강품) 1종 및 2종	SCW 410 및 SCW 480
	KS D 4102(구조용고장력탄소강 및 저합금강주강품)저망간주강품 1종 및 2종	SCMn 1A 및 SCMn 2A
주철	KS D 4301(회주철품)4종	GC 250
합금강	KS D 3752(기계구조용탄소강재)	SM 30CN 및 SM 35CN

표 3.1-3 받침에 사용하는 강재의 기준허용휨응력 및 허용전단응력 (MPa)

강재종류		허용응력	허용휨응력			허용전단응력	
			인장축	압축축	편	일반	편
압연강재	SS400		140		200	80	105
	SM400		140		200	80	105
	SM490		190		270	105	145
주철품	GC250	60	120	-	45	-	
주강품	SC450	110	125	-	80	-	
	SC480	120	140	-	90	-	
	SCW410	130	140	-	80	-	
	SCW480	160	170	-	100	-	
	LMnSC1A	160	170	-	100	-	
	LMnSC2A	180	190	-	110	-	
구조용합금강	SM35C	190	190	260	110	140	
	SM45C	210	210	290	120	150	

가. 선받침 (Line bearing)

$$K_1 \left(\frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2} \right) \text{ (N/mm)} \tag{3.1-1}$$

나. 로울러받침 (Roller bearing)

$$0.8 K_1 r_2 \text{ (N/mm)} \tag{3.1-2}$$

다. 구면받침 (Spherical bearing)

$$K_2 \left(\frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2} \right)^2 \text{ (N/mm)} \tag{3.1-3}$$

라. 여기서, K_1 , K_2 의 값은 표 3.1-4에 따르고 r_1 , r_2 (m)는 그림 3.1-1에 의해야 한다.

표 3.1-4 재료의 조합(MPa)

조합 계수	SS400과 GC250	SS400	SC450 SCW410	SM490	SC480 SCW480 LMnSC1A	SM35C과 LMnSC2A
K1	15	10		13		15
K2	-	0.08		0.13		0.16

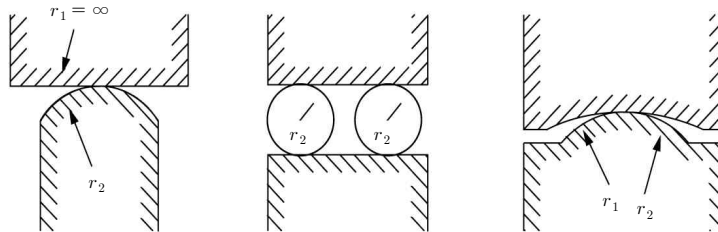


그림 3.1.1 선받침, 로울러받침, 구면받침

- ③ 동합금 받침판의 기준허용지압응력은 35 MPa로 해야 한다.
- ④ 탄성받침의 재료는 관련항목 참조
- ⑤ 받침용 고무판 및 그 보강 강판에는 표 3.1-5의 것을 사용한다.

가. 고무를 이용한 받침에는 여러 가지 구조가 있으나 고무판 1개 또는 여러 개를 강판에 중첩한 것을 대상으로 했다.

나. 고무의 재질은 KS M 6617 C 08-b1에 부합되는 양질의 클로로프렌계의 것이 일반적으로 자주 이용되고 있으나 강도, 강성, 내구성 등이 확보되어야 한다. 다른 재질을 이용하는 경우에는 성능을 확인할 필요가 있다.

다. 보강판에 관해서는 내후성강판을 이용한 것도 있지만 접촉면이 반복되어 마찰되는 상황을 고려하면 적당하지 않으므로 일단 스테인리스 강판을 사용하는 것으로 제한한다.

표 3.1-5 받침용 고무판 및 보강 강판

종별	규격	기호
클로로필렌계 고무	KS M 6617(방진고무용 고무재료)	C 08-b1
보강 강판	KS D 3698(냉간압연 스테인리스 강판 및 강대)	STS 304

(5) 강재의 재료 특성치

강재의 재료 특성치는 KDS 47 10 50의 규정에 따른다.

3.2 콘크리트

(1) 일반사항

이 코드를 이용하여 설계하는 강교, 철근콘크리트교, 프리스트레스트 콘크리트교 및 하부구조에 사용하는 콘크리트 재료에 대하여 규정한 것이다.

(2) 콘크리트 재료

콘크리트 재료는 다음 각 항에 나타낸 재료를 사용하는 것으로 한다.

① 시멘트는 한국산업표준(KS L 5201, 5205, 5210, 5211, 5217, 5401)에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

② 골재의 품질과 크기는 다음의 규정에 따라야 한다.

가. 골재는 한국산업표준(KS)에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

나. 골재는 요구되는 경도나 입도를 가지며 깨끗하고 내구성이 있는 것으로, 점토 덩어리, 유기물, 세장석판 등의 해로운 물질을 포함하지 않아야 하며, KS F 2527, KS F 2543, KS F 2544, KS F 2573에 규정된 품질로 해야 한다.

다. 위 규격품이 아니더라도 KS F 2502, KS F 2503, KS F 2504, KS F 2529, KS F 2533, KS F 2468의 골재와 관련된 한국산업표준(KS)에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다. 그리고 이외에는 시험에서 요구되는 입도로서 소요 품질의 콘크리트를 만들 수 있다고 입증되는 경우에만 책임기술자의 승인을 얻은 후에 사용할 수 있다.

라. 굵은골재의 공칭 최대 치수는 다음 값을 초과하지 않아야 한다. 그러나 이러한 제한은 콘크리트를 공급 없이 칠 수 있는 다짐 방법을 사용할 경우에는 책임기술자의 판단에 따라 적용하지 않을 수 있다.

(가) 거푸집 양 측면 상의 최소 거리의 1/5

(나) 슬래브 두께의 1/3

(다) 개별 철근, 다발철근, 긴장재 또는 덕트 사이 최소 순간격의 3/4

마. 잔골재에는 가능한 한 해사를 사용하지 않는 것이 바람직하다. 부득이 해사를 사용해야 하는 경우에는 해사에 포함된 염화물 이온량은 잔골재의 절대 건조중량에 대해 0.022%(염화나트륨으로 환산하면 약 0.04%에 상당) 이하로 한다.

③ 화학혼화제의 품질과 사용은 다음 규정에 따라야 한다.

가. 화학혼화제는 한국산업표준 KS F 2560에 규정한 것과 같거나, 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

나. 화학혼화제를 사용할 경우에는 품질조사와 시험을 거친 후 책임기술자의 승인을 얻어야 한다.

다. 화학혼화제는 콘크리트 배합을 결정할 때에 사용했던 제품과 동일한 성분 및 성능을 공사 중 일관되게 유지해야 한다.

라. 염화칼슘 또는 염소이온을 포함하는 화학혼화제는 프리스트레스트 콘크리트, 알루미늄 제품을 매입한 콘크리트 또는 아연 도금한 고정형 금속형틀을 사용한 콘크리트의 경우에 사용하지 않아야 한다.

마. KS F 2560에 규정되어 있지 않은 종류의 혼화제를 사용하는 경우에는 적합시험 등에 의해 그 적용성을 확인하여 사용해야 한다. 부득이하게 유동화제를 사용하는 경우에는 사용방법에 대해서 사전에 검토하여 품질관리를 해야 한다. 혼화제 가운데는 다량의 염화물을 포함하고 있는 것이 있으므로 사용할 때 주의를 요하는 것이 있다. 특히 촉진형인 것은 염화칼슘 등이 주성분의 하나로 되는 것이 많으므로 특히 주의를 요한다.

④ 콘크리트를 제조할 때 사용되는 물은 다음 규정에 따라야 한다.

가. 콘크리트 배합에 사용되는 물은 청정한 것으로서 일반적으로 산, 기름, 알칼리, 염분, 유기물 그리고 콘크리트 및 철근에 유해한 물질을 포함하지 않아야 한다.

나. 콘크리트의 배합에 사용되는 물은 KS F 4009 부속서 2에 적합한 것으로 한다.

다. 프리스트레스트 콘크리트 또는 알루미늄 제품을 매입한 콘크리트 배합에 사용하는 물과 골재의 표면수는 유해량의 염소이온을 함유하지 않아야 한다.

라. 식수로 부적당한 물은 다음에 열거한 사항을 만족하지 못하면 콘크리트에 사용될 수 없다.

(가) 동일 수원의 물을 사용하여 이에 배합설계를 해야 한다.

(나) 식수가 아닌 물로 만들어진 모르타르 시험체의 7일과 28일 강도는 식수로 만들어진 같은 형태의 공시체 강도의 90% 이상의 강도를 각각 가져야 한다. 사용한 물의 차이에 따른 강도비교 시험은 물 이외에는 같은 조건의 모르타르를 사용하여 실시하고, 그 시험을 KS L 5105에 따라 준비, 시험해야 한다.

⑤ 콘크리트를 제조할 때 사용되는 혼화제는 다음 규정에 따라야 한다.

가. 혼화제로 사용할 플라이애쉬는 KS L 5405에 적합한 것이어야 한다.

나. 혼화제로 사용할 콘크리트용 팽창제는 KS F 2562에 적합한 것이어야 한다.

다. 혼화제로 사용할 고로슬래그 미분말은 KS F 2563에 적합한 것이어야 한다.

라. 혼화제로 사용할 실리카폼은 KS F 2567에 적합한 것이어야 한다.

마. 가, 나, 및 다 이외의 혼화제로서는 규산질 미분말 및 고강도용 혼화제 등이 있다. 이들 혼화제에 대한 것은 아직 품질의 규격이 없고 또 사용방법도 다양하므로 이를 사용할 때는 미리 조사, 시험을 하여 품질을 확인하고 사용방법도 검토하여 제조한 콘크리트의 내구성에 영향이 없도록 해야 한다.

바. 어떠한 혼화제를 사용하는 경우에도 재료 특성뿐만 아니라 시공방법에도 특별한 배려가 필요하기 때문에 사전에 검토해야 한다.

(3) 콘크리트의 재료 특성치

철도교에 사용하는 콘크리트의 재료 특성치는 KDS 24 14 20의 규정에 따른다.

4. 설계

4.1 사용성 및 내구성

4.1.1 일반사항

- (1) 구조물 또는 부재가 사용기간 중 기능과 성능을 유지하기 위하여 사용하중을 받을 때의 사용성과 내구성을 검토해야 한다.
- (2) 사용성 검토는 피로, 균열 및 처짐의 영향 등을 고려하여 이루어져야 한다.

4.1.2 피로

(1) 적용범위

- ① 이 규정은 하중 중에서 변동하중이 차지하는 비율이 높거나 작용빈도가 크기 때문에 피로에 대한 안전성 검토를 필요로 하는 경우를 위한 것이다.
- ② 강교량의 피로검토는 KDS 47 10 50을 적용해야 한다.
- ③ 콘크리트교량의 피로검토는 다음과 같이 해야 한다.
 - 가. 보 및 슬래브는 휨 및 전단에 대하여 검토해야 한다.
 - 나. 기둥은 검토하지 않는다. 다만 휨모멘트나 축방향 인장력의 영향이 큰 경우에는 보에 준하여 검토해야 한다.

(2) 피로응력한계

- ① 사용하중하에서 표준열차하중과 충격에 의해 야기되는 직선철근의 최대 인장응력과 최소 응력 사이의 범위는 식 (4.1-1)의 값을 초과할 수 없다.

$$f_f = 165 - 0.33f_{\min} \quad (4.1-1)$$

여기서, f_f : 응력범위(MPa)

f_{\min} : 최소응력 수준으로 인장은 정(+), 압축은 부(-)의 값(MPa)

- ② 높은 응력범위의 구역에서는 주철근을 구부리는 일은 피해야 한다.
- ③ 근사방법에 따라 설계되는 주철근의 방향이 차량 진행방향에 직각인 콘크리트 바닥판에 대해서는 피로응력한계를 고려할 필요가 없다.

4.1.3 균열

- (1) 4.1.3(2) 및 (3)의 경우를 제외하고는 KDS 14 20 20(4.2.3) 포함하여 이 설계기준의 다른 모든 규정을 만족하는 경우 균열에 대한 검토가 이루어진 것으로 간주할 수 있다.
- (2) 특별히 수밀성이 요구되는 구조는 균열에 대한 검토를 해야 한다. 이 경우 소요 수밀성을 갖도록 하기 위한 허용균열폭을 설정하여 KDS 14 20 30(3)에 따라 검토할 수 있다.

- (3) 미관이 중요한 구조는 미관상의 허용균열폭을 설정하여 KDS 14 20 30(3)에 따라 균열을 검토할 수 있다.
- (4) 부재는 하중에 의한 균열을 제어하기 위해 필요한 철근 외에도 필요에 따라 온도변화, 건조수축 등에 의한 균열을 제어하기 위한 추가적인 보강철근을 KDS 14 20 50(4.6)에 따라 배치해야 한다. 그리고 균열 제어를 위한 철근은 필요로 하는 부재 단면의 주변에 분산시켜 배치해야 하고, 이 경우 철근의 지름과 간격을 가능한 한 작게 해야 한다.

4.1.4 처짐

(1) 일반사항

- ① 교량구조물의 휨부재는 강성을 가짐으로써 사용하중과 충격으로 인해 발생한 처짐 또는 변형이 구조물의 강도나 실제사용에 해로운 영향을 주지 않도록 설계해야 한다.
- ② 처짐 검토를 위한 하중조합 및 기준은 4.2.3 주행안전성 및 승차감 검토를 따른다.
- ③ 부등변위에 대한 검토를 할 때의 하중조합은 표 4.1-1에 따른다.

표 4.1-1 하중조합

검토 항목		하중조합
부등변위	상시	고정하중 + 열차하중 + 충격
	지진 시	고정하중 + 지진의 영향(단선제하)

- ④ 부재의 최소두께는 표 4.1-2에 따라야 한다. 다만, 처짐계산에 의하여 4.2.3을 만족하는 경우에는 표 4.1-2의 최소 두께를 적용할 필요가 없다.

표 4.1-2 높이가 일정한 부재의 최소 두께

부재의 종류	최소 두께(m)	
	단순경간	연속경간
주철근이 차량 진행방향에 평행한 교량 슬래브	$\frac{1.2(l+3)}{30}$	$\frac{(l+3)}{30}$
T형 거더	0.070 <i>l</i>	0.065 <i>l</i>
박스 거더	0.060 <i>l</i>	0.055 <i>l</i>

주 1) 변단면 부재가 사용되는 경우, <표 4.1.2>은 정모멘트 단면과 부모멘트 단면에서의 상대강성의 변화를 고려하기 위해 수정될 수 있다.

2) *l*는 지간(m)을 나타낸다.

(2) 처짐의 산정

- ① 균열이 발생하지 않는 구조물 또는 부재의 순간처짐은 전단면을 유효로 보고 탄성이론으로 구한다. 이때 난간, 연석, 보도 및 거푸집이 제거되기 전에 상부구조 단면과 일체로 치지 않는 요소는 모두 제외해야 한다.

- ② 균열이 발생하는 구조물 또는 부재의 순간처짐은 균열의 발생에 따른 강성의 저하를 고려하여 구해야 한다.
- ③ 장기처짐은 지속하중하에서의 콘크리트와 철근의 응력을 고려하고 콘크리트의 크리프 및 건조수축의 영향을 고려하여 구해야 한다.
- ④ 부재의 강성도를 엄밀한 해석방법으로 구하지 않는 한, 부재의 순간처짐은, KDS 24 14 20(3.2.1(2))에 규정된 콘크리트의 탄성계수와 총단면적의 단면 2차모멘트 I_g 나 식 (4.1-2)로 나타낸 유효단면 2차모멘트 I_e 를 사용하여 구해야 한다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.1-2)$$

여기서, M_{cr} 은 균열모멘트로서 식 (4.1.3)으로 표시된다.

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (4.1-3)$$

M_u : 처짐이 계산되는 단계에서의 부재의 휨모멘트

I_{cr} : 콘크리트로 환산된 균열단면의 단면 2차모멘트

y_t : 철근을 무시한 종단면의 중심축에서 인장 연단까지의 거리

f_r : 콘크리트의 휨인장강도

$$f_r = 0.63 \sqrt{f_{ck}}$$

다만, 경량콘크리트가 사용된 경우에는 다음과 같이 f_r 의 값을 수정해야 한다.

가. f_{cd} 가 명시된 경우에는 f_r 를 구할 때 $\sqrt{f_{ck}}$ 를 $1.76 f_{cd}$ 로 대체하되, $1.76 f_{cd}$ 의 값은 $\sqrt{f_{ck}}$ 이 하라야 한다.

나. f_{cd} 가 명시되지 않은 경우에는 전 경량 콘크리트(All-light weight concrete)에 대해서는 0.75, 모래경량 콘크리트(Sand-light weight concrete)에 대해서는 0.85를 각각 f_r 에 곱한다. 일부의 모래만이 경량골재로 대체된 경우에는 직선보간법을 사용한다. 또한, 0.85에서 1.0 사이의 값은 보통콘크리트의 굵은골재를 치환하는 체적비에 따라 직선보간한다.

- ⑤ 연속지간에 대해서는 정모멘트와 부모멘트에 대한 위험단면의 단면 2차모멘트를 식 (4.1-2)에 의해 구하여 그 평균치를 사용해야 한다. 균열의 영향을 고려한 지간 중앙단면의 강성은 주로 처짐에 의해 지배되기 때문에 연속부재에 대한 지간 중앙단면의 성질을 이용하면 이 규정은 만족할 만한 정확도를 얻을 수 있다.
- ⑥ 엄밀한 해석에 의하지 않는 한, 일반 및 경량콘크리트로 된 휨부재의 크리프 및 건조수축에 의해 생기는 추가적인 장기처짐은 해당 지속하중에 의해 발생한 순간처짐에 식 (4.1-4)에 의해 구한 계수를 곱하여 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (4.1-4)$$

여기서 ρ' 은 단순 및 연속지간에서는 지간 중앙단면, 그리고 캔틸레버에서는 지지부에서의 단면의 압축철근비이다. ξ 는 지속하중의 재하기간에 따라 달라지는 다음 값의 시간경과계수이다.

- 5년 이상 2.0
- 12 개월 1.4
- 6 개월 1.2
- 3 개월 1.0

(3) 궤도면에서의 부등변위량 검토

- ① 궤도면에서의 부등변위량 검토에서 열차하중은 동적 실열차하중 또는 표준열차하중 중 큰 변위를 발생시키는 하중으로 적용하고 이때 열차는 단선재하로 한다. 표준열차하중 재하시 충격은 필요에 따라 고려하여야 한다.
- ② 열차하중에 의한 궤도면의 허용부등변위량은 지진이 작용하지 않는 경우에는 표 4.1-3의 값 이하로 또한 지진이 작용하는 경우에는 표 4.1-4의 값 이하로 해야 한다.

표 4.1-3 열차를 지지하는 구조물의 레일수준에서의 허용부등변위량(상시)

변위의 방향	열차속도 (km/h)	평행처짐 (mm)	굴절각(θ) (1/1000 rad.)			
			평행이동각		꺾임각	
			Lb<30m	30m≤Lb	Lb<30m	30m≤Lb
연직	120	2	7.5	9	9	9
	150		5	6	6.5	7
	200		4.5	4	5.5	4.5
	250		3.5	3	4	3
	300 이상	1.5	3	2.5	3	2
수평	120	2	4	5.5	5	6
	150		3	3	3.5	4
	200		2.5	2	3	2.5
	250	1.5	2	1.5	2.5	2
	300 이상	1.0	1.5	1.0	2	1.5

표 4.1-4 열차를 지지하는 구조물의 레일수준에서의 허용부등변위량(지진 시)

변위의 방향	열차속도 (km/h)	평행처짐 (mm)	굴절각(θ) (1/1000 rad.)			
			평행이동각		꺾임각	
			Lb<30m	30m≤Lb	Lb<30m	30m≤Lb
연직	120	20	20	20	20	20
	150		18	16	20	18
	200	16	12	10	14	11
	250	11	8.5	7	9.5	7.5
	300 이상	6	5	4	5	4
수평	120	10	9	12	11	12
	150		6.5	7.5	8	9.5
	200		5.5	5	6.5	6
	250	6	5.5	4	5.5	4
	300 이상	3.3	2.5	2.2	3	2.2

- 주 1) 자갈도상궤도의 경우는 평행처짐에 대한 검토를 하지 않는다. 자갈도상궤도의 경우는 실제 발생하는 평행처짐량은 도상이 고체거동을 한다고 보고 해석한 결과보다 그 변형량이 최소 자갈두께의 5%까지 줄어들 수 있다.
- 2) 정적부등변위량도 고려한 것
- 3) 용어의 의미는 그림 4.1-1과 같다.

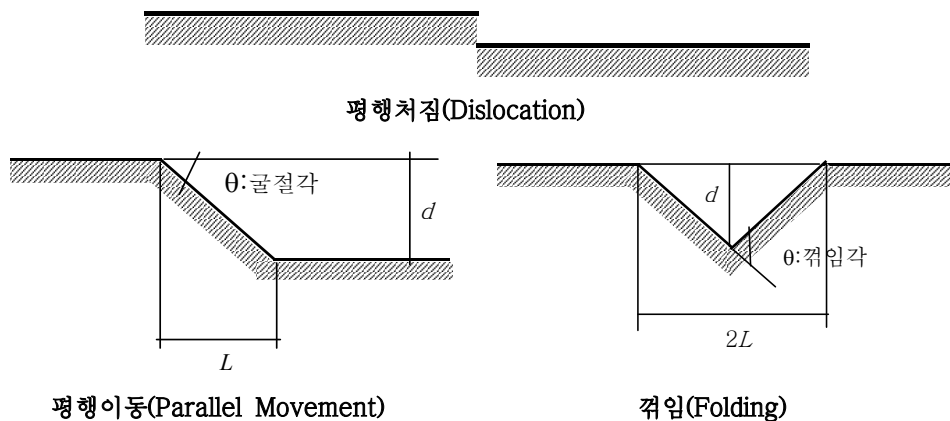


그림 4.1-1 평행처짐, 평행이동, 꺾임

③ 콘크리트도상을 적용하는 교량 구조물에서는 다음과 같이 구조의 거동형식별로 온도의 영향, 크리프, 건조수축, 릴렉세이션 등 시간에 따라 변화하는 변형의 총합에 대해서 반드시 검토하여야 한다.

가. 아치형식 및 케이블지지형식 교량: 계절별 온도 변화에 의한 변위 영향을 반드시 고려하여야 한다. 이 때 지역별 년 평균온도와 궤도설치 시의 온도차이의 영향을 고려하여 본 항 변위기준을 만족하여야 한다.

나. 콘크리트, PSC콘크리트 구조물: 온도, 크리프, 건조수축, 릴렉세이션 등에 의한 장기적인 변위 거동이 계속되는 구조물의 경우 전 구조물 생애기간동안 발생하는 전 발생 변위를 검토하여야 한다.

다. 케이블지지 구조 등 릴렉세이션 등의 장기적인 변위거동이 계속될 것으로 예상되는 구조물의 경우 전 구조물 생애기간동안 발생하는 전 발생변위를 검토하여야 한다.

- ④ 분기기 및 건널선이 있는 교량에서는 본 항 하중조합 표 4.1-1에 의한 처짐 변형의 합이 종곡선 곡률반경 6,000 m(블록구간) 이상과 10,000 m(오목구간) 이상을 확보하여야 한다.

4.1.5 내구성 설계

(1) 일반 사항

- ① 철도교량은 주어진 주변 환경조건하에서 목표내구수명 동안에 안전성, 사용성, 미관, 내구성을 갖도록 설계, 시공, 유지관리 되어야 한다.
- ② 설계 착수 전에 발주자와 설계자는 구조물의 목표내구수명과 환경조건을 결정해야 한다. 결정시에는 구조의 환경조건, 구조거동, 중요도, 유지관리방법 등을 고려하여 선정해야 한다.
- ③ 배수시설, 줄눈, 신축이음장치, 받침부, 난간 및 방호책, 부재연결부, 조명시설, 계측기 및 기타 부속물들은 구조의 수명보다 공용기간이 짧으므로 별도의 방법에 의하여 내구성이 검토되어야 한다.

(2) 강구조물 강재부재의 내구성 설계

- ① 강구조물의 부재에는 부식에 의한 기능상의 저하를 방지하기 위해 방청, 방식 대책을 세워야 한다.
- ② 강재의 방청, 방식법을 선정하기 위해서는 구조물 가설 지점의 환경, 부재 및 규모, 부재 형상 및 경제성 등을 종합적으로 고려해야 한다.
- ③ 강구조물 설계 시 방청, 방식법을 선정할 때는 세부구조의 형상 및 재료 조합 등을 고려해야 한다.

표 4.1-5 강구조물의 대표적인 방청방식법

구분	주된 방청방식원리	성능저하 형태	성능 상실시의 보수방법
도장	도막에 의한 대기환경 차단	도막의 열화	재도장
내후성 강재	치밀한 녹발생에 의한 부식억제	층상박리 녹의 발생과 이에 의한 단면 감소	도장
아연용융도금	아연화합물에 의한 보호 피막 및 아연에 의한 희생방식	아연층의 감소	용사 혹은 도장
금속용사	용사금속의 보호피막 및 용사금속에 의한 희생방식	용사금속층의 감소	용사 혹은 도장

(3) 콘크리트 구조물의 내구성 설계

① 설계 일반

- 가. 콘크리트 구조는 주어진 주변환경 조건에서 설계 공용기간 동안에 안전성, 사용성, 내구성, 미관을 갖도록 설계, 시공, 유지관리해야 한다.
- 나. 설계착수 전에 구조물 발주자와 설계자는 구조물의 중요도, 환경조건, 구조거동, 유지관리방법 등을 고려해야 한다.
- 다. 콘크리트 구조물의 손상이 우려되는 노출 환경에 시공될 경우, 내구수명을 확보할 수 있도록, 콘크리트 재료 및 설계기법을 선정해야 한다.
- 라. 설계사항이 내구수명을 확보하는지의 여부를 내구성 평가를 실시하여 확인해야 한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.
- 마. 내구성 검토 시 콘크리트 재료, 피복두께 등으로 내구수명을 만족하지 못할 경우, 표면 보호, 방식 성능을 갖는 재료 등을 비롯한 부가적인 방법으로 내구성능을 증진시키지 않으면 안 된다.

② 내구성 설계기준

- 가. 콘크리트 구조물의 손상이 우려되는 환경에 시공될 경우, 노출환경을 고려하여 본 항목에서 규정한 요구사항을 만족하는 콘크리트를 사용해야 한다.
- 나. 내구성을 고려한 설계를 위한 노출 환경의 구분
설계자는 콘크리트 구조물 부재가 건설되는 위치의 노출환경 정도를 고려해 설계해야 한다. 구조물 성능에 영향을 미치는 노출환경의 정도는 표 4.1-6을 참조한다.

표 4.1-6 구조물의 노출 환경 구분

노출환경	정도	구분	설명	
F (동결 융해 ¹⁾)	무시	F0	동결융해 사이클에 노출되어 있지 않음	
	보통	F1	동결융해 사이클에 노출되어 있고 때때로 수분에 접촉하고 있음 ²⁾	
	심함	F2	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있음 ²⁾	
	매우 심함	F3	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있으며, 동결방 지제에 노출되어 있음	
C (강제 부식)	무시	C0	기건 상태에 있거나 수분으로부터 차단되어 있음	
	보통	C1	수분에 노출되어 있으나 염화물 ³⁾ 에 노출되어 있지 않음	
	심함	C2	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해수중부, 해안선으로부터 250미터 이내 지역	
	매우 심함	C3	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해상의 간만대, 비말대	
S (황산염)			토양 중의 수용성 황산염(SO ₄) 농도(wt%)	수중에서의 황산염(SO ₄) 농도(ppm)
	무시	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	보통	S1	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500
	심함	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10,000
	매우 심함	S3	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10,000

주 1) 우리나라는 겨울철 평균기온이 대부분 영하로 내려가므로, 동결융해 사이클에 노출되어 있다고 볼 수 있다.
 주 2) 교각 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공 등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이러한 구조물 외에도 수면에
 서 떨어져 있지만 응설, 유수, 물방울 등의 영향을 받는 부분 등이 포함된다.
 주 3) 바닷물, 염화물계 동결방지제 등

다. 노출환경에 대한 콘크리트 요구사항

콘크리트 구조물이 내구성을 필요로 하는 위치에 놓일 경우, 표 4.1-7~표 4.1-9의 노출
 환경에 따른 요구사항을 만족시켜 설계해야 하고, 노출환경이 복합적일 경우, 안
 전적인 측면에서 보다 엄격한 기준을 만족시키도록 해야 한다.

표 4.1-7 강제부식 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소 설계기준강도(MPa)
C0	-	18
C1	-	18
C2	0.45	30
C3	0.40	35

표 4.1-8 동결융해 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경 구분	최대 물-결합재비	최소설계 기준강도 (MPa)	공기량(%)			사용결합재	
			최대 골재 치수 (mm)	F1	F2, F3	광물성 혼화재	최대 혼합량(%)
F0	-	18	-			-	
F1	0.45	30				-	
F2	0.45	30				-	
F3	0.45	30				-	
			10	6	7.5	플라이애시	25
			15	5.5	7	고로슬래그	50
			20	5	6	실리카폼	10
			25	4.5	6	플라이애시+ 고로슬래그+	50
			40	4.5	5.5	실리카폼 사용시	
						플라이애시+ 실리카폼 사용시	35

표 4.1-9 황산염 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경 구분	최대 물-결합재비	최소설계기준강도 (MPa)	사용결합재
S0	-	18	
S1	0.50	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란1) 플라이애시시멘트(KS L 5211) 중용열포틀랜드시멘트(2종)(KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)±포졸란2)

주 1) 1종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

주 2) 5종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

③ 내구성 평가

가. 일반사항

(가) 콘크리트 구조물의 내구성이 요구되는 경우, ②에 따라 콘크리트를 선정하여 설계를 실시하고, 시공 착수 전 시공계획 단계에서 목표 내구수명 동안 내구성을 확보하도록 내구성 평가를 실시한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.

(나) 내구성 평가는 염해, 탄산화, 동결융해, 황산염 손상을 포함하는 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 열화원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 열화 환경을 조사하여 이에 따라 열화원인별 내구성 평가 항목을 선정해야 한다.

- (다) 콘크리트 구조물이 복합열화가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우는 각각의 열화인자에 대하여 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 열화인자에 대한 내구성 평가결과를 적용해야 한다.
- (라) 콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 구조물을 특별한 유지관리 없이 일상적으로 유지관리할 때 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정한다. 시공될 콘크리트 구조물의 내구등급 결정은 구조물을 설계할 때 설정된 콘크리트 구조물의 목표 내구수명에 따라 정해야 한다. 구조물의 내구등급은 표 4.1-10에 따라 결정한다.

표 4.1-10 콘크리트 구조물의 목표내구수명에 따른 내구등급

구조물 내구등급	구조물의 내용	목표 내구수명
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물	100년
2등급	높은 내구성이 요구되는 구조물	65년
3등급	비교적 낮은 내구성이 요구되는 구조물	30년

나. 내구성 평가의 원칙

- (가) 시공될 콘크리트 구조물에 사용될 콘크리트에 대한 내구성 평가는 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 식 (4.1-5)에 따라 수행한다. 염해의 경우 염화물 이온농도, 탄산화의 경우 탄산화 깊이, 동해의 경우 상대동탄성계수 등과 같이 각 열화요인에 대해 내구성능 특성값과 내구성능 예측값을 비교하여 수행한다.

$$\gamma_p A_p \leq \phi_K A_K \quad (4.1-5)$$

여기서, γ_p : 콘크리트 구조물에 관한 환경계수

ϕ_K : 콘크리트 구조물에 관한 내구성 감소계수

A_p : 콘크리트 구조물의 내구성능 예측값

A_K : 콘크리트 구조물의 내구성능 특성값

- (나) 배합콘크리트의 내구성 평가는 식 (4.1-6)과 같이 콘크리트의 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 수행하고, 내구성 평가결과에 따라 사용재료 및 배합을 선택한다.

$$\gamma_p B_p \leq \phi_k B_k \quad (4.1-6)$$

여기서, γ_p : 콘크리트에 관한 환경계수

ϕ_k : 콘크리트에 관한 내구성 감소계수

B_p : 콘크리트의 내구성능 예측값

B_k : 콘크리트의 내구성능 특성값

(다) 환경계수는 시공될 콘크리트 구조물과 콘크리트 재료의 열화 환경조건에 대한 안전율로서 적용하고, 내구성 감소계수는 내구성능 특성값 및 내구성능 예측값의 정밀도에 대한 안전율로서 적용한다. 각 열화별로 설정된 환경계수, 내구성 감소계수, 안전율은 표 4.1-11과 같다.

표 4.1-11 각 열화별 환경계수, 내구성 감소계수와 안전율의 설정

열화	콘크리트 구조물			콘크리트		
	γ_P (환경계수)	ϕ_K (내구성 감소계수)	α (안전율)	γ_P (환경계수)	ϕ_K (내구성감소계수)	α (안전율)
염해	1.11	0.86	1.3	1.11	0.86	1.3
탄산화	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
동결융해	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25
화학적침식	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
알칼리골재반응	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2

다. 내구성 평가의 실시

(가) 내구성 평가는 구조물 성능에 영향을 미치는 환경 영향 중 필요한 인자에 대해서 실시한다.

(나) 평가 방법은 KDS 14 20 40(부록)을 참조하도록 한다.

라. 내구성 평가 결과의 반영

(가) 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 실시한 후, 구조물 설계 내용이 내구수명을 확보하지 못하였을 경우, 설계 내용을 변경해 재검토하여 내구수명을 확보할 수 있도록 한다.

(나) 이 때 1차적으로는 콘크리트 재료, 피복두께 등의 변경을 우선적으로 실시하고, 이를 만족하지 못할 경우, 표면 보호, 비부식성 보강재 등의 부가적인 대책의 실시를 검토해야 한다.

4.2 운행을 위한 한계조건

4.2.1 주행안전성 및 승차감 검토 일반

- (1) 이 규정은 고속·일반 철도 모두를 포함하는 철도교량의 주행열차하중에 대한 주행안전성, 승차감 및 교량의 동적안전성 확보를 위한 것이다.
- (2) 설계속도 200 km/h 이상인 고속철도 교량은 일정간격의 연행하중 작용에 의한 공진위험 등이 항상 존재하므로 모든 교량에 대하여 이 규정에 의한 동적거동 검토를 필수적으로 수행한다.
- (3) 설계속도 200 km/h 이하의 일반철도 교량에 대해서는 교량의 첫 번째 휨 고유진동수가 3.0

Hz 이하일 경우에는 동적거동에 대한 검토를 수행한다.

- ① 단, 이는 KTX, 새마을열차, 무궁화열차, 티핑열차가 최대운행속도 200 km/h 이하로 운행할 경우와 화물열차가 최대운행속도 150 km/h 이하로 운행할 경우에 해당된다. 이 이상의 속도로 운행되거나 위에 서술한 열차 외에 상이한 차량 중심간 간격을 갖는 열차가 운행될 경우에는 동적해석에 의한 검토를 수행한다.
- ② 우선 4.2.2(2)에 따라 공진이 발생하는 임계속도를 계산하여 설계속도 내에서 해당 노선 운행 열차에 대하여 공진발생 가능성이 있으면 이 규정에 의한 동적거동 검토를 수행한다.
- (4) 실 운행열차하중에 의한 동적거동은 속도별 최대응답을 검토하며, 검토항목은 상판의 연직 가속도, 교량의 연직처짐, 상판의 면틀림이다. 검토 및 모델링 방법은 4.2.2를 따르며, 각 항목의 검토기준은 4.2.3을 따른다.
- (5) 연직처짐과 면틀림의 경우엔 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선 재하에 의한 응답과 실 운행열차에 의한 동적응답을 비교하여 불리한 측을 설계에 적용한다.

4.2.2 주행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법

본 기준에서는 설계자의 해석 절차 및 방법에 따른 검토 상의 오류 및 차이를 방지하기 위해 다음과 같이 주행열차하중에 대한 동적해석 절차 및 방법을 정의한다.

- (1) 철도 교량의 주행열차하중에 대한 동적해석은 시간이력해석 혹은 모드중첩법에 의한 동적해석을 적용한다. 시간간격은 작아야(절점과 절점사이 3회 이상 각 축이 재하될 수 있도록) 하며, 동적해석은 교량 시점부터 출발하여 열차가 교량을 완전히 통과할 때까지 시간간격별로 수행되어야 한다.
- (2) 동적해석은 설계속도의 1.1배까지 10 km/h 간격으로 수행한다. 주행열차하중에 대한 동적해석 전에 자유진동해석을 수행하여 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고 이 속도에 대한 해석도 반드시 포함하여 수행해야 한다. 임계속도 산정은 식 (4.2-1)과 같다.

$$V_{cr} = \omega_1 \times S_{eff} \tag{4.2-1}$$

여기서, ω_1 은 교량의 첫번째 휨 고유진동수이며, S_{eff} 는 열차의 지배적 타격간격(궤차 간 중심간격)으로 표 4.2-1과 같다.

표 4.2-1 국내 운행열차의 유효타격간격

	유효타격간격
새마을호, 무궁화호, 티핑열차	23.50m
화물열차 (유조차)	13.95m
KTX, KTX 산천	18.70m

- (3) 대상열차하중은 해당 노선의 실제 운행열차에 대해 수행하며 하중크기 및 축간격을 실 운행 열차와 동일하게 적용한다.
- (4) 열차하중의 모델링은 연행이동집중하중으로 적용한다. 정밀해석이 필요한 경우 교량-열차 상호작용 고려가 가능한 다차원 열차 수치모델을 사용할 수 있으며 이 경우 해석 프로그램에 대한 신뢰성이 입증되어야 하며 이동집중하중에 의한 해석과 동시에 수행하여 비교해야 한다.
- (5) 교량의 모델링은 연속교의 경우 전체 경간 구성을 모델링하며, 단순교가 병행 구성될 경우 단순교 1개에 대해서만 해석을 수행하며 지간이 상이한 단순교에 대해서는 모두 검토를 수행한다.
- (6) 교량의 모델링은 그림 4.2-3에서 도시된 가속도 제한값을 검토하는 위치에서 직접적인 응답을 얻을 수 있으며 교량 단면내에서 변형이 고려될 수 있도록 공간 뼈대요소 이상의 모델링 요소를 적용하여야 하며, 교량의 모델링에 사용되는 재료 및 단면특성치는 정적설계에서 적용한 값을 사용한다.
- (7) 탄성받침을 교량받침 장치로 사용할 경우 강성이 무한대인 지점처리를 해서는 안 되며, 스프링요소 등을 사용하여 해당 탄성받침의 강성을 적용하여 해석해야 한다.
- (8) 동적해석 시 자중 및 궤도구조의 질량 등 2차 고정하중을 포함한 모든 부재의 질량이 고려되어야 한다.
- (9) 동적해석 시 하중재하는 단선, 복선교량에 관계없이 그림 4.2-1과 같이 단선재하로 하되 교량에서의 편심효과가 고려될 수 있도록 재하한다.

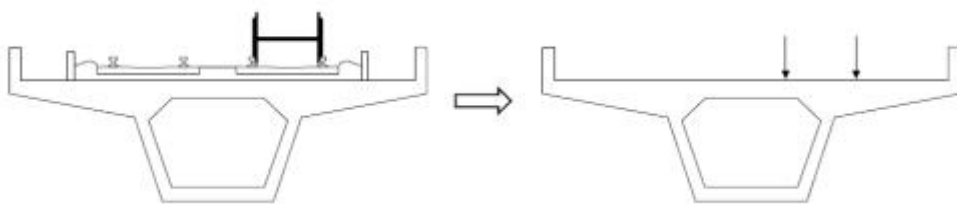


그림 4.2.1 하중재하 위치와 하중 모델링

- (10) 도상에 의한 하중의 분포효과를 고려하여 그림 4.2-2와 같이 모델링 할 수 있다.

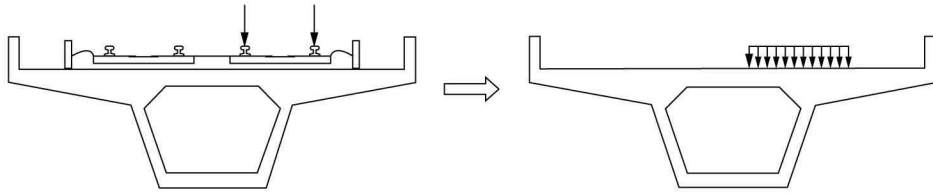


그림 4.2.2 도상의 하중 분포효과를 고려한 모델링

(11) 교량형식 별 감쇠비 적용은 표 4.2-2를 따른다. 표 4.2-2의 감쇠비는 각 형식별 감쇠비의 상한값이며, 이 이하의 값을 적용해야 한다. 단, 실험 등에 의한 정밀 분석 자료가 있을 경우 조정된 감쇠비를 적용할 수 있다.

표 4.2-2 구조형식별 감쇠비

교량형식	감쇠비(%)	
	경간<20 m	경간≥20 m
강구조(강판형교)	0.5+0.125(20-L)	0.5
강합성구조, PSC 구조	1.0+0.07(20-L)	1.0
철근콘크리트	1.5+0.07(20-L)	1.5

(12) 차량을 연행하는 이동하중으로 모델링하는 경우에는 표 4.2-2의 교량 구조형식별 감쇠비에 식 (4.2-2)의 열차별 추가감쇠비를 적용하여 동적응답을 산정할 수 있다.

$$\xi_{total} = \xi + \Delta\xi \tag{4.2-2}$$

여기서, ξ_{total} : 동적해석에 적용되는 감쇠비

ξ : 표 4.2-2의 교량형식별 감쇠비

$\Delta\xi$: 열차별 추가감쇠비로서 KTX(또는 유사한 하중 형식) 및 HEMU 차량에 대해서는 각각 식 (4.2-3), 식 (4.2-4)로 구한다.

① KTX의 경우

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.38, & \text{for } 15 \leq L \leq 30 \text{ m} \\ -0.024L + 1.12, & \text{for } 30 \leq L \leq 45 \text{ m} \end{cases} \tag{4.2-3}$$

② HEMU의 경우

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.2, & \text{for } 8 \leq L \leq 25 \text{ m} \\ -0.042L + 1.5, & \text{for } 25 \leq L \leq 35 \text{ m} \end{cases} \tag{4.2-4}$$

4.2.3 주행안전성 및 승차감 검토 기준

철도교량의 주행열차하중에 대한 주행안전성은 교량의 연직가속도, 연직처짐 및 면틀림에 대한 검토를 수행하며, 승차감(진동사용성)에 대한 검토로서 연직처짐에 대한 검토를 수행한다.

(1) 교량 상판의 연직가속도

- ① 동적 구조해석 및 현장계측시 주행열차하중에 의해 발생하는 철도교량 상판의 최대 연직 가속도 ②, ③에 따라 검토해야 하며, 그 결과 최대 연직가속도는 다음 값을 초과해서는 안 된다.
 - 가. 자갈도상 : 0.35 g
 - 나. 콘크리트도상 : 0.50 g
- ② 상기의 최대 연직가속도는 설계를 위한 해석 및 현장계측을 통한 안정성 검토에 모두 적용하며, 이때 고려하여야 할 진동수의 상한치는 다음 중 최댓값으로 한다.
 - 가. 30Hz
 - 나. 고유진동수의 1.5배
 - 다. 3번째 진동모드
- ③ 하중재하 방법 및 해석방법은 4.2.2를 따르며, 그림 4.2-3과 같이 자갈도상의 경우에는 도상이 설치된 부분에 해당되는 교량상판 범위에, 콘크리트 도상의 경우에는 레일이 위치한 교량의 상판지점에서 검토하여야 한다.

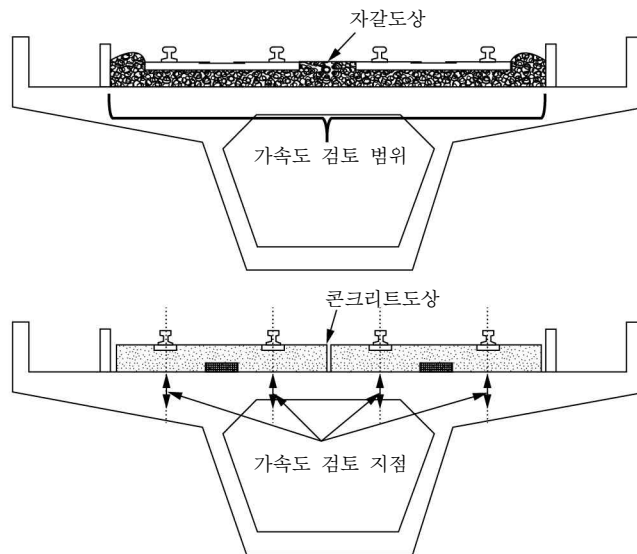


그림 4.2.3 가속도의 검토 범위 및 위치

(2) 교량의 연직처짐

- ① 열차하중에 의한 연직처짐 검토의 하중조합은 주행안전성 및 승차감 평가에 대해 각각 표 4.2-3과 같이 적용한다.

표 4.2-3 연직처짐 검토를 위한 하중조합

주행안전성	표준열차하중+충격계수(복선 이상 제하)
승차감	1. 표준열차하중+충격계수(단선제하) 2. 실 열차하중 속도별 동적해석(단선제하) 승차감에 대한 연직변위는 1과 2중 불리한 값을 적용한다.

- ② 주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 식 (4.2-2)의 값으로 제한해야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600} \quad (4.2-2)$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐, L : 지간

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하계도수는 표 4.2-4를 따른다.

표 4.2-4 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중 재하계도수

계도수		
1	2	3 이상
1	1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하)	1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하)

- ③ 승객의 승차감 만족을 위한 실 운행열차하중 동적해석에 의한 최대 연직처짐은 표 4.2-5의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최대값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최대값 중 불리한 값을 적용한다.

표 4.2-5 최대연직처짐 제한(승차감= '매우양호')

설계속도 (V)(km/h)	거더 또는 부재의 경간 (m)										
	0~25	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
270<V≤350	L /1500	L /1500	L /1600	L /1750	L /1900	L /2100	L /2200	L /2350	L /2500	L /2200	L /1900
200<V≤270	L /1300	L /1400	L /1500	L /1600	L /1700	L /1900	L /2000	L /2100	L /2000	L /1700	L /1400
V≤200	L /1100	L /1200	L /1300	L /1500	L /1500	L /1400	L /1300	L /1200	L /1100	L /800	L /600

- ④ 하중재하 방법 및 해석방법은 4.2.2를 따르며 계산위치는 교량 전체에 대한 응답을 검토 후 최대값을 결정한다. 표 4.2-5는 경간 120 m까지 유효하며, 이 이상의 장대교량은 탈선에 대한 주행안전성 및 승객 승차감에 대해 교량-열차 상호작용해석을 통한 객차 내 연직 가속도 평가 등 세밀한 평가를 수행한다.

- ⑤ 주행안전성에 대한 연직처짐과 승차감 검토를 위한 연직처짐, 두 가지 모두에 대한 검토를 수행한다.

(3) 면틀림

- ① 면틀림은 차륜과 레일의 접촉에 대한 안전을 확보하여 탈선 위험을 최소화하기 위한 것으로 교량의 교축직각방향 회전에 의한 캔트 변화(비틀림 각변화) 제한규정이다. 면틀림에 대한 규정은 1개 대차에 존재하는 4개 차륜이 같은 평면에서 벗어나지 않도록 제한하기 위

한 것이다.

- ② 면틀림은 그림 4.2-4에서와 같이 3 m 떨어진 두 지점에서의 양쪽레일에 대한 캔트의 변화량(mm/궤도 1 m)을 의미한다.

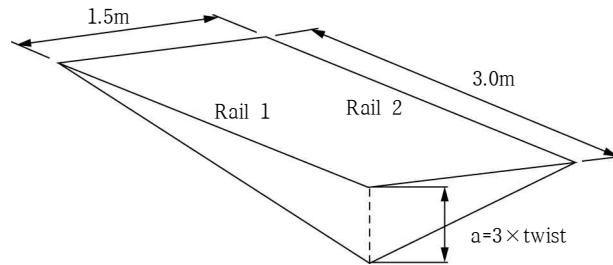


그림 4.2.4 면틀림의 정의

- ③ 상판 면틀림은 표 4.2-6 규정을 따른다. 면틀림 검토를 위해 표준열차하중 재하 시는 표 4.2-3, 표 4.2-4를 따라 재하하며, 실 운행열차 동적해석은 4.2.2의 규정대로 단선재하하여 동적해석을 수행한다. 교량 종방향 레일부를 따라 검토하며, 임의의 속도에서의 최대값 발생위치를 파악한 후 그 위치에서의 각 속도별 최대값을 산출하여 검토한다.
- ④ 충격계수를 고려한 표준열차하중에 의한 것과 실 열차하중에 의한 동적해석 결과 중 불리한 값을 적용한다.

표 4.2-6 면틀림 기준

설계속도(V) (km/h)		면틀림 (mm/m)	3 m 기준 면틀림 변화량
표준열차하중 재하	$V \leq 200$	1.0	3.0 mm/3 m
	$200 < V$	0.5	1.5 mm/3 m
실 운행열차 동적해석		0.4	1.2 mm/3 m

4.2.4 궤도/교량 종방향 상호작용력 검토

- (1) 구조물 신축-레일신축과 관련한 구조물-레일-운도의 상호작용으로 인한 레일에서의 과도한 압축응력과 인장응력의 발생을 막기 위해서는 궤도, 체결구, 상부구조의 축강성 및 휨강성, 하부구조의 강성, 기초의 회전과 수평이동이 고려되는 상세해석에 의하여 장대레일 안정성이 확인되어야 한다.
- (2) 장대레일 안정성 상세 검토방법은 철도설계지침 3.2 궤도-교량 종방향 상호작용 해석(2011년)을 따른다.
- (3) 콘크리트궤도에서 교량의 변위발생에 따른 체결구의 압상(Uplift) 및 압축에 대한 안정성 검토는 철도설계지침 3.3 콘크리트궤도 교량 단부궤도 사용성 검토(2011년)를 따른다.

집필위원	분야	성명	소속	직급
	총괄	길홍배	한국도로공사	수석연구원
	기타시설	김영진	한국건설기술연구원	선임연구원
	내진설계	김태훈	삼성물산	부장
	총괄	김호경	서울대학교	교수
	하중	박원석	목포대학교	교수
	하부구조	박재현	한국건설기술연구원	연구원
	총괄	백인열	가천대학교	교수
	총괄	손윤기	엔비코건설턴트	전무
	강교	신동구	명지대학교	교수
	총괄	이지훈	서영엔지니어링	전무
	총괄	조경식	디엠엔지니어링	부사장
	콘크리트교	조재열	서울대학교	교수
	총괄	하동호	건국대학교	교수
	하중	황의승	경희대학교	교수

자문위원	분야	성명	소속
	총괄	고현무	서울대학교
	하중	권순덕	전남대학교
	콘크리트교	김병석	한국건설기술연구원
	하중	김우종	디엠엔지니어링
	총괄	박찬민	코비코리아
	총괄	서석구	서영엔지니어링
	총괄	이상호	연세대학교
	내진설계	이재훈	영남대학교
	하중	이해성	서울대학교
	강교	최동호	한양대학교

건설기준위원회	분야	성명	소속
	교량	김성일	한국철도기술연구원
	교량	김지상	서경대학교
	교량	홍현석	평화엔지니어링
	교량	최석환	국민대학교
	교량	배두병	국민대학교
	교량	정상삼	연세대학교

중앙건설기술심의위원회	성명	소속
	이상민	비엔티엔지니어링(주)
	이희엽	한국철도기술연구원
	이상희	(주)이디시엠
	박성운	대림산업
	노성열	동부엔지니어링
	박구병	한국시설안전공단
	김태진	창민우구조건설티트

국토교통부	성명	소속	직책
	김인	국토교통부 간선도로과	과장
	고용석	국토교통부 철도건설과	과장
	최규용	국토교통부 간선도로과	사무관
	임승규	국토교통부 철도건설과	사무관

설계기준
KDS 24 10 10 : 2016

교량설계 일반사항(일반설계법)

2016년 6월 30일 발행

국토교통부

관련단체 한국철도시설공단
34618 대전광역시 동구 중앙로 242 한국철도시설공단
☎ 1588-7270
<http://www.kr.or.kr>

(작성기관) 한국교량및구조공학회
08826 서울시 관악구 관악로1 서울대학교 316동 410호 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>