

KR C-08070

Rev.1, ? January 2014

주행안전성 및 승차감 검토

2014. 1. ?



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 주행안전성 및 승차감 검토 일반	1
3. 주행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법	2
4. 주행안전성 및 승차감 검토기준	4
4.1 교량 상판의 연직가속도	4
4.2 교량의 연직처짐	5
4.3 먼틀림	6
RECORD HISTORY	8

1. 용어의 정의

- (1) 가속도계수(Acceleration Coefficient) : 내진설계에 있어 설계지진력을 산정하기 위한 계수로서 지진구역과 재현주기에 따라 그 값이 다르다
- (2) 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
- (3) 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
- (4) 계수하중(Factored Load) : 강도설계법으로 부재를 설계할 때 사용하는 하중으로서, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중
- (5) 사용하중(Service Load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것이며, 작용하중이라고도 함
- (6) 설계강도(Design Strength) : 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 강도
- (7) 설계기준강도(Specific Compressive Strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준으로 함
- (8) 슬랙(Slack) : 곡선선로에서 차량의 원활한 운행을 위하여 외측레일을 기준으로 내측레일을 넓혀준 것
- (9) 실제 열차하중 : 동적해석에 사용되는 실제 열차의 차축하중을 모델로 만든 하중
- (10) 충격계수 : 정적설계시 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수. 열차 또는 차량의 주행에 의해 구조물에 발생하는 정적응답에 대한 동적응답의 증가비율을 나타냄
- (11) 캔트 : 곡선 선로에서 열차의 원심력에 대항하여 차량의 안전을 도모하기 위해 내측레일을 기준으로 외측레일을 높게 하는데 이 때의 고저차
- (12) 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

2. 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 200km/h 이상인 고속철도 교량은 일정간격의 연행하중 작용에 의한 공진위험 등이 항상 존재하므로 모든 교량에 대하여 이 규정에 의한 동적거동 검토를 필수적으로 수행한다.



- (3) 설계속도 200km/h 이하의 일반철도 교량에 대해서는 교량의 첫 번째 휨 고유진동수가 3.0Hz 이하일 경우에는 동적거동에 대한 검토를 수행한다. 단, 이는 KTX, 새마을열차, 무궁화열차, 티팅열차가 최대운행속도 200km/h 이하로 운행할 경우와 화물열차가 최대운행속도 150km/h 이하로 운행할 경우에 해당된다. 이 이상의 속도로 운행되거나 위에 서술한 열차 외에 상이한 차량 중심간 간격을 갖는 열차가 운행될 경우에는 동적 해석에 의한 검토를 수행한다. 우선 「3. (2)항」에 따라 공진이 발생하는 임계속도를 계산하여 설계속도 내에서 해당 노선 운행열차에 대하여 공진발생 가능성이 있으면 이 규정에 의한 동적거동 검토를 수행한다.
- (4) 실 운행열차하중에 의한 동적거동은 속도별 최대응답을 검토하며, 검토항목은 상판의 연직가속도, 교량의 연직처짐, 상판의 면틀림이다. 검토 및 모델링 방법은 「3. 주행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법」을 따르며, 각 항목의 검토기준은 「4. 주행안전성 및 승차감 검토 기준」을 따른다.
- (5) 연직처짐과 면틀림의 경우엔 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선 재하에 의한 응답과 실 운행열차에 의한 동적응답을 비교하여 불리한 측을 설계에 적용한다.

3. 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 10km/h 간격으로 수행한다. 주행열차하중에 대한 동적 해석 전에 자유진동해석을 수행하여 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고 이 속도에 대한 해석도 반드시 포함하여 수행해야 한다. 임계속도 산정은 <식 (1)>과 같다.

$$V_{cr} = \omega_1 \times S_{eff} \quad (1)$$

여기서, ω_1 은 교량의 첫번째 휨 고유진동수이며, S_{eff} 는 열차의 지배적타격간격(객차 간 중심간격)으로 <표 1>과 같다.

표 1. 국내 운행열차의 유효타격간격

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

- (3) 대상열차하중은 해당 노선의 실제 운행열차에 대해 수행하며 하중크기 및 축간격을 실 운행열차와 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 3>에서 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 1>과 같이 궤도 중심에 따른 단선재하로 하되 교량에서의 편심효과가 고려될 수 있도록 재하한다..

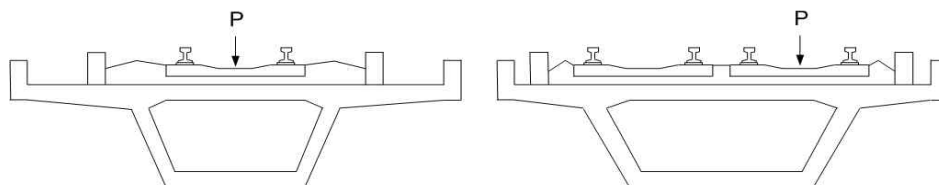


그림 1. 하중의 재하위치와 하중 모델링

- (10) 도상에 의한 하중의 분포효과를 고려하여 <그림 2>와 같이 모델링할 수 있다.

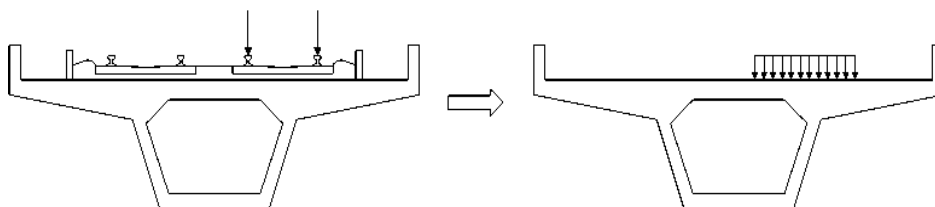


그림 2. 도상의 하중 분포효과를 고려한 모델링

- (11) 교량형식 별 감쇠비 적용은 <표 2>를 따른다. <표 2>의 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 2. 구조형식별 감쇠비

교량형식	감쇠비(%)	
	경간 < 20m	경간 ≥ 20m
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 2>의 교량 구조형식별 감쇠비에 <식 (2)>의 열차별 추가감쇠비를 적용하여 동적응답을 산정할 수 있다.

$$\xi_{total} = \xi + \Delta\xi \quad (2)$$

여기서,

ξ_{total} : 동적해석에 적용되는 감쇠비

ξ : 표 8.6.2의 교량형식별 감쇠비

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

- KTX의 경우

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

- HEMU의 경우

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

4. 주행안전성 및 승차감 검토 기준

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

4.1 교량 상판의 연직가속도

(1) 동적 구조해석 및 현장계측시 주행열차하중에 의해 발생하는 철도교량 상판의 최대 연직가속도는 (2), (3)항에 따라 검토해야 하며, 그 결과 최대 연직가속도는 다음 값을 초과해서는 안 된다.

자갈레도 : 0.35g

콘크리트레도 : 0.50g

(2) 상기의 최대 연직가속도는 설계를 위한 해석 및 현장계측을 통한 안정성 검토에 모두 적용하며, 이때 고려하여야 할 진동수의 상한치는 다음 중 최대값으로 한다.

i) 30Hz

ii) 고유진동수의 1.5배

iii) 3번째 진동모드

- (3) 하중재하 방법 및 해석방법은 「3항」을 따르며, <그림 3>과 같이 자갈도상의 경우에는 도상이 설치된 부분에 해당되는 교량상판 범위에, 콘크리트 도상의 경우에는 레일이 위치한 교량의 상판지점에서 검토하여야 한다.

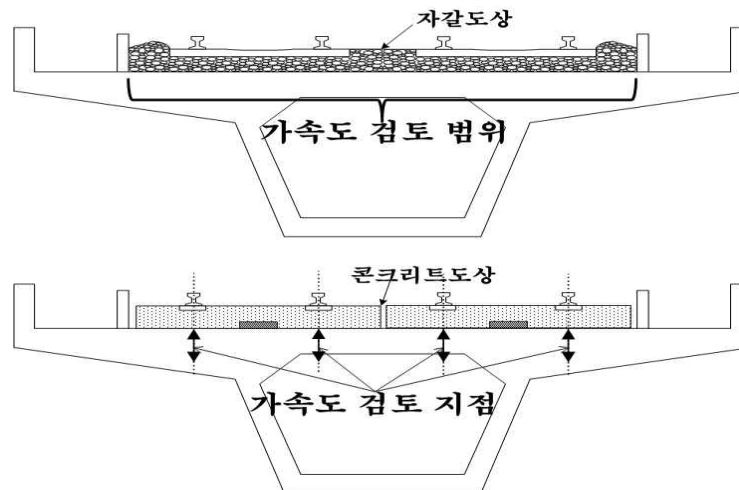


그림 3. 가속도의 검토 범위 및 위치

4.2 교량의 연직처짐

- (1) 열차하중에 의한 연직처짐 검토의 하중조합은 주행안전성 및 승차감 평가에 대해 각각 <표 3>과 같이 적용한다.

표 3. 연직처짐 검토를 위한 하중조합

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

- (2) 주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 <식 (5)>의 값으로 제한해야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600} \quad (5)$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐, L : 지간

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하계도수는 <표 4>를 따른다.



표 4. 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중 재하궤도수

궤도수		
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 5>의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최대값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최대값 중 불리한 값을 적용한다.

표 5. 최대연직처짐 제한(승차감='매우양호')

설계속도 (V)(km/h)	거더 또는 부재의 경간(m)										
	0~20	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
$270 < V \leq 350$	L /1500	L /1500	L /1600	L /1750	L /1900	L /2100	L /2200	L /2350	L /2500	L /2200	L /1900
$200 < V \leq 270$	L /1300	L /1400	L /1500	L /1600	L /1700	L /1900	L /2000	L /2100	L /2000	L /1700	L /1400
$V \leq 200$	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 「3항」을 따르며 계산위치는 교량 전체에 대한 응답을 검토 후 최대값을 결정한다. <표 5>는 경간 120m까지 유효하며, 이 이상의 장대교량은 탈선에 대한 주행안전성 및 승객 승차감에 대해 교량-열차 상호작용해석을 통한 객차 내 연직가속도 평가 등 세밀한 평가를 수행한다.
- (5) 주행안전성에 대한 연직처짐과 승차감 검토를 위한 연직처짐, 두 가지 모두에 대한 검토를 수행한다.

4.3 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 위한 것이다.
- (2) 면틀림은 <그림 4>에서와 같이 3m떨어진 두 지점에서의 양쪽레일에 대한 캔트의 변화량(mm/궤도1m)을 의미한다.

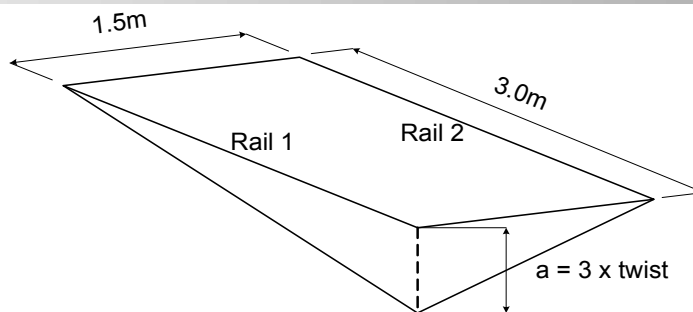


그림 4. 면틀림의 정의

- (3) 상판 면틀림은 <표 6> 규정을 따른다. 면틀림 검토를 위해 표준열차하중 재하 시는 <표 3>, <표 4>를 따라 재하하며, 실 운행열차 동적해석은 「3항」의 규정대로 단선 재하하여 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 6. 면틀림 기준

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



RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('14.1.?) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영