

KR C-08080

Rev.1, 2. January 2014

# 궤도-교량 종방향 상호작용 해석

2014. 1. 2



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. 목적 및 범위 .....	2
3. 궤도-구조물 상호작용에 미치는 영향요소 .....	2
3.1 궤도 .....	2
3.2 교량 .....	3
4. 설계하중 .....	7
4.1 온도하중 .....	7
4.2 시 · 제동하중 .....	7
4.3 열차 수직하중 .....	8
4.4 하중조합 .....	9
5. 설계기준 .....	9
5.1 자갈궤도 .....	9
5.2 콘크리트 궤도 .....	13
6. 궤도-교량 상호작용 해석방법 .....	14
6.1 모형화(Modelling) 시 고려사항 .....	14
6.2 궤도-교량 상호작용 평가절차 .....	16
RECORD HISTORY .....	17

## 1. 용어의 정의

이 장에서 쓰이는 용어의 의미는 다음과 같다.

- (1) 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
- (2) 공칭강도(Nominal Strength) : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며 강도감소계수를 적용하기 이전의 강도
- (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) 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
- (6) 구조물 온도 신축길이 : 구조물의 온도 고정점 간의 길이. 여기서 온도 고정점이란 온도 변화에도 구조물의 종방향 변위가 생기지 않는 점을 말하며, 양쪽 교대 사이에 설치되는 구조물의 경우에는 교대의 받침 중심점으로부터 온도 고정점까지의 거리
- (7) 궤도-구조물간 종방향 상호작용 : 장대레일과 교량 구조물과의 결합과 그 상호작용에 의한 장대레일의 파단, 좌굴과 관련된 궤도 종방향력 문제와 변형문제를 야기시키는 작용
- (8) 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
- (9) 부가 궤도 종방향응력 : 교량의 존재에 의해 부가적으로 발생하는 온도, 시동, 제동하중, 교량 바닥판의 휨 등에 의한 부가적인 응력
- (10) 사용하중(Service Load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것이며, 작용하중이라고도 함
- (11) 설계강도(Design Strength) : 공칭강도에 강도감소계수( $\phi$ )를 곱한 강도
- (12) 설계기준강도(Specific Compressive Strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준으로 함
- (13) 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



- (14) 순경간(Clear Span) : 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 전면간의 거리
- (15) 슬랙(Slack) : 곡선선로에서 차량의 원활한 운행을 위하여 외측레일을 기준으로 내측 레일을 넓혀준 것
- (16) 주하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭
- (17) 주행안전성 검토 : 고속열차의 동적 안정성 등을 포함하는 열차의 안전확보를 위한 최소 요구조건에 대한 검토
- (18) 캔트 : 곡선 선로에서 열차의 원심력에 대항하여 차량의 안전을 도모하기 위해 내측 레일을 기준으로 외측레일을 높게 하는데 이 때의 고저 차
- (19) 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
- (20) 허용응력(Allowable Stress) : 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것
- (21) 유효강성 : 지진격리시스템이 최대수평변위를 일으키는 순간의 수평력을 최대수평변위로 나눈 값

## 2. 목적 및 범위

궤도-교량 종방향 상호작용 검토는 철도 구조물 상에 장대레일을 부설할 경우 레일의 장출 및 파단을 방지하고 궤도의 유지관리를 용이하게 하기 위하여 궤도 및 구조물 설계시 고려해야 할 궤도의 극한 한계상태와 교량의 사용성 한계상태를 정하는 것을 기본 목적으로 한다. 또한 장대레일 축력 안정성 평가시 궤도-구조물 상호작용 해석방법에 대한 기본 기술요건을 제시하여 해석결과의 정확성을 높이고 해석과정을 정형화함으로써 평가방법의 통일성을 기하도록 하고자 한다.

여기에서 정하는 기준은 일반철도와 고속철도에서 자갈궤도와 콘크리트궤도를 적용한 구간에 모두 적용한다.

## 3. 궤도-구조물 상호작용에 미치는 영향요소

### 3.1 궤도

#### 3.1.1 궤도 종저항력

- (1) 궤도-교량 상호작용해석에 있어서 궤도 종방향 하중-변위선도는 <그림 1>과 같이 쌍일차 모형(Bilinear Model)으로 모형화할 수 있다.
  - ① 쌍일차 모형에서 한계변위 궤도 종저항력의 특성을 결정짓는 중요한 변수는 한계변위  $u_o$ 와 궤도 종저항력  $F_0$ 는 <표 1> 및 <그림 1>의 값을 사용하되 궤도 및 하중

조건이 특별히 다르다고 판단되는 경우 공단의 승인을 얻어 별도의 값을 사용할 수 있다.

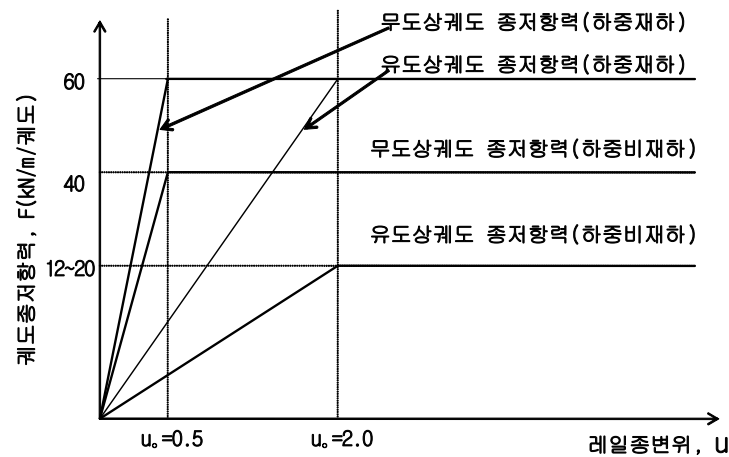


그림 1. 궤도유형 및 열차하중 재하상태별 하중-변위선도

표 1. 궤도유형 및 하중재하상태별 궤도 종저항력

궤도유형	구분	한계변위 $u_o$ (mm)	종저항력(궤도당) $q$ (kN/m)	비고
자갈궤도	하중비재하 시 (Unloaded Case)	2.0	12.0~20.0	※ 참조 1
	하중재하 시 (Loaded Case)	2.0	60.0	
콘크리트궤도또는 결빙된 자갈궤도	하중비재하시 (Unloaded Case)	0.5	40.0	※ 참조 2
	하중재하 시 (Loaded Case)	0.5	60.0	

※ 참조1 : 레일응력을 검토하고자 할 경우 20.0kN/m를 적용하고 구조물 변위를 검토하고자 할 경우 12.0kN/m를 적용한다.

※ 참조2 : 체결구 종저항력 시험을 거쳐 별도의 특정한 종저항력 값을 갖는 것이 입증된 경우에는 시험결과로부터 정한 값을 사용할 수 있다.

## (2) 레일제원 및 물성

부설하고자 하는 레일 종류에 맞는 단면을 적용하고 탄성계수는  $2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ , 열팽창계수는  $1.2 \times 10^{-5}$ , 포아송비는 0.3을 기본적으로 적용하되, 레일물성이 UIC 및 KS에서 정한 규정과 다른 경우에는 별도의 값을 적용할 수 있다.

## 3.2 교량

### 3.2.1 교량의 정적 배열



- (1) 교량의 정적 배열은 교량을 구성하는 경간 수, 경간당 교량받침 수, 고정 및 이동단의 위치, 경간길이, 고정지점간 거리, 레일신축이음매 위치 등으로 구성되며, 상기 각 요소는 궤도-교량상호작용에 영향을 미치는 중요요소로서 궤도-교량 상호작용해석에 있어서 반드시 고려해야 한다.
- (2) 고정지점간 거리는 구조물의 열팽창 중심점(열팽창 시 움직이지 않은 지점)간 거리로서 고정지점간 거리  $L$ 은 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다.

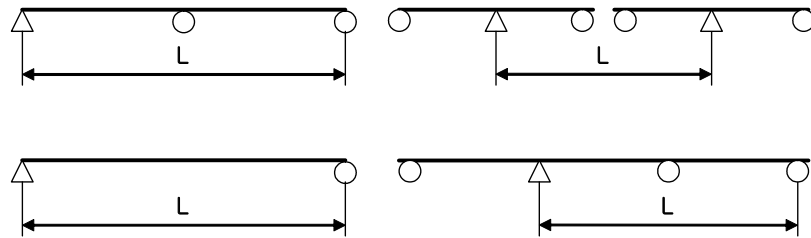


그림 2. 교량받침 배치별 고정지점간 거리

## ② 수평 지지스프링계수

- 가. 교량받침 상부에서 단위 종방향 변위에 대한 반작용력을 수평지지계수라 정의할 때 교량받침 종방향 스프링계수, 교각의 휨강성, 기초의 수평 및 회전강성 등이 수평지지계수 중요 기여 요소로서 궤도-교량 상호작용 해석 시 이들 영향을 고려하여야 하며, <그림 3>과 같이 모형화할 수 있다.
- 나. 다만 하부구조의 영향을 직접 상부구조에 적용할 경우 등가스프링 강성은 다음 식을 적용할 수 있다.

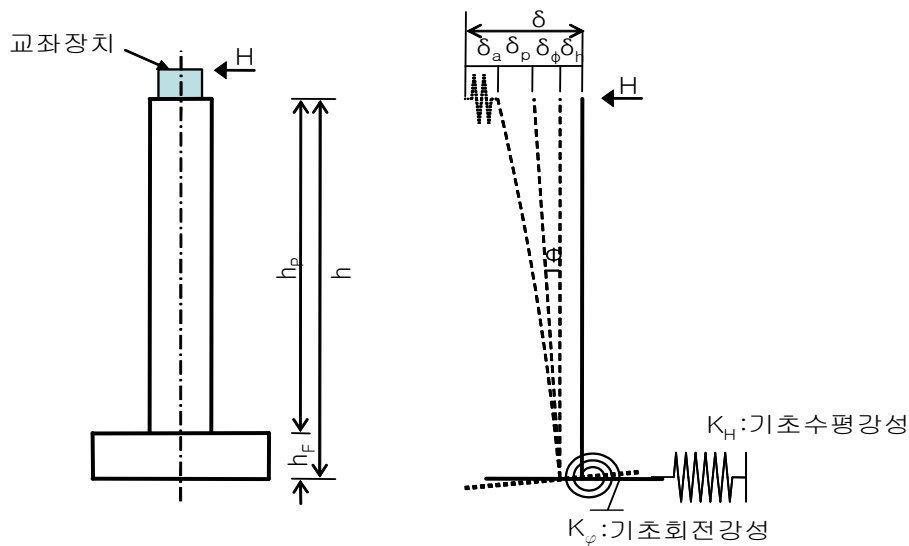


그림 3. 교량받침 지점에서의 종방향 저항력의 모형화



$$K = \frac{H}{\sum \delta}$$

여기서, H = 종방향 작용력

$$\delta = \delta_p + \delta_\phi + \delta_h + \delta_a$$

단,  $\delta_a$  : 교량 탄성받침 수평변위

$\delta_p$  : 교각의 휨에 의한 교각상단의 수평변위

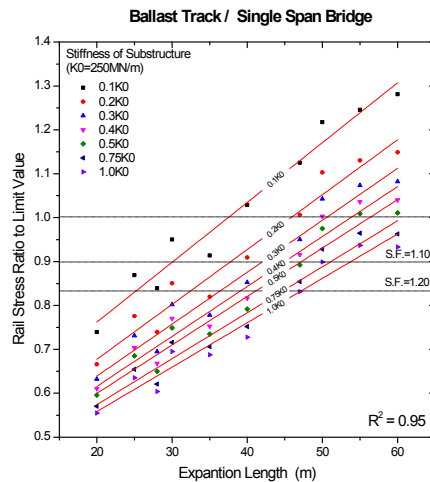
$\delta_\phi$  : 기초의 회전에 의한 교각상단의 수평변위

$\delta_h$  : 기초의 수평변위

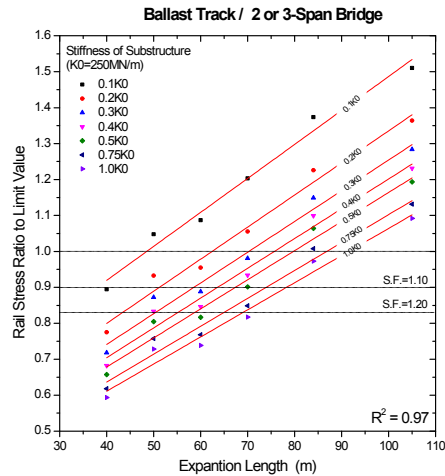
다. 기초의 강성을 구할 때 온도하중에 대해서는 정적탄성계수를 시·제동하중에 대해서는 동적 탄성계수를 적용한다.

라. 이동단의 수평저항은 기본적으로 무시하되 교량받침 제작사의 성능입증이 있는 경우는 0~5% 내에서 마찰력으로 고려할 수 있다.

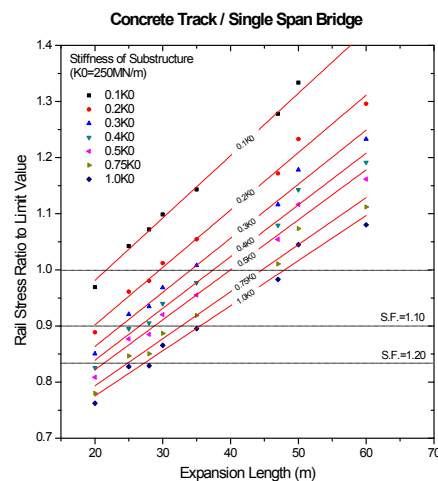
마. 교량의 정적배열을 검토하는 단계에서 궤도유형과 교량 상부구조의 고정점간 거리가 결정된 경우, 부가 레일응력이 허용치를 만족하기 위해 요구되는 최소 하부구조 강성은 다음의 <그림 4>를 이용하여 예측할 수 있다.



(a) 자갈궤도의 경우 (단경간)



(b) 자갈궤도의 경우 (2 또는 3경간 연속)



(c) 콘크리트궤도의 경우 (단경간)

그림 4. 교량 하부구조강성 범위 설정을 위한 설계도표

### ③ 상부구조의 휨거동

<그림 5>와 같이 열차수직하중에 의한 궤도-교량 상호작용은 주로 상부구조의 휨강성과 중립축의 위치, 그리고 고정단의 수평지스프링강성 및 상부구조의 높이에 영향을 받으므로 궤도-교량 상호작용 해석 시 이들의 영향을 고려할 수 있어야 한다.

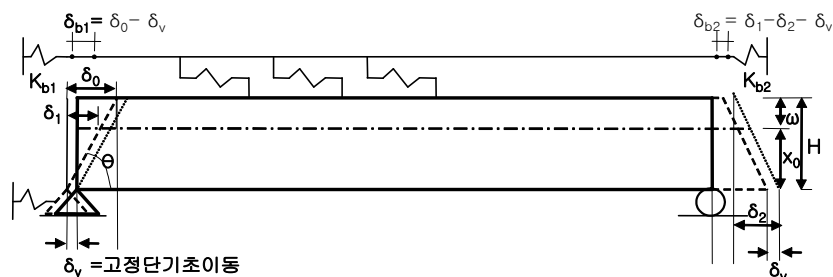


그림 5. 열차 수직하중에 의한 상부구조 휨에 따른 수평변위 발생 개념

## 4. 설계하중

### 4.1 온도하중

(1) 온도하중은 다음의 경우를 고려한다.

- ① 전 구간 장대레일인 경우 구조물의 길이변화를 유발하는 구조물의 온도변화(전 구간 장대화된 경우는 레일온도가 변하더라도 종방향 변위가 발생하지 않으며 따라서 궤도-교량 상호작용이 발생하지 않으므로 구조물의 온도변화만 고려한다)
- ② 레일신축이음매가 있는 경우 레일과 교량의 온도차이(레일과 구조물의 온도변화를 동시에 고려한다)

(2) 레일 및 교량의 기준온도는 레일이 부설될 때의 온도로 한다.

(3) 궤도-교량 상호작용 해석 시 온도변화는 다음을 기준으로 한다.

- ① 레일은 부설시의 온도 또는 재설정온도를 기준으로 온도변화는  $+40^{\circ}\text{C}$ ,  $-50^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 한다.
- ② 콘크리트구조물은  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 한다.
- ③ 강구조물의 온도변화는 기후가 보통인 지방에서는  $\pm 35^{\circ}\text{C}$ 를, 기후가 한랭한 지방에서는  $\pm 45^{\circ}\text{C}$  기준으로 한다.

(4) 구조물의 선팽창계수는 다음을 기준으로 한다.

- ① 강교에서 선팽창계수는  $1.2 \times 10^{-5}$ 으로 한다.
- ② 콘크리트교에서 선팽창계수는  $1.0 \times 10^{-5}$ 으로 한다.
- ③ 강합성교에서 선팽창계수는  $1.2 \times 10^{-5}$ 으로 한다.

### 4.2 시·제동하중

시·제동하중은 등분포하중으로 레일 두정면에 작용하는 것으로 하고 그 크기 및 재하길이는 다음과 같다.

(1) 시동하중

- $q_a = 33\text{kN/m/궤도}$ , 재하길이는 33m 이하
- 단, 여객 전용인 경우는 아래 값 적용
- $q_a = 25\text{kN/m/궤도}$ , 재하길이는 33m 이하

(2) 제동하중

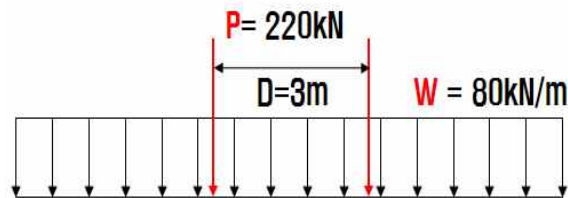
- $q_b = 20\text{kN/m/궤도}$ , 재하길이는 400m 이하
- 단, 여객 전용인 경우는 아래 값 적용
- $q_b = 15\text{kN/m/궤도}$ , 재하길이는 400m 이하

- (3) 전동차 전용선, 경량전철 등과 같이 설계하중이 다른 경우는 시·제동하중의 크기는 차량 수직하중의 1/4에 해당하는 등분포하중으로 환산하여 적용한다. 이때 재하길이는 최대차량 1편성 길이로 한다.
- (4) 2복선 이상의 교량인 경우 선로중 하나의 선로에는 시동하중이 다른 하나의 선로에는 제동하중이 작용하는 것으로 한다(단지 2개선로만이 시동 및 제동하중이 작용하는 것으로 한다).
- (5) 시·제동 하중은 검토하고자하는 대상(레일응력 또는 교량변위)에 대하여 가장 불리한 위치에 작용하는 것으로 한다.

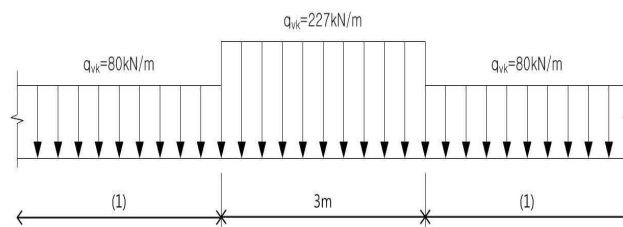
#### 4.3 열차 수직하중

- (1) 열차 수직하중은 설계 속도에 따라 각각 다음의 크기를 적용한다.

- ① 열차 수직하중은 <그림 6(a)>의 KRL-2012 하중모델 또는 <그림 6(b)>와 같은 등가하중이 교량 상부구조에 작용하는 것으로 하며, 충격계수는 고려하지 않는다. 여객 전용인 경우 그림 3.7과 같이 KRL-2012 하중의 0.75배인 하중을 적용한다.

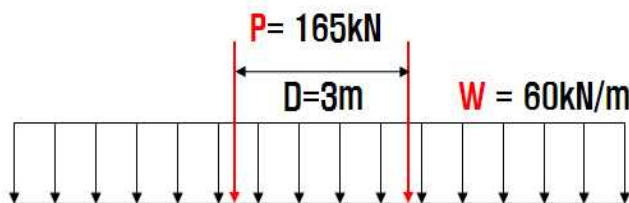


(a) KRL-2012 하중선도

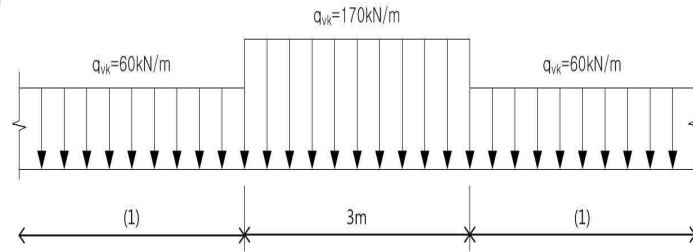


(b) KRL-2012 등가하중선도

그림 6. 여객화물혼용선의 열차 수직하중(KRL-2012하중)



(a) 여객전용선 KRL-2012 하중선도



(b) 여객전용선 KRL-2012 등가하중선도

그림 7. 여객전용선의 열차 수직하중(0.75KRL-2012하중)

- ② 전동차 전용선은 EL-18하중 또는 등분포화된 등가하중을 적용한다.
- (2) 2복선 이상의 교량인 경우는 단지 2개 선로에만 열차 수직하중이 작용하는 것으로 한다.
- (3) 열차 수직하중은 검토하고자 하는 대상(레일응력 또는 교량변위)에 대하여 가장 불리한 위치에 작용하는 것으로 한다.
- (4) 다경간(Multi-Span) 연속교인 경우 열차 수직하중은 <그림 8>과 같이 검토지점(고정지점)과 인접한 경간에만 작용하는 것으로 한다(복선인 경우 2개 선로에 재하).

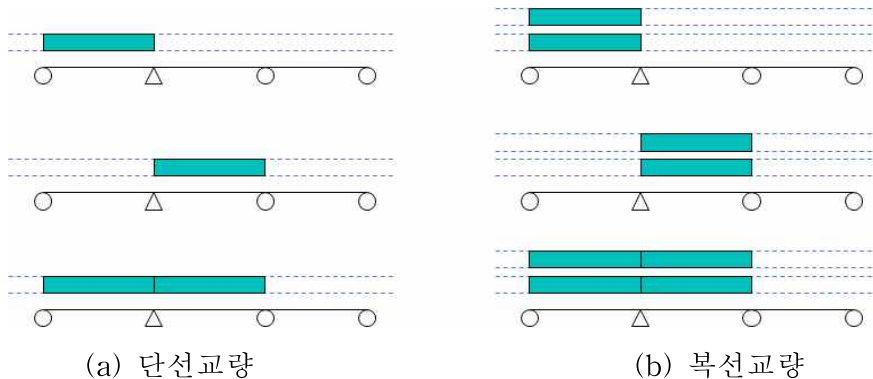


그림 8. 열차 수직하중의 재하위치

#### 4.4 하중조합

- (1) 레일응력 및 교량반침에 작용하는 종하중을 평가하는 경우는 온도하중, 시·제동하중, 열차 수직하중의 영향이 다음 식과 같이 조합되어야 한다.

$$\sum R = \alpha R(\text{온도하중}) + \beta R(\text{시·제동하중}) + \gamma R(\text{열차수직하중})$$

- (2) 레일응력 및 변위를 구하고자할 경우 연속 또는 단순지지 경간의 경우  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 는 각각 1의 값을 갖는 것으로 한다.

### 5. 설계기준

#### 5.1 자갈케도



### 5.1.1 허용 부가 레일응력 한계

- (1) 하부에 구조물이 존재함으로써 토공구간의 부동구간 레일응력보다 증가 또는 감소하는 레일응력을 부가응력으로 정의할 때 곡선반경  $R=1500\text{m}$  이상,  $60\text{kg}$ 레일, 도상깊이  $30\text{cm}$  이상, 유지보수상태가 양호한 궤도에서 최대 허용 부가 압축응력은  $72\text{N/mm}^2$ 이고 최대 허용 부가 인장응력은  $92\text{N/mm}^2$ 으로 한다.
- (2) 「(1)」항과 동일한 조건의 궤도에서 곡선반경이 다른 경우 최대 허용부가 압축 응력 및 최대 허용 부가 인장응력은 <표 2>의 값을 적용한다. 단, 표에서 제시하지 않은 곡선반경을 갖는 경우 최대 부가 응력은 표에 제시된 값으로부터 선형 보간으로 산정할 수 있다.

표 2. 곡선반경별 레일의 허용 부가 응력

하중	최소 곡선반경 (m)	최대 부가 압축응력 ( $\text{N/mm}^2$ )	최대 부가 인장응력 ( $\text{N/mm}^2$ )
온도하중, 시·제동하중, 열차 수직하중	1500	72	92
	700	58	92
	600	54	92
	300	27	92

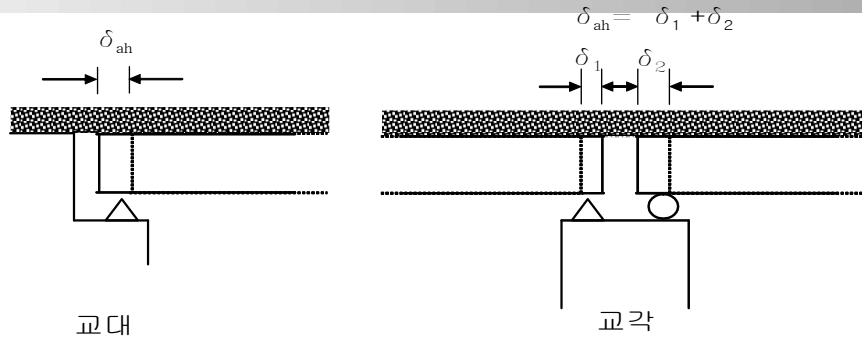
- (3) 「(1)」항에서 제시한 궤도조건과 다른 궤도에서는 좌굴해석을 통하여 충분히 안전한 최대 허용 부가 압축응력을 정해야 하며, 좌굴해석시에는 차량 수직하중에 따른 도상저항력의 변화, 궤도틀림, 곡선반경, 체결구 회전강성 등이 고려되어야 한다.

### 5.1.2 레일-교량 상대변위 한계

시·제동하중 작용시 교량 상부구조와 레일 사이의 수평방향 상대변위는  $4\text{mm}$  이내여야 한다.

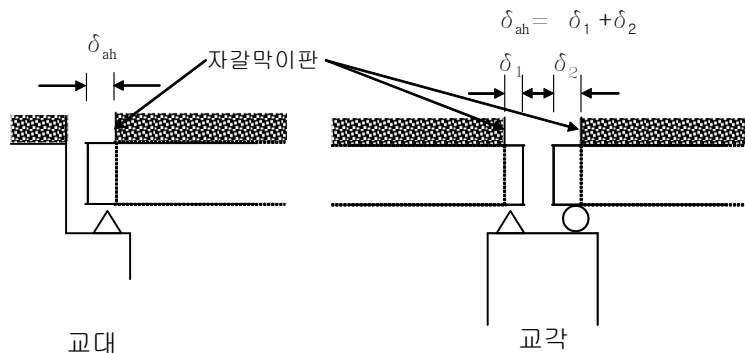
### 5.1.3 교량 상부구조 종방향 상대변위 한계

- ① 교량 및 궤도의 변위에 따른 자갈도상의 불안정화를 방지하고 상기 레일응력기준을 정한 궤도조건을 유지하기 위하여 다음의 변위조건을 만족해야 한다.
  - (1) 교량 상에 레일신축이음매가 없는 경우 시·제동하중 작용시 교량 상부구조와 교대 또는 상부구조 경간과 경간 사이의 종방향 상대변위,  $\delta_{ah}$ 는  $\pm 5\text{mm}$  이내여야 한다.
  - (2) 레일신축이음매가 있는 경우 시·제동하중 작용시 신축이음매부가 있는 교량 상부구조 경간과 인접 경간에서는 교량 상부구조와 교대 또는 상부구조 경간과 경간 사이의 종방향 상대변위,  $\delta_{ah}$ 는  $\pm 30\text{mm}$  까지 허용할 수 있다(<그림 9>와 같이 자갈이 연속적으로 부설되어 있는 경우).



**그림 9. 교량 상부구조 종방향 상대변위 정의**  
(자갈이 연속적으로 부설되어 있는 경우)

- (3) 교량 상부구조 양끝단에 신축이음매가 있고 교량 상부구조에서 자갈도상이 자갈막이판으로 분리되어 있어 자갈의 이완이 방지될 수 있는 경우에는 레일신축이음매가 있는 교량 상부구조 경간 및 경간에서의 종방향 상대변위,  $\delta_{ah}$ 는 30mm 이상을 허용할 수 있다(<그림 10> 참조).



**그림 10. 교량 상부구조 종방향 상대변위**  
(자갈막이판으로 자갈이 분리되어 있는 경우)

#### 5.1.4 교량 상부구조의 단부꺾임각에 의한 끝단상부면 종방향 변위 한계

- (1) 교량 상부구조의 단부꺾임각에 의하여 자갈도상의 불안정성을 방지하기 위하여 열차 수직하중이 작용할 때 교대끝단상면과 상부구조의 끝단상부면, 또는 연속하는 상부구조 사이의 끝단상부면 사이의 종방향 변위(<그림 11> 참조)는 다음 조건을 만족하여야 한다.

- ① 궤도-교량 상호작용을 고려한 경우 끝단 상부면 종방향 변위  $\delta_{vh}$ 는 8mm 이내로 제한되어야 한다.
- ② 궤도-교량 상호작용을 고려하지 않은 경우(교량만 해석한 경우) 끝단 상부면 종방향 변위  $\delta_{vh}$ 는 10mm 이내로 제한되어야 한다.

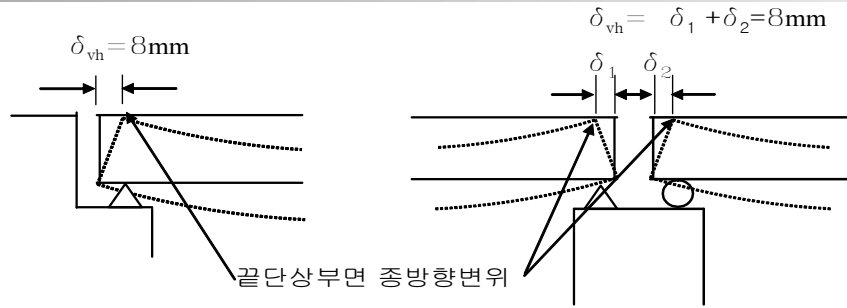


그림 11. 단부 꺾임에 의한 상부구조 끝단 상부면 종방향 변위

- (2) 2복선 이상의 구조물인 경우라도 열차 수직하중은 최대 2개 선로에만 재하하는 것으로 한다.

#### 5.1.5 열차 수직하중 작용 시 교량 상부구조의 단부 단차한계

- (1) 열차 수직하중 작용 시 인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차(<그림 12> 참조)는 다음을 만족해야 한다.
- ① 열차속도 160km/h 미만에서는 3mm 이내로 제한되어야 한다.
  - ② 열차속도 160km/h 이상에서는 2mm 이내로 제한되어야 한다.

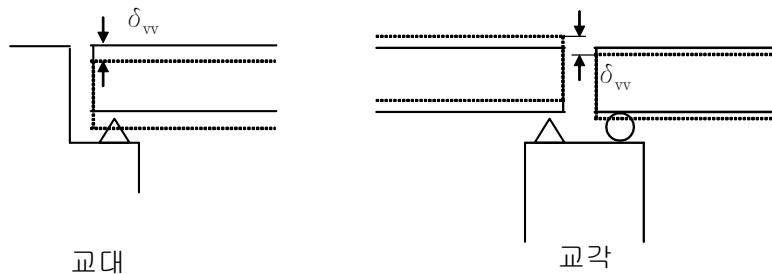


그림 12. 열차수직하중 작용 시 교량 상부구조 단부의 단차

- (2) 2복선 이상의 구조물인 경우라도 열차수직하중은 최대 2개 선로에만 재하하는 것으로 한다.

#### 5.1.6 교량받침에 작용하는 종하중

- (1) 교량받침에 작용하는 종하중은 온도하중과 시·제동하중의 조합으로 계산하되 온도의 상승 및 하강과 시·제동 방향에 대한 경우의 수를 고려하여 최대종하중이 산정되도록 한다. 이때 하중조합의 기여계수  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 각각 1로 간주한다.
- (2) 교량받침은 작용하는 종하중을 충분히 저항할 수 있는 성능을 가져야하며, 교각 및 기초설계도 작용하는 종하중의 크기를 고려하여 설계해야 한다.

#### 5.1.7 레일신축이음매 사용

레일신축이음매의 사용은 가급적 피하도록 한다. 다만 교량설계 시 현장여건 등 부득이한 사유로 상기 응력 및 변위기준을 만족할 수 없는 경우는 공단의 승인을 얻어 이를 사용할 수 있다.



### 5.1.8 레일 파단 시 개구량 한도

- (1) 케이블 신호방식(궤도회로방식이 아닌 경우)인 경우 온도하중에 의한 레일파단 시 개구량  $d$ 는 다음 식에서 정한 값을 넘지 않아야 한다.

$$d = \sqrt{R^2 - (R - \delta)^2}$$

여기서,  $R$  : 차륜반경

$\delta$  : 레일 파단부의 레일 수직처짐

다음 식으로 계산된다(<그림 13> 참조).

$$\delta = \frac{P}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} \cos \beta x$$

여기서,  $EI$  : 레일의 휨강성

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$$

$k$  : 단위길이당 레일지지계수(1/2 궤도)

$P$  : 윤중

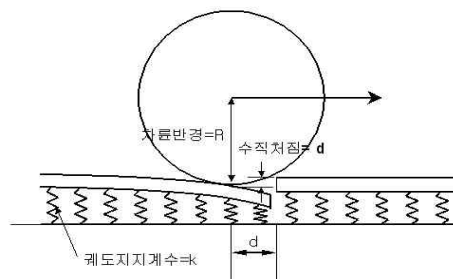


그림 13. 레일 파단 시 개구량 한도

- (2) 활동체결구를 부설하는 경우 「가」항에서 정한 개구량 한도를 초과할 수 없다.

## 5.2 콘크리트궤도

### 5.2.1 허용 부가 레일응력

좌굴해석을 통하여 그 안정성이 입증된 탄성체결구를 사용하는 콘크리트궤도에 대해서는 곡선반경 150m 이상에 대해서 최대 허용부가 압축 응력 및 최대 허용 부가 인장응력은  $92\text{N/mm}^2$ 으로 한다.

### 5.1.2 교량의 변위기준

콘크리트궤도에서는 궤도의 안정성을 위한 별도의 변위제한조건을 부가하지 않는다. 다만 레일체결장치의 특성을 고려하여 레일-교량 상대변위가 레일체결장치의 사용성과 내구성에 미치는 영향을 검토해야 하며, 「KR C-08090 교량 단부 콘크리트궤도 사용성 검토」에서 정하는 기준에 따라 교량의 변위 발생에 따른 레일 체결 지점에서의 레일의 부상(Uplift) 및 압축에 대한 궤도의 사용성을 검토해야 한다.



### 5.1.3 레일신축이음매 사용

부득이 레일신축이음매를 사용할 경우에는 레일 신축부에서 레일패드의 과도한 전단변형 등과 같이 레일과 도상과의 상대변위가 레일체결장치의 사용성 및 내구성에 미치는 영향을 검토해야 한다.

### 5.1.4 레일 파단 시 개구량 한도

「5.1」항에서 정한 자갈궤도 기준을 준용한다.

## 6. 궤도-교량 상호작용 해석방법

### 6.1 모형화(Modelling) 시 고려사항

- (1) 교량받침 배열, 상부구조 및 교각의 제원 및 물성치, 상부구조의 휨강성 및 높이, 상부구조의 중립축위치, 기초의 수평 및 휨강성 등의 구조물 파라메타를 고려해야 한다(<그림 14> 참조).
- (2) 레일 단면적, 궤도의 종저항력 등 궤도의 파라메타를 고려하여야 한다(<그림 13> 참조).
- (3) 레일 및 교량 상부구조의 온도하중, 시·제동하중, 열차의 수직하중에 대해서 개별적 해석을 수행하여 이들을 조합한다.

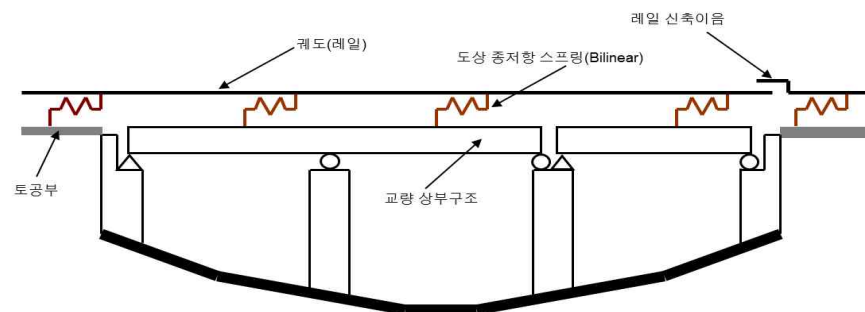


그림 14. 궤도-교량 상호작용 모델의 구성

- (4) 궤도, 교량 상부구조 및 교량받침의 실제 높이에 대한 영향을 고려할 수 있도록 레일과 교량 상부구조, 상부구조와 교량받침의 연결은 높이를 고려한 강체요소(Rigid Link)로 모형화 한다(<그림 15>). 이때 단순화를 위하여 레일의 높이는 교량 상부구조 상부면과 일치하는 것으로 간주할 수 있다.

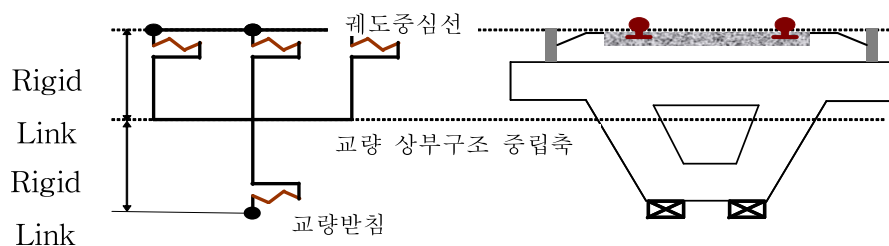


그림 15. 레일과 교량 상부구조, 상부구조와 교량받침의 연결

- (5) 온도하중 및 시·제동하중 해석 시에는 궤도-교량 상부구조-교량받침 사이에 높이차가 없는 것으로 모형화할 수 있다.
- (6) 표준교량인 경우 기초-교각-교량받침 시스템의 수평강성은 별도로 평가하여 교량받침의 등가스프링강성으로 모형화할 수 있다.
- (7) 교량 상부구조, 교각, 교대, 교량받침은 선형요소로 모형화할 수 있다. 그러나 궤도와 교량 상부구조를 연결하는 요소는 <그림 1>과 같은 비선형 특성이 고려될 수 있도록 한다.(쌍일차 모형도 가능)
- (8) 레일응력을 평가하고자 하는 경우는 교량받침 하부의 강성이 없는 것으로 가정하여 고정경계로 처리할 수 있다.
- (9) 해석의 정확성을 높이기 위하여 레일과 교량 상부구조를 모델링하는 요소의 최대길이는 2m 이내로 하고, 인접 토공구간을 최소 100m 이상까지 모형화하여 임의의 경계 설정에 따른 오차를 최소화 한다.
- (10) 시·제동하중, 차량수직하중이 작용하는 개소에서의 궤도 종저항력은 반드시 <그림 1>에 제시한 바와 같이 크기 증가를 고려한다.
- (11) 시·제동하중 및 차량수직하중은 평가하고자하는 항목에 대하여 가장 불리한 결과가 얻어지는 위치를 찾아 재하 한다.
- (12) 납면진(LRB) 교량받침을 사용할 경우 온도하중에 대해서는 <그림 16>에 나타난 바와 같이 장기하중-변위곡선을 적용하고 시·제동하중에 대해서는 단기하중-변위곡선을 적용한다.

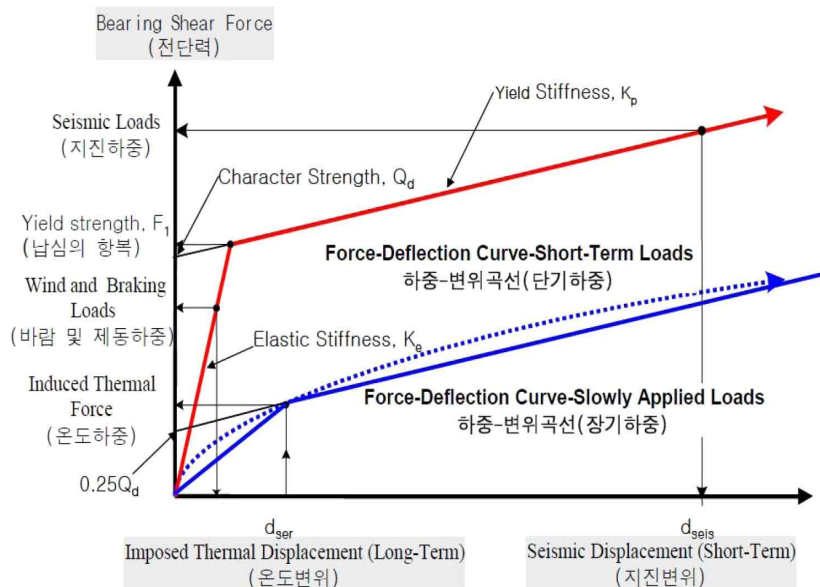


그림 16. 납면진(LRB) 교량받침을 사용하는 경우 하중-변위곡선

- (13) 해석결과의 검토를 용이하게 하기 위하여 해석상에 사용한 파라메타들은 다음의 제원 및 물성치를 포함하여 상세히 제시한다.



- ① 교량 : 상부구조 및 교각길이, 상부구조 높이, 상부구조의 중립축위치, 단면 2차모멘트, 단면적, 탄성계수, 열팽창계수, 기초의 수평, 회전강성, 교량받침 형식 및 배치, 교량받침 수평 및 수직강성
  - ② 궤도 : 레일단면적, 하중재하 및 비재하시 도상 종저항력, 도상 종저항력 탄성한계변위, 곡선반경
- (14) 출력은 가급적 그래픽으로 나타내어 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 한다.

## 6.2 궤도-교량 상호작용 평가절차

- (1) 궤도-교량 상호작용과 관련한 기준항목의 체계적인 검토를 위하여 다음 절차에 따라 평가를 수행한다.
- ① 상부구조의 온도하중(레일신축이음매가 있는 경우는 레일과 교량 상부구조의 온도하중), 시·제동하중, 열차 수직하중 조합에 의한 허용 부가 압축응력(온도하중, 시·제동하중, 열차 수직하중에 대하여 동일지점의 응력을 조합하는 것으로 한다)
  - ② 교량 상부구조의 온도하중(레일신축이음매가 있는 경우는 레일과 교량 상부구조의 온도하중), 시·제동하중, 열차 수직하중 조합에 의한 허용 부가 인장응력(온도하중, 시·제동하중, 열차 수직하중에 대하여 동일지점의 응력을 조합하는 것으로 한다)
  - ③ 시·제동하중에 의한 레일-교량 상대변위(가장 불리한 위치에 하중을 재하)
  - ④ 시·제동하중에 의한 교량 절대변위(가장 불리한 위치에 하중을 재하)
  - ⑤ 열차 수직하중에 의한 인접한 상부구조 상부 끝단변위 또는 상부구조 상부 끝단과 교대변위(가장 불리한 위치에 하중을 재하)
  - ⑥ 온도하중 및 시·제동하중 조합에 의한 교량받침에 작용하는 종하중(온도상승 및 하강, 제동방향 등을 고려하여 가장 큰 종하중을 산정)

## 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.?) 철도의 건설기준에 관한 규정(국토교통부고시제2013-236호, '13.5.16) 및 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5) 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영