

KR C-08020

Rev.2, 20. March 2017

하중

2017. 3. 20



한국철도시설공단

REVIEW CHART

[illegible]

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. 하중의 종류	2
2.1 영구하중	2
2.2 운행하중	2
2.3 기타하중	2
2.4 특수하중	3
3. 영구하중	3
3.1 영구하중의 종류	3
3.2 고정하중	3
3.3 2차고정하중(부가되는 고정하중)	4
3.4 토압	4
3.5 수압	7
3.6 파압	10
3.7 설하중	10
3.8 프리스트레스 힘	11
3.9 콘크리트의 크리프의 영향	12
3.10 콘크리트의 건조수축의 영향	12
3.11 지점변위의 영향	13
4. 운행하중	15
4.1 표준열차하중 일반사항	15
4.2 표준열차하중	15
4.3 EL 표준열차하중 재하도	17
4.4 표준열차하중에 대한 동적 효과(충격계수)	17
4.5 차량 횡하중	20
4.6 캔트(cant) 효과	20
4.7 원심하중	20
4.8 시동하중과 제동하중	22
5. 기타하중	23
5.1 풍하중	23
5.2 온도변화의 영향	24
5.3 장대레일 종하중	26



5.4 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중	26
6. 특수하중	28
6.1 충돌하중	28
6.2 탈선하중	29
6.3 가설시 하중	31
6.4 지진의 영향	31
7. 변형검토를 위한 하중조합	32
8. 허용응력설계법에 따른 하중조합	33
8.1 총칙	33
8.2 하중의 종류	33
8.3 하중조합 및 허용응력 증가계수	34
9. 강도설계법에 따른 하중조합	36
RECORD HISTORY	37

1. 용어의 정의

- (1) 과선교 : 철도선로 위에 가설된 교량.
- (2) 교량의 전복(뒤집힘) : 차량의 탈선 또는 바람의 상향력으로 교량이 뒤집히는 현상.
- (3) 구조물 가동 끝단 : 궤도가 실린 구조물에서 교대와 만나거나 인접한 구조물과 만나는 상부구조의 단부 끝단.
- (4) 구조물 안전성 설계 : 일반적인 구조물 안전조건과 변형조건을 포함하는 의미로 구조물에 작용하는 외력이나 주변 조건에 대하여 구조부재가 안전한 내력을 보유토록 설계.
- (5) 궤도-구조물간 종방향 상호작용 : 장대레일과 교량 구조물과의 결합과 그 상호작용에 의한 장대레일의 파단, 좌굴과 관련된 궤도 종방향력 문제와 변형문제를 야기시키는 작용.
- (6) 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 계산.
- (7) 동륜하중 : 동력차의 구동차륜 하중.
- (8) 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.
- (9) 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 설계하중.
- (10) 소요강도(Required Strength) : 하중조합에 따른 계수하중을 저항하는데 필요한 부재나 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트 등으로 나타낸 설계단면력.
- (11) 주하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭.
- (12) 주행안전성 검토 : 고속열차의 동적 안정성 등을 포함하는 열차의 안전확보를 위한 최소 요구조건에 대한 검토.
- (13) 차축하중 : 차량의 좌우측 바퀴의 하중을 합한 하중.
- (14) 충격계수 : 정적설계시 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수. 열차 또는 차량의 주행에 의해 구조물에 발생하는 정적응답에 대한 동적응답의 증가비율을 나타냄.
- (15) 캔트 : 곡선 선로에서 열차의 원심력에 대항하여 차량의 안전을 도모하기 위해 내측레일을 기준으로 외측레일을 높게 하는데 이때의 고저 차.



- (16) 특수하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려해야 하는 하중의 총칭.
- (17) 탄성지진응답계수(Elastic Seismic Response Coefficient) : 모드스펙트럼해석법에서 등가정적지진하중을 구하기 위한 무차원량.
- (18) PS강봉 : KS D 3505의 PS강봉.
- (19) 하중계수(Load Factor) : 하중의 공칭값과 실제 하중 간의 불가피한 차이, 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 예기치 않은 초과하중, 환경작용 등의 변동성을 고려하기 위하여 사용하중에 곱해주는 안전계수.
- (20) 허용응력(Allowable Stress) : 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것.
- (21) 합성거더교 : 주거더와 현장치기 바닥판이 전단연결재에 의해 결합되어 주거더와 바닥판이 일체로 된 합성단면으로 하중에 저항하는 교량.
- (22) 액상화 : 진동하중에 의해 간극수압 상승과 유효응력 감소로 전단하중에 대한 전단저항을 상실하는 현상.
- (23) 유효강성 : 지진격리시스템이 최대수평변위를 일으키는 순간의 수평력을 최대수평변위로 나눈 값.

2. 하중의 종류

설계에 있어서는 다음 하중을 고려한다.

2.1 영구하중

- (1) 고정하중(자중)
- (2) 2차 고정하중(부가되는 고정하중)
- (3) 환경적인 작용하중
- (4) 간접적인 작용하중

2.2 운행하중

- (1) 표준열차하중
- (2) 충격
- (3) 수평하중 : 차량횡하중, 캔트효과, 원심하중, 시동하중과 제동하중

2.3 기타하중

- (1) 풍하중
- (2) 온도변화의 영향 : 교량 설계시 온도변화, 단면에서의 온도변화율, 궤도-구조물간의 상호작용
- (3) 장대레일 종하중

- (4) 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중 : 유지보수 통로하중, 군중하중, 승강장에 재하되는 하중, 난간하중, 방음벽, 지주 하단에 작용하는 하중, 마찰저항하중, 화물하중
- (5) 기타하중

2.4 특수하중

- (1) 충돌하중
- (2) 탈선하중
- (3) 가설시의 하중
- (4) 지진의 영향

교량을 설계할 때 고려해야 할 하중의 종류를 모두 열거한 것인데, 가교지점의 여러 조건과 구조에 따라 하중 및 하중의 조합을 선정해야 하며 모든 하중을 모두 고려할 필요는 없다.

3. 영구하중

3.1 영구하중의 종류

- (1) 고정하중(자중)
- (2) 2차고정하중(부가되는 고정하중)
 - ① 고정된 시설과 상부구조의 설비, 장치 등
 - ② 제거 가능한 영구하중(자갈도상 등)
- (3) 환경적인 작용하중 : 토압, 수압, 파압, 설하중
- (4) 간접적인 작용하중 : 프리스트레싱, 콘크리트 크리프의 영향, 콘크리트 건조수축의 영향, 지점변위(받침의 변위, 지반변동의 영향, 지점이동의 영향, 구조물에 영향을 미치는 변형)의 영향

3.2 고정하중

- (1) 고정하중은 전체구조물의 자중으로 인한 수직방향 하중과 모든 영구적으로 설치되어진 부재들, 예를 들어 벽체, 기둥, 칸막이, 마루, 지붕, 토공, 선로, 도상, 각종 관, 신호기, 강봉, 강선 등(강선에 관련된 인장으로 인한 하중, 전차선로(catenary) 지지 등은 제외)과 그 외 다른 고정된 시설장치를 말한다.
- (2) 고정하중은 전체 구조물의 중량으로 다루어진다. 여러 가지 재료의 단위체적중량은 <표 1>의 값을 사용하는 것으로 한다.



표 1. 재료 단위체적중량

재료	단위체적중량 (kN/m ³)	재료	단위체적중량 (kN/m ³)
강, 주강, 단강	77	프리스트레스트 콘크리트	24.5
연철	76.5	인공경량골재콘크리트	15~17
주철	71	모르타르	21
목재	8	방수용아스팔트	11
도상(자갈 또는 쇄석)	19	석재	26
무근콘크리트	23	모래, 자갈, 부순돌, 흙	16~20
철근콘크리트	24.5	석탄, 탄가루	10

주) (1) 표에 제시된 값은 각종 측정치의 평균치보다 조금 큰 값을 취하였음.

(2) 목재의 중량은 수령과 함수비에 따라 다르고, 8kN/m³는 흔히 사용되는 목재에 비해 좀 과대한 편이지만 못, 꺾쇠, 볼트 등의 쇄붙이를 포함하는 것으로 보고 <표 1>의 값으로 정하였음.

(3) 흙의 단위체적중량에 대해서는 <표 2>를 참조해야 함.

3.3 2차고정하중(부가되는 고정하중)

(1) 2차고정하중은 궤도, 방수, 방음벽, 신호기 기둥, 전차선 지주 등을 포함한다. 제거 가능한 2차고정하중은 자갈도상, 케이블 등이 있다.

(2) 자갈 및 콘크리트 도상 궤도의 2차고정하중은 정량적으로 계산하여 적용하는 것으로 하며, 단선 궤도에 대한 재료의 중량은 다음 값을 사용할 수 있다.

- ① 레일(체결구 포함) 1.5kN/m
- ② 침목 : 일반철도용 4.1kN/m
고속철도용 5.0kN/m
- ③ 자갈도상 19kN/m³
보조도상 16kN/m³
- ④ 콘크리트궤도 도상 24.5kN/m³
콘크리트궤도 보조도상 24.5kN/m³

(3) 자갈도상의 중량은 보선작업과정을 고려하여 30% 할증된 값을 사용한다. 또 곡선부에서는 캔트부설에 따른 증가량을 추가하여 사용한다.

(4) 무도상 관형교에서의 경우 교량침목 부설궤도는 7kN/m(단선), 직결궤도는 3kN/m(단선)으로 한다.

(5) 전선 및 신호케이블 등의 2차고정하중은 1kN/m로 하고 트러프하중은 별도로 계산한다.

3.4 토압

(1) 토압효과의 산정을 위해, 토질조사는 건조밀도, 습윤밀도, 점착력, 내부마찰계수에 대한 특성치를 제공해야 한다.

(2) 계산을 쉽게 하기 위해, 궤도에 수평한 교대와 옹벽의 배면의 연속 궤도에 의한 하중효과는 무한길이로 정의될 수 있는 해당 궤도 당 3.5m 폭의 침목 하부에 30kN/m² 이 균등히 작용한다고 가정해야 한다. 이때 토압은 (1±0.05)배 증감치에 대해서도 불리한 경우를 고려하여 검토해야 한다.

(3) 평상시 수평토압

① 교대, 교각, 날개벽 및 옹벽 등에 작용하는 횡방향 토압의 크기는 구조물의 종류나 토질에 따라 다르다.

가. 구조물이 강체로서 회전하거나 전면으로 밀려나오는 경우에는 횡방향 토압의 분포는 일반적으로 3각형 분포로 볼 수 있다. 이 경우의 토압을 구하는 공식에는 Coulomb 토압공식, Rankine 토압공식 등이 있지만 실내외 시험에서 Coulomb 토압공식이 비교적 실험결과와 가까운 값을 보이므로 Coulomb 토압공식을 사용하는 것으로 한다.

나. 역T형 또는 부벽식 옹벽과 같이 뒷굽판이 비교적 긴 경우에는 뒷굽판에서 연직으로 세운 가상면에 토압이 작용하는 것으로 보고 이 면에 작용하는 횡방향 토압은 Rankine 토압공식으로 구해야 한다.

다. 강널말뚝 등과 같이 변형되기 쉬운 연성구조물에 작용하는 횡방향 토압은 복잡한 분포를 보이므로 이 경우에는 Coulomb 토압을 사용해서는 안 되며, 벽체의 변형을 고려한 토압공식을 적용해야 한다.

② 가동벽에 작용하는 횡방향 토압은 <식 (1)> ~ <식 (4)>로 구해야 한다. Coulomb 토압을 구할 때의 토압계수는 <식 (5)>와 <식 (6)>을 적용하며, 토압의 작용방향은 벽배면의 직각방향과 벽면마찰각만큼 기울어진 방향으로 본다. Rankine 토압을 구할 때의 토압계수는 <식 (7)>과 <식 (8)>을 적용하며, 토압의 작용방향은 뒤채움 지표면과 나란한 방향으로 본다.

가. 사질토에서의 주동토압과 수동토압 :

$$p_a = K_a \gamma z + K_a q \quad (1)$$

$$p_p = K_p \gamma z + K_p q \quad (2)$$

나. 점성토에서의 주동토압과 수동토압 :

$$p_a = K_a \gamma z - 2c \sqrt{K_a} + K_a q \text{ (다만, } p_a \geq 0 \text{)} \quad (3)$$

$$p_p = K_p \gamma z + 2c \sqrt{K_p} + K_p q \quad (4)$$

<식 (1)> ~ <식 (4)>에서, 토압계수는 다음과 같이 구해야 한다.

다. Coulomb 토압의 경우 :

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (5)$$



$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\theta - \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (6)$$

다만, $\phi \pm \alpha < 0$ 인 경우에는 $\sin(\phi \pm \alpha) = 0$ 으로 해야 한다.

Rankine토압의 경우 :

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (7)$$

$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (8)$$

여기서, p_a : 깊이 z 에서의 주동토압(kN/m²)

p_p : 깊이 z 에서의 수동토압(kN/m²)

K_a : 주동토압계수

K_p : 수동토압계수

γ : 흙의 단위체적중량(kN/m³)

z : 횡방향 토압을 구하고자 하는 깊이(m)

c : 흙의 점착력(kN/m²)

q : 지표면 상재하중(kN/m²)

ϕ : 흙의 전단저항각(°)

α : 지표면과 수평면이 이루는 각(°)

θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각(°)

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면마찰각(°)

③ 고정벽에 작용하는 횡방향 토압은 <식 (9)>로 구해야 한다.

$$p_0 = K_0 \gamma z + K_0 q \quad (9)$$

여기서, p_0 : 깊이 z 에서의 정지토압(kN/m²)

K_0 : 정지토압계수

정지토압계수는 $K_0 = 1 - \sin\phi$ 로 구하는 것으로 하며, 토질조건에 따라 보다 합리적인 공인된 경험공식 또는 경험치를 사용할 수 있다. (ϕ =흙의 배수내부마찰각)

④ 토압의 계산에 적용하는 흙의 단위체적중량은 시공장소에서 채취한 토질시료를 이용하여 구하며, 개략설계의 경우에는 <표 2>의 값을 이용할 수도 있다.

표 2. 흙의 단위체적중량(단위 : kN/m³)

지반	토질	느슨한 경우	축축한 경우
자연지반	모래 및 모래질 자갈	18	20
	사질토	17	19
	점성토	14	18
성토	모래 및 모래질 자갈	20	
	사질토	19	
	점성토	18	

- 주) (1) 지하수위 아래에 있는 흙의 단위체적중량은 표의 값에서 9를 뺀 값으로 해야 한다.
 (2) 부순돌의 단위체적중량은 자갈과 같은 값으로 해야 한다. 또 슬래그, 암괴 등의 경우에는 종류, 형상, 크기 및 간격 등을 고려하여 정해야 한다.
 (3) 자갈 섞인 사질토 또는 자갈 섞인 점성토에 있어서는 혼합비율과 상태에 따라 합리적인 값으로 해야 한다.
 (4) 지표면 재하하중은 교대와 같이 벽면 치수에 비해 재하면적이 큰 경우에는 일반적으로 교량의 등급에 관계없이 활하중 $q=35\text{kN/m}^2$ 로 볼 수 있다. 지진시 수평토압은 별도 내진설계 조항에 따른다.

3.5 수압

3.5.1 정수압

- ① 정수압은 <식 (10)>에 의해 산출해야 한다. 구조물의 지반 속에 있는 부분에 작용하는 수압이 이 이론수압의 값까지 작용하지 않는 것이 확실한 경우에는 그 확실한 값까지 감소시킬 수 있다.

$$P_h = \omega_0 \cdot h \quad (10)$$

여기서, P_h : 수면에서 h 만큼 깊은 곳의 정수압(kN/m²)

h : 수면에서의 깊이(m)

ω_0 : 물의 단위체적중량(kN/m³)

- ② 수위의 변동이 현저한 곳에 계획된 교대의 경우, 전면의 수위와 안쪽의 수위 사이에 수위차가 생기는 수가 있다. 이와 같은 경우에는 이 수위차에 따른 잔류수압을 고려해야 한다.

3.5.2 유수압

- (1) 유수압은 유수방향에 대한 교각의 연직투영면적에 작용하는 수평하중으로 하고 <식 (11)>에 의해 산출해야 한다. 작용위치는 하저(河底)에서 $0.6H$ 로 해야 한다.

$$P = K \cdot v^2 \cdot A \quad (11)$$

여기서, P : 유수압(kN)

K : <표 3>에 나타낸 교각의 형상에 따라 정해지는 계수



v : 최대유속(m/s)
 A : 교각의 연직투영면적(m^2)
 H : 수심(m)

표 3. 교각형상에 따른 저항계수, K

교각의 유수방향	단부의 형상	계수
		0.7
		0.4
		0.2
	유송잡물이 집적되는 교각	0.7

주) 유송잡물이란 집중호우 시 우수의 흐름에 의해 나뭇가지, 토사, 자갈, 유목 등이원 지반으로부터 분리되어 이송되는 것을 말한다.

- (2) 세굴의 영향이 있는 경우의 유수압을 산출할 때 사용하는 수심은 평상시에는 하부구조에 의한 세굴의 영향이 없을 때의 수심에 평상시 하부구조의 영향에 의해 발생하는 세굴의 깊이와 교량의 내용기간 중에 예상되는 전반적인 하상 저하량을 더한 깊이로해야 한다. 홍수시에는 평상시의 설계수심에 홍수시 수위의 증가와 홍수시 세굴깊이를 더한 깊이로 해야 한다. 곧, 교각부근의 수심은 세굴이 있는 경우 일반적으로 <그림 1>과 같은 양상을 보인다고 생각하면 된다. 이와 같은 경우의 전유수압은 <식 (12)> 혹은 <식 (13)>으로 산출하면 된다.

$$P = K \cdot v_n^2 \cdot A = K \cdot v_n^2 \cdot \left(\frac{B_a + B_b}{2} \cdot H_n \right) \text{ (평상시)} \quad (12)$$

$$\text{혹은, } P = K \cdot v_f^2 \cdot \left(\frac{B'_a + B'_b}{2} \cdot H_f \right) \text{ (홍수시)} \quad (13)$$

여기서, K : <표 3>에 주어진 교각의 저항계수

H_n : 평상시의 설계수심(m)

H : 평상시 유수의 수심(m)

ΔH_d : 예상 하상 저하량(m)

ΔH_{sn} : 평상시의 세굴깊이(m)

H_f : 홍수시의 설계수심(m)

ΔH_f : 홍수시의 H에 대한 증가 수심(m)

ΔH_{sf} : 홍수시 평상시 세굴선에서의 세굴깊이(m)

(이 양은 홍수 후에는 없어진다.)

$B_a, B_{a'}$: a 또는 a' 에 있어서 구체의 폭(m)

$B_b, B_{b'}$: b 또는 b' 에 있어서 구체의 폭(m)

v_n : 평상시의 최대유속(m/s)

v_f : 홍수시의 최대유속(m/s)

한편, 작용위치는 평상시는 b 에서 $0.6H_n$ 까지, 홍수시는 b' 에서 $0.6H_f$ 의 높이가 된다.

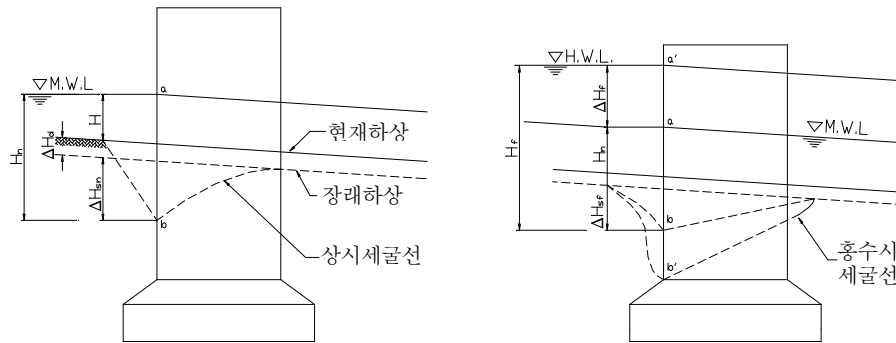


그림 1. 교각부근에서 수심을 취하는 법

(3) 부력 또는 양압력

- ① 부력 또는 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하 시킨다. 양압력이란 구조물의 전후의 수위차 또는 파랑 등에 의한 구조물 위치에서의 일시적인 수위의 상승에 의해 생기는 상향의 힘을 말한다.
- ② 부력 또는 양압력의 작용이 확실한 경우의 예를 <그림 2>에, 확실하지 않은 경우의 예를 <그림 3>에 나타내었다.

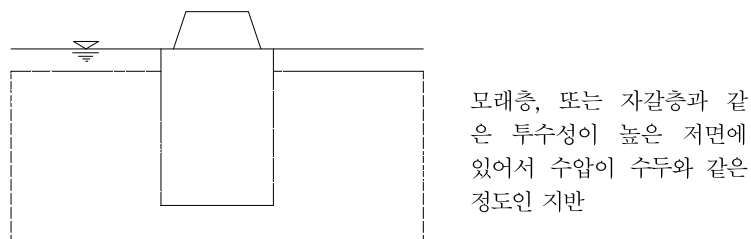


그림 2. 부력 또는 양압력의 작용이 확실한 경우

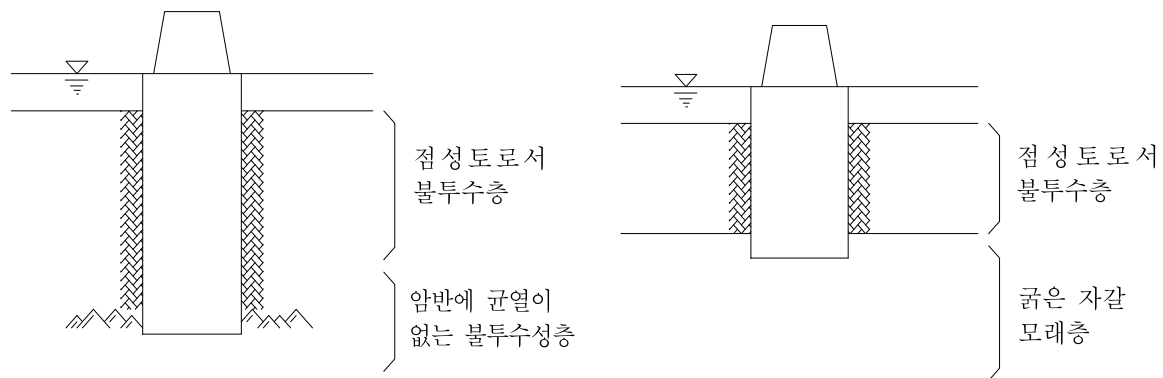


그림 3. 부력 또는 양압력의 작용이 확실하지 않은 경우

- ③ 부력 또는 양압력의 작용이 확실한 경우에는 이것을 고려해야 하며, 그 작용이 확실하지 않더라도 경년적(經年的)인 물의 침투 또는 구조물의 접지상태에 따라 이 힘들의 작용을 예측할 수 있다. 따라서 설계는 안전측이 되도록 그 작용을 고려한다. 즉, 안정계산 가운데 전도나 활동 등의 경우에는 고려하고, 지지력의 경우에는 무시하여 계산할 수 있다. 부력 또는 양압력의 작용을 받는 구조물의 안정에 대한 안전율은 1.2 이상이 되어야 한다.

3.6 파압

- (1) 연직벽에 작용하는 쇄파의 파력은 <식 (14)>에 의해 산출한다. 파력은 정수면상 $1.25H_0$ 의 높이에서 해저까지 균일하게 분포한다.

$$p = 1.5w H_0 \quad (14)$$

여기서, p : 쇄파(碎波)의 압력(kN/m²)

w : 해수의 단위중량(kN/m³)

H_0 : 심해파(Deep Water Wave)의 파고(m)

<식 (14)>는 쇄파의 파력의 식이므로 수심이 파고의 2배 이하일 때에만 적용한다. 이 한계를 넘으면 작용하는 파는 중복파(重複波)로서 고려해야 한다.

- (2) 하천이나 호수 등에 설치된 교각에 대해서는 일반적으로 수심이 얇고 파압의 영향이 작아서 무시하며, 근처를 통과하는 선박에 의한 파력을 받는 경우도 파압의 영향을 무시한다.

3.7 설하중

적설이 많은 지역에 설치하는 구조물에는 필요에 따라 설하중을 고려해야 한다. 일반적인 경우 1kN/m²로 적용하며 상세한 산식은 <식 (15)>으로 구할 수 있다.

$$SW = P \cdot Z_s \quad (15)$$

여기서, SW : 설하중(kN/m^2),
 P : 눈의 평균단위중량(kN/m^3),
 Z_s : 설계적설깊이(m)

3.8 프리스트레스 힘

구조물에 프리스트레스 힘을 도입하는 경우에는 설계에 이를 고려해야 하며, 프리스트레스트 콘크리트에 도입하는 프리스트레스 힘에 관해서는 다음과 같이 정하며 구체적인 사항은 별도 콘크리트교 설계조항에서 정하는 바에 따른다.

- (1) 설계시에 고려해야 할 프리스트레스 힘은 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘과 그후 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 PS강재의 릴랙세이션 등이 끝났을 때의 유효 프리스트레스 힘이다. 필요에 따라서는 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘과 유효 프리스트레스 힘 사이의 중간의 프리스트레스 힘에 대해서도 고려해야 한다.
 또 부정정구조물에서 프리스트레스 힘에 의해 부정정력이 일어나는 경우에는 이들을 고려해야 한다.
- (2) 프리스트레싱 직후의 프리스트레스 힘의 감소는 프리텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형만을 고려해야 하고, 포스트텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형, PS강재와 쉬스의 마찰, 정착장치 및 긴장기구 내부의 마찰, 정착장치에서의 활동을 고려해야 한다.
 - ① 콘크리트의 탄성변형에 의한 PS강재의 인장력의 감소량은, 프리텐션 방식의 경우에는 배치된 PS강재 모두가 동시에 프리스트레싱되기 때문에 PS강재의 도심 위치에서의 콘크리트 응력에 탄성계수비(n)를 곱하여 산출하지만, 포스트텐션 방식의 경우에는 일반적으로 1케이블 또는 한 그룹마다 단계적으로 프리스트레싱되며 긴장단계마다 이미 정착된 PS강재의 인장력이 순차로 변해가므로 이들을 고려하여 감소량을 계산해야 한다.
 - ② 마찰에 의한 PS강재의 인장력의 감소는 주로 쉬스와 PS강재의 마찰손실에 의해서 생기지만 PSC공법에 따라서는 정착장치의 마찰과 긴장기구 내부의 마찰도 있기 때문에 이들에 의한 영향도 고려해야 한다. 쉬스 및 PS강재의 마찰 손실은 쉬스 및 PS강재의 종류나 각각의 녹슨 정도 및 배치상태에 따라 많은 차이가 있다. 일반적으로 마찰에 의한 PS강재의 인장력 감소는 PS강재의 각 변화와 길이의 영향으로 나누어 산출할 수 있다.
 - ③ 정착장치의 활동에 의한 PS강재 인장력의 감소는 각종 PSC공법에 따라 다르다. 나사식 및 단추식의 정착방식에서는 활동이 근소하므로 무시할 수 있으나, 췌기식의 정착방식에서는 비교적 큰 활동이 일어나므로 정착시의 활동을 과거의 실적 등으로 부터 미리 가정하여 PS강재 인장력의 감소량과 그 영향범위를 검토해두어야 한다.
- (3) 유효 프리스트레스 힘은 「(2)항」의 규정으로 산출한 프리스트레싱 직후의 프리스트레



스힘에 다음의 영향을 고려하여 산출한다.

- ① 콘크리트의 크리프
이 경우에 고려하는 지속하중은 프리스트레스 힘과 고정하중이다.
- ② 콘크리트의 건조수축
- ③ PS강재의 릴랙세이션(Relaxation)
- (4) 유효프리스트레스 힘에 의한 부정정력은 부재 전체에 걸쳐 평균한 PS강재 인장력의 유효계수값을 프리스트레싱 직후의 부정정력에 곱하여 산출할 수 있다. 프리스트레스힘을 작용시킨 직후에 발생하는 부정정력은 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 PS강재의 릴랙세이션에 의한 PS강재의 인장력의 감소에 따라 변화한다. 이 변화량은 단면에 따라 다른데 최종의 부정정력을 엄밀하게 구하자면 대단히 번잡한 계산이 필요하게 되지만 그 결과는 일반적으로 작다. 콘크리트를 균일하다고 가정하고, PS강재의 인장력의 시간적 변화만을 고려하여 엄밀한 계산을 시행한 결과에서는 PS강재 인장력의 변화에 의한 부정정력은 프리스트레싱 직후의 부정정력의 10%정도이고 방향은 다르게 나타난다. 한편, PS강재의 유효인장력을 P_e , 프리스트레싱 직후의 인장력을 P_t 라 할 때, 각 단면의 유효계수 $\eta(= P_e/P_t)$ 의 값은 일반적으로 80%~85% 정도이지만, 부재 전체에 걸친 평균값은 이것보다 큰 값이 되므로 일반적인 경우에는 위에서 기술한 부재 전체에 걸쳐 평균한 PS강재 인장력의 유효계수를 프리스트레싱 직후의 부정정력에 곱하여 유효 프리스트레스 힘에 의한 부정정력으로 본다. 또 근사적으로는 부재 전체에 걸쳐서 평균값을 0.9로 본다.

3.9 콘크리트의 크리프의 영향

콘크리트부재 외에 강합성거더교와 같이 강재 주거더와 콘크리트 바닥판이 합성된 경우에 대해서는 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향을 고려해야 한다.

- (1) 콘크리트 크리프는 「콘크리트 구조설계기준」을 따른다.
- (2) 크리프에 대한 실험은 KS F 2453(콘크리트의 압축 크리프 시험방법)에 따라야 한다.
- (3) 프리캐스트 콘크리트에서는 최종 크리프 변형과 즉시변형 사이의 최종 크리프 계수는 2로 가정할 수 있다.
- (4) 현장타설 공법을 적용한 교량 또는 타설한 직후 중량의 하중재하조건이 부여되는 시공 방법을 적용한 경우는 최종 크리프 계수는 3으로 가정될 수 있다. 예를 들면 FCM(Free Cantilever Method)공법이 적용되는 경우 이 계수를 3으로 적용할 수 있다.
- (5) 크리프 값은 노출되는 교량상부구조와 같은 조건의 경우 30% 증가된 값을 적용해야 한다.

3.10 콘크리트의 건조수축의 영향

- (1) 프리스트레스 손실량 산정시 콘크리트의 건조수축 변형률은 <표 4>의 값을 사용하도록 한다. 콘크리트의 건조수축 변형률의 크기는 <표 4>의 값보다 실제 더 큰 값을 나타내지만 이 표의 값은 콘크리트 내에 배치되어 있는 축방향 강재량에 의한 영향을 어느 정도 고려하여 정한 것이다.

표 4. 콘크리트의 건조수축 변형률(10^{-6})

프리스트레스를 도입할 때 콘크리트의 재령(일)	4-5	28	90	365
건조수축 변형률	270	200	140	70

<표 4>는 상대습도 70-75%, 증기양생, 등가 부재두께 130mm 등의 표준조건에 해당하는 옥외의 경우에 대해 나타낸 값이다. 옥외의 경우라는 것은 부재가 외기에 접촉하는 상태이고, 옥내의 경우라는 것은 외기와 차단되는 상태를 의미한다.

- (2) 콘크리트의 건조수축에 의한 부정정력을 계산할 때 콘크리트의 건조수축 변형률은 150×10^{-6} 으로 한다. 다만, 축방향 강재량이 부재의 콘크리트 단면적의 0.5% 미만인 경우에는 200×10^{-6} 으로 한다. 이때 구조물에 배치되어 있는 강재량, 콘크리트의 크리프등을 고려하여 콘크리트의 건조수축 변형률을 적용하는 것이 바람직하므로 콘크리트 그 자체의 건조수축 변형률보다 작은 값을 사용한다.
- (3) 경량 콘크리트의 건조수축 변형률은 콘크리트에 배합된 경량골재의 건조수축 변형률을 고려하여 정해야 한다.
- (4) 건조수축 변형률은 다음 값을 따른다.
- ① 철근콘크리트 구조물 15×10^{-5}
 - ② 라멘구조물 15×10^{-5}
 - ③ 아치구조물 20×10^{-5}

3.11 지점변위의 영향

- (1) 지점변위는 받침의 변위, 지점이동의 영향, 지반침하와 기초회전 각변위, 수평변위등으로 발생하는 변위이다.
- (2) 지반침하는 토질조사로부터 토질 정수 등의 특성치 값과 지진으로 인한 액상화의 위험도로부터 추정할 수 있다.
- (3) 상부구조와 하부구조의 설계는 여러 변화하는 토질조건을 가지는 어느 구역의 정해진 시간에 어느 하나의 교각에 대한 지반침하들과 받침의 전위, 지점이동의 영향등을 고려하여 수행해야 한다.
- (4) 균질의 흙의 경우 5mm의 지반침하가 적용되어야 한다.
- (5) 지점변위의 영향에서는 변화된 콘크리트 탄성계수(장기탄성계수)가 고려되어야 한다.



(6) 하부구조에 대한 지반변동의 영향

하부구조 완성 후 기초지반의 압밀침하 등에 의해 지반 변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려한다. 지반변동의 예는 다음과 같다.

- ① 기초주변지반의 압밀침하
- ② 배면성토에 의한 연약지반의 측방유동
- ③ 하천의 흐름, 파랑에 의한 세굴, 하상저하
- ④ 균질의 흙의 경우 5mm의 지반침하가 적용되어야 한다.
- ⑤ 지점변위의 영향에서는 변화된 콘크리트 탄성계수(장기탄성계수)가 고려되어야 한다.
- ⑥ 하부구조에 대한 지반변동의 영향

하부구조 완성 후 기초지반의 압밀침하 등에 의해 지반 변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려한다. 지반변동의 예는 다음과 같다.

가. 기초주변지반의 압밀침하

나. 배면성토에 의한 연약지반의 측방유동

다. 하천의 흐름, 파랑에 의한 세굴, 하상저하

⑦ 상부구조에 대한 지점이동의 영향

가. 교각, 교대 등의 모든 하부구조는 인접 교각이나 교대간의 부등침하를 고려하여 상부구조 설계 시 고려해야 하며, 이때 하부구조가 콘크리트구조일 경우 크리프, 건조수축 등을 고려한 장기탄성계수를 적용해야 한다.

나. 연속보나 라멘구조, 교각과 같은 부정정 구조물에서는 지반의 부등침하 등으로 인하여 생기는 기초구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 따라 부재응력이 증가되는 곳이 생기므로 이들 영향을 고려해야 할 경우에는 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정해야 한다. 단면력의 산정은 탄성계산에 따르면 된다.

다. 콘크리트교에서는 콘크리트의 크리프 영향에 따라 그 응력은 상당히 작게 되어 크리프계수 $\phi=2.0$ 의 경우 탄성계산에 의한 값의 50% 정도로 된다. 따라서 크리프의 영향을 고려하지 않고 계산하는 경우에는 계산치의 50%를 소요강도로 보면 된다. 그러나 처음부터 크리프의 영향을 고려하여 엄밀하게 계산할 경우에는 그렇지 않다.

라. 강교에서는 콘크리트교와 같은 크리프현상은 없으므로 탄성계산으로 구한 단면력을 그대로 소요강도로 해야 한다.

마. 교각의 길이가 보의 길이에 비하여 아주 짧은 라멘구조에서는 지점의 이동 및 회전에 따라 큰 응력이 생기는 곳도 있으므로 특히 유의해야 한다. 또 지점 이동의 영향에 대한 허용응력은 증가시키지 않는다.

4. 운행하중

4.1 표준열차하중 일반사항

- (1) 교량구조는 해당 노선의 기능 별 <표 5>의 표준열차하중에 대하여 열차의 주행안전성을 확보할 수 있어야 한다.

표 5. 표준열차하중

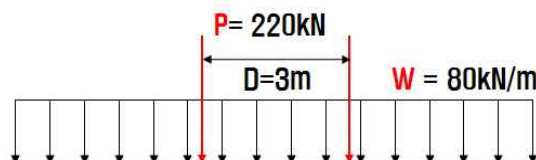
구분	표준열차하중	비고
여객화물혼용선	KRL-2012	여객전용선과 도시철도를 제외한 철도 노선
여객전용선	0.75KRL-2012	관계장관이 지정, 고시한 여객전용선
전동차 전용선	EL-18	도시철도 운행이 주목적인 철도

- (2) 특정 기능 목적의 선로에 대하여 새로운 표준열차하중 적용 시에는 실제 운행될 열차하중 및 향후 운행가능성이 있는 열차하중에 대하여 안전성을 확보할 수 있어야 한다.

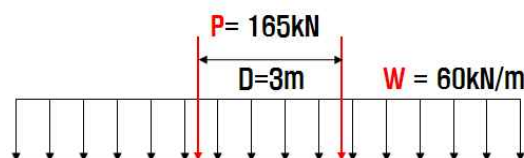
4.2 표준열차하중

4.2.1 KRL-2012 표준열차하중 재하도

- (1) 여객, 화물 혼용 구간의 철도 구조물은 다음 KRL-2012 표준열차하중 재하도에 나타낸 하중을 견디도록 설계되어야 한다. 단, 고속열차만 운행하는 여객전용선의 경우에는 KRL-2012 표준열차하중의 75%를 적용한 KRL-2012 여객전용 표준열차하중 재하도에 나타낸 하중을 견디도록 설계한다.



(a) KRL-2012 표준열차하중도(여객, 화물 혼용선)



(b) KRL-2012 표준열차하중도(여객 전용선)

그림 4. KRL-2012 표준열차하중도

- (2) 고속철도열차재하로 인한 동적인 해석은 실제적인 고속철도 열차의 하중이 사용되어야 하며, 모든 하중은 구조물의 가장 불리한 위치에 대해서 검토되어야 한다.



(3) 하나 혹은 두개의 궤도를 가지는 구조물은 각각의 궤도에 KRL-2012 표준열차하중이 적용되어지며 두 개 이상의 궤도를 가지는 구조물은 다음 두 경우 중 불리한 조건을 적용하여 검토해야 한다.

- ① 두개의 궤도에는 KRL-2012 표준열차하중을 전부 재하하고 세 번째 궤도에는 KRL-2012 표준열차하중 50%, 나머지 궤도에는 비 재하
- ② 모든 궤도에 KRL-2012 표준열차하중의 75%를 재하

4.2.2 KRL-2012 표준열차하중 편심

수직하중의 편심은 고려되어야 한다.

4.2.3 구조물에 대한 KRL-2012 표준열차하중의 전달

도상구조물이나 비 도상구조물 모두 침목과 레일로 인한 KRL-2012 표준열차하중의 분산이 고려되어야 한다.

4.2.4 피로의 영향을 검토할 때의 KRL-2012 표준열차하중

피로의 영향을 검토할 때는 단선을 지지하는 부재는 단선재하의 응력으로, 복선의 경우에도 단선재하의 상태에서 검토한다. 다만 동시재하 가능성이 높은 경우에는 동시재하 확률을 고려하여 검토한다.

4.2.5 바람의 영향을 검토할 때의 KRL-2012 표준열차하중

바람에 의한 교량의 전도에 대한 검토에서 공차하중을 사용할 때는 1궤도당 16kN/m의 등분포하중으로 하고 충격은 가산하지 않는다.

$$P = \frac{250}{1.6 \times a_1} \text{ (kN)}$$

$$P = \frac{250}{1.6 \times 2 \times a_2} \text{ (kN)}$$

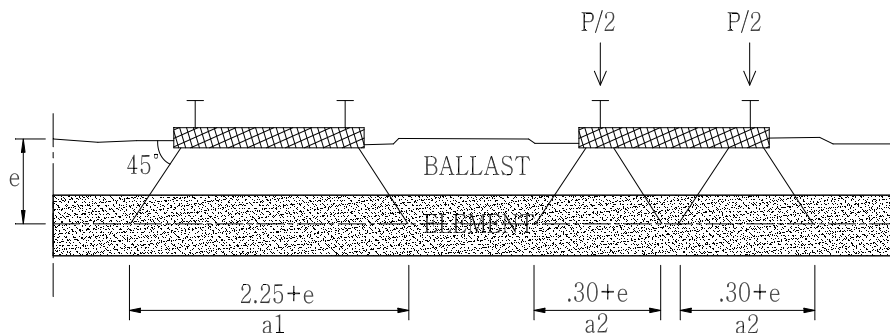


그림 5. 횡방향하중분포도

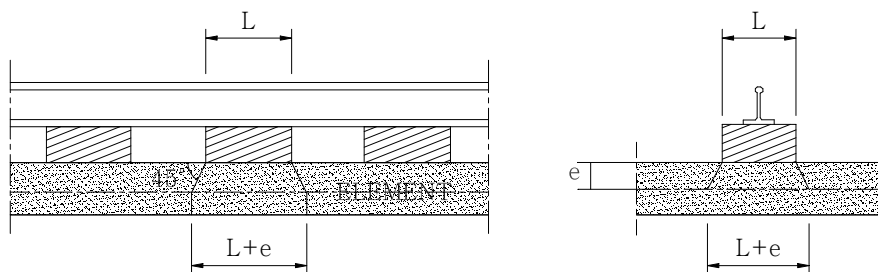


그림 6. 콘크리트 도상 경우의 하중 분포도

4.3 EL 표준열차하중 재하도

전동차 전용선인 경우에는 EL-18 표준열차하중을 적용한다. 그러나 특정차량 만을 운전하는 선로에서는 그 차량의 중량 및 통과빈도 등을 고려하여 표준열차하중을 정할 수 있다.

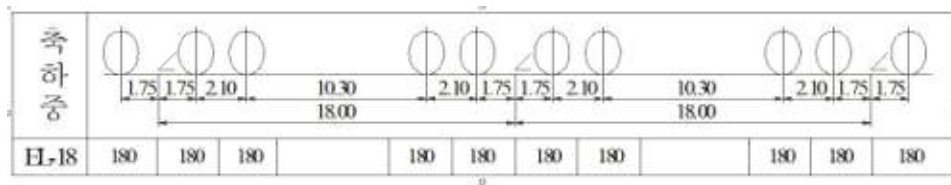


그림 7. EL표준열차하중(단위:kN/m)

(1) 하중의 재하방법

복선의 표준열차하중은 복선을 같은 방향으로 재하하고 3선의 경우 복선하중과 나머지 1선은 1/2하중을 재하한다. 4선의 경우에는 복선하중과 1선은 1/2하중으로 나머지 1선은 1/4하중을 재하한다.

(2) 피로의 영향을 검토할 때의 표준열차하중

피로의 영향을 검토할 때는 단선을 지지하는 부재는 단선재하의 응력으로, 복선의 경우에도 단선재하의 상태에서 검토한다. 다만 동시재하 가능성이 높은 경우에는 동시재하 확률을 고려하여 검토한다.

(3) 바람의 영향을 검토할 때의 표준열차하중

바람에 의한 교량의 전도에 대한 검토에서 공차하중을 사용할 때는 1궤도당 16kN/m의 등분포하중으로 하고 충격은 가산하지 않는다.

4.4 표준열차하중에 대한 동적 효과(충격계수)

4.4.1 충격계수

- (1) 표준열차하중은 충격계수에 의한 하중이 곱해지는 동적 충격효과를 포함해야 한다.
- (2) 충격계수는 구조물의 진동효과와 응력의 동적확대로 산정되어진다. 그러나 공명효과와 상부구조에서 초과 진동은 이 값에서 고려되지 않으며 그 효과는 별도 해석으로 검토되어야 한다.
- (3) 충격계수는 철근콘크리트, 프리스트레스 콘크리트와 강구조 또는 합성구조물에서 동일한 값을 갖는다.
- (4) 충격계수의 값은 구조물의 길이 특성치 $L_c(m)$ 에 의존해야 한다. $L_c(m)$ 의 크기는 <표 5>를 따른다.
- (5) 선로의 유지상태가 매우 불량한 경우를 제외하고는 다음 식으로 충격계수를 계산하여 적용한다.



$$I_m = \frac{1.44}{\sqrt{L_c} - 0.2} - 0.18 \quad (16)$$

여기서, $0 < I_m \leq 0.67$

(6) 충격계수가 적용된 하중은 다음과 같은 부분의 설계에 적용해야 한다.

표 6. 충격계수 산정을 위한 구조물 길이 특성치 L_c

번호	교량 부재, 교량 유형		L_c					
바닥 부재								
1	레일베어러(Rail Bearer)		가로거더 간격 + 3.0 m					
2	단순 지지된 레일베어러에 의해 재하된 가로거더		가로거더 간격의 2배 + 3.0 m					
3	연속 상판 부재에 의해 재하된 가로거더		주거더의 지간 또는 가로거더 지간의 2배 중 작은 값					
4	단부 가로거더		4.0 m					
5	상판 슬라브		각각의 주 지간 방향에 대하여 번호 1-4에 해당하는 값					
6	캔틸레버로 된 가로거더		가로거더에 해당하는 값 (번호 2-4)					
7	캔틸레버로 된 레일베어러		0.50m					
8	오직 가로거더에 의해서만 재하된 서스펜션 바(Suspension Bars) 또는 지지(Supports)		가로거더에 해당하는 값 (번호 2-4)					
9	박스거더 돌출(Box Girder Overhang)		2×돌출 폭					
10	박스거더 슬라브		복부 사이 거리					
주거더								
11	거더	2개 지지점 위에서	주거더의 지간					
12		n개 지간에 걸쳐서 연속		2	3	4	5	지간
		$L_m = \frac{1}{n}(L_1 + L_2 \dots + L_n)$	L_c	1.2	1.3	1.4	1.5	$\times L_m$ (최소 L_{max})

표 6. 충격계수 산정을 위한 구조물 길이 특성치 L_c (계속)

번호	교량 부재, 교량 유형		L_c				
13	캔틸레버/ 현수(Suspended) 지간 교량	캔틸레버 거더	거더의 지간				
14		현수 거더	현수 거더의 지간				
15	아 치		지간 절반				
16	주거더 위에 침목을 바로 놓는 경우, 보와 이음매에 대하여		주거더의 L_c				
17	교량 부재의 L_c 는 강기둥, 지지 뼈대(Support Frame), 가로보, 연결 조인트, 받침, 앵커, 주춧돌(Bed Stone) 등과 같은 부재들과 주춧돌과 벽돌 사이 및 받침 아래의 압력의 지지에 적용된다.						
18	부재에서의 총 응력이 몇몇 항들의 합인 경우, 각 상응하는 지지 함수, 즉, 상판 슬라브 또는 레일베어러 경우의 방정식은 만약, 그 단면이 주거더의 계산에 고려된다면, 총 응력의 각 항은 상응하는 특성치 지간 L_c 를 사용하여(4, 14번은 제외), 문제에 있어서의 운반 함수(Carrying Function)에 대한 동적 인자를 고려하여 계산되어야 한다.						

- ① 상부구조, 강재 또는 콘크리트로 지지하는 기둥, 라멘구조의 기둥, 그리고 일반적으로 일부 주 기초에 까지 이르는 구조부분도 확장 적용해야 할 필요가 있다.
- ② 콘크리트 또는 강파일의 지반선위의 부분으로서 상부구조와 직접 연결된 강결형식이나 연속형식의 구조
- (7) 충격하중은 다음의 구조물에는 적용하지 않는다.
 - ① 교대, 옹벽, 벽식 기초, 그리고 말뚝기초나 가구
 - ② 기초와 지반, 터널안의 기초 바닥 슬래브
 - ③ 보도부

4.4.2 실제 열차하중 하에서의 동적 해석

- (1) 설계속도가 200km/h보다 클 경우, 실제 열차하중에 의한 특별한 동적해석이 필수적으로 수행되어야한다.
- (2) 실제 동적 증폭계수는 <식 (17)>과 같다.

$$I_r = \max \left[\frac{z_{dyn}}{z_{stat}} \right] \quad \text{for} \quad 0 < s \leq s_{max} \quad (17)$$

여기서, z_{dyn} : 실제 열차하중을 동적 재하 해석하였을 때의 최대 처짐량

z_{stat} : 실제 열차하중을 정적하중으로 재하 해석하였을 때의 최대 처짐량

- (3) <식 (17)>에 의해 실제 열차하중으로 계산된 구조물의 응력이나 변형량이 「(1)항」의 방법으로 계산된 충격계수를 사용하여 HL 표준열차하중에 의해 계산된 값들보다 크게 되는 경우에는 구조물의 응력이나 변형치를 <식 (17)>로 계산한 실제 열차하중에 의한 값으로 적용해야 한다.
- (4) 활모양으로 불룩한 단면의 상판 내민 슬래브에서는 고정하중에서 20%의 동적충격을 적용하여 계산해야 한다.

4.4.3 라멘교 및 아치교 등에서 구조물의 상면에 흙이 1m 이상 덮여져 있는 경우의 값은 <식 (18)>에 따라 저감하여 적용한다.

$$i = i_0 - 0.1 (H_c - 1.0) \geq 0 \quad (18)$$

여기서, i : 구조물의 충격계수

i_0 : 구조물에 복토가 없다고 보았을 때의 충격계수

H_c : 구조물 상면에서 침목상단까지의 복토 높이(m)

4.4.4 하부구조의 설계에 사용하는 상부구조 반력에는 표준열차하중에 의한 충격을 고려하지 않아도 된다. 그러나 받침부나 콘크리트 및 강재로 된 기둥형의 교각 또는 이와 유사한 경량의 구체로 된 하부구조의 구체부분에는 충격을 고려해야 한다.



4.5 차량횡하중

4.5.1 KRL-2012 표준열차하중의 차량횡하중

- (1) 차량횡하중은 궤도중심선과 직각을 이룬 레일의 윗면에 수평하게 집중하중으로 작용하는 것으로 하며, 직선과 곡선 궤도 모두 적용한다.
- (2) KRL-2012 표준열차하중에 대한 차량횡하중의 크기는 $Q=100\text{kN}$ 으로 정하며, 충격계수 및 원심력 감소계수와 곱해서 적용하지 않는다. 복선 이상의 선로를 지지하는 구조물인 경우, 차량횡하중은 1궤도에 대한 것만을 고려하는 것으로 한다.
- (3) 차량횡하중은 레일체결장치와 직접적으로 접촉하는 구조 부재(콘크리트도상이 사용되어질 때)에 고려하며, 자갈도상을 가지는 교량상부의 설계에는 고려하지 않는다. 그러나 콘크리트도상인 경우에는 고려되어야 한다.

4.5.2 EL 표준열차하중의 차량횡하중

- (1) EL 표준열차하중에 대한 차량횡하중은 <그림 8>과 같이 연행집중이동하중으로 하고, 레일면의 높이에서 교축에 직각이고 수평으로 작용하는 것으로 한다. 그 크기 Q 는 EL하중 축중의 20%로 값으로 한다.

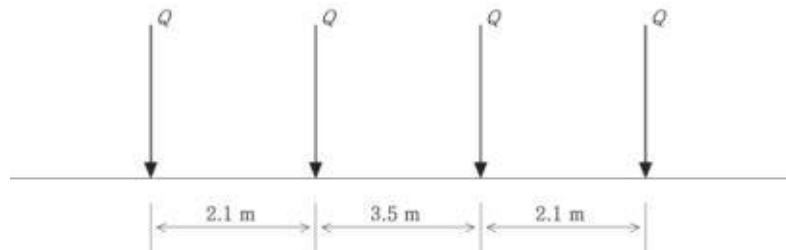


그림 8. EL 표준열차하중의 차량횡하중

- (2) 복선 이상의 선로를 지지하는 구조물인 경우, 차량횡하중은 1궤도에 대한 것만을 고려하는 것으로 한다.
- (3) 차량횡하중은 레일체결장치와 직접적으로 접촉하는 구조 부재(콘크리트도상이 사용되어질 때)에 고려하며, 자갈도상을 가지는 교량상부의 설계에는 고려하지 않는다. 그러나 콘크리트도상인 경우에는 고려되어야 한다.

4.6 캔트(cant) 효과

- (1) 곡선궤도를 가지는 구조물에서는 캔트 효과를 고려해야 한다. 이 효과는 횡방향으로 열차의 중심을 이동시키는 것으로 고려해야 한다.
- (2) 캔트 효과를 적용하는 데에 있어 다음의 두 가지 경우가 고려되어야 한다.
 - ① 정지상태 열차
 - ② 운행 중인 열차 : 이 경우는 원심하중이 고려되어야 한다.

4.7 원심하중

- (1) 교량상의 궤도가 일부 또는 전 구간에 걸쳐 곡선부를 갖는 경우에는 원심력을 고려한다.

- (2) 원심력은 표준열차하중에 <식 (19)>에서 계산되는 계수 α 를 곱한 값을 수평하중으로 계산해야 한다.

$$\alpha = \frac{V^2 f}{127 R} \quad (19)$$

여기서, V : 설계속도

f : 곡선 궤도에서의 L 과 V 에 따라 고려되는 감소계수(<식 (20)>)

R : 곡률반경(m)

L : 지간(m)

- (3) <표 6>은 감소계수(f)를 계산한 결과를 표로 나타낸 값이다.

$$f = 1 - \left(\frac{V-120}{1000} \right) \times \left(\frac{814}{V} + 1.75 \right) \times \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L}} \right) \quad (20)$$

- (4) 원심하중은 레일상면에서 KRL-2012하중은 1.8m, EL하중은 1.5m 높이에 수평방향으로 곡선 바깥쪽으로 작용하도록 해야 한다.
- (5) 원심하중에는 충격계수를 고려하지 않는다.
- (6) 자갈도상이 없는 직결식 궤도 등에 있어서와 같은 레일 체결구와 직접적으로 접하는 구조부재에서는 원심하중과 100kN의 수직하중 크기를 갖는 차축부의 차량에 의한 차량횡하중이 동시에 작용한다고 본다.

표 7. 설계속도에 따른 원심력 감소계수

$L(m)$	설계속도				
	≤ 120	160	200	250	≥ 300
≤ 2.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.0	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
4.0	1.00	0.96	0.93	0.90	0.88
5.0	1.00	0.93	0.89	0.84	0.81
6.0	1.00	0.92	0.86	0.80	0.75
7.0	1.00	0.90	0.83	0.77	0.71
8.0	1.00	0.89	0.81	0.74	0.68
9.0	1.00	0.88	0.80	0.72	0.65
10	1.00	0.87	0.78	0.70	0.63
12	1.00	0.86	0.76	0.67	0.59
15	1.00	0.85	0.74	0.63	0.55
20	1.00	0.83	0.71	0.60	0.50
30	1.00	0.81	0.68	0.55	0.45
40	1.00	0.80	0.66	0.52	0.41
50	1.00	0.79	0.65	0.50	0.39
60	1.00	0.79	0.64	0.49	0.37
70	1.00	0.78	0.63	0.48	0.36
80	1.00	0.78	0.62	0.47	0.35
90	1.00	0.78	0.62	0.47	0.34
100	1.00	0.77	0.61	0.46	0.33
≥ 150	1.00	0.76	0.60	0.44	0.31

- (7) 원심하중과 횡하중이 동시에 작용하는 경우 큰 쪽의 하중이 작용하는 것으로 가정한다.



(8) 원심하중으로 인해 발생한 하중은 연직하중과 하중조합을 한다. 이때 최고속도가 120km/h 이상인 경우는 다음과 같은 2가지를 고려해야 한다.

- ① 총 연직하중+원심하중($V=120\text{km/h}$)
- ② 감소 연직하중(f 와 동일비례 감소)+원심하중($V=\text{설계속도}$)

4.8 시동하중과 제동하중

4.8.1 작용

(1) 시동 및 제동하중은 레일의 윗면에 레일방향인 교량 종방향 하중으로 작용해야 한다. KRL-2012하중은 1.8m, EL하중은 1.5m 높이에서 교축방향으로 수평으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 고려되어진 하중의 작용 영향길이 L_f 위에 일정하게 분포되어야 한다. 복선 이상의 경우에는 복선재하 상태에서 검토하며, “시동+제동”의 경우로 적용한다. 여기에서 충격은 모두 고려하지 않는다.

(2) 시동, 제동하중의 값은 연속케도(장대레일)에 대하여 다음의 값을 취해야 한다.

- ① KRL-2012 표준열차하중에 대하여 (여객전용선의 경우 0.75KRL-2012)

시동하중 : $33\text{kN/m} \times L(\text{m}) \leq 1000\text{kN}$

제동하중 : $20\text{kN/m} \times L(\text{m}) \leq 6000\text{kN}$

여기서, $L(\text{m})$ 은 하중의 재하된 길이이며 다음과 같다.

- 상부구조, 받침 : 상부구조물의 길이
- 교각, 교대 : 상부구조의 길이로서 이들 교각, 교대 부분이 상부와 고정단으로 연결된 부분에 해당하는 부분으로서 그 상부구조의 수평하중이 전달되는 길이 이때, 시동 및 제동하중은 최대값 제한치 이내에서 해당 하중의 전체길이 L 에 적용되어 진다.(시동하중에 대해서는 실제 주행하는 열차에 대해서 열차 구동시 차륜의 회전에 의해 레일에 구동마찰력이 작용하는 축하중의 길이만큼, 제동하중에 대해서는 전 열차 길이만큼 적용)

단, 시속 200 km 이하의 열차의 경우, 시동 및 제동하중은 다음의 값을 취한다.

- 시동하중: $\alpha \times 33\text{kN/m} \times L(\text{m}) \leq 440\text{kN}$

- 제동하중: $\beta \times 20\text{kN/m} \times L(\text{m}) \leq 6000\text{kN}$

여기서, α 및 β 는 감소계수로서 다음의 값을 적용한다.

$\alpha=0.65$, $\beta=0.6+0.45 \times \exp(-0.04 \times L)$

- ② EL 표준열차하중에 대하여

시동하중 : $(0.27+0.95 \times L/L_v) \times T$

제동하중 : $(0.27+1.00 \times L/L_v) \times T$

여기서, L_v 는 1차량길이, L 은 부재에 최대영향을 주는 하중재하 길이, T 는 EL 표준열차하중의 축중을 나타낸다.

(3) 시동 및 제동하중은 표준열차하중과 조합하여 검토되어야 한다.

4.8.2 교량에 의한 시동/제동하중의 저항

- (1) 궤도가 교량 구조의 양쪽 또는 한쪽 끝에서 끊어지지 않고 연속으로 이어지는 장대레일이 적용되어 있을 때, 시동하중 또는 제동하중의 그 중 일부는 궤도를 통해 연속된 부분으로 전달되어지고 그 나머지가 상부구조를 통해 받침에 전달되어진다. 궤도를 통해 전달되어지는 그 일부 하중은 교대 뒤에서 저항되는 힘으로 고려해야 한다.
- (2) 상부구조를 통해 받침에 전달되어지는 하중의 비는 <표 8>에 주어진다. 단, 이 값은 궤도-구조물 상대변위 검토시의 변위검토에만 적용한다.

표 8. 상부구조를 통해 받침에 전달되어지는 하중의 비

단위교량의 연장	연속 장대레일	한쪽 끝이 REJ가 있는 장대레일
	단선 또는 복선의 경우	단선 또는 복선의 경우
30	0.50	/
60	0.50	0.60
90	0.60	0.65
120	0.70	0.70
150	0.75	0.75
180	/	0.80
210	/	0.85
≥240	/	0.90

주) 여기서 단위교량이란 독립적인 한 개의 교량상부구조 또는 연속된 다수의 독립적인교량상부구조 형식에서 그것을 구성하는 각각의 독립적인 교량상부구조를 말한다.

5. 기타하중

5.1 풍하중

- (1) 풍하중은 교량에 대하여 1방향으로 수평 및 직각으로 작용하는 것으로 하고, 그 크기는 다음 각 항에 의한다.

① 교량상에 열차가 없을 때

가. 교량의 연직투사면 : 3.0kN/m^2

나. 트러스의 바닥틀과 겹쳐지지 않는 바람맞이 반대편 주트러스의 연직투사면 : 2.0kN/m^2

② 교량상에 열차가 있을 때

가. 교량의 연직투사면 : 1.5kN/m^2

나. 트러스의 바닥틀과 겹쳐지지 않는 바람맞이 반대편 주트러스의 연직투사면 : 1.0kN/m^2

다. 통과열차에 대하여 연직투사면 : 1.5kN/m^2

다만, 열차의 연직투사면은 레일상면으로부터 4.0m높이의 폭으로 하고, 열차와 겹쳐지는 보의 바람맞이 쪽과 바람맞이 반대쪽의 부재에 대하여는 풍하중을 고려하지 않는다.



- (2) 지간 80m까지의 하로트러스에 대하여는 전항의 규정에 관계없이 바람맞이 쪽과 바람맞이 반대쪽을 합계하여 <표 9>의 값을 사용하도록 한다.

표 9. 지간 80m까지의 하로트러스의 풍하중 크기(단위 : kN/m)

구분	상현재	하현재
교량상에 열차가 없는 경우	5.0	6.0
교량상에 열차가 있는 경우	3.0	8.0 *

주 *) 열차에 대한 풍하중을 포함한 값이다.

- (3) 대상지역의 풍속기록과 구조물 주변의 지형 및 환경 등에 대한 특별한 조사연구에 따라 설계풍속을 결정하였을 때에는 「① 또는 ②항」에 제시된 풍하중 값을 결정된 설계풍속의 제곱과 기본설계풍속의 제곱의 비율에 따라 증가시킬 수 있는데, 이 경우 풍하중의 산정근거를 명시해야 한다. 다만, 「①항」의 값은 최소값이다.
- (4) 원형 또는 이에 준하는 단면을 갖는 부재에 고려하는 풍하중은 「①항」에 규정한 수치의 0.6배로 한다.

5.2 온도변화의 영향

(1) 강교 설계시 온도변화의 범위

- ① 강교에서 온도변화의 승강(昇降)은 가설시 온도를 기준으로 하여 계산해야 한다. 온도변화의 범위는 -20°C 에서 $+50^{\circ}\text{C}$ 로 하되, 특히 추운 지방에서는 -30°C 에서 $+50^{\circ}\text{C}$ 까지로 해야 한다.
 - ② 가설시 온도의 예측이 어려운 경우 온도의 승강은 기후가 보통인 지방에서는 $\pm 35^{\circ}\text{C}$, 기후가 특히 한냉한 지방에서는 $\pm 45^{\circ}\text{C}$ 로 해야 한다.
 - ③ 타이드 아치나 보강거더가 있는 아치 및 라멘, 강바닥판교 등에서는 아치부분이나 행거 등과 같이 태양광선의 직사를 받는 부분과 타이(Tie)나 보강거더와 같이 그늘 부분에 있는 것이 있다. 이러한 교량에서는 여름철에 두 부분의 온도차가 크므로 이로 인한 응력을 고려해야 할 경우도 있다. 이 경우의 온도차는 토지의 상황 및 도료의 색에 따라 일정하지 않으나 15°C 로 해야 한다.
- (2) 합성보에서 콘크리트슬래브와 강재주거더와 온도차는 10°C 로 하고 슬래브쪽이 고온일때와 강재주거더 쪽이 고온일 때의 각각에 대해 조사한다. 온도의 분포에 대해서는 <그림 9>에 보인 상태들 중에서 양자의 경계에서의 온도차가 다른 (a)의 상태를 고려한다.

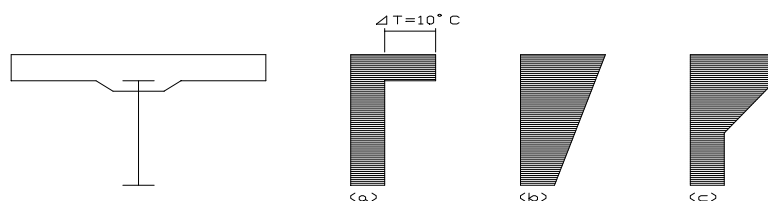


그림 9. 온도차의 분포상태

(3) 콘크리트교 설계시 단면에서의 온도변화의 범위

- ① 콘크리트교의 온도변화 범위는 지역별 평균기온을 고려하여 정해야 한다. 보통의 경우 온도 상승은 각각 15℃로 하면 된다. 단면의 최소 치수가 700mm 이상인 경우에는 10℃로 하면 된다.

가. 바닥판과 기타 부분의 온도차에 의해 생기는 단면력을 산출하는 경우의 온도차는 5℃로 하고 온도분포는 바닥판과 기타부분에 있어서 균일하다고 본다. 실측에 의하면 바닥판의 상면과 하면에서는 5~15℃의 온도차가 <그림 10(a)>에 보인 바와 같이 발생하고, 복부부의 온도분포는 거의 일정하다. 따라서 계산의 편의상 온도분포를 <그림 10(b)>에 보인대로 온도차를 5℃라고 가정한다. 이 값은 실측된 온도분포에서 산출된 응력과 큰 차이가 없는 응력이 발생하도록 환산한 것이다.

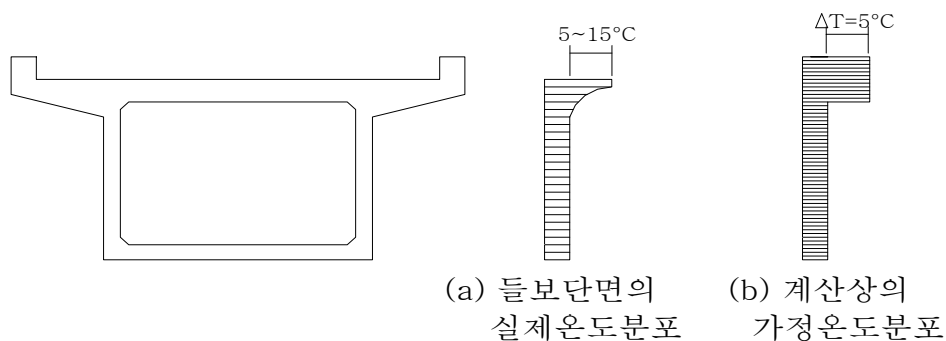


그림 10. 바닥판과 보의 온도차

나. 부재 해석을 위한 수직방향의 거더의 온도변화에 대한 검토에는 거더의 가장 위쪽과 가장 아래쪽면 사이의 온도 변화를 적용하며 다음의 값을 적용할 수 있다.

무도상 교량 : 10℃

운행면을 보호하는 도상을 가지는 교량 : 5℃

다. 교량이 영구적으로 직사광선을 차단하는 구조물로 건설되어져 있을 경우에는 온도변화율이 무시될 수 있다. 온도변화율은 상부구조의 상하면을 통해 선형으로 가정해야 한다.

(4) 설계시 선팽창계수

- ① 강교에서 강재의 선팽창계수는 12×10^{-6} 으로 해야 한다.
- ② 콘크리트교에서 철근 및 콘크리트의 선팽창계수는 10×10^{-6} 으로 해야 한다.
- ③ 강재와 콘크리트의 합성거더교에서 강재 및 콘크리트의 선팽창계수는 12×10^{-6} 으로 해야 한다.

가. 수중 또는 토중에 있는 구조물에 대해서는 온도변화의 영향을 고려하지 않는다.

나. 신축이음과 받침의 이동 크기를 정할 때, 반드시 현장에서 이들 장치의 설치시 실제 온도가 고려되어 재산정 되어야 한다.



5.3 장대레일 종하중

- (1) 교량상의 궤도에 장대레일을 적용하는 경우 궤도에 있어서 궤도와 슬래브 각각에서의 신축이음 적용여부에 따라 종방향 응력 결과가 다르다.
- (2) 이러한 응력은 궤도에서부터 슬래브 위쪽 면으로 마찰 등에 의해 전달되거나 상호 작용하게 된다.
- (3) <식 (21)>, <식 (22)>는 한쪽 끝단에 고정받침을 가지는 자갈도상이 있는 상부구조에 사용될 수 있다.

- ① 레일신축이음장치가 없을 경우

$$f_{v0} = \pm 3L \text{ (kN)} \text{ (1 레일 당)} \quad (21)$$

여기서, L = 슬래브의 팽창이 고려될 수 있는 길이

- ② 구조물의 가동끝단에서 레일 신축이음이 있는 경우

$$f_{v0} = \pm 500 \text{ (kN)} \text{ (1 레일 당)} \quad (22)$$

- (4) <식 (23)>, <식 (24)>은 한쪽 끝단에 고정받침을 가지는 콘크리트도상이 있는 상부 구조에 사용될 수 있다.

- ① 레일 신축이음장치가 없을 경우

$$f_{v0} = \pm 6L \text{ (kN)} \text{ (1 레일 당)} \quad (23)$$

여기서, L = 슬래브의 팽창이 고려될 수 있는 길이

- ② 구조물의 가동끝단에서 레일 신축이음이 있는 경우

$$f_{v0} = \pm 1,000 \text{ (kN)} \text{ (1 레일 당)} \quad (24)$$

- (5) 기타 다른 특별한 경우는, 그에 합리적으로 적용될 수 있는 특별한 해석을 수행 해야 한다.

5.4 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중

5.4.1 유지보수통로 하중

- (1) 교량의 주거더의 설계에 있어서, 유지보수 등을 위한 보행시설 상에 작용하는 해당 수직하중은 적용하지 않는다.
- (2) 유지보수 통로 등 보행시설을 지지하는 부재의 설계에는 5kN/m^2 의 등분포 수직하중이 작용하는 것으로 본다. 단, 특별한 구성 부재의 설계에서 이 보다 더 불리한 값을 나타내는 경우에는 2kN 의 집중하중을 가장 불리한 재하위치에 두고 계산할 수 있다.
- (3) 이때 집중하중은 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 면적에 작용하는 것으로 가정하며 하중 경감효과는 고려하지 않는다.

5.4.2 균중하중, 승강장에 재하되는 하중

- (1) 교량의 주거더 설계에 있어서 만약 일반 보행자용 보도시설이 포함되어 있을 경우에는 보도 위에 2kN/m^2 의 하중을 철도차량에 따른 하중에 추가하여 고려해야 한다.
- (2) 일반 보행자용 보도부를 직접 지지하는 구조에 적용되는 설계에서는 5kN/m^2 이 적용되어야 한다.
- (3) 승강장에 공공 교통용 차량이 올라타지 않는 이상 승강장 면 위에는 5kN/m^2 의 등분포 하중을 적용할 수 있다. 또한 이 등분포 하중 재하 상태에서 가장 불리한 구조 위치에 20kN 의 집중하중을 추가로 올릴 수 있다.
- (4) 구조계산의 대상에 따라 <표 10>의 균중하중을 재하할 수 있다.

표 10. 균중하중

구조계산의 대상	구조종별	상시 (kN/m^2)
콘크리트 슬래브	승환과선교, 승강장	5.0
	역부고가교의 중간층 슬래브 등, 캔틸레버 슬래브, 교측보도(도상궤도의 교량거더)	
	캔틸레버 슬래브, 교측보도 (슬래브궤도 또는 무도상의 교형)	3.0
보, 기둥	승환과선교, 승강장	3.5
	역부고가교의 중간층 보 등	
교량점검 시설		4.0

5.4.3 난간하중

- (1) 일반보도 위의 난간은 난간의 끝에서 800N/m 의 수평하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다. 특별한 경우에는 2.5kN 으로 하고, 보도면에서는 1.5m 의 높이에 또 난간의 상단에 직각과 수평으로 작용한다.
- (2) 일반보도 위에 핸드레일이 있는 난간은 핸드레일의 높이에 하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다. 또한, 보도 위 난간의 핸드레일의 끝에서 800N/m 의 수직하중이 작용하는 것으로 설계되어야 한다.
- (3) 난간의 높이는 소음을 경감시키는 형식으로 된 경우라면 난간 높이에 따른 소음 저감효과에 따라 그 높이를 결정해야 한다.
- (4) 이 하중은 풍하중과 조합해야 한다.



5.4.4 방음벽

- (1) 구조물과 방음벽의 연결정착부 및 방음벽 자체는 「제4장 흙구조물」의 <표 2> 지역별 풍하중의 압력에 저항할 수 있어야 한다.
- (2) 열차 통과로 인한 후폭풍의 압력에도 저항할 수 있도록 비교 검토해야 하며 설계속도에 따라 <식 (25)>를 적용할 수 있다.

$$P_V = k_v \times \frac{4100}{d} \quad (\text{N/m}^2) \quad (25)$$

여기서, P_V : 설계속도에 따른 후폭풍의 압력

k_v : 설계속도에 따른 계수 $((\frac{V}{350})^2)$

V : 설계속도(km/h)

d : 열차 중심에서부터 벽의 안쪽 면까지의 거리(m)

5.4.5 지주 하단에 작용하는 하중

대부분 교량 상부 플랜지 상단에 설치되는 전차선주나 신호 지주 등의 지주 설계에 적용되는 하중은 일반적인 사용상태의 하중 이외에 지진, 태풍 등의 하중이 고려되어야 한다.

5.4.6 마찰저항하중

마찰저항하중은 마찰면에 수직한 하중에 가동받침 마찰계수를 곱하여 얻어진 값으로 한다.

5.4.7 화물하중

화물하중은 <표 11>의 값으로 한다.

표 11. 화물하중

화물의 종류	중량(kN/m)
소화물	10
일반 화물	15
큰 화물	30

6. 특수하중

6.1 충돌하중

6.1.1 자동차의 충돌

자동차가 충돌할 염려가 있는 교각 기둥 등에는 콘크리트벽 등으로 안전한 방호시설을 설치해야 한다. 이들 방호시설을 설치하지 않는 경우에는 다음 충돌하중이 노면 위 1.8m에서 수평으로 작용하는 것으로 보고 각주를 설계해야 한다.

- (1) 차도방향에 대하여 1,000kN
- (2) 차도직각방향에 대하여 500kN

6.1.2 유목(流木) 등의 충돌

- (1) 유목 및 기타의 유송물(流送物)이 충돌할 우려가 있는 경우에는 <식 (29)>에 의해 충돌력을 산출한다. 그 작용높이는 수면으로 한다.

$$P = 0.1 W v \quad (29)$$

여기서, P : 충돌력(kN)

W : 유송물의 중량(kN)

v : 표면유속(m/s)

- (2) 유송물의 중량을 결정함에 있어서는 가교지점 부근의 주민의 경험담, 상류의 교량 하천구조물, 산지의 상황 등을 조사한 후 합리적인 값을 정한다.

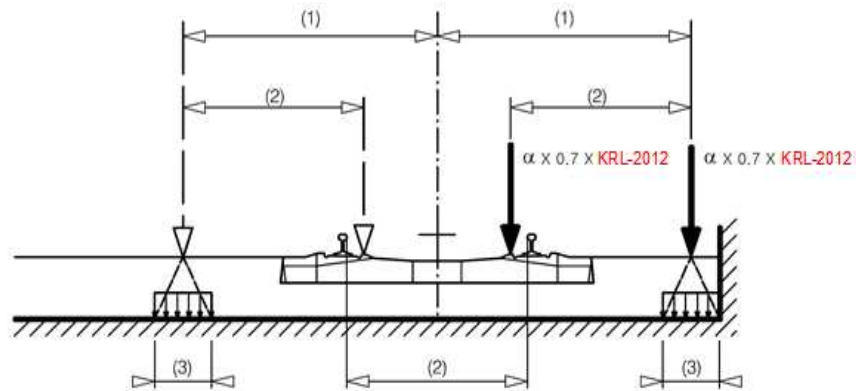
6.1.3 선박의 충돌

- (1) 항로상 또는 항로근처에 교각을 설치하여 선박과 충돌할 우려가 있는 경우에는 이것을 설계에 고려해야 한다. 즉, 하천의 하류부에서 항해가 행하여지는 경우에, 통상의 하부구조에 대해 소형선박의 충돌은 거의 교량의 안정조건을 좌우하지 않는다. 그러나 하구(河口)에 가까운 항만구역의 일부든지 바다에 건설되는 교각의 경우에는 대형강 철선의 충돌이 예상되기 때문에 이때는 선박의 영향을 설계에 고려해야 한다.
- (2) 그러나 일반적으로 선박이 충돌하는 데는 기상 악조건에서 방향타를 잘못 잡는 경우, 기관에 고장을 일으켜 표류하는 경우 등이며 순항속도(巡航速度)로 충돌하는 경우는 거의 없기 때문에 이를 고려하여 충돌하중을 정해야 한다.

6.2 탈선하중

6.2.1 KRL-2012 표준열차하중의 탈선하중

- (1) 교량은 탈선 사고로 인한 교량 손상이 최소가 되도록 설계해야 하고 특히, 교량의 전복이나 구조물의 파괴가 방지되도록 설계해야 한다.
- (2) 다음과 같은 두 가지 탈선상태의 하중이 고려되어야 한다.
 - ① 탈선상황 I : 탈선된 열차가 교량 상 궤도구조 안에 존재할 때
 - ② 탈선상황 II : 탈선된 열차가 궤도구조를 벗어나 교량 상판 끝 부분에 걸쳐있을 때
- (3) 탈선상황 I에서는 <그림 11>과 같이 $\alpha \times 1.4 \times \text{KRL-2012}$ (집중하중과 등분포하중 모두 재하, α 는 여객·화물혼용선의 경우 1.0, 여객전용선의 경우 0.75)의 하중이 궤도중심으로부터 양쪽 방향으로 궤간의 1.5배 이내에서 궤도와 평행하게 가장 불리한 위치에 재하되도록 한다.



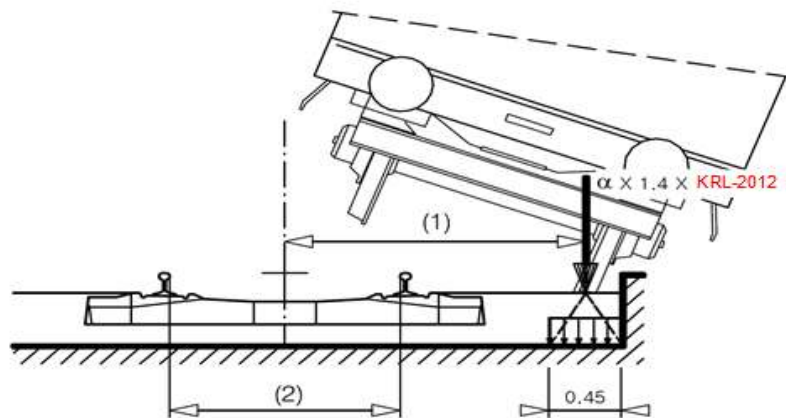
주 (1) : 탈선 방호벽 안쪽으로 최대 궤간의 1.5배

(2) : 궤간

(3) : 자갈도상의 경우에는 교량상판에 450mm 폭의 정사각형 분포하중으로 재하

그림 11. 탈선상황 I (KRL-2012하중의 집중하중과 등분포하중 모두 재하)

- (4) 탈선상황 II 에서는 <그림 12>와 같이 $\alpha \times 1.4 \times \text{KRL-2012}$ (등분포하중만 재하, α 는 여객·화물혼용선의 경우 1.0, 여객전용선의 경우 0.75)의 하중을 최대 20m 길이로, 보도 등이 비구조적 부재인 경우에는 이를 제외한 교량 상판 끝에 재하 되도록 한다.



주 (1) : 교량 상판 끝에 작용

(2) : 궤간

그림 12. 탈선상황 II (KRL-2012하중의 등분포하중만 재하)

- (5) 탈선상황 I과 II는 각각 따로 계산한다. 두 상황은 조합하지 않으며, 충격계수를 고려하지 않는다.
- (6) 교축직각방향 탈선 이동을 막아주는 장치적인 역할로서 케이블 홈통(Ditch) 등에 설치하게 되어있는 탈선 방호벽 등의 교량 상부면 돌출구조에는 150kN의 교축직각방향 수평하중을 적용하여 탈선시 열차의 수평 이탈을 제어할 수 있도록 해야 한다.

6.2.2 EL 표준열차하중의 탈선하중

- (1) EL 표준열차하중의 집중하중을 선로중심에서 1.5m씩 편기하여 작용시켜 단면 검토한다.
- (2) 상대편 선로에는 EL 표준열차하중을 **등분포하중으로 환산하여** 불리한 경우로 재하한다.

6.3 가설시 하중

- (1) 교량 가설시에는 가설단계별 가설방법과 가설중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기자재, 바람 지진의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 해야 한다.
- (2) 가설시 하중이란 교량가설시 작용하는 하중이다. 가설시 하중으로 인한 응력은 가설 방법에 따라서는 가설 후의 응력보다 큰 값을 나타낼 경우가 있어 때로는 교량주거터의 좌굴, 낙교 등의 사고가 생긴다. 또, 하부구조에서는 케이슨기초 본체 외부에 돌출하여 가설중의 상부구조를 지지하고 있는 교각이나 두부 힌지교정의 유연한 교각 등에 대해서는 시공시의 안정이나 단면조사로부터 구체와 기초의 치수나 제원이 결정되는 경우가 많다. 따라서 교량의 설계시에는 시공방법과 시공 중의 구조를 고려하여 자중, 시공기재, 바람, 지진, 온도변화 등에 대해 검토해야 한다.

6.4 지진의 영향

- (1) 지진의 영향은 교량 설계시 필요에 따라 고려해야 한다. 내진 설계에 대한 구체적인 사항은 별도 내진 설계 조항에서 정하는 바에 따른다.
- (2) 설계자는 단층이 횡단하는 선에서 고가교의 사용을 가능한 한 피해야 한다.
- (3) 단층이 횡단하는 선 지역에 고가교의 적용이 필요한 경우에는 설계자는 발주자에게 해석 결과를 제시해야 한다.
- (4) 고속철도의 설계에서는 고속도로 교량이나 일반 철도교량에 비해 지진발생 후 그리고 발생 하는 동안 보다 주의 깊은 변위해석을 요구해야 한다.
- (5) 시속 200km 이상 고속철도의 경우에는 요구하는 안전도를 제공하기 위하여, 다음 사항을 따른다.
 - ① 변위 억제장치가 상부구조와 하부구조사이의 연결을 유지하기 위해 각각의 교각위에 설치하는 것이 검토될 수 있다. 이러한 변위 억제장치는 크리프와 건조수축, 온도로 인한 구조물의 선형변화를 고려하여 설계되어야 한다.
 - ② 두 지지점에서의 변위 억제장치의 적용과 낙교방지를 위한 최소받침 지지길이의 적용에 있어서는 두개의 독립된 상·하부구조 사이의 예상 수평변위가 주의 깊게 검토되어야 한다.
 - ③ 지진을 고려한 하중조합에서 PSC거더의 교량상판에서의 인장응력 발생이 제한되어야 한다.
 - ④ 기초의 지질 상태로부터 얻어지는 지반구속조건은 변화하는 높이에서 다양한 자유장 굴곡에 대하여 조절된 수평 지반반력계수를 사용하여 깊은 기초 전체를 통하여 자유장 운동이 고려되는 방식으로 결정되어야 한다.



7. 변형검토를 위한 하중조합

- (1) 고속철도 교량 구조물의 변형은 안전한 운행 조건의 확보를 위하여 아래에서 주어진 하중조합으로 검토해야 한다. 허용되는 최대 처짐은 「KR C-08050」을 만족해야 한다.

$$\text{하중조합 I : } D + L + [I] + CF + \blacksquare$$

여기서, \blacksquare 는 $Q + WL$ 또는 E 와 같음.

$[]$: 필요한 경우 고려해야 하는 하중

활하중(L) 재하선로수는 표준활하중이 가장 불리하게 재하되는 상태(복선포함)로 적용해야 한다.

$$\text{하중조합 II : 하중조합 I} + SB + F + G$$

- (2) 일반사항

강교와 강재교각은 허용응력설계법을 따른다. 그러나 콘크리트교와 콘크리트 교대, 교각 등은 우선적으로 강도설계법을 따르되 허용응력설계법도 사용할 수 있다.

철도 교량의 설계하중조합에 적용되는 하중의 기호는 다음과 같다.

CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력

CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

F : 이동이 허용되는 부분의 받침에서 전단저항과 마찰로 인한 종방향 하중

G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도 변화 또는 온도 변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

H : 토압 또는 이에 따른 단면력

I : 충격 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

LF : 활하중에 의한 차량횡하중

LR : 장대레일 종하중 또는 이에 따른 단면력

Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력

SB : 시동 또는 제동하중 또는 이에 따른 단면력

W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력

WL : 차량하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력

8. 허용응력설계법에 따른 하중조합

8.1 총칙

- (1) 주하중 및 주하중에 해당하는 특수하중에 대한 허용응력은 각 장에 규정한 값으로 한다.
- (2) 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우의 허용응력은 각 장에 규정한 허용응력에 「3(3)항」에 주어진 허용응력 증가계수를 곱한 값으로 한다.

8.2 하중의 종류

설계조합하중을 위하여 하중의 종류는 주하중(P), 부하중(S), 주하중에 상당하는 특수하중(PP), 부하중에 상당하는 특수하중(PA)으로 구분한다.

(1) 주하중(P)

- ① 고정하중(D)
- ② 활하중(L)
- ③ 충격(I)
- ④ 원심하중(CF)
- ⑤ 장대레일 종하중(LR)
- ⑥ 콘크리트 크리프의 영향(CR)
- ⑦ 콘크리트 건조수축의 영향(SH)
- ⑧ 토압(H)
- ⑨ 수압, 부력 또는 양압력(Q)

(2) 부하중(S)

- ① 차량횡하중(LF)
- ② 시동하중 또는 제동하중(SB)
- ③ 풍하중(W)

(3) 주하중에 상당하는 특수하중(PP)

- ① 설하중(SW)
- ② 지반변동의 영향(GD)
- ③ 지점이동의 영향(SD)
- ④ 파압(WP)

(4) 부하중에 상당하는 특수하중(PA)

- ① 온도변화의 영향(T)
- ② 지진의 영향(E)
- ③ 가설시 하중(ER)
- ④ 충돌하중(CO)
- ⑤ 탈선하중(DR)
- ⑥ 기타하중



8.3 하중조합 및 허용응력 증가계수

여기서는 강교, 콘크리트교, 하부구조의 허용응력설계법을 위한 하중조합 및 허용응력 증가계수를 나타내었다. 세부사항에 대해서는 각 장에 그 내용이 상술되어 있다.

8.3.1 강교

표 12. 강교에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

하중 조합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	풍하중+시동하중 또는 제동하중	W+SB	1.25
9	주하중*+지진의 영향	P+E	1.55
10	주하중+충돌하중	P+CO	1.60
11	가설하중	ER	1.25

주) 주하중* : 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고, 단선 활하중을 포함시킨다.
가설하중의 경우, 특히 가설기간이 길거나 신공법으로 가설되는 교량에 대해서는 허용응력을 증가시키지 않는다.

8.3.2 콘크리트교

(1) 가설하중에 대한 허용응력 증가계수의 값은 가설시 하중으로서 가설시의 풍하중 및 지진의 영향을 고려하지 않은 경우에 대한 규정이다. 따라서 이를 고려하는 경우에는 허용응력 증가계수를 <표 12> 및 <표 13>에 주어진 값과 관계없이 가교지점의 조건, 시공 중의 구조계 등을 고려하여 별도로 정한 값으로 해야 한다.

표 13. 콘크리트교에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

하중 조합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	풍하중+시동하중 또는 제동하중	W+SB	1.25
9	주하중*+지진의 영향	P+E	1.40
10	주하중+충돌하중	P+CO	1.50
11	가설하중	ER	1.25

주) 주하중* - 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고, 단선 활하중을 포함시킨다.

- (2) 콘크리트교에서 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우에 PS강재의 허용인장응력은 PS강재 항복점의 90% 이하의 값으로 하며, 프리스트레싱 직후의 콘크리트 및 PS강재의 허용응력은 증가시키지 않는다.

8.3.3 하부구조

(1) 철근 및 무근 콘크리트, 강구조

표 14. 하부구조에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

하중 조합			허용응력 증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	P+PP+T	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중	P+PP+LF	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중	P+PP+SB	1.25
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	P+PP+W	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+차량횡하중+풍하중	P+PP+LF+W	1.35
6	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+시동하중 또는 제동하중+풍하중	P+PP+SB+W	1.35
7	차량횡하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	LF+PP+W	1.25
8	주하중+충돌하중	P+CO	
	강구조에 대하여		1.60
	무근 및 철근콘크리트 구조에 대하여		1.50
9	주하중*+지진의 영향	P+E	1.55
	강구조에 대하여		1.40
	무근 및 철근콘크리트 구조에 대하여		
10	가설하중의 조합	ER	1.50
	완성 후의 응력이 현저히 저하되는 경우		1.25
	완성 후의 응력이 허용응력과 같은 정도로 되는 경우		

주) 주하중* : 이 경우에는 주하중에 충격하중과 원심하중을 포함시키지 않고, 단선 활하중을 포함시킨다.

(2) 프리스트레스트 콘크리트 말뚝

지진의 영향을 고려할 때, 프리스트레스트 콘크리트 말뚝의 허용휨인장응력은 <표 15>에 주어진 값을 따른다.

표 15. 지진의 영향을 고려할 때 프리스트레스트 콘크리트 말뚝의
콘크리트 허용휨인장응력

유효프리스트레스 f_{ce} (MPa)	$4 \leq f_{ce} < 7$	$7 \leq f_{ce}$
허용휨인장응력 (MPa)	3	5



9. 강도설계법에 따른 하중조합

강도설계법을 적용하는 교량의 하중조합은 다음을 따른다.

(1) 주요 하중조합의 하중계수

$$U = 1.35 D + 1.85 (L + I) + 1.35 CF(LF) + 1.6 H + 1.4 Q \quad (26)$$

$$U = 1.6 (D + L + I + CF(LF) + H + Q) \quad (27)$$

$$U = 1.35 D + 1.4 (L + I) + 1.35 CF(LF) + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 G \quad (28)$$

$$U = 1.35 D + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 W + 1.35 G \quad (29)$$

$$U = 1.35 D + 1.4 (L + I) + 1.35 CF(LF) + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 (0.5 W + WL) + 1.4 (SB + LR) + 1.35 G \quad (30)$$

$$U = 1.0 D + 1.0 (L/2) + 1.0 H + 1.0 Q + 1.0 E \quad (31)$$

여기서, <식 34>의 $L/2$ 는 단선 활하중을 의미한다.

$$U = 1.35 D + 1.4 (L + I) + 1.6 H + 1.35 Q + 1.35 CO \quad (32)$$

$$U = 1.2 D + 1.5 H + 1.2 Q + 1.2 W + 1.2 CO \quad (33)$$

여기서, 원심하중(CF)과 횡하중(LF)이 동시에 작용하는 경우 큰 쪽의 하중이 작용하는 것으로 가정한다.

(2) (1)항의 모든 하중조합에서 <표 16>의 각 경우에 대한 고정하중계수와 토압하중계수는 각 표에 제시한 값을 사용해야 한다.

표 16. 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

식	고정하중계수	토압하중계수	
	① 기둥설계시 최소 축하중 및 최대모멘트 또는 최대편심에 대하여 설계할 경우	② 라멘구조에서 횡토압에 의해 상판의 정모멘트를 검토하는 경우	③ 연직토압에 대하여 설계할 경우
(1)~(7), (9)	0.8	0.6	1.4
(10)	0.9	0.8	1.2

(3) 기초를 설계할 경우 토압이나 파일하중 등에는 하중계수에 의한 하중증가를 시키지 않는다. 또한 전도, 활동 등에 대한 안전율을 사용하여 구조물 기초의 안정성을 검토하는 경우에도 하중계수를 사용하지 않는다.

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('14.1.10) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영

Rev.2('17.3.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(차량횡하중, 시동 및 제동 하중, 탈선하중)을 반영