

KDS 24 12 21 : 2016

교량 설계하중 (한계상태설계법)

2016년 6월 30일 제정
<http://www.kcsc.re.kr>



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 교량 설계하중(한계상태설계법)에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

| 건설기준 | 주요내용 | 제·개정 (년.월) |
|-----------------------|---|-----------------|
| 도로교 설계기준 (한계상태설계법) | • 도로교 설계기준(한계상태설계법) 제정. 신뢰도 기반의 설계기준 | 제정 (2011.12) |
| 도로교 설계기준 (한계상태설계법) | • 장경간 케이블 교량의 특수성을 고려한 한계상태설계법 기반 기준 추가 | 개정 (2015.1) |
| KDS 24 12 21 : 2016 | • 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함 | 제정 (2016.6) |
| KDS 24 12 21 : 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 (작성기관) : 한국도로협회(한국교량및구조공학회) | |

목 차

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. 일반사항 | 1 |
| 1.1 적용범위 | 1 |
| 2. 조사 및 계획 | 1 |
| 3. 재료 | 1 |
| 4. 설계 | 1 |
| 4.1 하중의 종류 | 1 |
| 4.2 고정하중: DC, DW | 2 |
| 4.3 활하중 | 3 |
| 4.4 충격하중: IM | 8 |
| 4.5 프리스트레스힘: PS | 8 |
| 4.6 콘크리트의 크리프: CR | 9 |
| 4.7 콘크리트의 건조수축: SH | 9 |
| 4.8 토압: EH, ES, LS, DD | 9 |
| 4.9 정수압, 유수압, 부력, 파압: WA, BP, WP .. | 10 |
| 4.10 풍하중 | 11 |
| 4.11 온도변화 | 17 |
| 4.12 지진의 영향: EQ | 18 |
| 4.13 설하중 및 빙하중: IC | 18 |
| 4.14 지반변동 및 지점이동의 영향: GD, SD | 18 |
| 4.15 원심하중 및 제동하중: CF, BR | 18 |
| 4.16 가설 시 하중: ER | 19 |
| 4.17 차량충돌하중: CT | 19 |
| 4.18 선박충돌하중: CV | 20 |
| 4.19 마찰력: FR | 30 |

교량 설계하중(한계상태설계법)

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 기준은 교량의 설계에서 사용되는 하중들에 대한 최소한의 요구 조건, 적용한계, 하중계수 및 하중조합에 대해 규정한다. 또한 이 규정은 기존 교량의 구조적 안전성 평가에도 적용될 수 있다. 이 규정들은 하중에 대한 최소 요구조건이므로, 필요한 경우 발주자의 판단에 따라 이 기준 이상의 하중을 사용할 수 있다.

2. 조사 및 계획

내용 없음.

3. 재료

내용 없음.

4. 설계

4.1 하중의 종류

설계에 있어서는 다음 하중을 고려한다.

(1) 지속하는 하중

① 고정하중

- 가. 구조부재와 비구조적 부착물의 중량(DC)
- 나. 포장과 설비의 고정하중(DW)

② 프리스트레스힘(PS)

포스트텐션에 의한 2차 하중효과를 포함한, 시공과정 중 발생한 누적 하중효과

③ 시공 중 발생하는 구속응력(EL)

④ 콘크리트 크리프의 영향(CR)

⑤ 콘크리트 건조수축의 영향(SH)

⑥ 토압

교량 설계하중(한계상태설계법)

- 가. 수평토압(EH)
- 나. 상재토하중(ES)
- 다. 수직토압(EV)
- 라. 말뚝부마찰력(DD)

(2) 변동하는 하중

- ① 활하중
 - 가. 차량활하중(LL)
 - 나. 상재활하중(LS)
 - 다. 보도하중(PL)
- ② 충격(IM)
- ③ 풍하중
 - 가. 차량에 작용하는 풍하중(WL)
 - 나. 구조물에 작용하는 풍하중(WS)
- ④ 온도변화의 영향
 - 가. 단면평균온도(TU)
 - 나. 온도 경사(TG)
- ⑤ 지진의 영향(EQ)
- ⑥ 정수압과 유수압(WA)
- ⑦ 부력 또는 양압력(BP)
- ⑧ 설하중 및 빙하중(IC)
- ⑨ 지반변동의 영향(GD)
- ⑩ 지점이동의 영향(SD)
- ⑪ 파압(WP)
- ⑫ 원심하중(CF)
- ⑬ 제동하중(BR)
- ⑭ 가설 시 하중(ER)
- ⑮ 충돌하중
 - 가. 차량충돌하중(CT)
 - 나. 선박충돌하중(CV)
- ⑯ 마찰력(FR)

4.2 고정하중: DC, DW

고정하중은 구조물의 자중·부속물과 그곳에 부착된 제반설비, 토피, 포장, 장래의 덧씌우기와 계획된 확폭 등에 의한 모든 예측 가능한 중량을 포함한다. 고정하중을 산출할 때는 표 4.2-1에 나타낸 단위질량을 사용하여야 한다. 다만, 실질량이 명백한 것은 그 값을 사용한다.

표 4.2-1 재료의 단위체적중량

| 트럭이 통행 가능한 차로 수 | | p |
|-----------------|-------|------|
| 강재, 주강, 단강 | | 77.0 |
| 주철, 주물강재 | | 77.0 |
| 알루미늄 합금 | | 27.5 |
| 철근콘크리트 | | 24.5 |
| 프리스트레스트 콘크리트 | | 24.5 |
| 콘크리트 | | 23.0 |
| 시멘트 모르타르 | | 21.0 |
| 역청재(방수용) | | 11.0 |
| 아스팔트 포장재 | | 22.6 |
| 목재 | 단단한 것 | 9.4 |
| | 무른 것 | 7.8 |
| 용수 | 담수 | 9.8 |
| | 해수 | 10.2 |

4.3 활하중

4.3.1 차량활하중: LL

4.3.1.1 재하차로의 수

(1) 차량활하중의 재하를 위한 재하차로의 수 N 은 식 (4.3-1)과 같다.

$$N = \frac{W_C}{W_P} \text{의 정수부} \quad (4.3-1)$$

여기서, W_C = 연석, 방호울타리(중앙분리대 포함)간의 교폭 (m)

W_P = 발주자에 의해 정해진 계획차로의 폭 (m)

다만, 식 (4.3.1)에 의한 N 이 1이며 W_C 가 6.0 m 이상인 경우에는 재하차로의 수(N)를 2로 한다.

(2) 재하차로의 폭 W 는 식 (4.3-2)와 같다.

$$W = \frac{W_c}{N} \leq 3.6 \text{ m} \quad (4.3-2)$$

(3) 교량 바닥판상의 차도가 중앙분리대 등에 의해 물리적으로 두 부분으로 나누어져 있는 경우에는 다음을 따른다.

- ① 두 부분이 영구적인 시설로 분리되어 있는 경우에는 두 부분의 폭을 각각 고려하여 재하차로의 수와 폭을 정하여야 한다.
- ② 두 부분이 임시적인 시설로 분리되어 있는 경우에는 전체 차도의 폭을 고려하여 재하차로

교량 설계하중(한계상태설계법)

의 수와 폭을 정하여야 한다.

4.3.1.2 활하중의 동시재하

4.3.1.2는 재하차로수에 관계없이 한대의 피로설계트럭하중이 재하 되는 피로설계에는 적용되지 않는다. 특별한 언급이 없는 한, 활하중의 최대 영향을 표 4.3-1의 다차로재하계수를 곱한 재하차로의 모든 가능한 조합에 의한 영향을 비교하여 결정되어야 한다. 4.3.4에 규정된 보도하중과 1차로 이상의 차량하중을 포함하는 하중조건에 경우에 보도하중을 하나의 재하차로로 취할 수 있다.

표 4.3-1 다차로재하계수

| 재하차로의 수 | 다차로재하계수, 'm' |
|---------|--------------|
| 1 | 1.0 |
| 2 | 0.9 |
| 3 | 0.8 |
| 4 | 0.7 |
| 5 이상 | 0.65 |

4.3.1.3 설계 차량활하중

교량이나 이에 부수되는 일반구조물의 노면에 작용하는 차량활하중(KL-510으로 명명함)은 4.3.1.3.1에 규정된 표준트럭하중과 4.3.1.3.2에 규정된 표준차로하중으로 이루어져 있다. 이 하중들은 재하차로 내에서 횡 방향으로 3,000 mm의 폭을 점유하는 것으로 가정한다.

4.3.1.3.1 표준트럭하중

표준트럭의 중량과 축간거리는 그림 4.3-1과 같다. 충격하중은 4.4에 규정된 대로 적용되어야 한다.

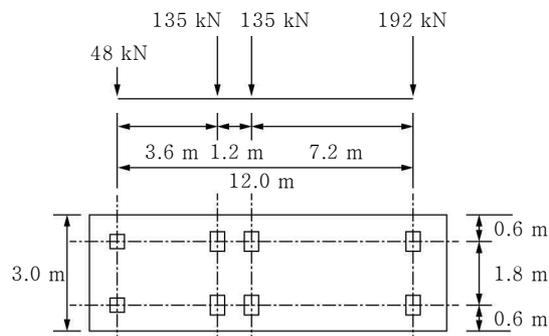


그림 4.3-1 표준트럭하중

4.3.1.3.2 표준차로하중

(1) 표준차로하중은 종방향으로 균등하게 분포된 하중으로 표 4.3-2의 값을 적용한다.

- (2) 횡방향으로는 3,000 mm의 폭으로 균등하게 분포되어있다. 표준차로하중의 영향에는 충격하중을 적용하지 않는다.

표 4.3-2 표준차로하중

| | |
|-----------------------|--|
| $L \leq 60 \text{ m}$ | $\omega = 12.7 \text{ (kN/m)}$ |
| $L > 60 \text{ m}$ | $\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.10} \text{ (kN/m)}$ |

L : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간

4.3.1.4 바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우의 설계차량활하중

- (1) 바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우에는 차도부분에 표준트럭하중을 재하 한다. 표준트럭하중은 종방향으로는 차로 당 1대를 원칙으로 하고, 횡방향으로는 재하 가능한 대수를 재하하되 동시재하계수를 고려하여 설계부재에 최대응력이 일어나도록 재하한다. 교축직각방향으로 볼 때, 표준트럭하중의 최외측 차륜중심의 재하위치는 차도부분의 단부로부터 300 mm로 한다.
- (2) 차륜의 접지면은 표준트럭하중의 각 차륜에 대해 면적이 $\frac{12,500}{9} P(\text{mm}^2)$ 인 하나의 직사각형으로 간주하며 이 직사각형의 폭과 길이의 비는 2.5 : 1로 한다. 여기서, P 는 차륜의 중량(kN)이다. 접지면이 연속적인 표면인 경우에 접지압은 규정된 접지면에 균일하게 분포하는 것으로 가정한다. 접지면이 단속적인 경우에는 접지압은 바퀴자국이 있는 실제의 접촉면에 균등하게 분포되어 있으며 규정된 접지면과 실제 접지면의 비만큼 압력을 증가시킨다.

4.3.1.5 주거터를 설계하는 경우의 설계차량활하중

- (1) 만약 다른 특별한 규정이 없다면 최대 하중영향은 아래의 경우 중 큰 값을 사용한다.
- ① 4.3.1.3.1에 정의된 표준트럭하중의 영향
 - ② 4.3.1.3.1에 정의된 표준트럭하중 영향의 75 %와 4.3.1.3.2에 정의된 표준차로하중의 영향의 합
- (2) 최대 하중효과에 영향을 주지 않는 바퀴는 무시해도 된다.
- (3) 재하차로와 각 차로에 재하되는 3,000 mm 폭은 최대 하중영향을 갖도록 배치되어야한다.
- (4) 표준트럭하중 최외측 차륜중심의 횡방향 재하위치는 차도부분의 단부로부터 600 mm로 한다.

4.3.1.6 흙 채움에 의한 윤택중의 분배

- (1) 채움의 깊이가 600 mm 보다 작은 경우 활하중 분배에 대한 채움의 영향을 무시할 수 있다. 암거상부의 활하중 분배는 KDS 24 10 11(4.6.2.1)과 (4.6.3.2)의 차량방향과 평행한 바닥판의

교량 설계하중(한계상태설계법)

규정을 근거로 한다.

- (2) 채움의 깊이가 600 mm를 초과할 때는 정밀해석 대신에 윤하중이 4.3.1.4(2)에 규정된 타이어 접촉면적과 크기가 같은 직사각형에 균등하게 작용하는 분포하중으로 간주하며 양질의 입상 채움에서는 깊이의 1.15배, 다른 채움에서는 그 깊이만큼 증가시킨다. 4.3.1.3의 규정이 적용된다.
- (3) 몇 개의 바퀴하중이 중복되어 받는 경우에 전체하중은 전 면적에 균일하게 분포시킬 수 있다.
- (4) 단경간 암거에서 채움의 깊이가 2,400 mm 이상이며 경간 길이보다 큰 경우에는 활하중 효과를 무시할 수 있다. 다경간 암거의 경우에는 채움의 깊이가 벽 사이 거리보다 크면 활하중효과를 무시할 수 있다. 흙채움을 통한 하중분배에 기초한 콘크리트 바닥판의 활하중과 충격하중에 의한 모멘트가 KDS 24 10 11(4.6.2.1)과 (4.6.3.2)에서 계산된 활하중이나 충격하중의 모멘트보다 크면 후자의 모멘트를 사용한다.

4.3.1.7 처짐 평가를 위한 하중재하

만약 발주자가 규정된 활하중에 대한 처짐의 허용기준을 요구할 때 처짐은 아래의 값 중 큰 값을 사용해야 한다.

- (1) 표준트럭하중만으로 얻은 처짐
- (2) 표준차로하중과 조합된 표준트럭하중의 25%에 의해 얻은 처짐

4.3.2 피로하중

4.3.2.1 크기와 형태

피로의 영향을 검토하는 경우의 활하중은 4.3.1.3.1에서 규정된 표준트럭하중의 80 %를 적용한다. 이때 적용하는 충격계수는 4.4의 충격하중 조항을 적용한다.

4.3.2.2 빈도

- (1) 피로하중의 빈도는 단일차로 일평균트럭교통량($ADTT_{SL}$)을 사용한다. 이 빈도는 교량의 모든 부재에 적용하며 통행차량수가 적은 차로에도 적용한다.
- (2) 단일차로의 일평균 트럭교통량에 대한 확실한 정보가 없을 때는 식 (4.3-3)의 차로 당 통행비율을 적용하여 산정할 수 있다. 즉,

$$ADTT_{SL} = p \times ADTT \quad (4.3-3)$$

여기서, $ADTT$ = 한 방향 일일트럭교통량의 설계수명기간동안 평균값

$ADTT_{SL}$ = 한 방향 한 차로의 일일트럭교통량의 설계수명기간동안 평균값

p = 표 4.3.3의 값

표 4.3-3 한 차로에서의 트럭교통량 비율, p

| 트럭이 통행 가능한 차로 수 | p |
|-----------------|------|
| 1차로 | 1.00 |
| 2차로 | 0.85 |
| 3차로 이상 | 0.80 |

4.3.2.3 피로설계에서의 하중분배

(1) 정밀한 방법

교량을 KDS 24 10 11(4.6.11)에 규정된 정밀한 방법으로 해석하는 경우 고려하는 상세부위에 최대응력이 발생하도록 바닥판의 통행위치나 재하차로의 위치에 관계없이 횡방향, 종방향으로 하나의 설계트럭을 배치한다.

(2) 근사적 방법

교량을 KDS 24 10 11(4.6.3)에 규정된 것처럼 근사적 하중 분배로 해석하는 경우 한 차선의 분배계수를 사용해야 한다.

4.3.3 궤도차량하중

교량에 궤도차량하중이 있다면 발주자가 궤도차량하중의 특성과 궤도차량과 일반차량간의 예상되는 상호관계를 규정해야 한다.

4.3.4 보도하중

(1) 바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우에 보도 등에는 5×10^{-3} MPa의 보도하중이 설계차량활하중과 동시에 적용된다.

(2) 주거터를 설계하는 경우에 보도 등에는 표 4.3-4의 등분포하중을 재하한다.

(3) 보도나 보행자 또는 자전거용 교량에서 유지관리용 또는 이에 부수되는 차량통행이 예상되는 경우 이 하중은 설계에 고려되어야한다. 이 차량에 대해 충격하중은 고려하지 않는다.

표 4.3-4 보도 등에 재하하는 등분포하중

| 지간장 L(m) | $L \leq 80$ | $80 < L \leq 130$ | $L > 130$ |
|----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| 등분포하중의 크기(MPa) | 3.5×10^{-3} | $(4.3 - 0.01L) \times 10^{-3}$ | 3.0×10^{-3} |

교량 설계하중(한계상태설계법)

4.4 충격하중: IM

4.4.1 일반사항

- (1) 4.4.2와 4.4.3에서 허용된 경우를 제외하고 원심력과 제동력 이외의 표준트럭하중에 의한 정적효과는 표 4.4-1에 규정된 충격하중의 비율에 따라 증가시켜야한다.
- (2) 정적 하중에 적용시켜야 할 충격하중계수는 다음과 같다. $(1+IM/100)$
- (3) 충격하중은 보도하중이나 표준차로하중에는 적용되지 않는다.

표 4.4-1 충격하중계수, IM

| 성 분 | | IM |
|-----------------------------|---------------------|-----|
| 바닥판 신축이음장치를 제외한 모든 다른 부재 | 피로한계상태를 제외한 모든 한계상태 | 25% |
| | 피로한계상태 | 15% |

- (4) 다음과 같은 경우에는 충격하중을 적용할 필요가 없다.
 - ① 상부구조물로부터 수직반력을 받지 않는 옹벽
 - ② 전체가 지표면이하인 기초부재
- (5) 충격하중은 KDS 24 10 11(4.7.2.1)의 규정에 따라 충분한 증거에 의해 검증될 수 있다면 연결부를 제외한 다른 부재에 대하여 감소시킬 수 있다.

4.4.2 매설된 부재

암거나 매설된 구조물에 대한 충격하중은 백분율로 식 (4.4-1)과 같다.

$$IM = 40(1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\% \quad (4.4-1)$$

여기서, D_E = 구조물을 덮고 있는 최소깊이(mm)

4.4.3 목재부재

목교나 교량의 목재부재에 대해서는 4.4.1에 규정된 충격하중을 표 4.4-1에 제시된 값의 50%로 줄일 수 있다.

4.5 프리스트레스힘: PS

구조물에 프리스트레스힘을 도입하는 경우에는 설계에 이를 고려하여야 한다. 프리스트레스 콘크리트에 도입하는 프리스트레스힘에 관해서는 다음과 같이 정한다.

- (1) 설계 시에 고려하여야 할 프리스트레스힘은 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘과 유효 프리스트레스힘이다. 또 프리스트레스힘에 의하여 부정정력이 일어나는 경우에는 이들도 고려하여야 한다.

- (2) 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘의 감소는 프리텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형만을 고려하여야 하고, 포스트텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형, PS강재와 쉬스의 마찰, 정착장치 및 정착부 내부의 마찰, 정착장치에서의 활동량을 고려하여야 한다.
- (3) 유효프리스트레스힘은 (2)의 규정으로 산출한 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘에 다음의 영향을 고려하여 산출한다.
- ① 콘크리트의 크리프
이 경우에 고려하는 지속하중은 프리스트레스힘과 고정하중이다.
 - ② 콘크리트의 건조수축
 - ③ PS강재의 릴랙세이션
- (4) 일반적으로 프리스트레스힘에 의해 보의 변형이 구속되어 이로 인하여 부정정력이 발생하게 되는데 단면의 응력을 검사할 경우에 이 부정정력을 고려하여야 한다. 유효프리스트레스힘에 의한 부정정력은 PS강재 인장력의 유효계수를 부재 전체에 걸쳐 평균한 값을 프리스트레싱 직후의 부정정력에 곱하여 산출할 수 있다.

4.6 콘크리트의 크리프: CR

콘크리트와 목재의 크리프 변형도는 KDS 24 14 21에 따른다. 크리프로 인한 하중과 변형량을 결정하기 위하여 시간의존성과 압축응력의 변화를 고려하여야 한다.

4.7 콘크리트의 건조수축: SH

다른 재령과 재질의 콘크리트 사이, 콘크리트와 강재 또는 목재와의 사이에서 발생하는 부등건조수축에 의한 변형도는 일반적으로 KDS 24 14 21에 따라 결정되어야 한다.

4.8 토압: EH, ES, LS, DD

- (1) 토압은 구조물과 지반의 상대적인 변위와 관계하여 정지토압, 주동토압 및 수동토압으로 구분된다.
- (2) 토압과 토압분포는 구조물과 지반과의 상대적인 변위, 구조물의 형태, 토질종류, 토층상태, 배면지형, 상재하중조건 등을 고려하여 산정한다.
- (3) 토압은 다음과 같은 요인에 의하여 영향을 받는다.
- ① 지반의 종류와 밀도
 - ② 함수비
 - ③ 흙의 크리프특성
 - ④ 다짐도
 - ⑤ 지하수위

교량 설계하중(한계상태설계법)

- ⑥ 지반-구조물 상호작용
- ⑦ 상재하중
- ⑧ 지진효과
- ⑨ 후면경사각
- ⑩ 벽체 경사

4.9 정수압, 유수압, 부력, 파압: WA, BP, WP

4.9.1 정수압

정수압은 수압을 지지하고 있는 구조물의 벽면에 직각으로 작용한다고 가정한다. 압력은 작용점으로부터 연직상방 수면까지의 거리에 물의 밀도와 중력가속도 (g)를 곱하여 계산된다. 다양한 한계상태의 설계수위는 발주자에 의해 규정된 것이거나 승인 받은 것이어야 한다.

4.9.2 유수압

4.9.2.1 종방향

(1) 하부구조물에 종방향으로 작용되는 유수에 의한 압력은 식 (4.9-1)과 같이 구한다.

$$p = 5.14 \times 10^{-4} C_D V^2 \quad (4.9-1)$$

여기서, p = 유수에 의한 압력(MPa)

C_D = 표 4.9.1에 의해 주어지는 교각의 기하학적 형상에 따른 항력계수

V = 설계홍수시의 설계유속(m/s)

표 4.9-1 항력계수

| 교각의 단면 형상 | C_D |
|----------------------|-------|
| 반원형(선단) 교각 | 0.7 |
| 사각형 교각 | 1.4 |
| 부유물질이 부착·집적된 교각 | 1.4 |
| 췌기형 선단 교각(선단각 90°이하) | 0.8 |

(2) 종방향 항력은 종방향 동수압과 흐름에 노출된 투영면적을 곱하여 구한다.

4.9.2.2 횡방향

(1) 교각단면의 종축에 θ 의 각도로 접근하는 흐름이 하부구조에 미치는 횡방향 등분포 압력은 식 (4.9-2)와 같이 구한다.

$$p = 5.14 \times 10^{-4} C_L V^2 \quad (4.9-2)$$

여기서, p = 횡방향 압력(MPa)

C_L = 표 4.9.2로 주어지는 횡방향 항력계수



그림 4.9.1 동수압을 보여 주는 교각의 평면도

표 4.9-2 횡방향 항력계수

| 흐름과 교각의 종축이 이루는 각도, θ | C_L |
|------------------------------|-------|
| 0° | 0.0 |
| 5° | 0.5 |
| 10° | 0.7 |
| 20° | 0.9 |
| $\geq 30^\circ$ | 1.0 |

(2) 횡방향 항력은 횡방향 동수압과 흐름에 노출된 면적의 곱으로 구한다.

4.9.3 부력(BP)

부력은 양압력으로 간주되며, 4.9.1에 기술된 바와 같이 설계수면고 하부의 모든 구조물에 작용하는 정수압의 연직상방분력의 합으로 취한다.

4.9.4 파압(WP)

상당한 파력이 발생하는 지역에서 파랑에 노출된 교량구조물에 대해서는 이의 영향을 고려하여야 한다.

4.9.5 세굴에 대한 한계상태에서의 기초의 변화

KDS 24 10 11(2.6.4(4))의 규정이 적용된다. 세굴설계홍수로 인한 기초상태 변화의 영향은 교량의 극한한계상태 및 사용한계상태 검토 시 고려한다. 세굴검측홍수 및 태풍에 의한 기초상태 변화의 영향은 극단상황한계상태 검토 시 고려한다.

4.10 풍하중

4.10.1 풍속

4.10.1.1 기본풍속

기본풍속(V_{10})이란 재현기간 100년에 해당하는 개활지에서의 지상 10 m의 10분 평균 풍속을 말한다. 기본풍속은 대상지역 인근 기상관측소의 장기풍속기록(태풍 또는 계절풍)과 지역적 위치

교량 설계하중(한계상태설계법)

를 동시에 고려하여 극치분포로부터 추정하거나 태풍자료의 시뮬레이션 등의 합리적인 방법으로 추정한다. 단 대상지역의 풍속자료가 가용치 못한 경우에는 표 4.10-1에 주어진 지역별 기본 풍속을 사용할 수 있다.

표 4.10-1 지역별 기본풍속(V_{10})

| 구분 | 지역 | 지명 | 기본풍속(m/s) |
|-----|---------------------|---|-----------|
| I | 내륙 | 서울, 대구, 대전, 춘천, 청주, 수원, 추풍령, 전주, 익산, 진주, 광주 | 30 |
| II | 서해안 | 서산, 인천 | 35 |
| III | 서남해안 남해안 동남해안 | 군산 여수, 충무, 부산 포항, 울산 | 40 |
| IV | 동해안 제주지역 특수지역 | 속초, 강릉 제주, 서귀포 목포 | 45 |
| V | | 울릉도 | 50 |

4.10.1.2 설계기준풍속

- (1) 일반 중소지간 교량의 설계기준풍속(V_D)은 40 m/s로 한다.
- (2) 태풍이나 돌풍에 취약한 지역에 위치한 중대지간 교량의 설계기준풍속(V_D)은 대상지역의 풍속기록과 구조물 주변의 지형 및 환경 그리고 교량상부구조의 지상 높이 등을 고려하여 합리적으로 결정한 10분 평균 풍속이다. 그러나 대상지역의 풍속자료가 가용치 못한 경우에는 고도보정을 위하여 식 (4.10-1)을 사용할 수 있다.

$$V_D = 1.723 \left(\frac{z_D}{z_G} \right)^a V_{10} \quad (4.10-1)$$

여기서, a = 표 4.10.2의 지표조도지수

z = 지상 또는 수면으로부터 구조물의 대표 높이(m)로 교량 주거터와 같은 수평 구조물의 경우에는 평균 높이를, 교각과 같은 수직 구조물의 경우에는 총 높이의 65%를 사용한다.

V_D = 설계고도 z 에서의 10분 평균 설계기준풍속(m/s)

z_D = z 와 표 4.10.2의 z_b 중에서 큰 값

표 4.10-2 지표조도구분에 의한 각종 계수들

| 지표조도 구분 | 지표 상황 | a | a ₂ | β | c | e | l(m) | z _b (m) | z _G (m) |
|---------|--|------|----------------|------|------|-------|------|--------------------|--------------------|
| I | • 해상, 해안 | 0.12 | 0.174 | 1.25 | 0.15 | 0.125 | 200 | 2 | 200 |
| II | • 개활지, 농지, 전원 수목과 저층건축물이 산재하여 있는 지역 | 0.16 | 0.210 | 1.54 | 0.20 | 0.200 | 150 | 5 | 300 |
| III | • 수목과 저층건축물이 밀집하여 있는 지역 • 중, 고층 건물이 산재하여 있는 지역 • 완만한 구릉지 | 0.22 | 0.286 | 2.22 | 0.30 | 0.333 | 100 | 10 | 400 |
| IV | • 중, 고층 건물이 밀집하여 있는 지역 • 기복이 심한 구릉지 | 0.29 | 0.400 | 3.33 | 0.45 | 0.500 | 50 | 20 | 500 |

4.10.1.3 시공기준풍속

시공기준풍속은 태풍에 취약한 지역에 위치한 중장대 지간 교량의 시공중 검토를 위한 풍속으로, 공사기간에 대한 최대풍속의 비초과확률 80%에 해당하는 10분 평균 풍속이다. 이때 재현기간 R, 비초과확률 P_{NE}, 공사기간 N의 관계는 식 (4.10-2)를 사용하여 구할 수 있다.

$$R = \frac{1}{1 - (P_{NE})^{1/N}} \tag{4.10-2}$$

4.10.2 설계풍압

4.10.2.1 일반 중소지간 교량의 설계풍압

(1) 박스거더교, 플레이트거더교, 슬래브교에 작용하는 풍압은 표 4.10-3에 나타난 값으로 한다.

표 4.10-3 거더교의 풍압(kPa)

| 단면형상 | 풍압(kPa) |
|-------------|---------------------------|
| 1 ≤ B/D < 8 | $(4.0 - 0.2 \frac{B}{D})$ |
| 8 ≤ B/D | 2.4 |

여기서, B= 교량 총폭(m) (그림 4.10-1 참조)
D= 교량 총높이(m) (그림 4.10-1 참조)

교량 설계하중(한계상태설계법)

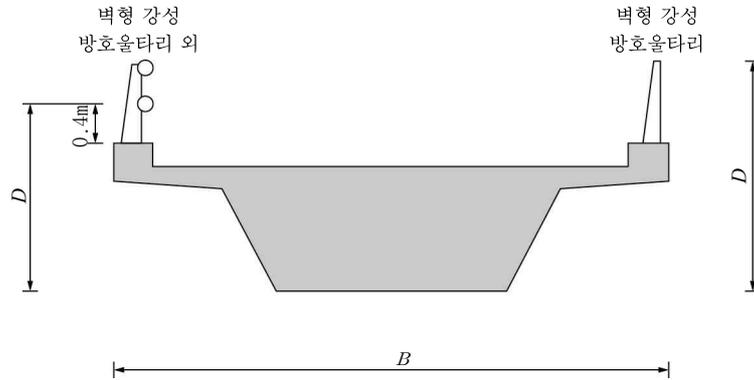


그림 4.10.1 교량 총폭 B와 총높이 D

- (2) 풍상측 트러스에는 활하중 비재하시 유효연직투영면적당 $2.4/\sqrt{\phi}$ 의 풍압이 작용하고, 풍하측 트러스에는 그 절반이 작용한다. 이때 ϕ 는 트러스의 충실률로 트러스 외곽 면적에 대한 트러스 투영면적의 비율이다.
- (3) 기타 형식 교량의 주거더 부분에 작용하는 풍하중은 주거더의 형상에 따라 (1) 또는 (2)를 적용한다. (1) 또는 (2)에 규정되지 않은 부재에 작용하는 활하중 비재하시 풍압은 단면형상에 따라 표 4.10-4에 나타낸 값을 사용한다.

표 4.10-4 기타 교량 부재에 작용하는 풍압(kPa)

| 단면형상 | 풍상측 부재 | 풍하측 부재 |
|------|--------|--------|
| 원형 | 1.5 | 1.5 |
| 각형 | 3.0 | 1.5 |

- (4) 거더교가 병렬로 놓여있는 경우에는 이 영향을 고려하여 풍하중을 적절히 보정하여야 한다.
- (5) 활하중이 재하될 때에는 교면상 1.5 m의 높이에서 1.5 kN/m의 풍하중이 활하중에 작용하여 상부구조로 전달되는 것으로 본다.

4.10.2.2 태풍이나 돌풍에 취약한 지역에 위치한 중대지간 교량의 설계풍압

구조물의 정적설계를 위한 단위면적당 작용하는 풍압 p (Pa)는 설계기준풍속 V_D (m/s), 공기밀도 ρ ($=1.25 \text{ kg/m}^3$), 항력계수 C_D 및 거스트계수 G 를 사용하여 식 (4.10-3)에 의하여 구한다.

$$p = \frac{1}{2} \rho V_D^2 C_D G_r f_1 \quad f_1 > 1 \text{ Hz} \quad (4.10-3)$$

$$p = \frac{1}{2} \rho V_D^2 C_D G_f f_1 \quad f_1 \leq 1 \text{ Hz}$$

여기서, f_1 은 구조물의 바람방향 1차 모드 고유진동수이고, 항력계수 C_D 는 기존 문헌, 실험, 해

석 등의 합리적인 방법으로 산정한다. 거스트계수 G 는 풍속의 순간적인 변동의 영향을 보정하기 위한 계수이며, 강체 및 유연 구조물에 따라 구분하며 4.10.3의 방법에 따라 구한다.

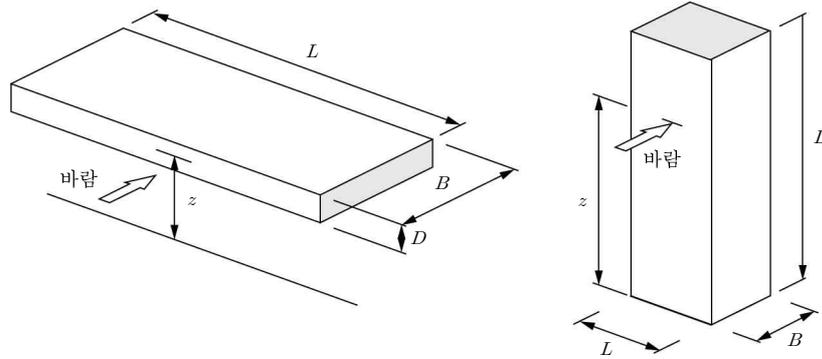


그림 4.10-2 수평 및 수직 구조물의 제원

4.10.2.3 하부구조에 작용하는 풍압

하부구조에 직접 작용하는 풍압은 교축직각방향 및 교축방향에 작용하는 수평하중으로 한다. 그러나 동시에 2방향으로 작용하지 않는 것으로 한다. 풍압의 크기는 표 4.10-4의 값을 사용하거나, 유효연직투영면적에 대하여 식 (4.10-3)을 사용하여 구한다. 식 (4.10-3)을 적용할 경우에 항력계수로 원형 및 트랙형 단면의 경우에 0.6, 각형 단면의 경우에 1.2를 사용할 수 있다.

4.10.3 거스트계수

4.10.3.1 강체구조물

바람방향 1차 모드 고유진동수가 1 Hz를 초과하는 구조물은 강체구조물로 분류되며, 거스트계수 G_r 은 식 (4.10-4)와 표 4.10-2에 의하여 구한다.

$$G_r = K_p \frac{1 + 5.78 I_z Q}{1 + 5.78 I_z} \quad (4.10-4)$$

여기서, B, D, L = 그림 4.10.2의 제원

$$I_z = c \left(\frac{10}{z_D} \right)^{1/6} : \text{난류강도}$$

$$L_z = l \left(\frac{z_D}{10} \right)^{\epsilon} : \text{난류길이}$$

z_5 : z 와 5 m 중 큰 값

$$K_p = 2.01 \beta^2 \left(\frac{10 z_5}{z_D z_G} \right)^{\alpha_2} : \text{풍압보정계수}$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{L+D}{L_z} \right)^{0.63}}}$$

교량 설계하중(한계상태설계법)

4.10.3.2 유연구조물

바람방향 1차 모드 고유진동수가 1 Hz 이하인 구조물은 유연구조물로 분류되며, 거스트계수 G_f 는 식 (4.10-5)와 표 4.10-2에 의하여 구한다.

$$G_f = K_p \frac{1 + 1.7I_z \sqrt{11.56Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 5.78I_z} \quad (4.10-5)$$

여기서, $B, D, L, K_p, I_z, Q = 4.10.3.1$ 절의 값을 사용

$\xi =$ 한계감쇠에 대한 구조 감쇠비(예를 들면, 감쇠비 2%인 경우에 0.02를 사용)

$$B_1 = 15.4f_1 \frac{B}{V_D}$$

$$D_1 = 4.6f_1 \frac{D}{V_D}$$

$$L_1 = 4.6f_1 \frac{L}{V_D}$$

$$N_1 = \frac{f_1 L_z}{V_D}$$

$$R_n = \frac{7.47N_1}{(1 + 10.3N_1)^{5/3}}$$

$$R_B = \frac{1}{B_1} - \frac{1}{2B_1^2} (1 - e^{-2B_1})$$

$$R_D = \frac{1}{D_1} - \frac{1}{2D_1^2} (1 - e^{-2D_1})$$

$$R_L = \frac{1}{L_1} - \frac{1}{2L_1^2} (1 - e^{-2L_1})$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{\xi} R_n R_D R_L (0.53 + 0.47 R_B)}$$

$$g_R = \sqrt{2 \log_e (600f_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \log_e (600f_1)}}$$

4.10.4 공기역학적 안정성

주경간 길이가 200 m 이상인 장대 특수교량이나 주경간 길이와 폭(또는 높이)의 비율이 30을 넘는 교량이나 부재는 바람에 의한 진동이 발생하기 쉽다. 장대 특수교량이나 세장 구조부재는 전향의 정적설계 결과에 대하여, 동적해석과 풍동실험을 통하여 풍하중의 동적효과에 대한 제반 공기역학적 안정성을 검토하여야 한다. 또한 가설단계에서의 내풍안정성에 대해서도 충분히 검토하여야 한다.

4.11 온도변화

4.11.1 평균온도(TU)

4.11.1.1 온도범위

온도에 관한 정확한 자료가 없을 때, 온도의 범위는 표 4.11-1에 나타낸 값을 사용한다. 온도에 의한 변형효과를 고려하기 위하여 설계 시 기준으로 택했던 온도와 최저 혹은 최고온도와의 차이 값이 사용되어야 한다.

표 4.11-1 온도의 범위

| 기후 | 강교(강바닥판) | 합성교(강거더와 콘크리트바닥판) | 콘크리트교 |
|----|--------------|-------------------|--------------|
| 보통 | -10°에서 50 °C | -10°에서 40 °C | -5°에서 35 °C |
| 한랭 | -30°에서 50 °C | -20°에서 40 °C | -15°에서 35 °C |

4.11.1.2 가설 기준온도

교량이나 교량부재의 가설 기준온도는 가설 직전 24시간 평균값을 사용하여야 한다.

4.11.1.3 계절별 온도변화

계절별 온도 변화는 가설지점이나 가장 가까운 기상청의 자료를 사용할 수 있다.

4.11.2 온도경사(TG)

(1) 바닥판이 콘크리트인 강재나 콘크리트 상부구조에서 수직온도경사는 그림 4.11-1과 같이 택한다. 그림 4.11-1에서 A의 제원은 다음과 같다.

두께가 400 mm 이상인 콘크리트 상부구조물의 경우,

$$A = 300 \text{ mm}$$

400 mm 이하의 콘크리트단면의 경우,

$$A = \text{실제 두께보다 } 100 \text{ mm 작은 값}$$

강재로 된 상부구조물인 경우,

$$A = 300 \text{ mm, } t = \text{콘크리트 바닥판의 두께}$$

(2) 상부의 온도가 높을 때의 T_1 과 T_2 의 값은 표 4.11-2와 같다. 하부의 온도가 높을 때의 값은 표 4.11-2에 정해진 값에 콘크리트 포장에는 -0.3을, 아스팔트포장에는 -0.2를 곱하여 구한다.

(3) 현장조사에 의하여 T_3 의 값을 정하지 않는 경우, T_3 의 값은 영(0 °C)으로 하여야 한다. 그러나 3 °C를 넘어서는 안 된다.

(3) 온도경사를 고려할 때 양 또는 음의 온도변화에 의한 내부응력과 구조변형은 KDS 24 10 11(4.6.13)에 의하여 결정하여야 한다.

교량 설계하중(한계상태설계법)

표 4.11-2 온도경사 기본값

| T_1 (°C) | T_2 (°C) |
|------------|------------|
| 23 | 6 |

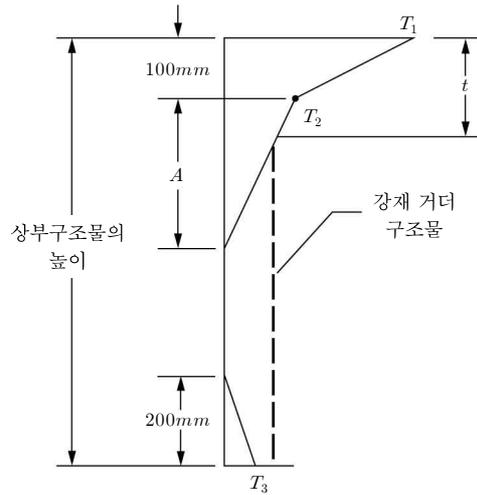


그림 4.11-1 콘크리트와 강재상부구조물에 발생하는 온도의 수직변화곡선

4.12 지진의 영향: EQ

지진의 영향에 대해서는 KDS 24 17 11에서 정하는 바에 따른다.

4.13 설하중 및 빙하중: IC

설하중 및 빙하중을 고려할 필요가 있는 지방에서는 가설지점의 실제 상황에 따라 적당한 값을 정하도록 한다.

4.14 지반변동 및 지점이동의 영향: GD, SD

하부 구조물들 사이 또는 하부구조물의 세부구조들 사이에서 발생하는 최대 부등침하에 의한 하중을 고려하여야 한다. 침하량의 산정은 KDS 24 14 51(3.3.2.3)에 따라 계산한다.

4.15 원심하중 및 제동하중: CF, BR

(1) 원심하중

① 원심하중은 표준트럭하중의 축중량에 계수 C 를 곱한 값이다. C 는 식 (4.15-1)과 같다.

$$C = \frac{4}{3} \frac{v^2}{gR} \quad (4.15-1)$$

여기서, v = 도로 설계속도(m/s),
 g = 중력가속도(m/s^2),
 R = 통행차선의 회전반경(m)이다.

- ② 도로 설계속도는 KDS 44 10 00에서 규정된 값보다 적어서는 안 된다.
- ③ 4.3.1.2에 규정된 동시재하계수를 적용해야 한다.
- ④ 원심하중은 교면상 1,800 mm 높이에서 수평으로 작용하는 것으로 한다.

(2) 제동하중

자동차의 제동하중 및 궤도차량의 제동하중은 극단적으로 가벼운 교량 및 궤도가 있는 교량 등 특별한 경우에 고려하는 것으로 한다. 자동차의 제동하중은 최대하중 효과가 발생되도록 재하차로 위에 재하한 표준트럭하중의 10%로 하고 교면상 1,800 mm 되는 위치에서 자동차의 진행방향으로 작용하는 것으로 본다. 궤도상의 제동하중은 율하중 전체의 10%로 하고 레일면상 1,800 mm 높이에서 차량의 진행방향으로 작용하는 것으로 한다.

4.16 가설 시 하중: ER

교량 가설 시에는 가설단계별 가설방법과 가설중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기자재, 바람, 지진의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 수행하여야 한다.

4.17 차량충돌하중: CT

4.17.1 구조물의 보호

구조물이 아래와 같이 충돌로부터 보호된 경우 차량충돌하중을 적용시킬 필요가 없다.

- (1) 제방
- (2) 구조적으로 독립된, 충돌에 강한 높이 1,370 mm가 넘는 방호울타리가 보호받아야 할 구조물로부터 3,000 mm 내에 있는 경우
- (3) 높이 1,070 mm인 방호울타리가 보호받아야 할 구조물로부터 3,000 mm 이상 떨어져 있는 경우
- (4) 이러한 경우 방호울타리는 구조적, 기하적으로 도로안전시설 설치 및 관리 지침의 규정에 따라야 한다.

4.17.2 구조물과 차량이나 열차의 충돌

4.17.1에서 허용된 경우를 제외하고 도로의 가장자리로부터 9,000 mm 내에 위치하거나, 궤도의 중심선으로부터 15,000 mm 거리 내에 위치한 교대나 교각은 1,800 kN 크기의 등가정적 하중에 대해 설계된다. 이 하중은 노면상 1,200 mm 높이에서 수평으로 임의의 방향으로 작용할 수 있다.

교량 설계하중(한계상태설계법)

4.18 선박충돌하중: CV

4.18.1 일반사항

- (1) 설계수심이 600 mm 이상 되는 곳에 위치하며 배가 통행할 수 있는 수로에 건설된 교량의 모든 구조부재는 설계 시에 선박 충돌의 영향을 고려하여야 한다.
- (2) 하부구조물의 설계를 위한 최소 설계충돌하중은 수로에서의 연평균유속과 같은 속도로 떠내려가는 빈 호퍼바지선을 기준으로 계산하여야 한다. 만일 교량 발주자에 의해서 특별히 승인된 것이 없다면, 설계 바지선은 화물을 싣지 않은 경우 중량이 200톤이고 10,700 mm×60,000 mm 크기의 것으로 한다.
- (3) 교량이 깊은 수로를 가로지르며 놓여 있고 배와 부딪치는 것을 예방할 수 있을 만큼 높이 설치되어있지 않은 경우에, 상부구조물에 가해지는 충격의 최소 설계값은 4.18.10.3에 규정된 돛대의 충돌에 의한 충격하중을 사용할 수 있다.
- (4) 선박에 의한 충돌이 예상되는 하천에 건설되는 구조물은 다음의 사항을 만족하여야 한다.
 - ① 선박에 의한 충돌하중에 견딜 수 있게 설계되거나,
 - ② 방호물, 계선말뚝, 통로 또는 다른 안전을 위한 시설에 의해서 적절히 보호되어야 한다.
- (5) 선박과의 충돌에 의한 충격하중은 교량과 아래사항과의 관계를 고려하여 결정하여야 한다.
 - ① 수로의 기하학적 형상
 - ② 수로를 이용하는 선박의 크기, 형태, 하중조건, 통과빈도
 - ③ 가용 수심
 - ④ 선박의 속도와 방향
 - ⑤ 충돌에 의한 교량의 구조적 거동

4.18.2 교량 발주자의 책임

교량 발주자는 교량의 중요도 등급, 해당교량에 대한 수로를 통행하는 선박의 밀도와 선박의 설계속도, 선박통과를 고려한 다리밑공간 확보를 위한 높이를 규정하거나 승인하여야 한다. 발주자는 방호시스템을 포함한 교량의 구성부재에 발생이 허용되는 손상의 정도를 규정하거나 승인해야 한다.

4.18.3 중요도 등급

4.18의 조항을 위하여, 항행 수로에 있는 모든 교량에 대하여 ‘중요’ 또는 ‘보통’의 중요도등급을 결정하여야 한다. 중요 교량은 보통 교량에 비하여 발생확률이 더 낮은 충돌 후에도 제 기능을 발휘해야 한다.

4.18.4 설계선박

- (1) 각 교각과 경간구조부재에 대한 설계선박을 선택하여야 한다. 이때, 그 설계선박 보다 더 큰 선박에 대하여 4.18.5에 의하여 계산한 추정 연간파괴빈도가 그 구조부재의 허용기준 보다 작아야 한다.
- (2) 설계선박은 교량의 중요도등급과 선박, 교량 및 항로의 특성에 의하여 결정된다.

4.18.5 연간파괴빈도

- (1) 교량구성부재의 연간파괴빈도는 식 (4.18-1)과 같이 산정한다.

$$AF = (N)(PA)(PG)(PC) \quad (4.18-1)$$

여기서, AF = 선박충돌에 의한 교량구성부재 파괴의 연간빈도

N = 형태, 크기 및 하중조건에 의해 분류된 수로를 이용하는 연간 선박의 수

PA = 선박의 항로이탈 확률

PG = 항로이탈한 선박이 교각이나 상부구조와 충돌할 기하학적 확률

PC = 항로이탈한 선박과 충돌할 때 교량이 파괴될 확률

- (2) AF 는 각 교량구성부재와 선박 등급별로 계산되어야 한다. 전 교량에 대한 연간파괴빈도는 모든 부재의 AF 를 합하여 구한다.
- (3) 중요 교량에 대하여 전 교량에 대한 최대 연간파괴빈도 AF 는 0.0001을 사용한다.
- (4) 보통 교량에 대하여 전 교량에 대한 최대 연간파괴빈도 AF 는 0.001을 사용한다.
- (5) 설계선박 전체길이(LOA)의 6배보다 작은 수로에 대하여, 각 교각과 선박 상부구조물 구성 부재의 연간 파괴빈도에 대한 허용기준은 전 교량의 허용기준을 수로에 위치한 교각과 경간 구성부재에 분포시킴으로 결정할 수 있다.
- (6) 폭이 LOA 의 6배보다 큰 넓은 수로에 대하여, 각 기둥과 경간구조부재의 연간파괴빈도에 대한 허용기준은 전체 교량에 대한 허용기준을 입출항 항로의 두 중심선에서 좌우로 LOA 의 3배 거리 내에 위치한 기둥과 상부 구조재들에 분포시켜 결정하여야 한다.

4.18.5.1 선박의 빈도분포

크기, 형태, 하중조건 및 이용가능수심에 근거하여 교량 밑을 통과하는 선박의 수(N)를 각각 기둥과 지간부재들에 대하여 구한다. 수로의 상태에 따른 왕래하는 선박의 수와 하중조건 간의 차이를 고려하여야 한다.

교량 설계하중(한계상태설계법)

4.18.5.2 항로이탈확률

(1) 일반사항

선박의 항로이탈확률(PA)은 통계적 방법이나 근사적 방법으로 결정할 수 있다.

(2) 통계적 방법

해당 수로에서의 선박충돌, 추돌, 좌초에 대한 역사적 자료와 사고가 보고된 기간 동안 해당 수로를 통과한 선박 수에 대한 자료를 활용하여 통계분석 함으로써 항로이탈확률을 계산할 수 있다.

(3) 근사적 방법

① 항로이탈확률은 식 (4.18-2)와 같이 구할 수 있다.

$$PA = (BR)(R_B)(R_C)(R_{XC})(R_D) \quad (4.18-2)$$

여기서, PA = 항로이탈확률

BR = 항로이탈의 기본율

R_B = 교량의 위치에 따른 보정계수

R_C = 선박의 통과경로에 평행한 유속에 대한 보정계수

R_{XC} = 선박의 통과경로의 직각방향 유속에 대한 보정계수

R_D = 통행선박의 밀도에 대한 보정계수

② 항로이탈의 기본율(BR)은 다음과 같다.

가. 선박의 경우

$$BR = 0.6 \times 10^{-4} \quad (4.18-3)$$

나. 바지선의 경우

$$BR = 1.2 \times 10^{-4} \quad (4.18-4)$$

(4) 그림 4.18.1에 나타낸 세 가지 수로영역에 대한 교량의 상대적인 위치에 관련된 교량위치에 따른 보정계수(R_B)는 식(4.18-5)~식(4.18-7)과 같다.

① 직선 영역

$$R_B = 1.0 \quad (4.18-5)$$

② 전이 영역

$$R_B = 1 + \frac{\theta}{90^\circ} \quad (4.18-6)$$

③ 꺾임/곡선 영역

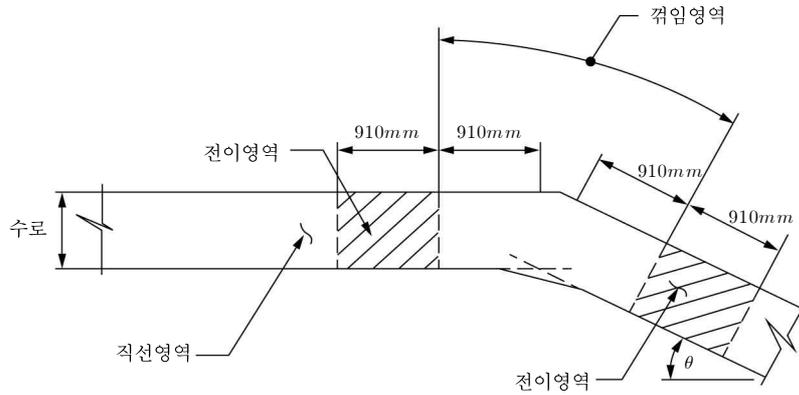
$$R_B = 1 + \frac{\theta}{45^\circ} \quad (4.18-7)$$

여기서, θ = 그림 4.18.1에 나타난 꺾임 혹은 곡선영역의 회전 각도(단위: 도)

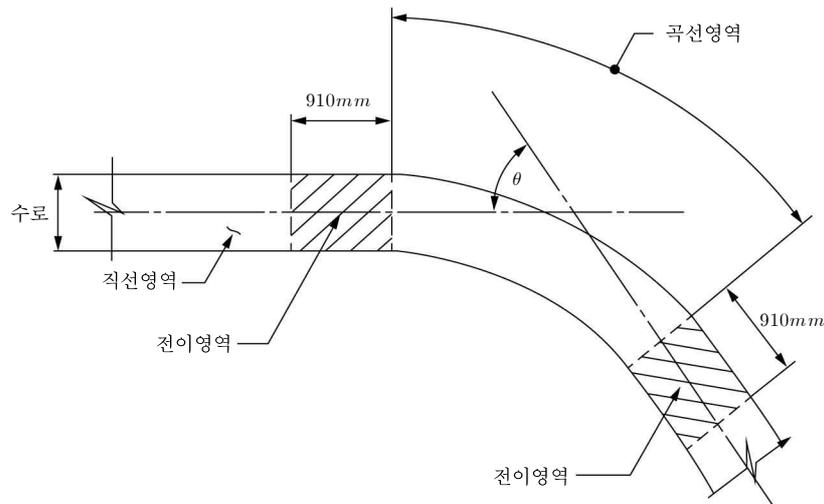
(5) 선박의 통과경로에 평행한 유속에 대한 보정계수(R_C)는 식 (4.18-8)과 같다.

$$R_C = 1 + \frac{V_c}{19} \quad (4.18-8)$$

여기서, V_c = 선박의 통과경로에 평행한 유속성분(단위: km/h)



a. 수로의 꺾임부



b. 수로의 곡선부

그림 4.18-1 교량 위치에 대한 수로 영역

(6) 수로에서 선박의 통과경로에 직각방향 유속에 대한 보정계수(R_{XC})는 식 (4.18-9)와 같다.

$$R_{XC} = 1.0 + 0.54 V_{XC} \quad (4.18-9)$$

여기서, V_{XC} = 선박의 통과경로에 직각방향 유속성분(단위: km/h)

교량 설계하중(한계상태설계법)

(7) 통행선박의 밀도에 대한 보정계수(R_D)는 교량에 인접한 수로에서 선박의 통행 밀도에 의해 선정된다.

① 저밀도: 교량 인접부근에서 선박이 서로 만나거나 추월 하는 것이 드문 경우

$$R_D = 1.0 \quad (4.18-10)$$

② 평균밀도: 교량 인접부근에서 선박이 서로 만나거나 추월하는 것이 간혹 있는 경우

$$R_D = 1.3 \quad (4.18-11)$$

③ 고밀도: 교량 인접부근에서 선박들이 일상적으로 만나거나 추월하는 경우

$$R_D = 1.6 \quad (4.18-12)$$

4.18.5.3 기하학적 확률

(1) 교량부근에서 항로를 이탈한 선박의 항로를 모형화하는데 정규분포를 이용할 수 있다. 기하학적 확률분포(PG)는 그림 4.18-2에 나타낸 바와 같이 교각의 양 측면에 놓인 두 선박의 중심선 사이의 범위에서 정규분포곡선을 적분한 면적이다. 이 정규분포의 표준편차(σ)는 4.18.4에 따라서 선택된 설계선박의 총길이(LOA)와 같다고 가정한다.

(2) 이 정규분포의 평균위치는 선박통과경로의 중심선으로 잡아야 한다. PG는 각 선박분류등급에 대한 선폭(B_M)에 근거하여 결정되거나 모든 분류간격에 대해 4.18.4에 따라 선택된 설계선박의 선폭(B_M)을 이용하여 결정될 수 있다.

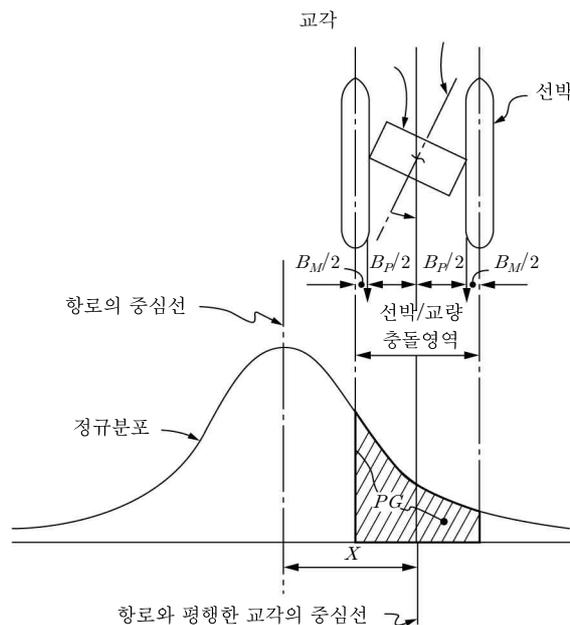


그림 4.18-2 교각충돌의 기하학적 확률

4.18.5.4 파괴확률

교량파괴확률(PC)은 선박의 충격하중(P)에 대한 교각의 횡방향 내하력(H_p)과 경간의 횡방향 내하력(H_s)의 비율에 따라 식 (4.18-13)~식 (4.18-15)와 같이 결정된다.

(1) $0.0 \leq H/P < 0.1$ 이면,

$$PC = 0.1 + 9 \left(0.1 - \frac{H}{P} \right) \quad (4.18-13)$$

(2) $0.1 \leq H/P < 1.0$ 이면,

$$PC = \frac{1}{9} \left(1.0 - \frac{H}{P} \right) \quad (4.18-14)$$

(3) $\frac{H}{P} \geq 1.0$ 이면,

$$PC = 0.0 \quad (4.18-15)$$

여기서, PC = 파괴확률

H = 교각내하력(H_p)이 상부구조물의 횡방향 내하력(H_s)으로 표현되는 수평하중에 대한 교량구조물의 강도(단위: N)

P = 선박충격하중, P_s , P_{BH} , P_{DH} , 또는 P_{MT} , 이들은 각각 4.18.8, 4.18.10.1, 4.18.10.2 및 4.18.10.3에 기술되었다.(단위: N)

4.18.6 설계 충돌 속도

(1) 설계충돌속도는 그림 4.18-3에서와 같이 결정된다.

V = 설계충돌속도(단위: m/s)

V_T = 정상기상조건에서 수로를 지나는 선박의 보통 속도(단위: m/s)로서 반드시 V_{MIN} 보다 커야 한다.

V_{MIN} = 최소설계충돌속도(단위: m/s), 교량이 설치된 곳의 연평균유속보다 커야 한다.

X = 수로의 중심선에서 교각표면까지의 거리(단위: mm)

X_C = 수로의 중심선에서 항로폭 끝단까지의 거리(단위: mm)

X_L = 설계선박의 전체길이의 3배거리(단위: mm)

(2) 바지선 예인의 경우에 설계선박의 전체길이(LOA)는 바지선과 예인선 길이의 합에 예인 로우프의 길이를 더하여 구한다.

교각 설계하중(한계상태설계법)

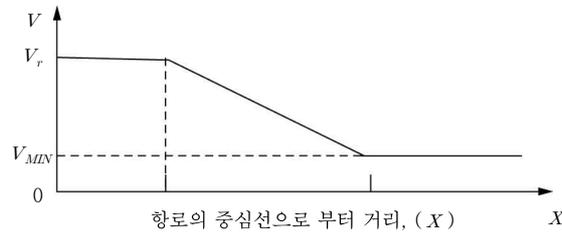


그림 4.18-3 설계충돌속도의 분포도

4.18.7 선박충돌에너지

(1) 이동 중인 선박이 교각과 정면으로 충돌하는 경우의 운동에너지는 식 (4.18-16)과 같이 구한다.

$$KE = 500 C_H M V^2 \quad (4.18-16)$$

여기서, KE = 선박의 충돌 에너지(단위: J)

M = 선박의 용적 톤수(단위: 미터톤)

C_H = 수리동적질량계수

V = 선박충돌속도(단위: m/s)

선박의 질량(M)은 선박의 재하조건에 따라 결정되고 적재선박의 경우에는 비적재선박의 질량에 화물질량을 더하여 계산하며, 비적재나 가벼운 화물만을 실은 경우에는 비적재 선박의 질량에 선박의 수송을 위한 water ballast의 질량을 더하여 계산한다. 견인되는 바지선의 경우에는 용적톤수는 예인선의 질량과 예인되는 바지선들의 질량의 합이다.

(2) 수리동적질량계수 C_H 는 식 (4.18-17)~식 (4.18-18)과 같이 구할 수 있다.

① 용골과 수로바닥과의 간격이 선박의 흘수 $\times 0.5$ 보다 큰 경우

$$C_H = 1.05 \quad (4.18-17)$$

② 용골과 수로바닥과의 간격이 선박의 흘수 $\times 0.1$ 보다 작은 경우

$$C_H = 1.25 \quad (4.18-18)$$

③ 용골과 수로바닥과의 간격이 위의 기준치 사이에 있는 경우에는 적절히 보간하여 C_H 값을 구한다. 용골과 수로바닥과의 간격(Underkeel clearance)은 선박의 바닥과 수로의 바닥간의 간격으로 한다.

4.18.8 교각에 작용되는 선박 충격력

선박과 교각이 정면충돌하는 경우에 교각에 작용되는 힘은 식 (4.18-19)와 같다.

$$P_s = 1.2 \times 10^5 V \sqrt{DWT} \quad (4.18-19)$$

여기서, P_s = 등가 정적선박충격하중(단위: N)

DWT = 선박의 적재중량톤수(단위: 미터톤)

V = 선박의 충돌속도(단위: m/s)

4.18.9 선박의 이물손상길이

견고한 물체에 부딪쳐 부서진 이물의 수평길이는 식 (4.18-20)과 같이 구할 수 있다.

$$a_S = 1.54 \times 10^3 \left(\frac{KE}{P_S} \right) \quad (4.18-20)$$

여기서, a_S = 손상을 입은 이물의 길이(단위: mm)

KE = 선박의 충돌에너지(단위: J)

P_S = 식 (4.18-17)에서 규정된 배의 충격력(단위: N)

4.18.10 상부구조물에 작용하는 선박의 충격력

4.18.10.1 이물의 충돌

(1) 상부구조물에 작용되는 이물충격력은 식 (4.18-21)과 같다.

$$P_{BH} = (R_{BH})(P_S) \quad (4.18-21)$$

여기서, P_{BH} = 노출된 상부구조물에 작용하는 이물충격력(단위: N)

R_{BH} = 노출된 상부구조부깊이의 전체이물 깊이에 대한 비

P_S = 식 (4.18-17)에서 규정된 선박의 충격력(단위: N)

(2) 4.18.10.1에서 노출부는 충격영역에서 선박과 교량상부구조가 연직으로 겹쳐진 부분을 나타낸다.

4.18.10.2 갑판실과의 충돌

(1) 갑판실과의 충돌에 의하여 상부구조부에 미치는 충격력은 식 (4.18-22)와 같이 구한다.

$$P_{DH} = (R_{DH})(P_S) \quad (4.18-22)$$

여기서, P_{DH} = 선박 갑판실의 충격력(단위: N)

R_{DH} = 아래에 규정된 감소계수

P_S = 식 (4.18-17)에서 규정된 선박의 충격력(단위: N)

(2) 선박이 100,000 DWT 이상인 경우에는 R_{DH} 는 0.1로 간주하고, 선박이 100,000 DWT 이하인 경우에는 감소계수를 식 (4.18-23)과 같이 구한다.

$$R_{DH} = 0.2 - (DWT/10,000) \times 0.10 \quad (4.18-23)$$

4.18.10.3 돛대와의 충돌

돛대와의 충돌에 의하여 상부구조부에 미치는 충돌력은 식 (4.18-24)와 같이 구한다.

$$P_{MT} = 0.10 P_{DH} \quad (4.18-24)$$

여기서, P_{MT} = 선박의 돛대 충격력 (단위: N)

P_{DH} = 식 (4.18-20)에서 규정된 갑판실의 충격력 (단위: N)

교량 설계하중(한계상태설계법)

4.18.11 교각에 작용하는 바지선의 충격력

(1) 4.18에서는 표준호퍼바지선을 다음과 같은 제원을 가진 내륙하천에서 운항되는 바지선으로 택한다.

| | |
|--------|-------------|
| 폭 | = 10,700 mm |
| 길이 | = 60,000 mm |
| 깊이 | = 3,700 mm |
| 비적재 흘수 | = 520 mm |
| 적재 흘수 | = 2,700 mm |
| 질량 | = 1,730 미터톤 |

(2) 교각에 작용되는 표준호퍼바지선의 충격력은 다음과 같이 구한다.

① $a_B < 100$ mm 인 경우

$$P_B = 6.0 \times 10^4 a_B \quad (4.18-25)$$

② $a_B > 100$ mm 인 경우

$$P_B = 6.0 \times 10^6 + 1,600 a_B \quad (4.18-26)$$

여기서, P_B = 등가정적 바지선의 충격력(단위: N)

a_B = 식 (4.18-25)에 규정된 바지선의 이물 손상길이(단위: mm)

(3) 표준호퍼바지선 보다 큰 설계바지선의 충격력은 표준호퍼바지선의 충격력을 표준호퍼바지선 폭에 대한 큰 바지선 폭의 비율만큼 증가시켜서 사용한다.

4.18.12 바지선의 이물 손상길이

표준호퍼바지선에 대한 바지선의 이물 수평손상길이는 식 (4.18-27)과 같이 구할 수 있다.

$$a_B = 3,100(\sqrt{1 + 1.3 \times 10^{-7} KE} - 1) \quad (4.18-27)$$

여기서, a_B = 바지선의 이물 손상길이(단위: mm)

KE = 선박의 충돌에너지(단위: J)

4.18.13 극단상황한계상태에서의 손상

(1) 극단상황한계상태에서 상부구조의 붕괴를 방지하기 위한 충분한 연성과 구조여용력이 잔여 구조체에 존재하는 경우에는 하부구조와 상부구조 부재에 대하여 비탄성 거동과 하중 재분배를 허용할 수 있다.

(2) 다른 방법으로서 교량구조물에 작용하는 선박의 충돌 하중을 없애거나 허용수준까지 줄이기 위해서 교각방호공을 설치할 수도 있다.

4.18.14 충격력의 작용

4.18.14.1 하부구조 설계

- (1) 하부구조물의 설계를 위하여 항해수로의 중앙선에 평행한 방향 및 수직인 방향으로의 등가 정적하중을 다음과 같이 독립적으로 작용시켜야 한다.
 - ① 항해수로의 중앙선과 평행한 방향으로 작용하는 설계충격하중의 100%
 - ② 항해수로의 중앙선과 수직인 방향으로 작용하는 설계충격하중의 50%
- (2) 설계선박에 대하여 선체의 어떤 부분이나 이물 등에 의한 접촉에 노출되어 있는 하부구조물의 모든 부재는 작용하는 하중을 견뎌낼 수 있도록 설계되어야 한다. 배나 바지선 이물의 돌출부, 경사 또는 flair 거리(overhang, rake or flair distance) 등은 선박과의 접촉에 노출되어 있는 하부구조물의 부위를 결정하는데 고려되어야 한다. 선체의 이물이 파손되어 하부구조의 퇴행부분이 접촉되는 경우도 고려되어야 한다.
- (3) 여기에서 규정된 두 가지 설계의 경우에 있어서 충격하중은 하부구조물에 다음과 같이 작용되어야 할 것이다.
 - ① 전체적인 안정을 위해서, 설계충격하중은 그림 4.18-4에서와 같이 수로의 평균수위 높이에서 하부구조물에 집중하중의 형태로 가해진다.
 - ② 국부적인 충돌하중에 대해서, 설계충격하중은 그림 4.18-5에서와 같이 이물 깊이에 대하여 등분포된 수직선상의 하중으로 가한다. 하부구조물에 충격하중이 가해질 수 있는 접촉면적을 결정하는데 있어서 이물의 형태는 전방으로 경사됐다고 가정한다. 바지선에 있어서의 국부적인 충격하중은 그림 4.18-6과 같이 최선단 블럭의 깊이에 대하여 등분포된 수직선상의 하중으로 고려한다.

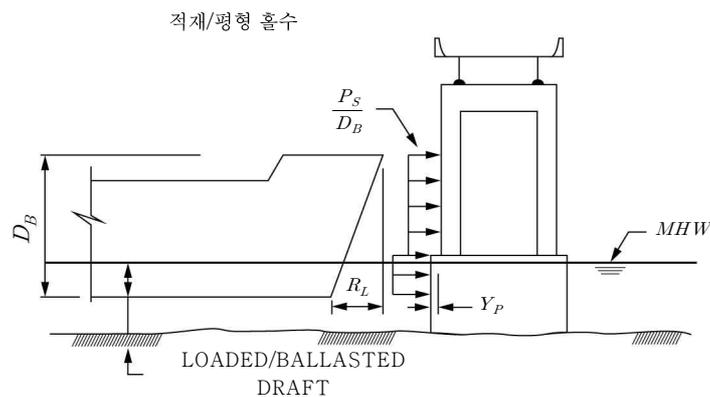


그림 4.18-5 교각에 작용되는 배의 선충격력

교량 설계하중(한계상태설계법)

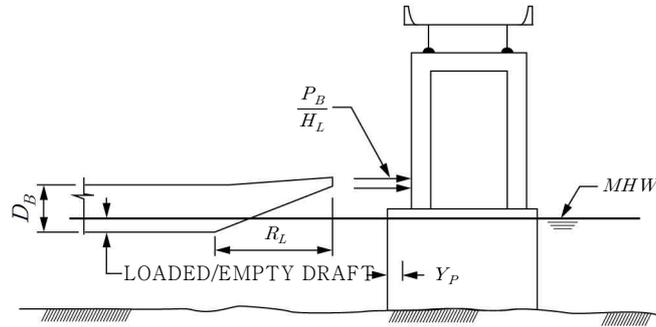


그림 4.18.6 교각에 작용되는 바지선의 충격력

4.18.14.2 상부구조 설계

상부구조물의 설계 시에 설계충격하중은 항행항로 중심선에 평행한 방향을 따라 상부구조 부재에 횡방향으로 재하한다. 이 때 설계충격하중은 등가정적하중으로 재하한다.

4.18.15 하부구조물의 보호

- (1) 선박충돌에 대한 교각의 노출 위험도를 줄이거나 없애기 위해 펜더, 군말뚝, 말뚝지지 구조물, 돌핀, 인공섬 또는 이들을 조합한 방호공을 설치할 수 있다.
- (2) 방호공은 충돌에 대해 심한 손상을 받거나 붕괴될 수도 있지만 이는 충돌선박이 교각에 충돌 전에 방호공에 의해 정지되거나 또는 방향이 재조정되어 교각으로부터 멀어지는 경우에 한한다.

4.19 마찰력: FR

마찰력은 마찰면 사이의 최대 마찰계수에 기초하여 계산하여야 한다. 일반적인 경우에 수분의 영향과 마찰면 또는 회전면의 마모 또는 오염으로 인한 마찰계수의 변화를 고려하여야 한다.

| 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 | 엔비코컨설팅트 | 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 | 김우중 | 디엠엔지니어링 |
| | 총괄 | 박찬민 | 코비코리아 |
| | 총괄 | 서석구 | 서영엔지니어링 |
| | 총괄 | 이상호 | 연세대학교 |
| | 내진설계 | 이재훈 | 영남대학교 |
| | 하중 | 이해성 | 서울대학교 |
| | 강교 | 최동호 | 한양대학교 |

교량 설계하중(한계상태설계법)

| 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 12 21 : 2016

교량 설계하중(한계상태설계법)

2016년 6월 30일 발행

국토교통부

관련단체 한국도로협회
13647 경기도 성남시 수정구 위례서일로 26, 8층 한국도로협회
☎ 02-3490-1000 E-mail : off@kroad.or.kr
<http://www.kroad.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>