

KR C-09090

Rev.1, ?. January 2014

# 합성거더교

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 충칭한 것입니다.

# 목 차

1. 용어의 정의 .....	1
2. 일반사항 .....	2
3. 합성거더의 단면 .....	3
4. 설계도에 기재하는 사항 .....	4
5. 하중 .....	4
6. 재료 .....	4
7. 설계일반 .....	5
8. 강거더 .....	8
9. 바닥판 .....	9
10. 전단연결재 .....	11
 <b>해설 1. 설계일반사항</b> .....	<b>14</b>
1. 강박스거더교의 특성 .....	14
2. 일반제원의 계획 .....	15
2.1 지간 분할 .....	15
2.2 거더 높이 .....	15
2.3 단면형상 .....	15
2.4 단면구성 .....	17
3. 주거더의 설계 .....	17
3.1 플랜지의 설계 .....	17
3.2 복부판의 설계 .....	19
4. 보강재의 설계 .....	19
4.1 플랜지의 보강재 .....	19
4.2 수직보강재 설계 .....	20
4.3 수평보강재 설계 .....	21
4.4 하중집중점 보강재 설계 .....	21
5. 다이아프램의 설계 .....	21
5.1 개요 .....	21
5.2 다이아프램의 형상 .....	22
5.3 중간다이아프램의 소요간격 및 강도 .....	23
5.4 중간다이아프램의 응력검토 .....	27



5.5 지점부 다이어그램의 응력검토 .....	29
6. 받침부의 설계 .....	30
<b>해설 2. 합성구조 .....</b>	<b>31</b>
1. 합성구조의 특성 .....	31
1.1 개요 .....	31
1.2 합성구조의 분류 .....	31
1.3 설계시 고려사항 .....	34
2. 합성거더의 구조형식 .....	34
3. 해석방법 .....	36
4. 설계 특기사항 .....	38
<b>해설 3. 곡선교 .....</b>	<b>40</b>
1. 일반사항 .....	40
2. 해석방법 .....	42
2.1 비틀림에 의한 응력의 계산과 $\alpha$ 값 .....	42
2.2 곡선격자거더 .....	42
3. 설계특기사항 .....	44
3.1 주거더의 형식과 설계 .....	44
3.2 가로보 .....	45
3.3 수평브레이싱 .....	46
3.4 받침부 .....	46
<b>해설 4. 설계흐름도의 구성 .....</b>	<b>48</b>
<b>해설 5. 설계단계별 고려사항 .....</b>	<b>55</b>
1. [단계 1] 설계조건 .....	55
2. [단계 2] 단면가정 .....	56
3. [단계 3] 바닥판 설계 .....	58
4. [단계 4] 주거더 설계 .....	59
5. [단계 5] 가로보의 설계 .....	61
6. [단계 6] 세로보의 설계 .....	61
7. [단계 6] 다이어그램의 설계 .....	61
8. [단계 8] 피로 검토 .....	62
9. [단계 9] 처짐 및 솟음량 검토 .....	62
10. [단계 10] 교량거더의 안정성 검토 .....	63
11. [단계 11] 부속설비 설계 .....	63
12. [단계 12] 동적검토 .....	63
<b>RECORD HISTORY .....</b>	<b>65</b>

## 1. 용어의 정의

- (1) 강축 : 부재의 단면상에서 힘에 대하여 강한 축.
- (2) 고정하중 합성 : 현장타설 바닥판의 중량을 합성 작용의 상태에서 받도록 하는 방법.
- (3) 교량거더 간격 : 주거더 중심 사이의 거리.
- (4) 그루브용접 : 용접되는 모재사이에 용착금속을 채워 넣는 용접.
- (5) 니브레이스 : 수평재와 수직재가 만드는 우각부를 보강하기 위해 설치하는 사재. 귀잡이라고도 함.
- (6) 다이아프램 : 박스거더 단면 등의 폐단면 부재 형상을 유지하기 위하여 내부에 부재 축에 직각으로 배치하는 판. 힘을 받는 박스거더 부재의 좌굴현상을 방지하고, 비틀림에 대하여 단면형상을 유지하기 위하여 설치됨.
- (7) 맞대기 이음 : 둘 이상의 모재의 단과 단을 거의 동일한 평면 내에서 맞붙여서 접합하는 이음.
- (8) 모재 : 절단, 용접 등에 의해 가공되는 구조의 본체가 되는 재료.
- (9) 목두께 : 필릿용접의 유효단면두께.
- (10) 바닥판의 유효폭 : 합성단면으로서 계산할 수 있는 바닥판의 폭.
- (11) 볼트의 선간거리 : 볼트 인접선간의 거리 또는 L형 등 형강의 배면으로부터 첫 번째 볼트 중심선까지의 거리.
- (12) 볼트의 순간격 : 인접한 볼트구멍 가장자리 간의 거리.
- (13) 볼트의 순연단거리 : 부재 끝에서 볼트구멍 가장자리까지의 거리.
- (14) 볼트의 연단거리 : 볼트의 중심으로부터 부재의 연단까지의 거리.
- (15) 볼트의 피치 : 힘의 작용선 방향으로 켜 볼트구멍 중심 간의 거리.
- (16) 붕괴유발부재 : 해당부재의 파괴가 교량의 붕괴를 초래하거나 교량의 설계기능을 발휘할 수 없도록 하는 인장부재, 인장압축 교번부재 또는 강교의 인장요소.
- (17) 비드 : 1회의 패스에 의해 만들어진 용접금속.
- (18) 상세범주 : 피로 분석 시 허용피로응력 범위 결정의 기준이 되는 연결부의 등급.
- (19) 세장비 : 부재의 좌굴길이를 부재의 단면이차반경으로 나눈 값.
- (20) 스켈럽 : 용접선의 교차를 피하기 위하여 한쪽의 부재에 설치한 홈.
- (21) 스테드 : 강재 주거더와 콘크리트 슬래브와의 전단연결재로서 머리부와 줄기로 이루어짐.
- (22) 스테드용접 : 볼트, 환봉 등의 선단과 모재사이에 아크를 발생시켜 용융풀에 눌러 붙이는 용접.
- (23) 약축 : 부재의 단면상에서 힘에 대하여 약한 축.
- (24) 연속구조 : 인접한 최소 두 경간에서 모멘트가 자유롭게 전달되는 주부재의 거더 또는 트러스구조.



- (25) 용접부 : 용착금속 및 열영향부를 포함한 부분의 총칭.
- (26) 전단연결재 : 바닥판과 강거더가 합성 작용하도록 강거더에 붙인 것.
- (27) 전단지연 : 큰 폭의 플랜지를 갖는 부재가 힘을 받을 때, 플랜지의 수직응력이 일정하게 분포되지 않고 복부판의 접합부에서 크게 되는 현상.
- (28) 캔틸레버구조 : 한 경간 내에서만 모멘트가 자유롭게 전달되는 주부재의 거더 또는 트러스로서 최소 한 지점을 통과하여 인접경간으로 내밀고 있어서 모멘트가 인접경간으로 자유롭게 전달되지 못하는 구조.
- (29) 트러스 : 여러 개의 직선부재로 구성된 골조구조로서, 구조역학적 부재끼리 결합하는 점(격점)은 부재 양끝이 자유롭게 회전하도록 결합되어 있는 구조.
- (30) 플레이트거더 : 상·하부플랜지와 복부판으로 구성된 I-단면 형상의 거더로서 압연 I형강과 용접 I형 플레이트거더가 주로 사용되며, 박판으로 이루어진  $\pi$ 형 단면 및 박스형 단면의 거더도 넓은 의미로 이에 포함됨.
- (31) 필릿용접 : 겹친 이음, T 이음, +자이음, 각이음 등에 있어서 교차하는 두 모재의 우각부를 용접하는 삼각형상의 단면을 갖는 용접.
- (32) 합성거더 : 철근 콘크리트 바닥판과 강거더가 일체로 되어 작용하도록 이들을 적절한 전단연결재에 의하여 합성한 구조를 가진 거더.
- (33) 활하중 합성 : 강거더의 자중 및 바닥판의 중량은 강거더가 받고 활하중 및 일부의 고정하중을 합성작용의 상태에서 받도록 하는 방법.

## 2. 일반사항

- (1) 이 코드는 강거더와 철근콘크리트 바닥판을 전단연결재를 사용하여 합성(合成)한 철도교(이하 “합성거더”라 한다)의 설계에 적용한다.
- (2) 이 코드에서 정하지 않은 사항에 대하여는 「KR C-09 강교 및 강합성교」 및 「KR C-10 콘크리트교」를 따른다.
- (3) 기호

$A_c$	= 유효폭 내의 바닥판의 단면적( $\text{mm}^2$ )
$A_s$	= 강거더의 단면적( $\text{mm}^2$ )
$b_e$	= 바닥판의 유효폭(mm)
$b_o$	= 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 바닥판 헌치하단의 폭(mm)
$d$	= 스테드 줄기의 지름(mm)
$E_c$	= 콘크리트의 탄성계수(MPa)
$E_s$	= 강재의 탄성계수(MPa)
$f_{ck}$	= 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

- $f_{cd}$  = 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 콘크리트의 응력(MPa)  
 $f_{cu}$  = 바닥판의 상연에 있어서의 교축방향의 콘크리트 응력(MPa)  
 $f_{sl}$  = 강거더 하연의 응력(MPa)  
 $f_{su}$  = 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 강거더의 응력(MPa)  
 $I_c$  = 유효폭 내 바닥판의 중립축(C-C)에 관한 단면2차모멘트(mm<sup>4</sup>)  
 $I_s$  = 강거더의 중립축(S-S)에 관한 단면2차모멘트(mm<sup>4</sup>)  
 $L$  = 지간(mm)  
 $n = E_s/E_c$  = 강재와 콘크리트의 탄성계수비  
 $Q_a$  = 허용내하력 (N)  
 $\epsilon_s$  = 콘크리트의 건조수축률  
 $\phi_1, \phi_2$  = 콘크리트의 크리프계수

### 3. 합성거더의 단면

(1) 합성거더의 계산에는 <그림 1>에 표시된 기호를 사용한다.

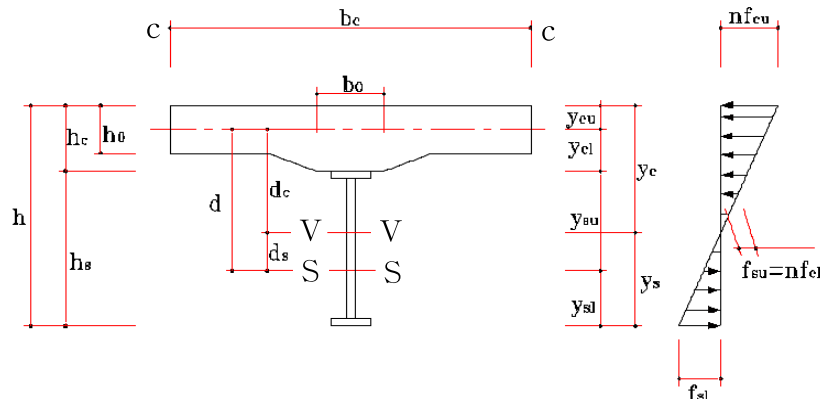


그림 1. 합성거더의 기호

- 여기서,  $b_e$  : 바닥판의 유효폭(mm)  
 $b_o$  : 바닥판과 강거더와의 접촉부에서 바닥판 헌치하단의 폭(mm)  
 $h_o$  : 바닥판의 두께(mm)  
 $h_c$  : 강거더의 상부플랜지 상연에서 바닥판 상연까지의 거리(mm)  
 $h_s$  : 강거더의 높이(mm)  
 $h = h_c + h_s$  : 합성거더의 높이(mm)  
 C-C : 유효폭 내의 바닥판 단면의 중립축  
 S-S : 강거더 단면의 중립축





V-V	: 강재로 환산한 합성단면의 중립축
$d$	: C-C와 S-S와의 거리(mm)
$d_c$	: V-V와 C-C와의 거리(mm)
$d_s$	: V-V와 S-S와의 거리(mm)
$y_c$	: V-V에서 바닥판 상연까지의 거리(mm)
$y_s$	: V-V에서 강거더의 하연까지의 거리(mm)

#### 4. 설계도에 기재하는 사항

합성거더 설계도에는 일반적으로 기재하는 사항 이외에 설계기준강도, 조골재의 최대 치수, 설계에 사용한 탄성계수비, 콘크리트 치기의 조건, 공사 중의 하중 및 합성후의 고정하중의 재하시기, 기타 특히 필요한 사항을 명기한다.

#### 5. 하중

- (1) 합성거더의 설계에는 「KR C-08 교량 일반사항」에서 정한 것 외에 바닥판 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 바닥판과 강거더와의 온도차 등의 영향을 고려한다.
- (2) 합성단면 하중
  - ① 콘크리트 바닥판 타설과 양생시 거더를 받칠 임시 중간 지점이 없는 경우는 강재와 콘크리트 고정하중은 강거더에만 작용한다고 가정하고, 모든 후속하중은 합성단면에 작용한다고 가정한다.
  - ② 콘크리트가 재령 28일 강도의 75%를 가질 때까지 거더에 유효 임시 중간지점이 주어진 경우, 콘크리트 고정하중과 모든 후속하중은 합성단면에 작용한다고 가정한다.
  - ③ 충격에 의한 응력은 활하중에 의한 응력에 충격계수를 곱한 것으로 하며, 충격계수는 「KR C-08020 4. 운행하중」의 규정을 따른다.

#### 6. 재료

- ① 강재의 허용응력은 「KR C-09020 4. 2차응력」의 규정에 의한다.
- ② 바닥판 콘크리트의 기준허용응력은 <표 1>에 표시된 값으로 한다.

표 1. 바닥판 콘크리트의 허용응력

	종별	허용응력(MPa)		
		$f_{ck} < 30$	$30 \leq f_{ck} < 40$	$40 \leq f_{ck} \leq 50$
휨압축응력	바닥판	$0.40 f_{ck}$		
	합성거더 플랜지			
전단응력	사인장철근을 두지 않는 경우	0.9	1.0	1.1
	사인장철근을 두는 경우	2.0	2.2	2.4

- ③ 바닥판에 사용되는 철근의 허용인장응력은 <표 2>에 표시된 값을 적용한다. 다만 주거더 단면 일부로서의 작용과 바닥판으로서의 작용을 동시에 고려할 경우에는 허용응력의 20%를 증가시킬 수 있다.

표 2. 철근의 허용인장응력

허용응력 \ 철근의 종류	SD300	SD350	SD400
허용인장응력(MPa)	150	160	160
허용압축응력(MPa)	150	175	180

- ④ 강거더에 대한 허용응력의 증가는 「KR C-08020 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」의 규정에 의해야 한다.

## 7. 설계일반

### (1) 탄성계수비

- 강재의 탄성계수는  $2.05 \times 10^5$  MPa로 해야 한다.
  - 합성단면으로서의 응력 및 처짐을 계산하는 경우에 강재와 콘크리트의 탄성계수비  $n$ 은 8을 표준으로 한다.
  - 바닥판으로 단면계산을 하는 경우에 탄성계수비  $n$ 은 「KR C-10030」에 의한다.
- (2) 활하중에 의한 교량거더의 처짐은 「KR C-08070 4항」에 의한다.

### (3) 사교

- 사교의 각도는  $30^\circ$ 이하를 원칙으로 한다.
  - 사각을 갖는 교량거더의 경우에는 둔각 지점의 반력증가를 고려한다.
- (4) 합성거더의 압축플랜지로서의 바닥판 유효폭  $b_e$ 는 <식 (1)>에 의하여 계산한 값을 넘어서는 안 된다.

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2 + 2b_s + b_o \quad (1)$$



여기서,  $b_s$  : 현치의 수평폭, 현치의 경사가  $45^\circ$ 보다 작은 경우에는 <그림 2>  
와 같이 취한다.

$\lambda_1$  : 주거더 내측의 한쪽 유효폭

$\lambda_2$  : 돌출부의 한쪽 유효폭

$\lambda_1$  및  $\lambda_2$ 는 다음 식에 의하여 계산한다.

$$b/L \leq 0.05 \quad \lambda_1 \text{ 또는 } \lambda_2 = b$$

$$0.05 \leq b/L < 0.3 \quad \lambda_1 \text{ 또는 } \lambda_2 = \{1.1 - 2(b/L)\}b$$

$$b/L \geq 0.3 \quad \lambda_1 \text{ 또는 } \lambda_2 = 0.15L$$

여기서,  $b$  : <그림 2> 참조

$L$  : 지간

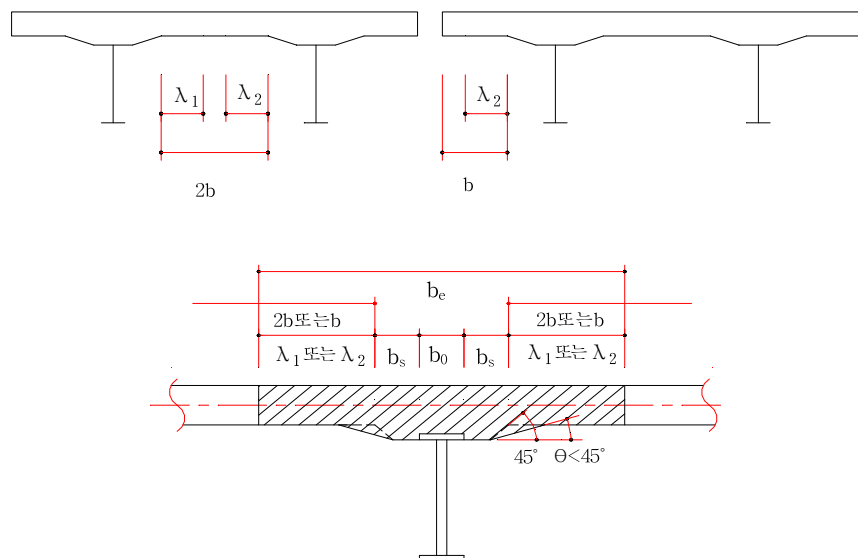


그림 2. 바닥판의 유효폭

#### (5) 바닥판 콘크리트의 크리프

- ① 합성후 고정하중에 의한 주거더단면 응력을 계산하는 경우에 바닥판 콘크리트의 크리프계수  $\phi_1$ 은 2.0을 표준으로 한다.
- ② 콘크리트의 응력계산은 크리프를 고려한 콘크리트의 탄성계수를 사용한다. 즉, 단면 환산을 하는 경우에는  $n$  대신에  $n(1+\phi_1)$ 을 사용한다.

#### (6) 바닥판 콘크리트의 건조수축

- ① 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 합성단면의 응력계산에 사용하는 최종 건조수축률  $\epsilon_s$ 는  $27 \times 10^{-5}$ 을 표준으로 하고, 사용하는 크리프계수  $\phi_2$ 는  $2.0\phi_1$ 을 표준으로 한다.
- ② 이 경우의 계산에는 <식 (2)>~<식 (8)>을 사용한다.

$$N_c = N_s = \frac{\epsilon_s E}{\frac{n_\phi}{A_c} + \frac{1}{A_s} + \frac{n_\phi d^2}{I_c + n_\phi I_s}} \quad (2)$$

$$M_c = \frac{I_c}{I_c + n_\phi I_s} N_c d \quad (3)$$

$$M_s = \frac{n_\phi I_s}{I_c + n_\phi I_s} N_c d \quad (4)$$

$$f_{cu} = \frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c}{I_c} y_{cu} \quad (5)$$

$$f_{cd} = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} y_{cd} \quad (6)$$

$$f_{su} = -\frac{N_s}{A_s} - \frac{M_s}{I_s} y_{su} \quad (7)$$

$$f_{sl} = -\frac{N_s}{A_s} + \frac{M_s}{I_s} y_{sl} \quad (8)$$

여기서,  $n_\phi = n(1 + \phi_2/2)$  : 콘크리트의 강재에 대한 탄성계수비

$N_c, N_s, M_c, M_s$  : 시간  $T = 0$  에서  $T = \infty$  사이에 콘크리트의 건조수축에 의해 바닥판 단면의 중심 및 강거더단면의 중심에 발생하는 축력과 휨모멘트

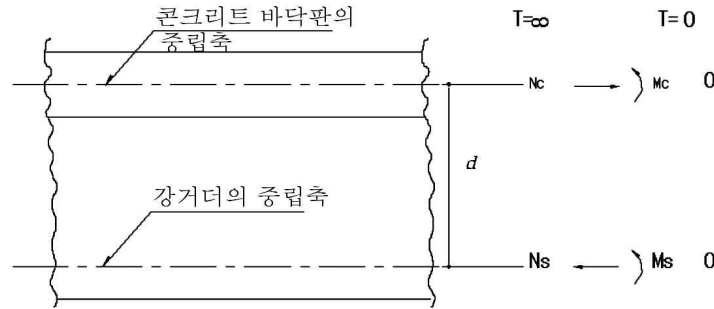


그림 3. 건조수축에 의한 축력과 휨모멘트

(7) 바닥판 콘크리트와 강거더와의 온도차

- ① 바닥판 콘크리트와 강거더와의 온도차는  $10^\circ\text{C}$ 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려해야 한다.
- ② 온도분포는 강거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다.
- ③ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수는  $12 \times 10^{-6}$ 을 적용한다.
- ④ 온도차에 의한 응력의 계산에는 크리프의 영향은 고려하지 않고 <식 (9)>~<식 (15)>로 계산한다.



$$N_c = N_s = \frac{\alpha (\pm t) E_s}{\frac{n}{A_c} + \frac{1}{A_s} + \frac{nd^2}{I_c + nI_s}} \quad (9)$$

$$M_c = \frac{I_c}{I_c + nI_s} N_c d \quad (10)$$

$$M_s = \frac{nI_s}{I_c + nI_s} N_c d \quad (11)$$

$$f_{cu} = \frac{N_c}{A_c} - \frac{M_c}{I_c} y_{cu} \quad (12)$$

$$f_{cd} = \frac{N_c}{A_c} + \frac{M_c}{I_c} y_{cd} \quad (13)$$

$$f_{su} = -\frac{N_s}{A_s} - \frac{M_s}{I_s} y_{su} \quad (14)$$

$$f_{sl} = -\frac{N_s}{A_s} + \frac{M_s}{I_s} y_{sl} \quad (15)$$

여기서,  $N_c, N_s, M_c, M_s$  : 바닥판과 강거더의 온도차에 의해 바닥판 단면의 중심 및 강거더 단면의 중심에 발생하는 축력과 휨모멘트

$\alpha$  : 계산에 사용하는 선팽창계수

$t$  : 온도차,  $t$  앞의 부호는 바닥판이 강거더보다 낮은 경우(+), 높은 경우는(-)로 취해야 한다.

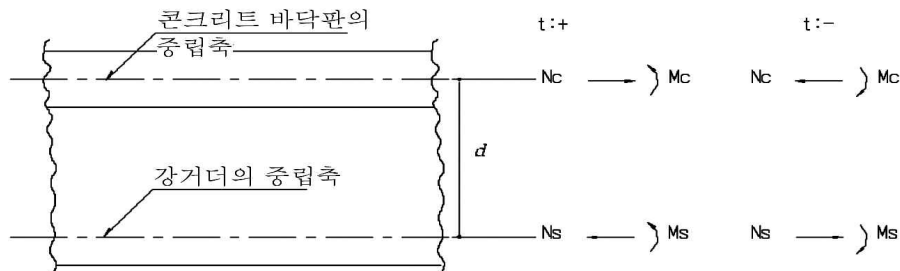


그림 4. 온도차에 의해 발생하는 합성거더의 단면력

(8) 합성단면의 중립축은 강거더 내에 있는 것을 원칙으로 한다.

## 8. 강거더

- (1) 전단연결재를 설치하는 플랜지의 판두께는 「KR C-09040 3.2.1항」의 규정을 만족해야 할 뿐 아니라, 플레이트거더의 경우는 15mm 이상, 또 박스거더의 경우는 13mm 이상으로 해야 한다. 특히 어느 경우에도 전단연결재의 필릿용접의 크기 이상으로 해야 한다.

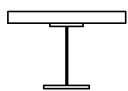
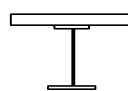
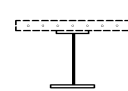
## (2) 수평브레이싱

- ① 하부 수평브레이싱은 플레이트거더교의 경우에는 설치하는 것을 원칙으로 해야 한다. 단, 지간이 16m 이하의 거더에서 적당한 수직브레이싱이 있는 경우에는 하부 수평브레이싱을 생략할 수 있다.
- ② 상부 수평브레이싱은 필요에 따라 설치하는 것으로 한다.

## 9. 바닥판

- (1) 바닥판의 설계는 이 절에서 규정하는 이외는 「KR C-09050 5항」에 의한다.
- (2) 바닥판의 합성작용
  - ① 주거더의 단면응력을 산출하는 경우 바닥판의 합성작용을 취급함에 있어서는 <표 3>과 같이 해야 한다. 전단연결재는 주거더의 전장에 걸쳐서 설치해야 한다. 또 연속합성거더에서 <표 3>에 따라 설계를 하는 경우는 내부지점 부근의 균열에 대해 방수층 등의 처리를 강구함과 동시에 고정하중에 의한 휨모멘트의 부호가 변하는 부근에는 강한 하중분배 가로보를 설치하는 것으로 하고, 전단연결재의 배치 및 응력의 변동 상태 등을 충분히 검토해야 한다.
  - ② 주거더의 탄성변형 및 부정정력을 계산하는 경우에는 <표 3> 규정에 관계없이 바닥판 콘크리트의 합성작용을 고려한다.

표 3. 합성작용의 취급

휨모멘트의 종류	합성작용의 취급	적용
정	바닥판 콘크리트를 주거더 단면의 일부로 본다.	
부	1. 인장응력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 유효로 하는 경우. 바닥판의 콘크리트를 주거더 단면의 일부로 본다.	
	2. 인장응력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하는 경우. 바닥판 내의 교축방향 철근만을 주거더 단면의 일부로 본다.	

주) 프리스트레스하지 않는 연속합성거더의 경우 한 단면에서 활하중의 제하 상태에 따라 정 및 부의 휨모멘트가 생길 수 있다.

## (3) 인장력을 받는 바닥판의 배근

- ① 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 유효로 하는 설계를 하는 경우에는 바닥판에 작용하는 전인장력을 철근이 받도록 한다.
- ② 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하고 설계를 하는 경우에는 바닥판 콘크리트 단면적의 2% 이상의 교축방향 철근을 배근해야 한다. 이 경우 교축방향 철



근의 총주변장의 바닥판 콘크리트의 단면적에 대한 비, 즉 주장률은  $0.0045\text{mm}/\text{mm}^2$  이상으로 한다. 또한 바닥판작용에 대처하기 위하여 배치된 철근을 교축방향 철근의 일부로 볼 수 있다.

- ③ 철근은 고정하중에 의한 휨모멘트의 부호가 변하는 점을 지나서 바닥판 콘크리트의 압축측에 정착시켜야 한다.
- (4) 바닥판 콘크리트에는 구조이음을 설치해서는 안 된다.
- (5) 바닥판 콘크리트의 합성작용을 줄 때에 바닥판 콘크리트 압축강도는  $f_{ck}$ 의 80% 이상이 되어야 한다.
- (6) 교량거더의 단부 부근의 바닥판
  - ① 교량거더 단부의 바닥판은 <그림 5>와 같이 단부 버팀재로 지지하는 것으로 해야 한다. 이 경우 단부 버팀재는 <그림 6>에서 나타낸 범위의 고정하중과 1축의 열차 하중에 대해서 설계한다.
  - ② 교량거더 단부의 바닥판은 온도차에 의한 응력 및 건조수축에 의한 응력에 대하여 「10. (4)항」과 같이 설계한다.

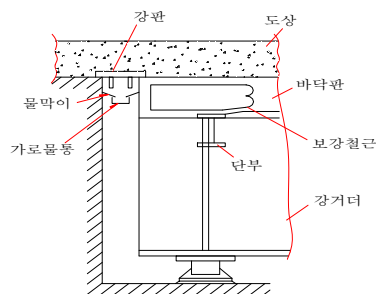


그림 5. 교량거더 단부 바닥판 보강

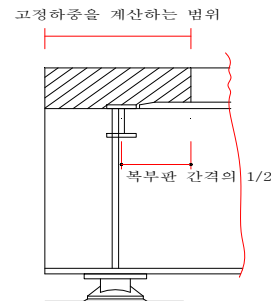


그림 6. 단부 버팀재

- (7) 사교의 바닥판
  - ① 주철근 배치는 합성거더의 지간 중앙부에서는 복부판에 직각 방향으로 하고 교량거더 단부에서는 <그림 7>에 표시된 범위에서 바닥판의 상측 및 하측에 사각 방향으로 배치하는 것을 표준으로 한다.
  - ② 사교 바닥판의 둔각부 지점의 상측에는 보강철근을 <그림 8>에 표시된 범위로 배치하는 것을 표준으로 해야 한다. 이때 가외철근량은 바닥판 지간 중앙의 정(正)휨 모멘트에 <표 4>에 표시된 계수를 곱한 값의 부(負)모멘트가 생기는 것으로 하여 구한다.

표 4. 휨모멘트의 계수

사 각	휨모멘트의 계수
$\theta \leq 15^\circ$	0.6
$15^\circ < \theta \leq 30^\circ$	0.8

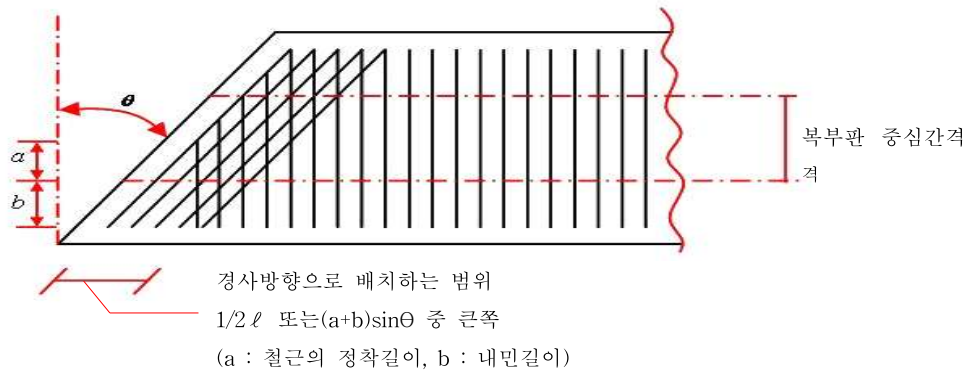


그림 7. 사교바닥판의 주철근배치

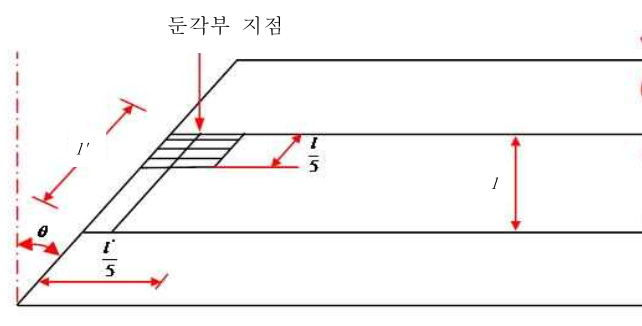


그림 8. 사교바닥판의 보강철근 배치

#### (8) 방수공

- ① 바닥판 상면에는 방수공을 설치해야 하며 적절한 보호공을 해야 한다.
- ② 바닥판 상면에는 원칙적으로 2%이상의 횡방향 경사를 설치하는 것으로 한다.

### 10. 전단연결재

#### (1) 전단연결재 일반

- ① 전단연결재에는 <그림 9>에 표시한 것과 같은 스테드(stud)를 표준으로 한다.
- ② 스테드는 머리붙임 스테드를 사용하며 스테드 접합면 전체가 융합되는 스테드 용접을 하는 것을 원칙으로 하고, 스테드의 지름은 19mm 이상으로 한다.
- ③ 스테드의 형상, 치수 및 그의 허용차 등은 <표 5>를 표준으로 해야 한다.



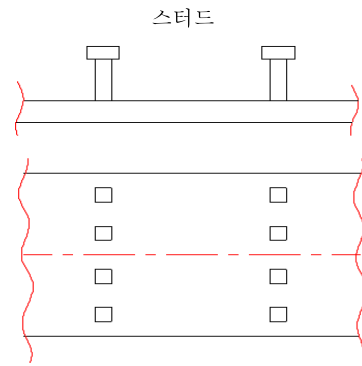
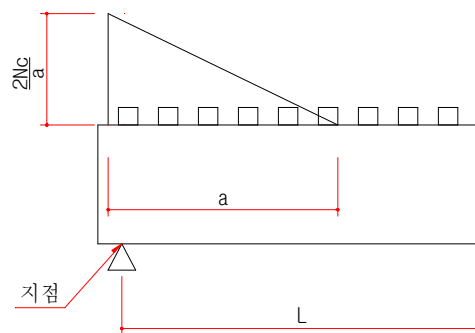


그림 9. 전단연결재(스터드)

표 5. 스테드의 형상, 치수 및 허용차(mm)

호 칭	줄기지름(d)		머리지름(D)		머리두께 (T) 최소	헌치부 반지름(r)	표준형상 및 치수표시 기호
	기준치수	허용차	기준치수	허용차			
19	19.0	±0.4	32.0	±0.4	10	2~3	
22	22.0		35.0				
25	25.0		38.0				

- (2) 전단연결재는 바닥판과 강거더와의 사이에 작용하는 교축방향의 가장 큰 전단력에 대하여 설계한다.
- (3) 바닥판 콘크리트와 강거더 사이의 부착응력은 무시한다.
- (4) 콘크리트의 건조수축 및 바닥판과 강거더와의 온도차에 의하여 생기는 전단력  $N_c$ 는 교량거더 단부에서 저변  $a$  ( $a$ 는 주거더 간격 또는 지간의 1/10 중 작은 값)에 삼각형 분포를 하는 것으로 하고 그 범위에 있는 전단연결재가 부담하도록 한다.(<그림 10> 참조)



$L$ 을 취하는 법 : (1) 단순함성거더의 경우  $L$  : 지간 (2) 연속함성거더의 경우  $L$  : 지간의 합계

그림 10. 전단력 분포

(5) 스테드의 허용내하력 및 배치

① 허용내하력

가. 스테드의 허용내하력( $Q_a$ )는 <식 (16)>~<식 (17)>로 계산한다.

$$H/d \geq 5.5 \text{ 의 경우 } Q_a = 9.5d^2 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N)} \quad (16)$$

$$H/d < 5.5 \text{ 의 경우 } Q_a = 1.74dH\sqrt{f_{ck}} \text{ (N)} \quad (17)$$

여기서,  $v_{\min}$  : 스테드에 작용하는 최소전단응력(MPa)

$v_{\max}$  : 스테드에 작용하는 최대전단응력(MPa)

$H$  : 스테드의 전 높이(mm)

$d$  : 스테드의 줄기지름(mm)

② 전단연결재의 배치

가. 스테드의 머리는 헌치 부분에서 그치지 않고 바닥판 속에 있는 것을 원칙으로 한다.

나. 스테드는 교축직각방향으로는 2개 이상을 배치한다.

다. 스테드의 최소 중심간격은 교축방향에 있어서  $5d$ (단, 100mm이상)로 하고 교축직각 방향에 있어서는  $d + 30\text{mm}$ 로 한다. 여기서,  $d$ 는 스테드 줄기의 지름이다

라. 스테드와 강거더 플랜지 연단과의 최소 순간격은 25mm로 한다.



## 해설 1. 설계일반사항

### 1. 강박스거더교의 특성

일반적으로 철도교로서의 강박스거더교(또는 강상자형교라고도 함)는 지간장 30~60m의 교량에 많이 적용되고 있으며, 주로 거더 상부에 레일이 위치하는 상로식(Deck Type)을 채택하고 있다. 이 경우 보통은 콘크리트 바닥판을 사용하여 그 위에 소음과 진동을 줄이기 위한 두께 200mm 내외의 자갈을 포설한 자갈도상식이 많이 채택되지만 경우에 따라서는 강박스거더 위에 직접 레일을 부설하는 레일직결식이 채택되는 경우가 있으며 이는 유지보수비가 절감되는 효과가 있으나 소음과 진동이 많은 단점이 있다. 또한 콘크리트 바닥판 대신에 강바닥판(Orthotropic Deck)을 사용하여 교량의 지간장을 80m이상으로 증가시키는 경우도 있다.

강박스거더교는 공장에서 제작되어 현장으로 운반 후 설치되는 단계를 거치므로 설계에 있어서는 특히 제작과 가설에 대한 사전검토를 충분히 시행하여 구조적 안정성에 만전을 기하여야 한다. 이는 일반적으로 단면이 I형의 플레이트거더에 비해 크고 운반이나 가설방법에 따라 단면 형상 등이 결정되는 경우가 많기 때문이다. 또한 구조강도에 있어서도 완성상태에 이르기까지 안전성을 충분히 검토하는 것이 요구된다. 즉, 박스거더는 I형 플레이트거더에 비해 구조적 강성이 큰 점이 특징이지만 그 반면에 전형적인 박판구조물로서 응력분포의 불균일, 변형의 증대, 국부좌굴의 불안정성 등의 악영향을 일으키기 쉬우므로 그와 같은 현상을 방지하는 기본적인 조건을 구비하도록 설계시점에서 충분히 고려하여야 한다.

철도교에서의 강박스거더교는 통상 궤도의 중심을 따라 박스거더를 배치하여 비틀림 발생을 최소화하는 것이 구조적으로 유리하며, 복선궤도의 경우 박스거더를 병렬 배치하고 가로보와 슬래브로 연결한 복선 일체형 구조를 많이 사용한다. 이는 횡방향 하중분배 작용으로 활하중에 의한 휨과 충격 및 피로에 대하여 유리하게 거동하며, 특히 복선궤도에서 건널선(Crossover line)이 있는 경우에는 더욱이 일체구조로 보강하는 것이 필요하다.

설계방법은 플레이트거더의 설계에 준하며, 단일 박스거더교의 설계는 국부적인 설계를 제외하고 일반 보이론에 따라도 좋으나 다실(Multi-cell) 박스거더교의 경우에는 전단응력의 흐름이 복잡하게 되므로 엄밀한 박판구조이론(전단류이론)에 기초해 계산하여야 한다. 또한 다중(Multiple) 박스거더의 설계는 거더의 하중분배를 고려한 격자이론에 따르는 것을 원칙으로 하며 단, 이 경우 강도가 큰 분배가로보를 배치할 필요가 있으므로 주의하여야 한다.

## 2. 일반제원의 계획

### 2.1 지간 분할

일반적으로 철도교로서의 강박스거더교는 단순교의 경우 지간장 30~40m, 연속교의 경우 지간장 40~60m에 적합한 구조형식으로서 지간분할은 주로 현장여건상 하천, 도로 등의 통과장애물 위치에 따라 결정되어지나 근래에는 경제성이나 미관 측면을 고려하여 결정하는 경우가 많다.

철도교는 그 특성상 레일과 상부구조의 상호거동에 따른 열차운행의 안전성 확보를 위해 통상 단순교를 연속 배치하는 경우가 많다. 따라서 지간분할시 교각배치는 지반조건 과도 밀접한 관계가 있지만 지간길이에 차등을 줄 경우 상부구조의 부재력이 큰 영향을 받을 뿐만 아니라 시공도 많은 변화가 오게 되므로 가능하면 등간격으로 교각을 연속 배치하는 것이 바람직하다.

근래에는 철도교에서 장대레일을 채택하는 경우 레일의 신축에 따른 열차운행의 안전성에 문제가 없는 교량연장 내(강합성 거더의 경우 160m 이내)에서 연속교 형식을 적용하는 사례도 있다. 일반적으로 3경간 연속교에서는 발생 휨모멘트를 고려할 때 측경간은 중앙경간의 75~85% 정도로 하는 것이 역학적으로 가장 유리하다.

### 2.2 거더 높이

강박스거더교에서의 거더 높이는 사용강재에 따라 차이가 다소 있지만 지간장 30~60m의 통상적인 범위 내에서 일반적으로 단순교에서는 1/12~1/15, 연속교에서는 1/14~1/17 정도의 값이 적정한 지간장 대 거더높이 비율로 사용된다. 그러나 지간장이 60m 이상으로 늘어나면 콘크리트 바닥판 도상의 경우 고정하중에 의한 응력이 차지하는 비율이 급속히 커져서 거더높이가 증가하고 경제성 측면에서 불리하므로 바닥판을 강상판(Orthotropic Deck) 구조로 설계하는 경우가 많다.

연속교에서 지간장이 늘어나면 거더높이가 커져서 외부 미관이 불량해지므로 하부플랜지의 종단선형을 곡선으로 처리하는 경우가 많으며, 이 때 지간 중앙부의 거더높이는 작을수록 미관이 좋아지지만 너무 작으면 교량 전체의 강성이 저하되어 처짐, 진동 등이 증대되므로 지점부 거더높이의 1/2~2/3 정도가 적정하다. 또한 박스거더의 제작, 가설시와 향후 유지관리를 위한 작업공간을 감안하여 적절한 거더높이를 결정하도록 하여야 한다.

### 2.3 단면형상

강박스거더교는 주거더의 폭과 높이에 비해 판두께가 상대적으로 아주 얇은 대표적인 박판구조물로서 일반적으로 폐합단면으로 이루어진다. 근래에는 부재의 효율적인 이용을 극대화하기 위하여 지간의 중앙부, 즉 정(+)모멘트 구간에서 <그림 11>과 같이 상부 플랜지를 개방하는 일명 Oen-Top Flange 단면을 채택하는 경우도 있다. 이 경우 지점



부, 즉 부(-)모멘트 구간은 상부플랜지의 인장응력을 잡아주기 위하여 플랜지 단면을 전 폭에 배치하는 폐쇄(Close-Top Flange)단면으로 설계하거나 바닥판 슬래브에 프리스트레스 강봉을 배치하여 초기인장력을 도입하는 방법을 적용한다. 또한 개방(Open-Top Flange)단면의 제작, 운반, 가설시에 부재가 비틀리거나 손상이 생길 우려가 크므로 수평 및 수직브레이싱으로 보강하는 방법 등으로 바닥판 슬래브 타설 후 폐쇄단면이 형성될 때까지 충분한 안정성을 확보하도록 대책을 강구하여야 한다.

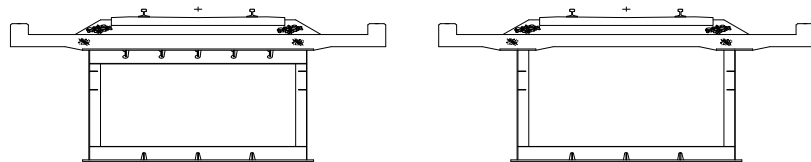
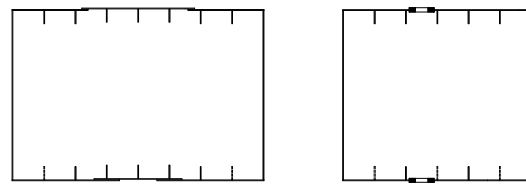


그림 11. 폐쇄(Close-Top Flange)단면과 개방(Open-Top Flange)단면

강박스거더교의 단면형상은 일반적으로 직사각형과 사다리꼴 형태가 주로 사용된다. 사다리꼴 단면은 외부 미관을 제고하고 또한 경우에 따라 바닥판 슬래브의 캔틸레버 길이를 줄여서 효율적인 단면구성을 가능케 하는 장점이 있으나 복부판을 경사지게 배치하므로 제작 상에 다소 어려움이 있다.

박스거더 단면의 최소크기는 제작 상의 필요에 의해 결정되며 일반적으로 폭 1.0m, 높이 1.5m 정도가 표준이다. 그러나 실제로 이용 가능한 박스단면 내부의 공간은 보강재 등에 의해서 축소되며, 더욱이 내부에서 가설시 또는 유지관리시 작업을 하기 위한 최소한의 활동공간을 확보하기 위해서는 더 이상의 작은 단면은 피하는 것이 좋다. 박스거더 단면의 최대크기는 운반 상의 제한을 고려하여 결정한다. 이는 도로 상을 주행하는 차량에 적재한 적재물의 크기는 관계법령(도로차량운송법, 도로법, 도로교통법 등)과 각종 규정(고속도로운행제한차량관리지침, 강구조편람 등)에 따라 엄격히 제한하고 있기 때문이다. 일반적으로 육상운반의 경우 거더의 폭과 높이는 최대 3.5m 정도까지 가능하나 가급적 3.0m 이내로 하는 것이 바람직하다. 바지를 이용한 해상운반의 경우는 육상운반의 경우보다 커도 좋지만 이것은 특별한 경우에 해당한다. 박스거더 단면을 분할하여 육상운반한 뒤 현장에서 박스단면으로 조립하는 경우에는 <그림 12(a)>와 같이 단면을 대칭이 되게 3분할하는 것이 좋다. <그림 12(b)>와 같이 2분할하는 방법은 현장 이음부의 총연장을 줄여서 좋지만 부재형식으로 볼 때 제작이나 운반, 또는 가설시에 불편한 점이 많다. 단면을 3분할하는 경우, 상하플랜지의 폭을 <그림 12(a)>에서 보는 것과 같이 다소 다르게 하면 조립시 하부플랜지를 상부플랜지의 조립위치 사이로 반입할 수 있어 현장조립시 능률을 높일 수 있다. 현장이음은 볼트나 용접이음이 모두 가능하나 볼트이음은 외부에 돌출되어 미관이 불량하고 유지관리에 불리한 단점이 있으며 근래에는 용접기술의 발달로 현장용접에 대한 신뢰도가 높아져 용접이음을 적용하는 것이 바람직하다.



(a) 3분할 (b) 2분할

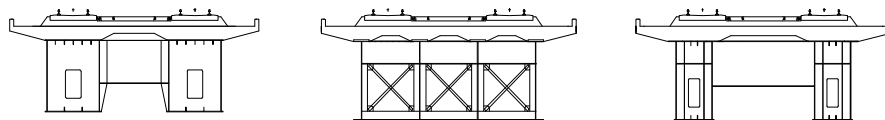
그림 12. 박스거더 단면의 분할

## 2.4 단면구성

단면구성은 철도교 특성상 궤도가 바닥판에 고정되므로 궤도의 중심을 따라 박스거더를 배치하여 비틀림 발생을 최소화하는 것이 구조적으로 유리하며, 복선궤도의 경우 궤도 중심선을 따라 박스거더를 병렬 배치하고 가로보와 슬래브로 연결한 <그림 13(a)>와 같은 복선 일체형 다중(Multiple) 박스거더 구조를 많이 사용한다.

복선궤도에서 경우에 따라서는 <그림 13(b)>와 같이 폭이 넓은 단일(Single) 또는 다실(Multi-cell) 박스거더를 사용하고 궤도 중심선이 복부판 안 쪽으로 위치토록 하여 비틀림을 최소화하는 단면을 채택하기도 한다.

일반적으로 폭이 2.0~2.5m인 박스거더 단면 사이의 복부판 간격을 1.0m 내외로 축소하여 좁게 배치하고 상·하부플랜지로 거더를 폐합시킨 폭이 작은 박스(Narrow Box)거더 형태로 마치 보강된 플레이트거더와 같은 느낌을 주는 <그림 13(c)>와 같은 단면구성을 하는 경우도 있다. 이는 거더단면 상에서 구조적으로 불필요한 부분을 제거하여 경제성을 도모하는 반면에 주거더 사이와 켄틸레버 바닥판을 가로보와 브라켓 등으로 보강하여 상부구조의 횡방향 안정성을 확보하도록 적절한 대책을 강구하여야 한다.



(a) 다중 박스거더 (b) 다실 박스거더 (c) 이중협폭 박스거더

그림 13. 강박스거더교의 단면구성 예

## 3. 주거더의 설계

주거더의 설계는 통상의 I형 플레이트거더에 준하여도 좋으나 박스거더의 설계시에는 다음 사항에 유의하도록 해야 한다.

### 3.1 플랜지의 설계

- (1) [KR C-09040 2.2 부재의 휨응력]에 따라 계산된 인장응력 및 압축응력이[KR C-09030 4. 구조용 강재 및 용접부의 허용응력]의 <표 1> 및 <표 2>에 규정되는 허용응력을 초과하지 않아야 한다.



- (2) [KR C-09040 2.2 부재의 휨응력] 식(9.5.1)의 단면2차모멘트 산정시 전단지연을 고려해 [09080 3.1 (3) 플랜지의 유효폭]을 적용한다.
- (3) [KR C-09030 4. 구조용 강재 및 용접부의 허용응력]에 규정되어있는 바와 같이 박스거더는 충분한 횡방향 강성을 갖고 있기 때문에 휨허용응력은 인장허용응력과 같은 값을 이용하는 것이 좋다.
- (4) 압축플랜지의 판두께는 [KR C-09040 3.2 축방향 압축력을 받는 판요소]의 폭-두께 비 규정을 만족하여야 한다. 단 충분한 보강재를 배치할 때는 고정단거리 b로서 복부판 중심간격을 대신하여 사용하여도 좋다.
- (5) 압축플랜지는 좌굴에 대해 충분한 안전성을 가져야 한다. 따라서 용접에 의한 초기 뒤틀림이나 잔류응력의 영향을 피하기 위해 판두께를 크게 하고, 보강재의 수를 작게 하는 것이 바람직하다.
- (6) 인장플랜지의 판두께는 [KR C-09080 9.1 (1) 플랜지의 최소판두께]의 <표 2>에 규정된 값 이상으로 해야 한다.
- (7) 바닥판이 합성된 박스거더의 전단연결재 설치 플랜지는 I형 플레이트거더에 준해된다.
- (8) 하부플랜지의 돌출길이는 바닥판 지보공의 지지용으로 100~150mm 정도 늘려 잡는 것이 보통이지만 지보공이 필요하지 않은 경우에는 용접변형을 고려하여 복부판 외면에서 15~30mm 정도 짧게 하는 것이 좋다.

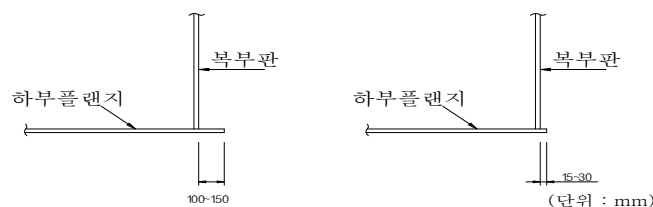


그림 14. 하부플랜지의 돌출길이

- (9) 부재축을 통하여 플랜지의 두께가 변하는 경우에는 복부판의 용접과 내부 보강판의 제작 및 용접을 고려하여 내부면을 동일면에 일치시키도록 하는 것을 원칙으로 해야 한다.

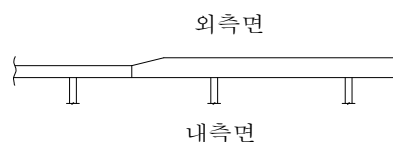


그림 15. 판이음

- (10) 주거더의 플랜지와 라멘 가로보의 플랜지가 직접 연결되는 경우와 같이 주거더의 2방향 응력이 작용하는 부분에 대해서는 [KR C-09080 2.3 2축응력 상태의 검토]의 규정에 따라 검토가 이루어져야 한다.

### 3.2 복부판의 설계

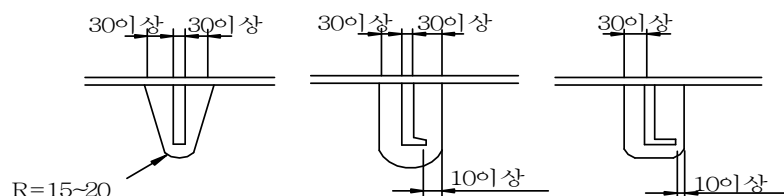
- (1) 판형에서 휨에 의한 전단응력의 단면내 분포는 판형과 같은 얇은 단면의 경우, 전단력이 각 부재의 중앙선에 대하여 흐른다는 전단류(剪斷流) 이론에 의한 것을 엄밀해로 본다. 그러나 판형의 경우는 전단력의 대부분을 복부판에서 받아 지지하고, 복부판내에는 응력분포가 균일하게 분포되므로 [KR C-09040 2.4 부재의 전단응력]에 따라 산정하도록 해야 한다.
- (2) 휨모멘트에 의한 휨응력과 휨에 따르는 전단응력에 대하여 설계할 경우 각 응력이 각각의 허용응력 안에 들어오더라도 합성응력이 허용응력을 초과하여 위험하게 될 경우를 고려하여 [KR C-09040 2.5 휨모멘트와 전단력과의 합성응력 검토]에 따라 합성응력을 검토하여야 한다.
- (3) 설계에서 비틀림모멘트를 고려하여야 할 경우에는 [KR C-09080 2.2 비틀림모멘트를 고려하는 범위]에 따라 순수비틀림(St. Venant Torsion)에 의한 전단응력과 뒹비틀림(Warping Torsion)에 의한 전단응력과의 합계 및 뒹비틀림에 의한 수직응력을 산출하여 검토하여야 한다.

## 4. 보강재의 설계

주거더에 부착되는 보강재의 설계는 다음의 제반 조건을 만족하도록 설계한다.

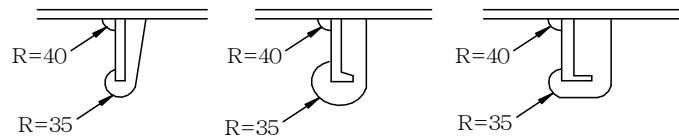
### 4.1 플랜지의 보강재

- (1) [KR C-09040 3. 판요소의 폭-두께비와 보강재]에 근거하여 보강재 간격, 소요강성, 강종 등을 선정한다.
- (2) 강바닥판에 대해서는 [KR C-09050 2.3 강바닥판]의 규정에 따라 응력계산으로부터 세로리브, 가로리브의 단면을 결정한다. 이 경우 리브의 강도를 [KR C-09040 3.2.2 보강재의 소요강도]의 식(16)~(20)에 의해 계산하면 과대한 것이 되므로 강바닥판에 대해서는 이를 적용하지 않는다.
- (3) 종·횡보강재의 교차점에서는 돌림용접을 하며, 다음과 같은 구조로 해야 한다.



(a) 세로보강재에 인장력이 작용하는 경우의 구조





(단위 : mm)

(b) 세로보강재에 압축력이 작용하는 경우의 구조

그림 16. 보강재 교차부의 구조

- (4) 플랜지에 대하여 종방향보강재를 부착하는 경우 그 부착 각도는 용접시공성을 고려하여 플랜지면에 직각으로 부착하는 것을 원칙으로 해야 한다.

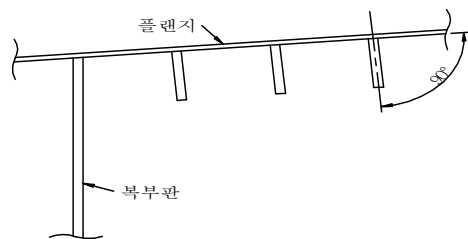
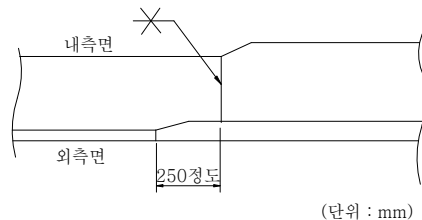


그림 17. 보강재의 설치 각도

- (5) 미관상의 이유로 박스 외측면을 평탄하게 맞출 필요가 있는 경우 종보강재의 용접이음은 <그림 18>과 같이 할 수 있다.



(단위 : mm)

그림 18. 용접이음

#### 4.2 수직보강재 설계

- (1) 복부판 높이와 복부판 두께가 [KR C-09040 3.4(3) 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비]에서 규정된 값 이상의 경우에는 복부판에 필히 수직보강재를 설치하여야 한다. 수직보강재의 간격은 형고보다 좁게 택하는 것이 보통이고, 수직브레이싱 간격은 등간격으로 배치하는 경우가 많다. 수직보강재의 간격을 조사하는 관계식은 [KR C-09040 3.4(4) 중간수직보강재의 간격]에 따라 정한다.
- (2) 연속형의 지점상에 있어서 전단응력이 비교적 큰 부분에서는 수직보강재의 간격이 좁아질 가능성이 있다. 이 경우에는 복부판 두께를 증가시켜 전단응력을 작게 하거나, 플랜지 휨응력에 여유를 주어 보강재간격이 극단적으로 좁게 되는 것을 방지하여야 한다.
- (3) 수직보강재의 강도는 [KR C-09040 3.4(6) 중간수직보강재]에 따라 검토되어야 한다.

### 4.3 수평보강재 설계

- (1) 복부판에는 복부판 두께와 복부판 높이의 관계로부터 계산에 따라 수평보강재를 [09040 3.4(5) 수평보강재]에 따라 설치하여야 한다. 수평보강재는 복부판의 한쪽에만 배치하고 돌출길이가 수직보강재보다 짧도록 하는 것이 일반적이며, 복부판의 좌굴 파형의 마디가 되고 반드시 주거더가 내하력한계에 이를 때까지 좌굴되지 않을 정도의 강도를 지닐 필요가 있다. 그 소요강도는 [KR C-09040 3.4(5) 수평보강재]에 따른다.
- (2) 수평보강재의 강재종류는 그 설치 위치의 복부판에 발생하는 최대응력과 같은 응력을 받는 것으로 하여 정하여야 하며, 보통 수직보강재와 수평보강재의 단부는 35mm 사이를 두고 설치하는 것이 일반적이다. 또한 복부판의 현장이음부에서는 수평보강재를 생략할 수 있으며, 보강재의 돌출부와 두께의 관계는 압축력을 받는 자유돌출부의 규정에 따르며, 복부판응력이 낮은 곳에 설치한 보강재는 복부판응력과 같은 응력을 받고 있는 것으로 하여 두께를 줄여도 좋다.

### 4.4 하중집중점 보강재 설계

지점 및 가로보 · 세로보 · 수직브레이싱 등의 연결부와 같이 하중이 집중되는 점에서는 보강재를 [KR C-09080 4. 하중집중점의 보강재]에 따라 설계하여야 한다.

## 5. 다이아프램의 설계

### 5.1 개요

박스거더교에서 하중(주로 활하중)이 거더에 편심으로 작용하거나 윤하중이 직접 플랜지에 작용하는 경우 거더단면은 원래의 형상을 유지하지 못하고 <그림 9(a), (b)>와 같이 변형을 일으키며, 이를 약칭하여 단면변형이라고 해야 한다. 이와 같은 단면변형을 일으키면 박스거더는 현저하게 강성의 저하와 국부응력의 증대를 초래하여 본래의 박스거더의 특성을 상실하게 된다. 따라서 이와 같은 일이 발생하지 않도록 충분한 강성을 갖는 다이아프램을 적당한 간격으로 배치할 필요가 있다.

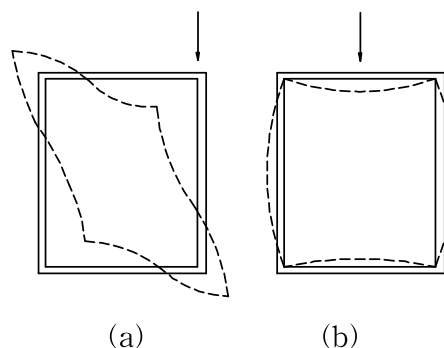


그림 19. 박스거더의 단면변형



일반적으로 박스거더의 다이아프램은 작용력 하에서 좌굴되지 않도록 판의 전단좌굴에 대하여 충분한 강도를 필요로 한다. 그러나 전단좌굴에 대하여 충분한 강도를 확보하여도 열차의 주행에 따라 다이아프램이 플랜지판의 면외진동을 발생시키므로써 종방향 보강재 등의 교점에 균열이 생길 위험이 크므로 <그림 20>과 같이 보강할 필요가 있다.

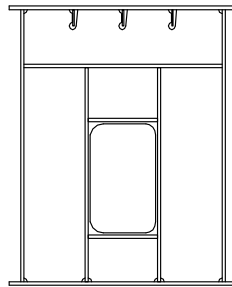


그림 20. 중복식 다이아프램의 보강

## 5.2 다이아프램의 형상

다이아프램의 표준적인 형상은 <그림 21> 및 <그림 22>에 나타난 것과 같다. 일반적으로 중간다이아프램은 제작, 가설 및 부속물 설치의 필요성으로부터 중복판 방식의 경우라도 개구부를 갖는 경우가 많다. 이 경우 다이아프램의 형상이 중복판에 가까운지 라멘에 가까운지는 개구부의 크기에 따라 정해진다.

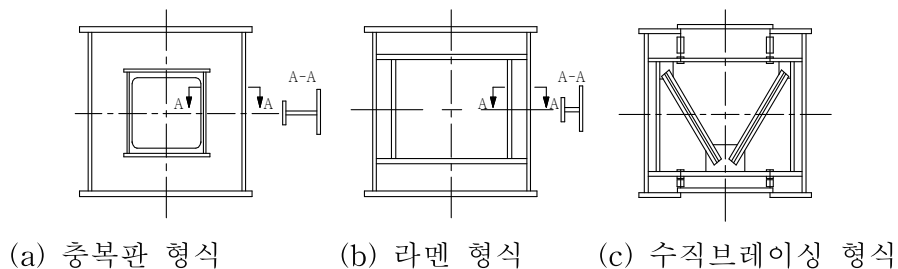
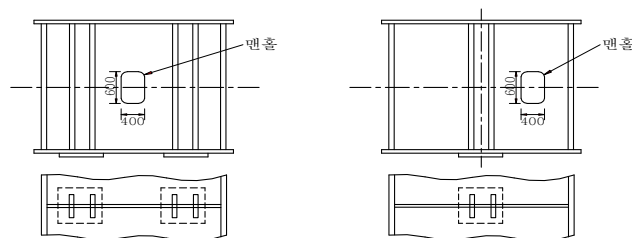


그림 21. 중간다이아프램의 표준형식



(a) 받침을 2개 사용하는 경우 (b) 받침을 1개 사용하는 경우

그림 22. 지점부 다이아프램의 보강구조 (단위 : mm)

개구율  $\rho$ 를 다음의 <식 (18)>과 같이 정의하는 경우,  $\rho \leq 0.4$ 이면 중복판으로 고려하고,  $0.4 < \rho < 0.8$ 의 범위에서는 중복판과 라멘의 중간적인 성질을 나타낸다.

$$\rho = \sqrt{\frac{A'}{A}} = \sqrt{\frac{bh}{BH}} \quad (18)$$

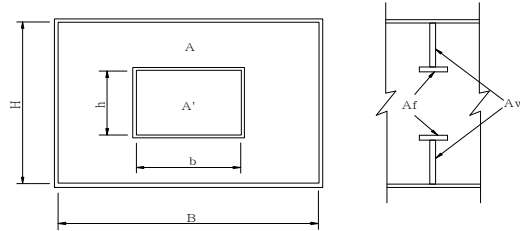


그림 23. 개구율

### 5.3 중간다이아프램의 소요간격 및 강도

다이아프램의 설계는 [KR C-09070 2.5 중간수직브레이싱 및 다이아프램] 및 [KR C-09070 2.6 지점부단수직브레이싱 및 다이아프램]의 규정을 준용하도록 해야 한다. 박스 거더의 단면형상을 유지하기 위해 적당한 간격으로 중간다이아프램을 설치하여야 한다. 또한 가로보 및 브라킷 설치부에는 작용력의 전달을 원활하게 하기 위해 중간다이아프램을 설치한다.

가. 다이아프램의 간격은 다음 <식 (19)>를 만족하여야 한다.

$$L_D \leq 6 \quad (L_u \leq 50) \quad (19)$$

$$L_D \leq 0.14L_u - 1 \quad (L_u > 50)$$

단,  $L_D \leq 20$

여기서,  $L_D$  : 다이아프램의 간격(m)

$L_u$  : 등분포하중에 대한 등가간장(m)으로 [KR C-09080 3.1 (3) 플랜지의 유효폭]으로 이용되는 등가간장을 사용함.

이것을 그림으로 나타내면 <그림 24>의 실선 아래의 영역이 된다. 단, 이 한계는 철도교에 있어서 생각할 수 있는 편심 활하중 하에서 박스단면의 과대한 변형을 방지하는 것을 목적으로 하며, 바닥틀과의 관계나 제작, 운반, 가설의 상황에서는  $L_D$ 가 12m를 초과하면 2차적인 다이아프램을 중간에 설치하는 것도 고려할 수 있다.

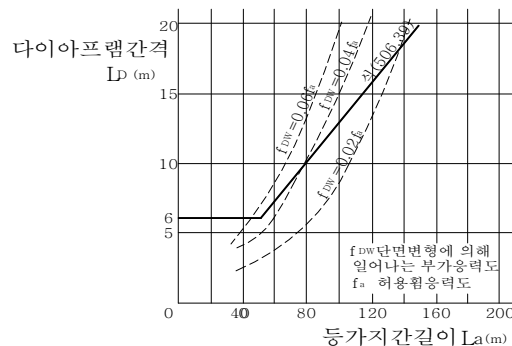


그림 24. 다이아프램의 간격



<그림 24>의 점선은 큰  $f_{DW}$ 를 일으키는 교량형식인 강바닥판 단실박스거더교에 편심 활하중을 재하시킨 경우에  $f_{DW}/f_a$ 가 2%, 4%, 6%로 되는 한계를 나타낸다. 지간이 커지면  $f_a$ 의 속에서 고정하중에 의한 응력  $f_d$ 가 차지하는 비율이 증가하고, 활하중에 의한 응력  $f(1+i)$ 의 비율은 감소하기 때문에  $f_{DW}$ 를 최대로 하는 재하상태의 휨응력 즉,  $f_d+f(1+i)$ 는  $f_a$ 에 상당히 근접하게 된다. 그러므로 <식 (19)>는 지간이 작은 부분에서는  $f_{DW}$ 가 큰 값까지 허용하고, 지간장이 길면 이것을 약간 엄격하게 억제하도록 결정한다.

나. 다이아프램의 강성  $K$ 는 다음의 <식 (20)>을 만족하여야 한다.

$$K \geq 20 \frac{EI_{DW}}{L_D^3} \quad (21)$$

여기서,  $K$  : 다이아프램의 강성

$L_D$  : 다이아프램의 간격 (<식 (19)>에서 주어지는 값)

$I_{DW}$  : 박스거더의 단면형상에 대한 정수

$E$  : 강재의 탄성계수

<식 (21)>에 나타난  $I_{DW}$ 는 다음의 식으로 구한다.

$$I_{DW} = \frac{1}{3} \left\{ \alpha_1^2 F_u \left( 1 + \frac{2b_1}{B_u} \right)^2 \right\} + \alpha_1^2 F_u \left( 1 + \frac{2b_1}{B_u} \right)^2 \left\{ + 2(\alpha_1^2 - \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2) F_h \right\} \quad (22)$$

여기서,  $F_u$  : 상부플랜지의 총단면적(리브 포함)

$F_l$  : 하부플랜지의 총단면적(리브 포함)

$F_h$  : 복부 1개의 단면적

$B_u$  : 상부플랜지의 복부판 중심간격

$B_l$  : 하부플랜지의 복부판 중심간격

$b_1$  : 상부플랜지의 돌출폭

$b_2$  : 하부플랜지의 돌출폭.

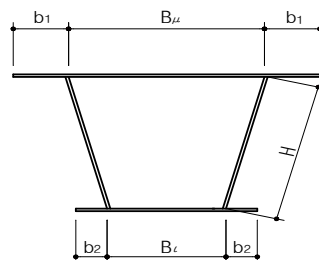


그림 25. 박스단면의 기호

또  $\alpha_1, \alpha_2$ 는 <그림 26>에 나타난 단면 변형에 따른 함수의 값으로 다음 <식 (22)>에 의해 계산한다.

$$\alpha_1 = \frac{e}{e+f} \frac{B_u + B_l}{4} H \quad (22)$$

$$\alpha_2 = \frac{f}{e+f} \frac{B_u + B_l}{4} H$$

단,

$$e = \frac{I_l}{B_l} + \frac{B_u + 2B_l}{12} F_h \quad (23)$$

$$f = \frac{I_u}{B_u} + \frac{2B_u + B_l}{12} F_h$$

여기서,  $I_u$  : 리브를 포함하는 상부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$I_l$  : 리브를 포함하는 하부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$H$  : 복부의 높이

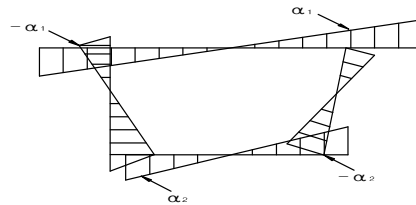


그림 26. 박스단면의 단면변형에 따른 함수

다. 다이아프램의 강성은 다음 <식 (18)>로 산출하며, <식 (19)>를 만족하여야 한다.

(가) 중복판 형식

$$K = 4GA t_D \quad (24)$$

여기서,  $G$  : 강의 전단탄성계수

$A$  : 폐단면부의 판두께 중심선으로 둘러 쌓인 부분의 면적

$t_D$  : 다이아프램의 판두께

(나) 라멘 형식 <그림 27>

$$K = \frac{48E \left( \frac{b}{I_u} + \frac{b}{I_l} + \frac{6h}{I_h} \right)}{\frac{3h^2}{I_h^2} + \frac{2bh}{I_u I_h} + \frac{2bh}{I_h I_l} + \frac{b^2}{I_u I_l}} \quad (25)$$

여기서,  $b$  : 수직부재의 중립축 거리

$h$  : 상하부재의 중립축 거리

$I_u$  : 라멘의 상부 부재의 단면2차모멘트 (상부플랜지 판두께의 24배까지 유효로 함)



$I_l$  : 라멘의 하부 부재의 단면2차모멘트 (하부플랜지 판두께의 24배까지 유효로 함)

$I_h$  : 라멘의 수직부재의 단면2차모멘트 (복부판 판두께의 24배까지 유효로 함)

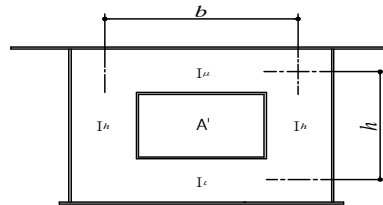


그림 27. 라멘구조 형식의 다이아프램

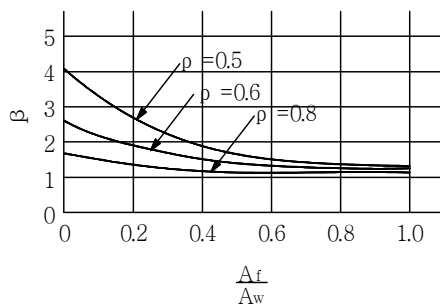
단, <식 (18)>로 정의되는 개구율  $\rho$ 가  $0.4 < \rho < 0.8$ 의 범위에 있는 경우에는 <그림 28>에 나타낸 것과 같은 보정계수  $\beta$ 를 이용하여 다음의 <식 (26)>에 따라 강도를 보정한다.

$$K' = \beta \cdot K \quad (26)$$

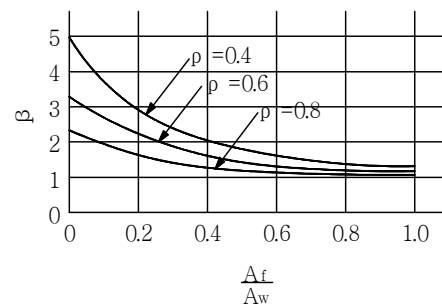
여기서,  $K'$  : 라멘의 수정 강도

$\beta$  : <그림 28>에 나타낸 보정계수

$K$  : <식 (25)>에서 계산된 강성



B/H=1.0인 경우



B/H=2.0인 경우

H : 박스거더 복부판 높이

B : 박스거더 복부판 간격

$A_f$  : 다이아프램 칼라플레이트 단면적

$A_w$  : 다이아프램 복부판 단면적 <그림 23> 참조

그림 28. 강성의 보정계수

(다) 수직브레이싱 형식 <그림 29>

X형인 경우

$$K = 8EA^2 \frac{A_b}{L_b^3} \quad (27)$$

V형인 경우

$$K = 2EA^2 \frac{A_b}{L_b^3} \quad (28)$$

여기서,  $A$  : 폐단면부의 판두께 중심선으로 둘러싸인 부분의 면적

$A_b$  : 사재 1개 단면적

$L_b$  : 사재의 길이

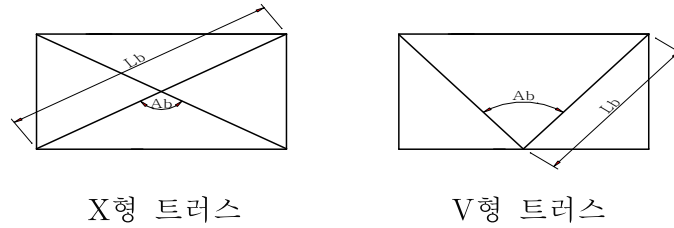


그림 29. 수직브레이싱 방식의 다이아프램

#### 5.4 중간다이아프램의 응력검토

가. 중복판 방식의 다이아프램 응력검토

중복판 방식의 경우는 다음 <식 (29)>로 나타내는 전단응력에 대해 검토한다.

$$\begin{aligned} \tau_u &= \frac{B_l}{B_u} \cdot \frac{T_d}{2At_D} \\ \tau_h &= \frac{T_d}{2At_D} \\ \tau_l &= \frac{B_u}{B_l} \cdot \frac{T_d}{2At_D} \end{aligned} \quad (29)$$

여기서,  $\tau_u$  : 다이아프램 상연의 전단응력

$\tau_h$  : 다이아프램 측연의 전단응력

$\tau_l$  : 다이아프램 하연의 전단응력

$B_u, B_l$  : <식 (21)> 참조

$t_D, A$  : <식 (24)> 참조

$T_D$  : <그림 31> 참조

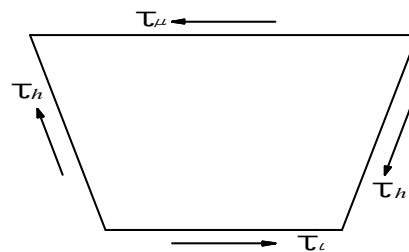


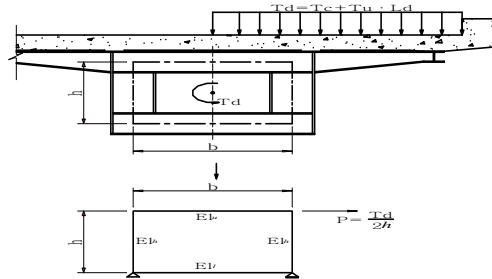
그림 30. 다이아프램의 응력





#### 나. 라멘 방식의 다이아프램 응력검토

다이아프램 응력은 <그림 31> 및 <그림 32>에 나타난 것과 같은 계산모델로 검토한다.

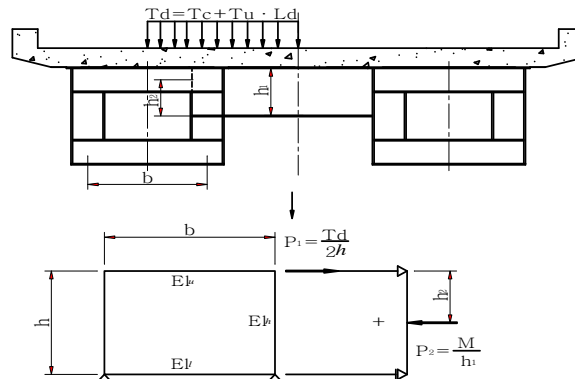


$T_D$  : 다이아프램에 작용하는 마찰모멘트

$L_D$  : 다이아프램의 간격

$h, I_U, I_I, I_h$  : 식(25) 참조

그림 31. 국부집중하중이 없는 라멘방식 다이아프램의 계산모델



$M$  : 가로보에서 작용하는 모멘트

그림 32. 국부집중하중을 받는 라멘방식 다이아프램의 계산모델

#### 다. 수직브레이싱 방식의 다이아프램 응력 검토

- X형인 경우 
$$N_b = \frac{L_b}{4A} \cdot T_d \quad (30)$$

- V형인 경우 
$$N_b = \frac{L_b}{2A} \cdot T_d \quad (31)$$

<식 (30)> 및 <식 (31)>에서 산출된 축력은 다음 <식 (32)>를 만족하여야한다.

$$N_b \leq f_{ca} \cdot A_b \quad (32)$$

여기서,  $N_b$  : 사재의 축력

$L_b, A_b$  : <식 (27)> 및 <식 (28)> 참조

$A$  : 폐단면부의 판두께 중심선으로 둘러 쌓인 부분의 면적

$T_d$  : <그림 31> 참조

## 5.5 지점부 다이아프램의 응력검토

박스거더 지점부에는 박스거더의 단면형상을 유지하고, 또한 박스거더 복부판으로부터의 전단력을 받침에 원활하게 전달하기 위하여 지점 위에 다이아프램을 설치한다.

지점부 다이아프램은 매우 중요한 부재이다. 그러나 그 응력전달기구가 복잡하고 합리적인 설계법이 확립되어있지 않으므로 근사적으로 다음과 같은 조건을 고려하여 응력을 검토하도록 해야 한다.

### 가. 지압응력의 검토

받침 바로 위의 다이아프램의 응력은 다음 <식 (33)>으로 계산한다.

$$f_b = \frac{R_V}{A_s + B_e t_D} \quad (33)$$

여기서,  $R_V$  : 연직반력

$A_s$  : 지점 위 보강재의 면적, 단 스캘럽에 의한 단면손실 제외

$B_e$  : 다이아프램의 유효폭 = 소울플레이트 폭  $B$  + 하부플랜지 판두께  $t_f \times 2$

$t_D$  : 다이아프램의 판두께

### 나. 연직방향응력의 검토

연직방향응력은 다음 <식 (34)>로 계산한다.

$$f_V = \frac{R_V}{A_s + B_e' t_D} \quad (34)$$

여기서,  $B_e'$  : 다이아프램의 유효폭 ([KR C-09080 4. 하중집중점의 보강재])

연직방향응력의 분포형상은 <그림 34>와 같이 다이아프램 하단에서 최대가 되는 삼각형분포로 해야 한다.

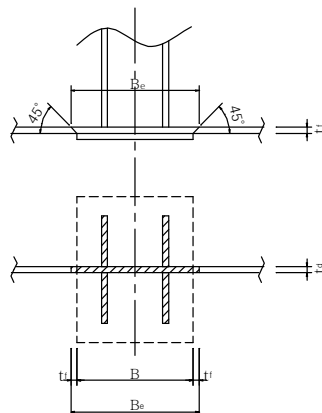


그림 33. 지압에 대한 유효단면

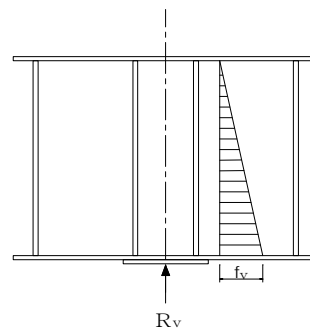


그림 34. 다이아프램의 연직방향 응력



#### 다. 수평방향응력의 검토

<그림 35>에 나타난 휨모멘트 및 전단력에 대해 검토한다. 이러한 응력은 <식 (34)>에서 구한  $f_v$ 를 이용하고, 「KR C-09080 2.3 2축응력 상태의 계산」의 <식 (2)>에 따라 2축응력의 검토를 해야 한다.

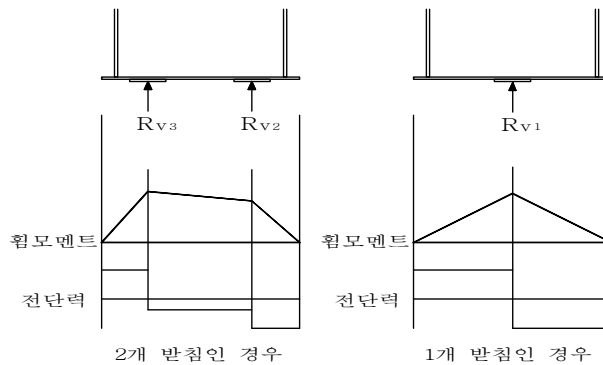


그림 35. 다이어그램의 휨모멘트와 전단력

#### 6. 받침부의 설계

철도교에서 상부구조와 레일의 상호거동이 열차의 안전운행에 중요한 사항을 감안할 때 여러 가지 하중조건 하에서 받침에 발생하는 수직, 수평하중과 이동량, 회전량 등을 정확히 산정하여 교량받침이 제 기능을 충분히 발휘하도록 설계하여야 한다.

교량 받침부의 설계에 있어서 구조모델의 가정과 실제 시공의 차이를 가능한 한 적게 한다는 의미에서 특히 받침의 수는 교량 전체의 전도에 관하여 안정한 범위 내에서 가능한 적은 것이 바람직하다. 예를 들어 박스거더 병렬교에서 하나의 박스에 한 개의 받침으로 하는 구조는 비틀림에 대한 고정모멘트를 지점 위의 가로보의 휨강성으로 저항하게 되므로 부의 반력을 대폭 경감하는 효과가 있고, 또한 받침 시공시의 오차에 따른 구조상의 불리한 점을 해소할 수도 있다.

## 해설 2. 합성구조

### 1. 합성구조의 특성

#### 1.1 개요

합성구조란 강재와 콘크리트와 같이 서로 다른 재료들로 구성된 부재들을 기계적 또는 화학적 합성을 통해 얻어지는 구조인데, 통상 서로 다른 재료들이 각각 가지고 있는 장점과 약점을 서로 보완하는 구조로 구성되는 특징을 가지고 있다. 합성거더 교량은 강재와 콘크리트라는 서로다른 재료로 주로 구성되는데 콘크리트가 인장에 약한 점을 강재가 보완하고 박판인 강재가 가지고 있는 압축(좌굴 포함)에 대한 약점을 콘크리트가 보완하는 시스템으로 구성된다. 또한 합성구조는 합성되는 각 재료의 온도팽창계수 차이가 적어야 온도변화에 따른 내부 응력이 줄어든다. 이런 면에서 강재와 콘크리트의 온도팽창계수는 비슷하기 때문에 합성구조를 형성하는 재료로 매우 적합하다. 복합소재를 활용한 교량바닥판과 합성된 합성구조도 이러한 측면을 만족하고 있다.

철도교에서 사용되는 합성거더 교량은 도로교와 마찬가지로 교량바닥판을 철근콘크리트로 만들고 이를 강재거더가 지지하는 이른바 상로형식의 합성거더 교량이 많이 이용된다. 이 때 교량바닥판과 강재거더의 연결을 위해 전단연결재가 사용된다. 합성거더 교량에서 교량바닥판은 철도레일로부터 전달되는 하중을 판으로 직접 지지하는 역할을 일차적으로 수행하며 또한 강재거더와 합성되어 주거더의 일부로 작용하기도 한다. 이때 교량바닥판과 강재거더 사이에 수평전단력이 발생하는데 이 하중을 전단연결재가 지지하여 두 부재가 서로 어긋나지 않도록 설계된다.

#### 1.2 합성구조의 분류

- (1) 강 콘크리트 합성구조는 합성역할을 수행하는 전단연결재의 개수로부터 산출되는 전단강도와 콘크리트바닥판의 압축강도 그리고 강재거더의 인장강도의 크기로부터 합성정도를 비합성, 완전합성, 부분합성의 3가지로 구분할 수 있다.
  - ① 비합성구조 : 강재거더와 바닥판 콘크리트 사이에 전단연결재가 배치되어 있지 않아 두 부재가 따로따로 독립적으로 거동하는 구조를 말한다. 비합성구조는 사용하중 상태에서는 두 부재가 서로 독립적으로 거동하며 극한하중상태에서는 주로 강재거더의 강도만을 고려하는 특징을 가지고 있다. 비합성구조는 교량바닥판이 강재거더의 구속을 적게 받아 콘크리트 건조수축, 온도변화 등에 의해 발생하는 인장응력의 크기가 합성구조보다 작기 때문에 교량바닥판에 발생하는 균열이 줄어드는 장점이 있으나, 강재거더가 사용하중 상태뿐만 아니라 극한하중 상태에서의 하중을 거의다 부담하기 때문에 합성구조와 달리 강재중량이 많이 소요된다는 단점을 가지고 있다.
  - ② 완전합성구조 : 사용하중 상태뿐만 아니라 극한상태에서도 바닥판콘크리트 또는 강재거더가 극한강도에 도달하기 전에 전단연결재가 극한강도에 도달하지 않을 정도



로 충분한 전단연결재가 배치된 합성구조를 말한다. 완전합성구조는 강재거더와 바닥판 콘크리트가 완전히 합성되어 서로 어긋나지 않고 일체된 단면으로 거동하기 때문에 비합성구조에 비해 강재중량이 적게 소요되는 특징을 가지고 있다. 하지만 합성구조는 비합성구조와 달리 콘크리트의 건조수축, 온도변화에 따른 바닥판 콘크리트의 거동이 강재거더에 의해 구속받기 때문에 합성단면에 추가적인 재하부담을 주고 또한 교량바닥판에 인장응력이 발생되어 균열이 발생할 수 있는 단점을 내포하고 있다. 하지만 완전합성구조가 가지고 있는 구조적인 효율성으로 인해 대부분의 교량이 완전합성구조로 설계되고 있다.

- ③ 부분합성 : 비합성과 완전합성의 중간적인 특성을 가지고 있는 구조로 강재거더와 바닥판콘크리트 사이에 배치된 전단연결재의 수가 비합성보다는 많고 완전합성보다는 적은 구조의 특성을 나타낸다. 통상 비합성으로 구분되는 기준은 이론적인 완전합성에 필요한 전단연결재 수의 약 20% 정도까지 배치된 경우를 비합성이라고 말할 수 있다. 따라서 부분합성은 완전합성에 필요한 전단연결재 수의 약 20%에서 100% 사이의 전단연결재가 배치된 구조를 말한다. 참고로 전단연결재는 극한상태에 도달하기 전부터 엇갈림(Slip)현상이 발생하는데 이 것으로 인해 설계규정에서 제시하는 합성단면의 극한강도가 제대로 발휘되지 못한다. 따라서 완전합성단면에서 요구되는 전단연결재 개수보다 약 20% 정도 더 배치하는 것이 적당하다. 부분합성보는 비합성구조와 합성구조의 장단점을 반반씩 내포하고 있는 구조이다. 이 구조는 특히 합성구조에서 프리캐스트바닥판 적용시 전단연결재의 배치에 많은 어려움이 있기 때문에 이 구조 설계시 매우 유용하게 활용할 수 있는 설계개념이다. 하지만 부분합성구조에 대한 설계규정이 현 철도설계기준(철도교편)에 포함되어 있지 않기 때문에 실무에 적용할 수 없는 상태이다.

구 분	비합성	부분합성	완전합성

그림 36. 합성정도에 따른 분류

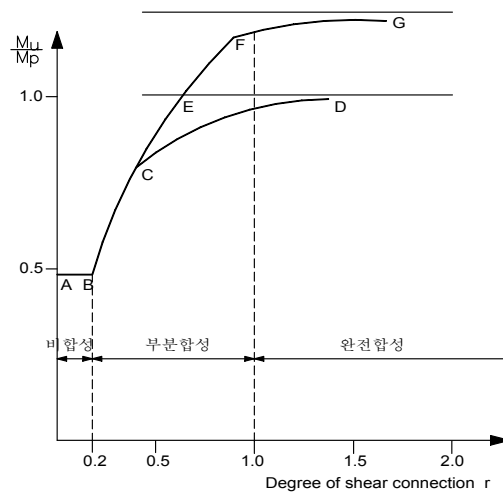


그림 37. 합성정도에 따른 합성부의 휨강도 곡선

(2) 합성거더 교량은 가설방법중 지보공의 사용 여부에 따라 고정하중합성거더와 활하중 합성거더로 구분된다.

① 활하중 합성거더 교량 : 강재거더를 가설한 후 바닥판 콘크리트 타설한 후 포장 및 상부 부속물등의 시공을 행한 교량을 말하며 실제 건설되는 대부분의 합성거더 교량이 활하중 합성거더 교량이라고 볼 수 있다. 활하중 합성거더 교량은 강재중량과 바닥판콘크리트 등의 고정하중은 강재거더 단면으로 부담하고 바닥판 콘크리트가 경화된 후 시공되는 포장, 상부구조물 및 활하중은 강재거더와 바닥판콘크리트와의 합성단면이 부담하게 된다. 거푸집 등 콘크리트 경화후 제거되는 하중은 합성단면에 대해서 재하부담을 덜게 되나 그 크기가 작기 때문에 일반적으로 설계시 고려하지 않아도 된다.

② 고정하중 합성거더 교량 : 지보공 위에 강재거더를 거치하고 교량바닥판의 콘크리트를 타설한 후 콘크리트가 일정 정도의 압축강도가 발현된 이후 지보공을 해체하여 강재거더 및 바닥판 콘크리트의 고정하중도 합성단면이 부담할 수 있도록 시공한 교량을 고정하중 합성거더 교량이라 칭한다. 이 형식의 교량은 활하중 합성거더교에 비해 강재량이 적어지지만 시공 중에 바닥판 콘크리트가 경화될 때까지 거더를 지지하기 위해 지보공이 필요한 것과 지보공이 침하하지 않도록 지보공 하부를 보강해야하므로 경제적인 측면에서 많은 단점을 내포하고 있다. 이러한 이유로 최근에는 거의 사용하고 있지 않다.

③ 합성구조는 단순보 및 연속보에 적용될 수 있는데 연속보에 적용시 내부지점부 부모멘트부 교량바닥판에 인장력이 작용하기 때문에 바닥판 콘크리트에 균열이 발생하기 쉽다. 연속된 합성구조는 프리스트레스 된 연속합성구조와 프리스트레스 되지 않은 연속합성구조로 구분할 수 있다.



가. 프리스트레스 된 연속합성거더 : 중간지점부에서 부의 휨모멘트가 작용하여 바닥판 콘크리트에 인장력이 작용하게 된다. 이런 경우 바닥판에 횡방향 균열이 발생할 수 있기 때문에 미리 콘크리트에 압축력을 가하여 인장력을 상쇄시키는 여러 가지 방법을 적용할 수 있다. 통상 적용되는 방법은 바닥판 내부에 배치한 긴장재를 이용하여 압축력을 도입하는 방법이다. 또 다른 방법은 미리 내부지점부를 상승시킨 후 콘크리트를 타설하고 일정정도 이상의 강도가 확보된 후 다시 내부지점부를 하강시켜 중간지점 부근의 바닥판 콘크리트에 압축력을 주는 방법도 있다. 이 방법은 교량바닥판에 발생할 수 있는 횡방향 균열을 억제해 내구성을 증진시킨다는 장점이 있으나 설계 계산이 복잡하고 또한 시공작업과정이 복잡하여 시공관리가 어렵다는 단점이 있다.

나. 프리스트레스 되지 않은 연속합성 거더 : 부모멘트부에 긴장력을 주지 않기 때문에 이 부근의 바닥판 콘크리트에 인장력이 작용하게 된다. 콘크리트의 인장강도는 설계상 고려하지 않기 때문에 이 부근에 교축방향의 종방향 철근을 배근하여 철근이 강재거더와 합성작용을 한다고 가정하여 설계를 수행한다. 국내에 건설되는 대부분의 연속합성거더 교량은 시공의 용이성으로 인하여 이 형식이 많이 적용되고 있다.

### 1.3 설계시 고려사항

합성구조는 강재와 콘크리트가 합성되어 거동하기 때문에 설계시 서로 다른 재료들에 대한 특성을 반영하여야 한다. 설계시 특별히 고려되어야 할 사항들은 다음과 같다.

- 강재와 콘크리트의 탄성계수의 차이
- 강재와 콘크리트의 온도팽창계수의 차이
- 콘크리트의 재료적인 특성인 건조수축과 크리프에 의한 응력의 크기 및 응력분포의 변동 상황
- 콘크리트에 발생하는 인장응력에 대한 상세 설계
- 강재거더와 바닥판콘크리트 사이에 발생하는 수평전단력에 대한 전단연결재의 설계
- 전단연결재의 극한강도, 피로강도 및 연성
- 부모멘트부 강재의 좌굴
- 시공단계별 해석
- 합성정도에 대한 평가 : 비합성, 부분합성, 완전합성

## 2. 합성거더의 구조형식

합성거더의 구조형식은 강재거더와 콘크리트 교량바닥판 그리고 이 두 부재를 연결하는 전단연결재로 구성된다.

강거더는 박스거더인 경우 상부플랜지의 폐함여부에 따라 <그림 11>에 보여진 바와 같이 폐합단면(Close-Top Flange) 박스거더와 개방단면(Open-Top Flange) 박스거더

가 있다. 폐합단면의 경우 단면형상은 주로 직사각형 형상이며 개방단면의 경우에는 직사각형 및 단면 상부의 폭이 점차 넓어지는 사다리꼴 형상이 많이 채택되고 있다. 이 단면 형상에 대한 세부 내용은 「해설1의 2.3 단면 형상」에 언급된 내용을 참조하면 된다.

교량바닥판은 주로 현장에서 타설되는 현장타설 콘크리트바닥판과 공장에서 생산하여 현장에서 바로 거치되는 프리캐스트 바닥판이 있다. 프리캐스트 바닥판과 강재거더와의 합성방법은 프리캐스트 바닥판에 전단연결재를 설치한 전단포켓(Shear Pocket)을 두고 팽창성을 가진 무수축 모르터를 이용하여 두 부재를 합성시킬 수 있다. 현장타설 바닥판의 콘크리트는 주로 압축강도가 27MPa로 설계되는데 반해 프리캐스트 바닥판은 공장에 생산된다는 환경적 조건으로 50MPa 이상의 고강도 콘크리트도 설계에 쉽게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 프리캐스트 바닥판은 교량의 전폭 또는 반폭의 크기로 제작되어 강재거더 위에 거치하는데 필요에 따라 횡방향 또는 종방향 텐던을 이용하여 보강되는 프리스트레스 된 바닥판으로 설계할 수 있으며 또한 루프 철근 등을 이용한 철근콘크리트 바닥판으로도 설계할 수 있다. 이 외에 복합소재를 이용한 복합소재 프리캐스트 바닥판, I형강을 이용한 합성바닥판, 주름강판과 합성된 합성바닥판이 있는데 이러한 합성바닥판은 아직까지 국내에서 교량에 적용한 예는 없으나 앞으로 점차 설계에 반영될 것으로 판단된다.

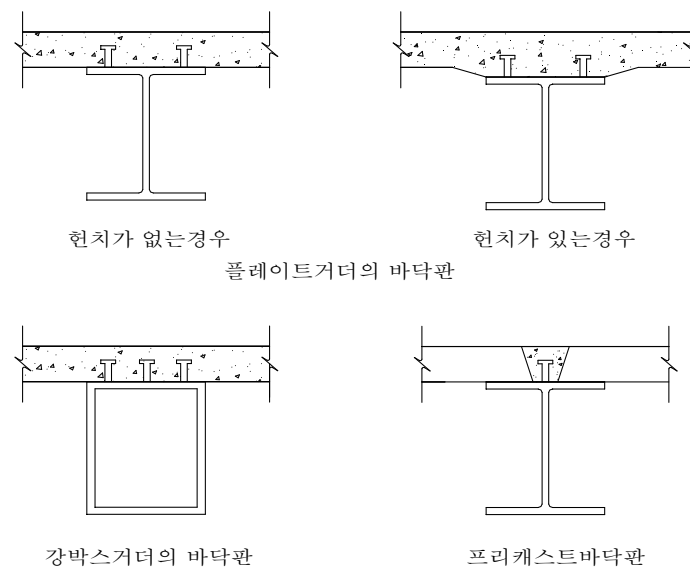


그림 38. 합성거더 교량의 바닥판 형식

전단연결재는 강재거더와 콘크리트 바닥판 사이에 작용하는 수평전단력을 지지할 뿐만 아니라 두 합성부재가 서로 떨어지려고하는 인장력에도 저항하는 구조이어야 한다. 일반적으로 전단연결재로는 시공성 및 경제성이 좋은 스터드(Stud)가 많이 사용되고 있다.





- ㄷ형강과 반원형 철근의 배치
- 블럭과 반원형 철근의 배치

위에서 언급한 일반적인 합성거더와 함께 <그림 39>와 같이 연속합성거더의 부모멘트부에 적용하는 이중합성거더도 있다. 이중합성거더는 부모멘트부의 압축을 받는 하부플랜지에 전단연결재를 부착한 후 콘크리트를 타설하여 하부플랜지와 콘크리트 단면이 합성으로 거동하는 구조이며 부모멘트부 압축부의 압축강도를 증진시키고 또한 하부플랜지 강판의 좌굴을 방지하기 위한 목적에서 설계에 적용되고 있다. 이러한 이중합성거더는 부모멘트부 하부플랜지에 소요되는 강재량을 절감시키는 장점이 있다.

최근에는 복부판만 주름강판을 이용하고 상하부 플랜지는 콘크리트 슬래브로 시공하여 이를 전단연결재로 합성하는 새로운 형식의 합성구조도 실교량에 적용되고 있다.

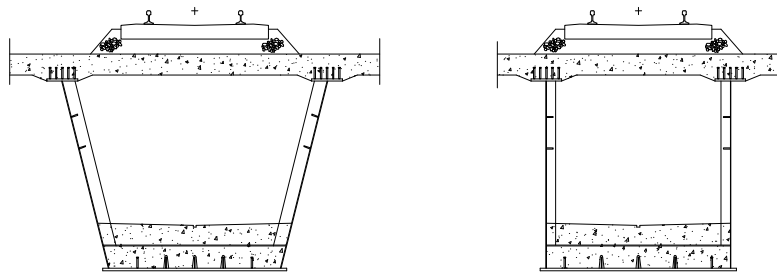


그림 39. 이중합성거더의 예

### 3. 해석방법

합성거더 교량의 설계에 필요한 해석은 크게 교량바닥판을 설계하기 위한 횡방향해석과 교량바닥판과 강재거더의 합성단면인 합성거더를 해석하기 위한 종방향해석으로 구분할 수 있다. 횡방향 해석은 다른 형식의 교량에도 유사하게 적용되고 있기 때문에 [KR C-09050 바닥틀과 바닥판]을 참조하면 된다. 이 절에서는 합성거더의 해석에 필요한 종방향 해석방법에 대해서 기술하는데 해설 3. 곡선교에 대한 사항이 따로 구분되어 있기 때문에 직선교에 국한한다.

합성거더를 해석하기 위해서는 시공시 강재거더와 콘크리트의 고정하중에 의한 강재거더의 거동 및 합성후 활하중 작용시 합성거더의 거동을 고려하여야 한다. 또한 콘크리트의 건조수축과 크리프 등 시간의존적인 특성을 고려하기 위해 시공단계별 해석을 수행하여야 한다.

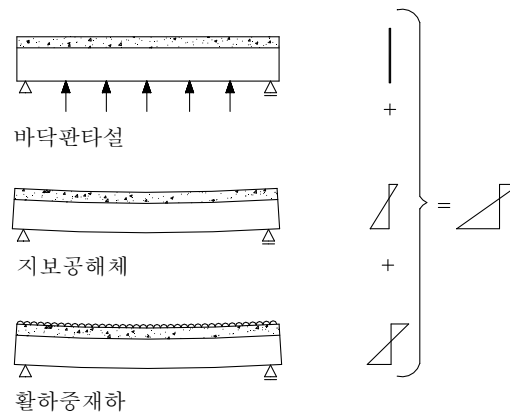


그림 40. 고정하중 합성거더 교량

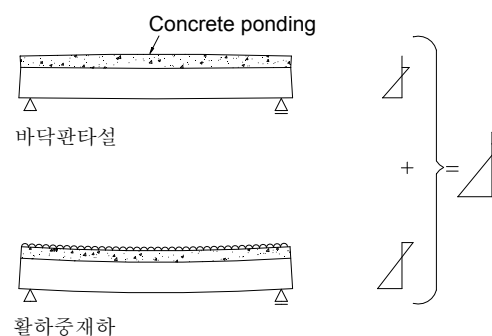


그림 41. 활하중 합성거더 교량

합성거더의 시공시 강거더의 자중과 콘크리트의 자중은 그 하중을 받을 수 있는 부재가 강거더이기 때문에 하중이 분배되지 않고 바로 강거더로 전달되기 때문에 탄성 이론에 근거하여 강거더에 발생하는 응력과 처짐을 계산할 수 있다. 하지만 포장과 방호벽 그리고 활하중은 일차적으로 교량바닥판을 거쳐 강거더로 하중이 전달되기 때문에 하중의 작용위치에 따른 횡분배 영향을 고려하여야 한다. 횡분배 영향을 고려한 합성거더의 중방향 해석은 통상 단순틀보이론이나 격자구조해석(Grillage Analysis)을 이용하여 설계에 필요한 단면력을 구하며 보다 상세한 해석을 수행할 필요가 있을 경우에는 유한요소해석(FEM)을 활용할 수 있다. 격자구조해석시 필요한 중방향 합성거더의 단면 제원은 전단지연이 고려된 정모멘트부 및 부모멘트부의 상부플랜지의 유효폭 [7. (4) 합성거더의 바닥판 유효폭]과 강거더와의 합성단면으로부터 산정한다. 합성단면의 단면 제원 산정시 강재단면으로 환산하는 경우 콘크리트의 탄성계수는 압축강도에 따라 변화되는 것을 고려해야 하며 일반적으로 교량바닥판에 적용하는 바닥판 콘크리트의 설계압축강도는 27MPa를 사용하는 현장타설 콘크리트 바닥판인 경우에는 탄성계수비  $n$ 은 8을 표준값으로 사용할 수 있다. 원활한 하중 횡분배를 위해 교량바닥판은 한 지간당 최소 7개 이상의 횡방향 부재로 나누어 격자모델을 완성한 후 구조해석을 수행하여 중방향 합성단면 설계에 필요한 단면력(휨모멘트 및 전단력)을 구한다.



전단연결재의 설계는 주로 전단연결재의 피로설계를 수행한 후 극한강도를 검토하는 방법으로 수행하지만 아직까지 전단연결재에 작용하는 수평전단력이 허용전단력을 초과하지 않는 허용응력설계법 개념으로 설계되기도 한다. 피로설계시 전단연결재에 작용하는 수평전단력범위는 충격을 포함한 활하중 작용시 합성단면에 작용하는 전단력 범위로부터 산정하며 전단연결재의 피로강도를 고려하여 전단연결재의 간격 및 소요 개수를 산정한다. 허용응력설계시 전단연결재에 작용하는 수평전단력은 피로설계시 해석 방법과 동일한 방법으로 계산하며, 필요한 전단연결재의 개수 및 간격은 [10. (5) 스티드의 허용대하력 및 배치]를 토대로 산정한다.

콘크리트의 건조수축과 크리프와 같은 콘크리트의 시간의존적 특성과 합성거더의 강거더와 바닥판 콘크리트의 온도차에 의한 의해 합성거더에 발생하는 응력과 처짐의 해석은 단순등보이론을 이용하거나 또는 합성거더의 시공단계별 해석이 가능한 유한요소해석(FEM)방법을 활용할 수 있다. 연속합성거더의 콘크리트의 시간의존적 특성, 온도차 그리고 프리스트레싱력 등을 고려하여 해석할 수 있는 유한요소해석프로그램들이 이미 실무에서 많이 사용되고 있기 때문에 설계에서 이러한 해석이 요구되는 경우에는 이를 활용할 수 있다.

#### 4. 설계 특기사항

합성거더의 강거더 설계는 시공단계별로 고정하중 및 활하중에 저항하는 단면에 형상이 바뀌기 때문에 각 단계별로 강거더에 작용하는 하중에 대한 검토를 수행해야 한다. 바닥판 콘크리트와 합성되기전 강거더는 합성단면에 비해 좌굴과 비틀림에 대한 단면저항계수가 작기 때문에 이에 대한 검토를 수행하여야 한다. 정모멘트 구간도 중립축 상측의 압축을 받는 면적이 넓기 때문에 좌굴이 발생할 수 있으며 특히 개방단면(Open-Top Flange) 박스거더의 경우 비틀림에 대한 저항력이 낮기 때문에 수평브레이싱 등을 이용 상부플랜지를 연결하여 비틀림에 대한 단면저항력을 확보하여야 한다. 바닥판 콘크리트와 합성된 이후에는 통상 합성단면의 중립축은 상부플랜지 부근이기 때문에 이 부위의 강재 단면의 역할이 감소한다. 따라서 합성거더의 강거더는 합성전과 합성후 단면의 안전성 및 효율성을 동시에 고려하여 보다 경제적인 단면으로 설계하는 것이 필요하다.

합성거더 설계시 설계자가 매우 중요하게 검토해야 될 사항은 먼저 콘크리트바닥판에 발생하는 인장력으로 인한 교축방향의 직각으로 발생하는 횡방향균열이다. 현재 대부분의 합성거더 교량이 프리스트레스를 가하지 않은 합성거더로 설계되기 때문에 콘크리트바닥판에 발생하는 균열을 완전히 억제하기는 어려우며 오히려 콘크리트의 건조수축, 온도차 등에 의해 종종 관통균열이 발생하기도 한다. 하지만 바닥판 콘크리트 내부에 배근되는 철근 상세설계를 통하여 균열을 최소화하고 그 폭을 줄여야 한다. 철

근 상세 설계와 관련되어 바닥판 콘크리트 발생되는 균열은 주로 철근배근의 연속성이 단절되는 부분, 철근배근량의 차이가 심한 부분, 철근 배근량이 적은 부분 등에서 유독 균열이 빈번하게 발생하고 또한 그 폭이 크다. 예를 들어 내부지점부 부모멘트부 종방향 보강철근 정착부[9. (3) 인장력을 받는 바닥판의 배근], 가로보 상부보강철근 정착부, 절곡철근 절곡부 등에서 횡방향 균열이 쉽게 발생된다. 따라서 철근의 연속성을 확보하고 또한 철근배근량의 차이를 되도록 감소시키는 방법으로 상세 설계하는 것이 교량바닥판에 발생하는 횡방향 균열을 억제하는데 도움이 된다.



### 해설 3. 곡선교

#### 1. 일반사항

철도교에서는 철로의 평면선형상 곡률반경이 보통 1000m 이상으로 계획되므로 곡선교의 구조적 영향이 도로교에 비해 상대적으로 작으나 반면에 차량하중이 비교적 크므로 곡선구조에 따른 비틀림의 영향을 충분히 검토하여 설계에 반영하여야 한다. 일반적으로 곡선교에는 I형 플레이트거더에 비해 비틀림 강성이 우수한 박스거더를 채택하는 것이 구조적으로 유리하다. 거의 모든 곡선교는 구조물의 성질상 비틀림이 발생하며 주거더의 곡률이 특별히 큰 경우를 제외하고는 대부분의 경우 비틀림에 의한 응력이 증대되기 때문에 곡선교에서는 비틀림에 대한 조치가 가장 큰 문제로 부각된다. 교량구조는 단일부재를 복잡하게 조립하여 구성하기 때문에 비틀림이 가해지면 거동 역시 복잡해진다. 비틀림의 문제는 크게 나누어 개별 단일부재의 비틀림에 대한 저항거동과 주거더, 수직브레이싱, 가로보 등으로 구성된 복합구조 전체의 저항거동으로 나누어 검토하여야 한다. 박스형 단면 부재는 비틀림에 대한 큰 저항성을 갖지만, I형 단면 부재는 이른바 개방단면 부재로서 비틀림 저항이 적어 비틀림에 의해 큰 변형을 받는 동시에 뒹을 일으킨다<그림 42>. 뒹이 구속되거나 비틀림에 의한 회전각의 변화를 <그림 42>의  $d\phi/dx$ 가 일정하지 않는 경우에는 단면의 길이방향( $x$ 축 방향)의 응력이 발생한다. 이것이 뒹비틀림응력  $f_w$ 이다.

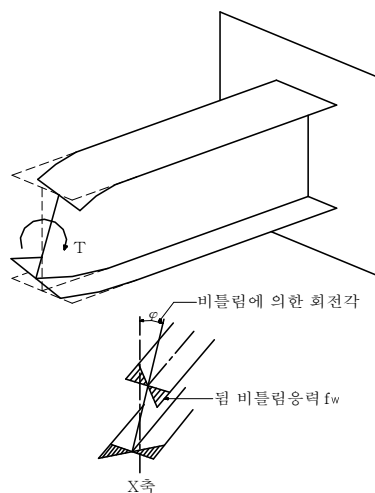


그림 42. 단일부재의 비틀림

구조전체가 비틀림에 저항하는 경우 역시 본질적으로 단일부재와 동일하지만 단일부재의 뒹에 상당하는 것은 이와 같은 구조계 내의 주거더의 휨변형으로 변환되어 나타난다고 가정할 수 있다. <그림 43>에 나타난 2개의 I형 단면의 주거더로 구성된 교량의 중앙에 비틀림모멘트  $T$ 가 작용하는 경우를 예로 들어보자. 각각의 주거더에 비틀림강성이 거의 없으므로 단일부재로는 큰 비틀림변형을 일으키지만 2개의 주거더가

충분한 전단강성을 갖는 가로보로 연결되어 있다면 2개의 주거더는 일체를 이루는 단면으로 비틀림에 저항하게 된다. 즉, 가해진 비틀림모멘트는 연직력으로 이루어진 1쌍의 우력으로 변환되어 주거더의 휨강성에 의한 저항을 받는다. <그림 43>에 나타난 것처럼  $P = \pm T/a$ 이며,  $P$ 에 의해 주거더에 생기는 휨응력이 교량전체의 구조계를 1개의 부재로 간주하는 경우의 뒤틀림 응력에 상당하는 것이다.

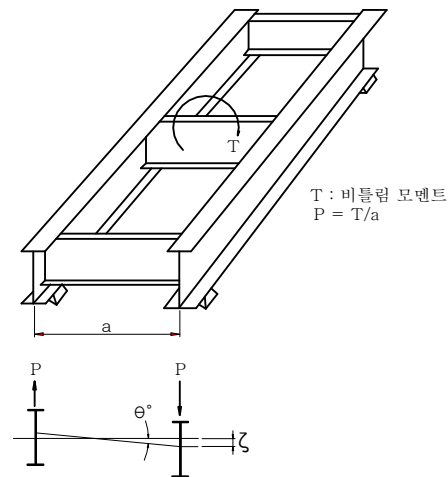
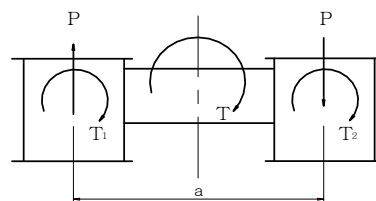


그림 43. I형 플레이트거더교의 비틀림

<그림 44>와 같이 비틀림강성이 매우 큰 박스주거더로 구성된 교량구조에 비틀림모멘트가 가해지면 각각의 박스거더가 비틀림에 저항함과 동시에 <그림 43>의 예와 마찬가지로 휨강성에 의해서도 저항한다.



T : 비틀림모멘트

$$T = P \cdot a + T_1 + T_2$$

그림 44. 2련 박스거더교의 비틀림

이상과 같이 교량의 전체적인 구조계로 비틀림에 저항할 때 비틀림의 대부분의 양은 휨응력으로 변환된 형태를 갖지만 각각의 주거더도 단면성상에 부응한 비틀림 저항을 한다. 주거더가 박스거더인 경우에는 비틀림저항이 커서 그 관계는 <그림 44>에 나타난 것과 같지만 I형 단면의 주거더인 경우에는 각 주거더에서 저항하는 비틀림모멘트의 양이 대단히 작고, 또 발생하는 뒤틀림응력도 작기 때문에 일반적으로 설계에서 이를 무시하고 있다. 그러나 플랜지의 폭이 넓은 경우에는 무시할 수 없는 양이 발생할 수도 있으므로 주의하여야 한다.



## 2. 해석방법

### 2.1 비틀림에 의한 응력의 계산과 $\alpha$ 값

[KR C-09080 2.2 비틀림 모멘트를 고려하는 범위]에 의하면 구조물의 성질 상 비틀림에 의한 영향을 무시할 수 없는 경우 즉, 설계 상 비틀림을 고려하는 경우의 비틀림에 의한 응력 취급방법을 파라미터를  $\alpha$ 로 하여 다음 <식 (35)>로 비틀림상수를 계산하도록 하고 있다.

$$\alpha = l \sqrt{\frac{GK}{EI_w}} \quad (35)$$

여기서,  $l$  : 지점간의 부재길이(mm)

$G$  : 전단탄성계수(MPa)

$K$  : 순수비틀림상수(mm<sup>4</sup>)

$E$  : 탄성계수(MPa)

$I_w$  : 뒤틀비틀림상수(mm<sup>6</sup>)

$\alpha > 10$ 의 경우에는 뒤틀비틀림에 의한 응력이 현저히 작아지기 때문에 계산을 생략하고, 순수전단응력에 의한 비틀림을 검토하는 것으로 충분하다.  $\alpha < 0.4$ 의 경우에는 순수비틀림에 의한 응력은 무시할 수 있을 만큼 작기 때문에 뒤틀비틀림에 의한 전단응력과 수직응력의 검토를 하면 된다. 또한  $0.4 \leq \alpha \leq 10$ 의 범위에서는 순수비틀림과 뒤틀비틀림에 의한 응력을 모두 계산하여 검토하여야 한다.

곡선교 구조계 전체를 단일 곡선부재로 치환하여 취급하는 경우에 뒤틀비틀림응력을 무시할 수 있는 범위는 <식 (36)>과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha &> 10 + 40\Phi & (0 \leq \Phi < 0.5) \\ \alpha &> 30 & (0.5 \leq \Phi) \end{aligned} \quad (36)$$

여기서,  $\Phi$  : 곡선부재의 1지간 회전 중심각 (라디안)

곡선교 전체를 단일부재로 치환하여  $\alpha$ 값을 구하는 경우, 일반적으로 단일 박스거더교 이외에는 뒤틀비틀림의 영향을 무시할 수 없다.

뒤틀비틀림 응력을 무시할 수 없는 곡선교의 설계계산은 일반적으로 동심원 상에 나란한 각 주거더의 단면정수를 정리한 단일 곡선부재로서 해석한 후 그 결과를 각 주거더에 분배하는 방법으로 계산한다.

$\alpha$ 값에 의한 검토는 각각 부재에 대해서도 적용하여야 하며, 비틀림에 대한 지간장 1은 편이상 수직브레이싱, 가로보 등의 간격을 취하는 것이 가능하므로 I형단면 주거더에서는  $\alpha$ 값이 0.4이하, 박스거더의 경우는 30~100으로 되는 것이 보통이다.

### 2.2 곡선격자거더

교량구조가 비틀림을 받는 경우, 각 주거더가 가로보 등으로 결합되어 있으면 전단면

이 일체가 된 거동으로 되며, 주거더의 휨강성에 의해 대부분의 비틀림모멘트에 저항하는 경우에 대해서는 (1)에서 설명하였다. 이 관계를 격자거더교에 의해 그림으로 나타낸 것이 <그림 45>이다. 이는 I형 플레이트거더 병렬교에 편심하중 P가 가해진 경우를 예로 든 것이다.

<그림 45(a)>는 P가 가해진 경우의 각 주거더플랜지의 응력분포를 나타낸다. 이것은 (b)~(e)의 각 작용에 대한 응력으로 분해할 수 있다.

즉,

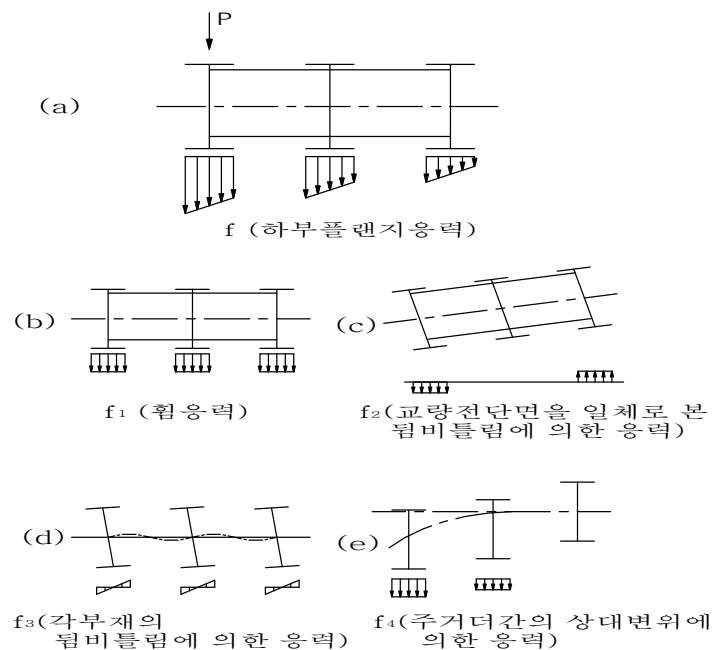
$$f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \quad (37)$$

격자거더는 일반적으로 각 부재의 뒤틀림 강성을 고려하지 않는 해석이 이루어지므로 각각의 주거더의 뒤틀림 응력  $f_3$ 는 계산되지 않는다. 따라서 격자거더의 계산으로부터 구한 하부플랜지 응력  $f$ 는 다음과 같이 된다.

$$f = f_1 + f_2 + f_4 \quad (38)$$

교량의 전단면을 일체로 보아 단일부재로 간주하여 구한 뒤틀림응력  $f_w$ 는 다음과 같이 된다.

$$f_w = f_2 + f_3 \quad (39)$$



$$f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4$$

그림 45. 플랜지에 작용하는 수직응력

전단면을 일체로 하였으므로 주거더의 상대변위에 따른 응력  $f_4$ 는 격자강도  $Z$ 가 충분히 큰 경우에는 무시할 만큼 작다. 또  $f_3$ 는 (1)에서 설명한 바와 같이 일반적으로 작기 때문에 무시한다.





곡선교를 격자거더로 취급하는 경우의 비틀림과 응력의 관계는 이상의 설명과 같지만, 격자거더에 의한 해석은 부재의 절점 사이를 직선으로 취급하기 때문에 주거더가 절점 사이에서 곡선으로 작용하는 경우, 플랜지의 응력에 만곡에 의해 일어나는 부가응력  $f_s$ 를 가산하여야 한다.  $f_s$ 는 <그림 46>에 나타낸 분포로 되며, 다음 <식 (40)>으로 계산한다.

$$f_s = \pm 0.106 \frac{f}{RZ_f} \left( A_f + \frac{A_w}{3} \right) \lambda^2 \quad (40)$$

여기서,  $f$  : 상부 또는 하부플랜지의 휨응력( $f_1 + f_2 + f_4$ )

$R$  : 주거더의 곡률반경

$A_f$  : 상부 또는 하부플랜지의 단면적

$A_w$  : 중립축으로부터 상부 또는 하부플랜지까지의 복부판의 단면적

$Z_f$  : 플랜지폭 중앙의 수직축에 관한 상부 또는 하부플랜지의 단면계수

$\lambda$  : 플랜지의 고정점간 거리

박스거더로 된 곡선격자거더에서는 위 식중  $Z_f$ 가 현저하게 크기 때문에  $f_s$ 는 거의 계산할 필요가 없다.

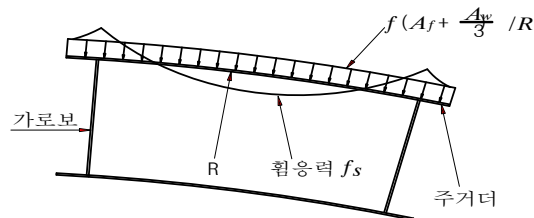


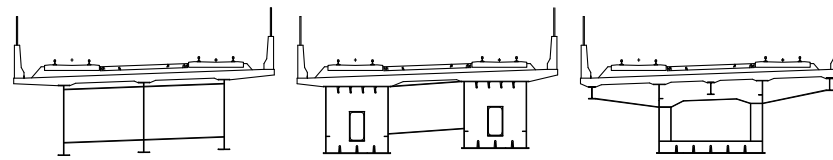
그림 46. 플랜지의 만곡에 의한 부가응력

### 3. 설계특기사항

#### 3.1 주거더의 형식과 설계

곡선교의 주거더에 박스거더를 이용하면 뒤틀림응력이 작아지고, 부가응력  $f_s$ 도 계산할 필요 없을 정도의 크기이므로 구조적으로 유리하다. 그러나 지간이 작은 경우에는 경제성을 고려해 I형 플레이트거더 병렬교를 채택하는 것이 좋다.

곡선교의 주거더 형식에 의한 분류는 <그림 47>과 같다. 형식의 선택기준은 주거더의 강성이 같은 직선교에 비해 처짐의 증가가 5%이하가 되는 조건을 고려하는 경우 <그림 48>과 같다.



(a) I거더 병렬교      (b) 박스거더 병렬교      (c) 단일박스 거더교

그림 47. 곡선교의 주거더 형식

주거더형식의 선택은 폭원의 크기에도 관계가 있으나 <그림 48>의 기준에 따르면 중심각이  $5^\circ \sim 15^\circ$ 에서는 I형 플레이트거더 병렬교가 유리하고,  $15^\circ \sim 20^\circ$ 에서는 단일 박스거더교가 유리하다. <그림 48>으로부터 중심각이  $25^\circ$ 를 초과하면 설계에 상당히 무리가 있고, 중심각  $5^\circ$ 이하에서는 직선교에 가까운 성질을 나타낸다.

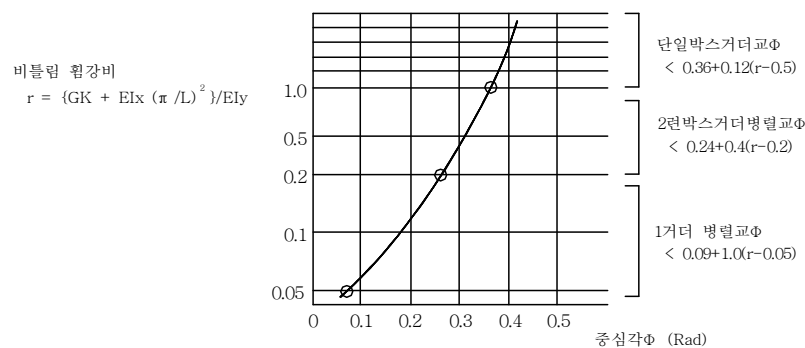


그림 48. 곡선교의 주거더 형식의 선택기준

단일 박스거더교로 설계하는 경우에는 공식집을 이용하여 비교적 쉽게 계산할 수 있다. 이때 좌우의 받침 반력이 현저히 차이가 생기므로 주의하여야 한다. 불규칙한 형상을 갖는 곡선교의 설계계산은 임의형상의 격자거더에 대한 변형법의 적용을 통해 구한다.

### 3.2 가로보

곡선교의 가로보는 비틀림 전달기구 중 가장 중요한 역할을 하기 때문에 중복단면을 사용하여 충분한 강성을 갖도록 하고, 주거더와 강결하는 것을 원칙으로 해야 한다. 가로보의 단면을 개략적으로 계산하여 가정하고자 하는 경우에는 다음의 식을 이용한다.

$$M = M_0 \times \frac{\lambda}{R} \quad (41)$$

여기서,  $M$  : 가로보에 작용하는 휨모멘트

$M_0$  : 가로보 설치 위치에서의 주거더의 휨모멘트

$\lambda$  : 가로보의 간격

$R$  : 곡률반경



가로보의 간격은 특히, I형 플레이트거더 병렬교의 경우 본 편람의 「7.3.2 (2) 곡선적자거더」에 기술한  $f_s$ 를 작게 하기 위해서라도 직선교인 경우보다 좁게 설정하여 4~5m로 하는 것이 바람직하다.

### 3.3 수평브레이싱

I형 플레이트거더 병렬의 곡선교에서는 상부와 하부에 수평브레이싱을 설치하는 것을 원칙으로 해야 한다. 이는 가설시 및 완성 후의 교량 전체의 전도 혹은 좌굴에 대한 안정성을 높이고, 플랜지에 발생하는 부가응력을 경감하기 위한 것이다. 상·하부 수평브레이싱을 주거더와 공동으로 작용하는 것으로 취급하는 준박스거더구조는 이론적으로 해명하기 어려운 부분이 있으므로 사용하지 않는 것이 좋다.

상·하부 수평브레이싱과 주거더가 연결되는 위치에서는 횡하중 이외에 주거더 플랜지로부터 <그림 49>에 표시한 P1, P2의 주하중에 의한 부가응력이 가해진다.

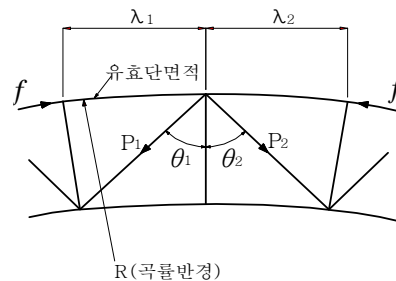


그림 49. 수평브레이싱의 부가응력

$$P_1 = \frac{\sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} P_0$$

$$P_2 = \frac{\sin \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} P_0 \quad (42)$$

$$\text{단, } P_0 = \frac{f(A_f + \frac{1}{3}A_w)}{R} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{2}$$

수평브레이싱의 단면에는 준박스거더 작용을 고려하여 순수비틀림모멘트에 의한 전단력을 가산하는 것을 원칙으로 해야 한다.

### 3.4 받침부

#### (1) 일반

- ① 곡선교는 지점의 약간의 변위가 교량 전체의 특성에 큰 영향을 주기 때문에 받침의 시공에 매우 주의를 기울여야 하지만 설계에 있어서도 가능한 한 부반력이 생기지 않도록 검토하여야 하고, 지점상의 가로보를 가능한 강성이 큰 구조로 하는 등의 배려가 필요하다.

- ② 곡선교를 하나의 만곡틀보로 치환하여 구조계산을 하는 경우 주거더의 지지조건은 비틀림에 대해 완전 고정으로 되기 때문에 박스거더를 주거더로 이용하는 경우에는 특별히 이론상의 가정과 실제가 차이가 나지 않도록 충분히 비틀림에 강한 구조로 해야 한다. 곡선격자거더로 취급하는 경우에는 주거더의 지점의 비틀림에 대한 구속의 성질을 실제에 부합하게 해석할 수 있다는 장점이 있다.

## (2) 가동받침의 회전축과 이동방향

- ① 곡선교에 있어서는 가동받침의 회전축과 이동방향이 일치하지 않기 때문에 고정받침으로서는 피보트받침, 받침판받침이 적당하고, 가동받침으로는 받침판받침이 적당하다. 롤러받침을 사용하는 경우에는 핀의 방향과 롤러의 방향에 각도를 주는 것이 일반적이지만 강거더 가설의 정밀도를 엄격히 요구한다. 1개 롤러형의 받침은 그 특성이 곡선교에 적합하지 않다.
- ② 가동받침의 이동방향은 이것과 고정받침을 직선으로 연결한 방향으로 하는 것이 원칙이지만 거더 단부에서의 교면의 어긋남이 발생되어 신축이음이나 낙교방지 장치 등에 나쁜 영향을 주므로 거더의 접선방향으로 받침의 이동방향을 향하게 하고 횡방향의 구속력에 견디도록 받침을 설계하는 것도 하나의 방법이다. 이 경우에는 온도변화에 따른 횡방향의 구속력이 상부구조에 미치는 영향에 대해서도 설계시 충분히 고려하여야 한다.

## (3) 고정받침의 반력

- ① 가동받침을 거더의 접선방향으로 배치하는 경우 고정받침의 지진시의 최대반력이 증가한다는 보고가 있으나 중심각이  $30^\circ$ 까지는 2% 정도이므로 무시할 수 있다. 연속곡선교에서는 고정받침의 위치에 따라 최대수평반력의 차이가 거의 없으므로 가동받침의 신축량을 작게 하도록 하부공에 특별히 문제가 없는 한 중간 지점을 고정으로 해야 한다.
- ② 연속곡선교에서는 고정받침뿐만 아니라 가동받침도 중간지점 상의 연직반력이 곡률내측의 받침에 큰 정반력을 일으키는 수가 있으므로 주의하여야 한다. 이것은 중간지간 하중에 의한 뒤틀림 효과가 원인이다.



## 해설 4. 설계흐름도의 구성

### (1) 주설계 단계

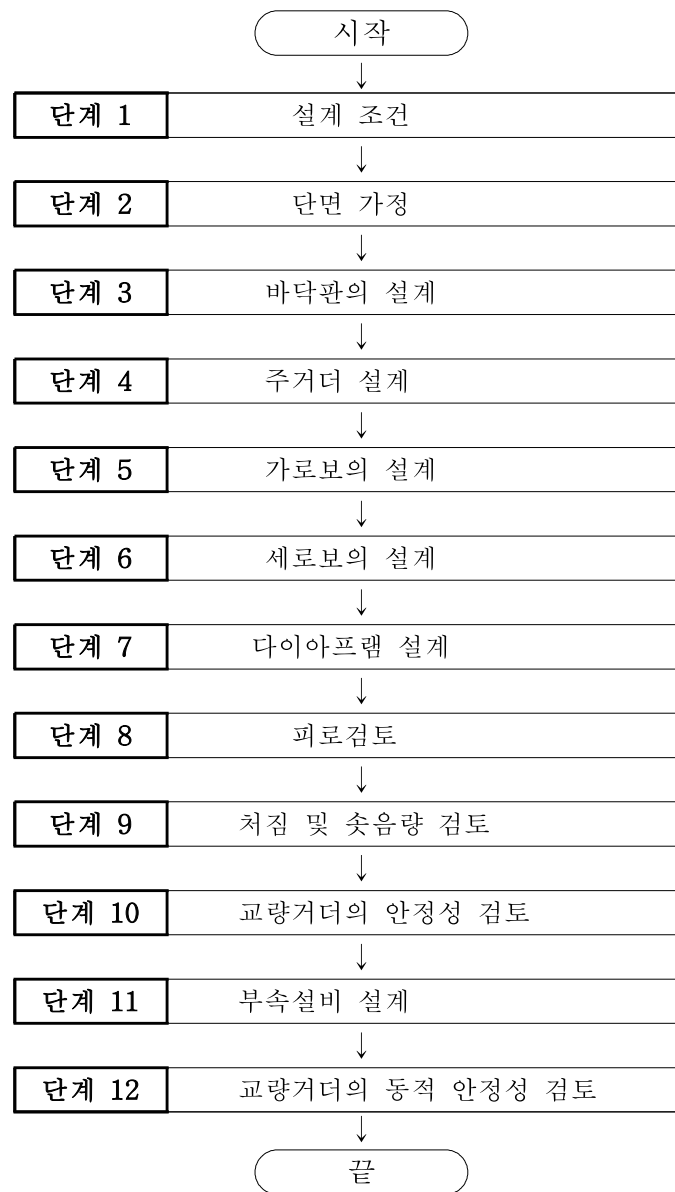


그림 50. 주설계 흐름

(2) [단계 1] 설계 조건

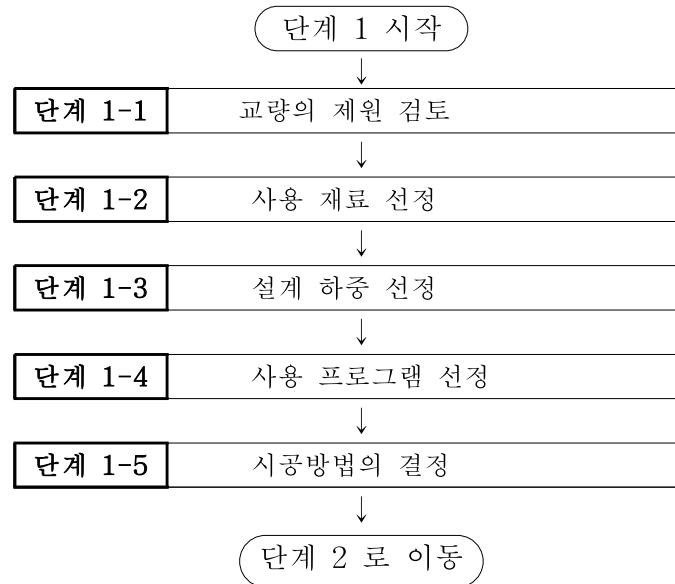


그림 51. 설계조건

(3) [단계 2] 단면 가정

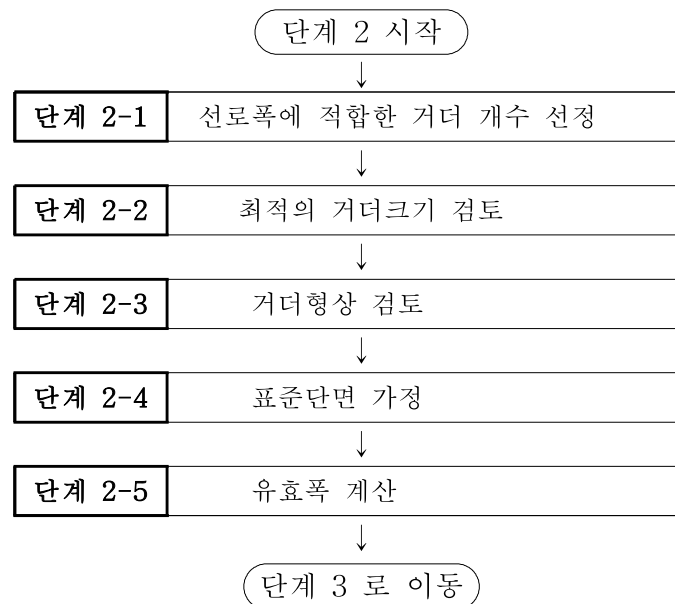


그림 52. 단면 가정



(4) [단계 3] 바닥판 설계

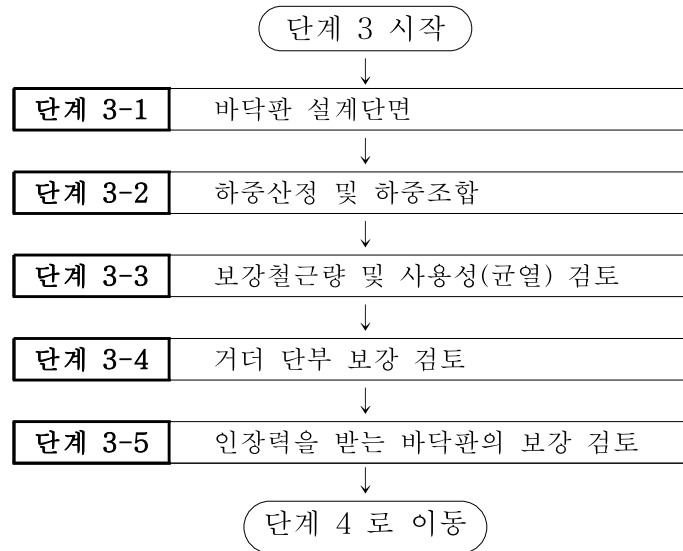


그림 53. 바닥판 설계

(5) [단계 4] 거더 설계

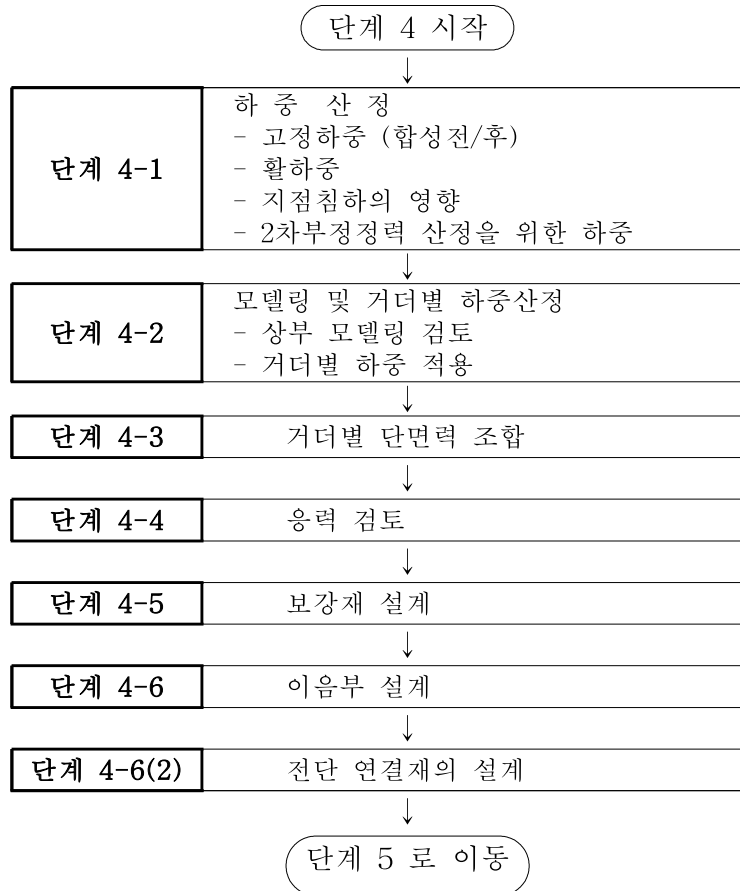


그림 54. 거더 설계

(6) [단계 5] 가로보의 설계

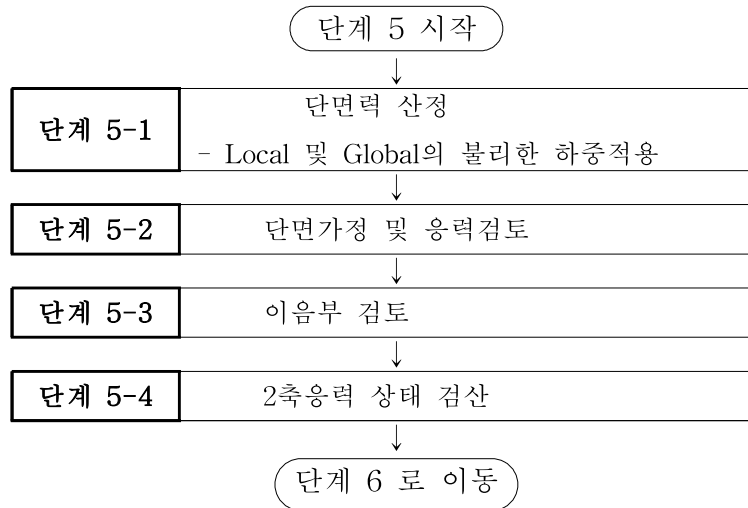


그림 55. 가로보의 설계

(7) [단계 6] 세로보의 설계

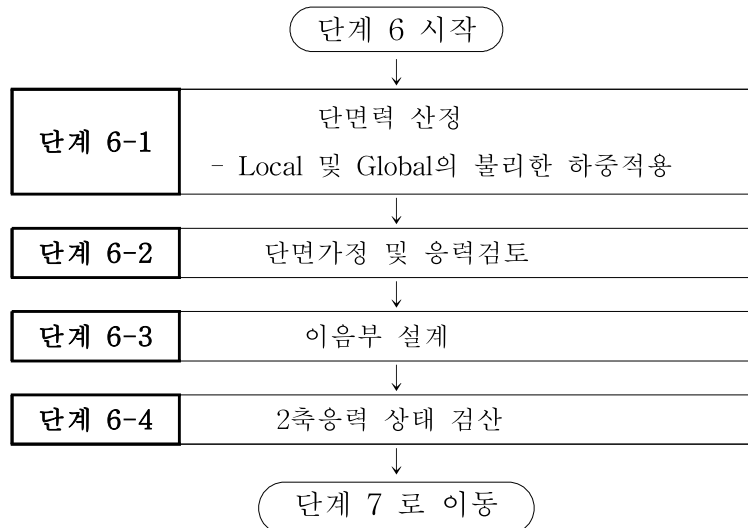


그림 56. 세로보의 설계





(8) [단계 7] 다이어그램의 설계

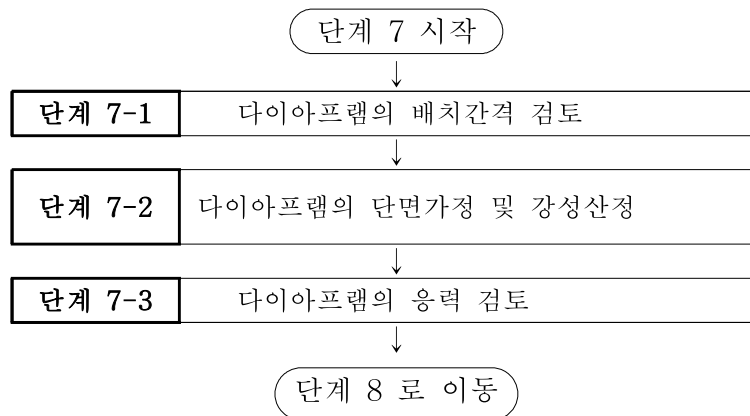


그림 57. 다이어그램의 설계

(9) [단계 8] 피로검토

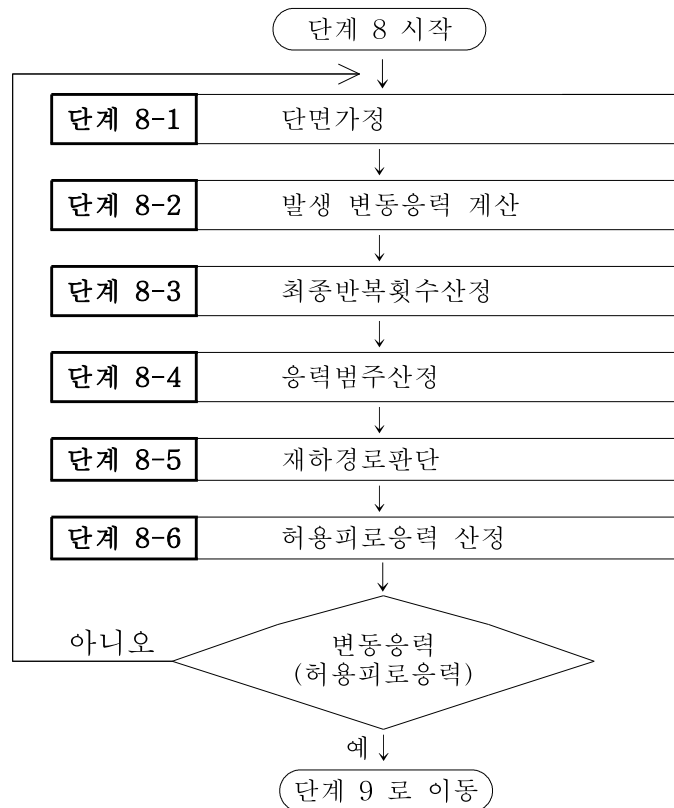


그림 58. 피로검토

(10) [단계 9] 처짐 및 솟음량 검토

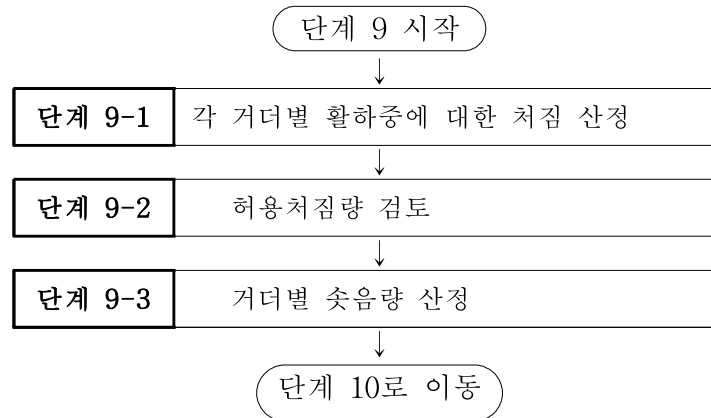


그림 59. 처짐 및 솟음량 검토

(11) [단계 10] 교량거더의 안정성 검토

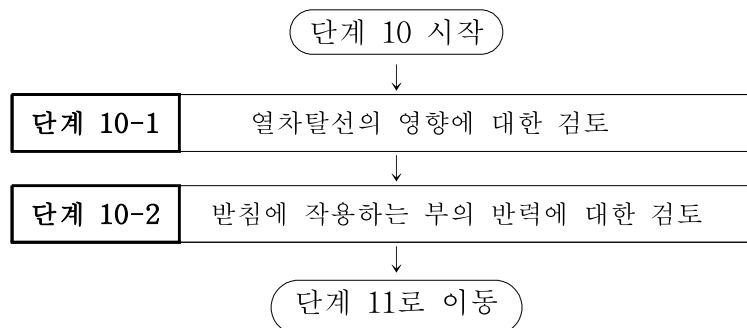


그림 60. 안정성 검토

(12) [단계 11] 부속설비 설계

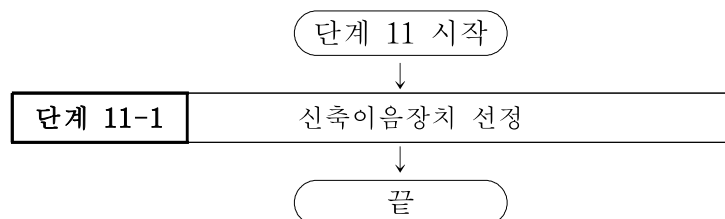


그림 61. 부속설비 설계



(13) [단계 12] 교량거더의 동적 안정성 검토

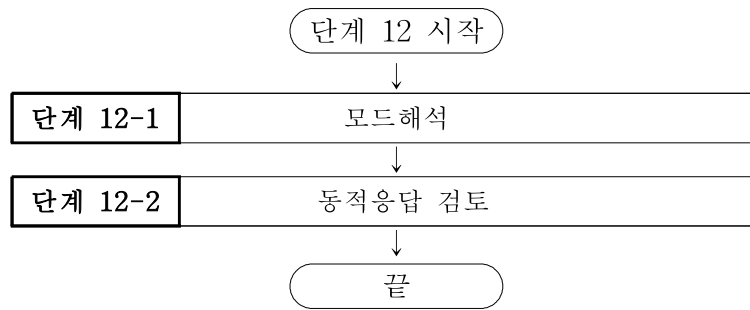


그림 62. 동적 안정성 검토

## 해설 5. 설계단계별 고려사항

### 1. [단계 1] 설계조건

(1) 교량의 제원(교량의 등급, 폭원, 연장 결정)

- ① 교량의 등급은 해당노선의 기능(고속철도, 일반철도, 도시철도)에 맞추어 선정하고 이를 근거로 [KR C-08020 4. 운행하중]의 규정에 따라 설계활하중의 크기를 결정한다.
- ② 일반적으로 강박스거더교는 30~50m 지간에 많이 적용되며, 최근에는 연속교에서 50m를 초과하는 경우에 대해서도 사용한다. 또한 철도교로서 가급적 교량의 사각이 발생하지 않도록 계획하나 부득이한 경우 사각이 30°이하로 적용하는 것이 바람직하다.

(2) 사용재료 선정 (재료일반, 재료의 허용응력, 재료특성 파악)

- ① [KR C-09010 3.1 강재] 및 [KR C-10010 4. 콘크리트 재료]에 따라 재료를 선택한다. 강종 선정시 강박스교의 주부재에 대해서는 SM490 또는 SM520을 적용하고 부부재에 대해서는 SM400 또는 SM490을 주로 적용한다. 그러나 최근에는 교량용 강재로 새롭게 개발되어 널리 사용되고 있는 HSB500 또는 HSB600을 강박스거더교의 주부재 및 부부재에 많이 적용하고 있다. 주부재와 부부재의 구분은 다소의 이견은 있으나 일반적으로 플랜지, 복부판, 종방향 보강재, 수평보강재, 세로보, 지점보강재, 이음판 및 소울플레이트를 주부재라 하며, 가로보, 횡방향 보강재, 수직보강재 및 다이아프램을 일반적으로 부부재로 구분한다.
- ② 재료의 허용응력은 강재에 대해서는 [KR C-09030 4~7항 허용응력], 바닥판 콘크리트에 대해서는 [6. 재료] 및 [KR C-10030 4. 허용응력]의 규정을 따른다.
- ③ 설계계산에 사용되는 재료의 물리상수는 [KR C-09010 6. 재료의 특성지]에 따른다.

(3) 설계하중 선정

- ① 강박스거더교의 설계에서 고려하여야 할 하중은 고정하중, 2차 고정하중, 토압, 수압, 파압, 설하중, 프리스프레스 힘, 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향, 지점변위의 영향 등에 해당되는 영구하중과, 표준열차하중, 열차하중에 대한 동적 효과, 차량횡하중, 캔트(cant) 효과, 원심하중, 시동하중과 제동하중 등에 해당되는 운행하중, 풍하중, 온도변화의 영향, 장대레일 중하중, 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중 등에 해당되는 기타하중, 충돌하중, 탈선하중, 가설시 하중, 지진의 영향 등에 해당되는 특수하중으로 구분되며 이에 대한 자세한 내용은 [철·설 8.2 하중]에 규정되어 있다.
- ② 고정하중은 [KR C-08020 3.2 고정하중] 및 [KR C-08020 3.3 2차 고정하중], 활하중은 [KR C-08020 4.2 표준열차하중] 및 [KR C-08020 4.3 EL 표준열차하중 재하도]



에 따르며, 충격하중은 [KR C-08020 4.4 표준열차하중에 대한 동적효과]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다. 특히 활하중 재하시 주거더의 단면력(모멘트, 비틀림)이 최대가 되도록 차량하중을 여러 경우에 대하여 재하시킨다.

- ③ 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향은 [KR C-08020 3.9 콘크리트의 크리프의 영향] 및 [KR C-08020 3.10 콘크리트의 건조수축의 영향], 온도변화의 영향은 [KR C-08020 5.2 온도변화의 영향]에 따른다.

- ④ 철도교에 작용하는 수평하중으로서 차량 횡하중 및 시동하중과 제동하중은 [KR C-08020 4.6 차량횡하중] 및 [KR C-08020 4.9 시동하중과 제동하중]에 따른다. 지점침하의 영향은 [KR C-08020 3.11 지점변위의 영향]에 의하여 부등침하량을 결정한다.

#### (4) 사용프로그램 선정

강박스거더교 설계시 곡선교 및 사교 뿐만아니라 직선교에 대해서도 활하중의 편재하를 고려한 3차원 모델링을 적용한다. 따라서 강박스거더교의 구조해석에 사용되는 프로그램은 3차원 격자모델이 가능한 공인된 프로그램이어야 하며, 활하중의 편심재하가 가능한 것이어야 한다.

#### (5) 시공방법의 결정

강박스거더교는 시공방법에 따라 합성거더(바닥판과 강재 주거더의 반합성)교량 및 비합성거더 교량을 구분한다. 또한 가설공법에 따라 시공중의 구조계가 완성후 구조계와 상이한 경우는 시공중 및 완성후의 교량으로 구분하여 설계한다. 특히 ILM 공법 등 가설단계에 따라 구조계가 변화되는 경우에는 각 시공 단계별로 구조해석을 수행하여야 한다.

## 2. [단계 2] 단면가정

### (1) 선로폭에 적합한 주거더 개수 산정

- ① 교량의 선로수 및 전체폭원이 결정되면, 이에 적합한 최적의 주거더수를 산정한다.  
 ② 주거더의 배치는 궤도 중심선을 거더 중심과 일치시켜 비틀림 영향을 최소화하는 것이 구조적으로 유리하며, 따라서 단선궤도인 경우에는 주거더의 수를 1개, 복선궤도인 경우에는 주거더의 수를 2개로 계획하는 것이 일반적이다.

### (2) 최적의 주거더 크기 검토

- ① 지간장별 작용하중에 저항하는 최적의 주거더크기(폭, 높이)를 산정함에 있어 구조적으로 필요한 단면 뿐만 아니라, 가설현장의 지형을 고려하여 차량 운반이 가능한 주거더의 크기도 함께 검토한다.  
 ② 도로상을 주행하는 차량에 적재한 적재물의 크기는 관계법령(도로차량운송법, 도로법, 도로교통법) 및 규정(고속도로운행제한차량관리지침)에 따라 그 크기만큼 제한하고 있으며, 실제 시공의 예를 보면 중량과 높이 제한에는 엄격히 적용하고 있

으므로 거더의 폭과 높이는 가급적 3.0m 이내, 제작길이는 10.0m 내외, 제작중량은 200kN 이내로 하는 것이 바람직하다.

- ③ 일반적으로 주거더의 높이는 단순교에서 1/12~1/15, 연속교에서 1/15~1/18의 범위내에서 결정하는 것이 일반적이나, 주변 현장 및 설계조건 등을 고려하여 주거더 높이를 설계자가 조정할 수 있다.

#### (3) 주거더 형상 검토

- ① 주거더의 단면형상으로 직사각형 및 사다리꼴 형태에 대하여 검토한다. 특히 사다리꼴 형태를 적용하는 경우는 연직력에 대한 수평 분력 등을 상세 검토하여 복부판와 플랜지 연결부의 용접 설계에도 유의하여야 한다.
- ② 교량의 경제성, 구조적 특성 및 교량 가설현장의 주변 경관을 감안하여 하부플랜지의 종단선형을 직선형 또는 곡선형(변단면)으로 하는 경우에 따른 주거더의 형상을 검토한다. 일반적으로 장지간(50m이상) 교량 및 미관이 요구되는 경우에 곡선형(변단면) 주거더를 적용하는 경우가 많다.
- ③ 주거더의 평면선형, 주거더 형상 및 가설 조건을 고려하여 받침(1받침, 2받침)을 검토한다. 일반적으로 평면선형상 곡률반경이 작은 다경간연속의 곡선교일 경우 받침의 부반력 방지를 위해 받침 계획시 1받침을 적용한다.

#### (4) 표준단면 가정

- ① 상·하부 플랜지 및 복부의 폭과 두께의 결정은 산정된 부재력(모멘트, 전단력)에 근거하며 [철·설 9.10.2 플랜지.] 및 [철·설 9.6.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판]의 규정에 따른다. 또한 플랜지 및 복부의 최소 두께는 10mm로 하며, 플랜지의 최대 두께는 40mm 이내가 주로 사용되나, 최근에는 설계자의 판단에 따라 강재 최대 두께를 100mm 이내로 결정하는 경우도 있다.
- ② 보강재의 간격 및 단면의 결정은 [철·설 9.6.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판]에 따른다. 수평보강재는 복부판의 폭-두께비에 따라 1단 또는 2단을 설치하는 것이 일반적이나 최근에는 설계자의 판단에 따라 복부판의 두께를 키우고, 수평, 수직 보강재를 최소화하여 제작비 절감 등 경제성을 도모하고 미관을 좋게하는 경향이 있다.
- ③ 현행 설계에서는 일반적으로 종방향 보강재의 간격은 300mm를 최소간격으로 하며, 수직보강재 및 횡방향 보강재의 간격은 2.5m이내로 적용한다, 또한 다이아프램의 간격은 5.0m를 일반적으로 적용한다.
- ④ 가로보 및 세로보의 단면 결정은 [KR C-09080 3. 플랜지] 및 [KR C-09040 3.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판]에 따르며, 지점부 다이아프램의 단면 결정은 [KR C-09080 4.1 하중 집중점의 보강재]에 따른다.

#### (5) 유효폭 계산

- ① 강재 플랜지의 유효폭 산정은 [KR C-09080 3.1 (3) 플랜지의 유효폭]에 따른다.



- ② 콘크리트 바닥판의 유효폭 산정은 [KR C-09080 7. (4) 합성거더의 바닥판 유효폭]에 따른다.

### 3. [단계 3] 바닥판 설계

#### (1) 바닥판 단면 설계

- ① 철근콘크리트 바닥판의 경우 [KR C-09050 2.4 콘크리트 바닥판] 및 [KR C-09050 9. 바닥판]의 규정에 따라 설계를 수행하고, 단면가정을 위한 바닥판의 최소두께 규정은 [KR C-09050 2.4.3 바닥판의 최소두께]에 따른다.
- ① 주거더를 지지점으로 하는 바닥판의 간격은 내구성을 고려하여 3.0m 이하가 되도록 하는 것이 바람직하다. 그리고 상부플랜지 위의 바닥판은 바닥판의 기울기를 고려하여 기울기가 작을 경우 바닥판의 높이 변화가 적으므로 상부플랜지와 바닥판을 일체로 계획하나, 기울기가 클 경우에는 바닥판의 높이 변화가 크므로 바닥판에 현치를 계획하여 바닥판과 상부플랜지에 일정한 간격을 계획한다.
- ② 바닥판은 시공시 일방향으로 연속타설하기 때문에 기타설 된 지점부의 콘크리트에 인장응력에 의한 균열발생 가능성이 있으므로 이에 대한 검토가 반드시 수행되어야 한다. 또한 콘크리트 타설을 용이하게 하기 위해 데크플레이트 또는 가설용 브래킷을 적용할 경우 이에 대한 구조적 검토를 반드시 수행하여야 한다.

#### (2) 하중 산정 및 하중 조합

- ① 바닥판 단면검토에 적용하는 단면력은 바닥판을 연속보로 고려하여 고정하중 및 활하중을 적용하고, 이 때 적용규정은 [KR C-08020 3.2 고정하중], [KR C-08020 3.3 2차 고정하중] 및 [KR C-08020 4.2 표준열차하중], [KR C-08020 4.3 EL 표준열차하중 재하도]에 따른다. 이러한 단면력 산정 이외에 [KR C-10050 6.5 바닥판 설계 휨모멘트]에 따르기로 한다.
- ② 바닥판을 연속보로 고려하여 단면력 산정시에는 충격하중은 [KR C-08020 4.4 표준열차하중에 대한 동적 효과]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려하며 하중의 조합은 [KR C-09030 3.2 하중조합]에 따라 여러 하중조합 중 가장 불리한 하중조합을 산정한다.

#### (3) 보강 철근량 검토

- ① 바닥판의 휨에 대한 설계 및 배력철근량의 산정은 「하중산정 및 하중조합 규정」에서 계산된 단면력을 적용한다.
- ② 콘크리트 바닥판의 사용성 검토는 [KR C-08040 균열]에 따른다.
- ③ 주철근 및 배력철근의 산정은 [KR C-09050 2.4 (5) 구조상세]에 따라 철근의 지름 선택, 덮개, 주철근 및 배력철근 간격 등의 규정을 만족하도록 설계한다.

#### (4) 주거더 단부 보강 검토

주거더 단부 바닥판의 보강은 [9. (6) 교량거더의 단부부근의 바닥판]에 따른 주철

근 및 배력철근을 설계한다.

(5) 인장력을 받는 바닥판의 보강 검토

인장력을 받는 바닥판의 보강은 [9. (3) 인장력을 받는 바닥판의 배근]에 따라 교축 방향 철근량 및 주장률을 검토한다.

#### 4. [단계 4] 주거더 설계

(1) 하중 산정

- ① 주거더 설계를 위한 고정하중은 [KR C-08020 3. 고정하중]과 [KR C-08020 3.3 2차 고정하중]에 따라 합성전 고정하중과 합성후 고정하중을 구분하여 산정한다.
- ② 활하중은 [KR C-08020 4.2 표준열차하중], [KR C-08020 4.3 EL 표준열차하중 재하도]에 따라 열차하중을 재하하며, 충격하중은 [KR C-08020 4.4 표준열차하중에 대한 동적 효과]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다.
- ③ 지점침하의 영향을 고려하는 경우 부정정구조물에서 지반의 압밀침하 등으로 인하여 장기간에 걸친 지점의 이동 및 회전의 영향을 고려하여야 할 경우에는 최종 이동량을 산정하여 단면력을 산정하여야 하며, 탄성계산에서 구한 단면력을 그대로 설계에 사용한다.
- ④ 2차 부정정력 산정을 위한 하중은 [KR C-08020 3.9 콘크리트의 크리프의 영향], [KR C-08020 3.10 콘크리트의 건조수축의 영향], [KR C-08020 5.2 온도변화의 영향]에 따른다.

(2) 모델링 및 거더별 하중 산정

- ① 교량의 상부는 각 주거더와 가로보, 세로보를 격자형태로 모델링하며 평면 곡선 및 사각 효과를 고려한 3차원 모델링을 원칙으로 해야 한다. 이때 강박스거더교가 합성 거더일 경우 주거더 및 가로보는 상부 바닥판의 단면 강성도 고려한다. 그러나 세로보는 바닥판의 강성을 고려하지 않는다.
- ② 고정하중은 주거더의 강재 자중 및 콘크리트 바닥판의 자중을 고려하며, 바닥판 자중은 2차원 모델을 사용하여 거더 및 세로보에 반력으로 산정한 후 그 반력을 3차원상부 모델에 재하한다.
- ③ 활하중은 각 거더에 편심하중으로 재하하며 시간별 및 선로별로 가장 불리한 하중 조합을 도출한다(세로보에는 활하중을 재하하지 않는다). 하중의 재하는 가까운 거더에만 편심하중으로 재하시키는 방법을 주로 사용하는데 이는 콘크리트 바닥판에 의한 하중의 횡분배 효과는 미고려되었으나, 주거더 설계는 최대 불리한 경우의 주거더에 대하여 시간별 및 선로별로 가장 불리한 하중조합을 적용하여 설계하므로, 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것을 원칙으로 해야 한다. 이 방법 이외에 인접한 2개의 주거더 각각에 대하여 하중분배를 고려하여 편심하중을 적용하는 경우도 있으나 일반적이지는 않다. 이상과 같은 방법은 격자모델이 바





바닥판이라는 판거동을 정확하게 모사하지 못하기 때문이다. 최근에는 이러한 격자모델 이외에도 바닥판의 판거동을 모델로, 주거더를 뼈대모델로 모델링하는 2층 모델링을 적용하기도 한다.

### (3) 거더별 단면력의 조합

주거더, 가로보 및 세로보의 단면력은 전단력, 휨모멘트 및 비틀림모멘트 각각에 대하여 가장 불리하도록 조합한다.

### (4) 응력 검토

- ① 합성전 및 합성후 응력 검토는 [KR C-09040 2. 부재의 휨응력] 및 [KR C-09030 4. 구조용 강재 및 용접부의 허용응력]에 따른다. 이때 부재의 국부좌굴 발생 가능성을 고려하여 허용응력은 국부좌굴을 고려한 좌굴허용응력을 적용한다.
- ① 2차 부정정력(크리프, 온도차, 건조수축)에 의한 응력은 [본문 7. (5) 바닥판 콘크리트의 크리프], [본문 7. (6) 바닥판 콘크리트의 건조수축], [본문 7. (7) 바닥판 콘크리트와 강거더와의 온도차]에 따라 산정된 응력을 추가하여 바닥판 콘크리트 및 강재 주거더의 응력을 검토한다.
- ② 휨모멘트에 의한 휨응력과 휨에 따르는 전단응력에 대하여 설계할 경우 각 응력이 각각의 허용응력 안에 들어오더라도 합성응력이 허용응력을 초과하여 위험하게 될 경우를 고려하여 [KR C-09040 2.5 휨모멘트와 전단력과의 합성응력 검토]에 따라 합성응력을 검토하여야 한다.
- ③ 설계에서 비틀림모멘트를 고려하여야 할 경우에는 [KR C-09080 2.2 비틀림모멘트를 고려하는 범위]에 따라 순수비틀림(St.Venant Torsion)에 따르는 전단응력과 뒤틀비틀림(Warping Torsion)에 의한 전단응력과의 합계 및 뒤틀비틀림에 의한 수직응력을 산출하여 검토하여야 한다.

### (5) 보강재 설계

- ① 수직 및 수평 보강재의 설계는 [KR C-09040 3.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판]에 따라 설치 간격, 강성 및 크기 등을 검토한다.
- ② 방향 및 횡방향 보강재의 설계는 [KR C-09040 3.3 축방향 압축력을 받는 판요소]에 따라 플랜지의 최소두께, 보강재의 두께 및 소요강비 등을 검토한다.
- ③ 받침부 보강재의 설계는 [KR C-09080 4.2 하중 집중점의 보강재]에 따라 허용응력 및 보강재 돌출각의 판두께 등을 검토한다.

### (6) 이음부 설계

플랜지와 복부, 종방향 보강재의 볼트 이음 설계는 [KR C-09060 2.3 고장력볼트 및 판이음]에 따라 볼트 및 이음판을 검토한다.

### (7) 전단연결재의 설계

합성강박스 거더교일 경우 전단 연결재의 설계는 [KR C-09090 10. 전단연결재]에 따라 배치간격과 배치구간 길이 등을 검토한다.

## 5. [단계 5] 가로보의 설계

### (1) 가로보의 설치 길이

주형의 배치를 통일성있게 배치하여 가로보의 길이를 산정한다. 상판의 내구성을 고려하여 가로보의 설치길이는 3m 이하가 되도록하는 것이 바람직하다.

### (2) 단면력 산정

가로보의 단면력은 주거더를 지점으로 고려하여 영향선 종거로 계산하는 Local 방법과 3차원 격자모델에서 산정하는 Global 방법에서 산정된 단면력 중 불리한 경우를 적용한다. 이러한 방법은 주거더를 격자모델로 수행할 경우 현재까지 설계에서 가장 보편적으로 사용되는 방법이다.

### (3) 단면 가정 및 응력 검토

가로보의 단면은 I형 거더를 일반적으로 적용하나, 형하공간 등 지형적인 여건에 의해 박스구조로 계획하는 경우도 있다. 가로보의 응력은 형상에 따른 구조적 특성치를 적용하여, 가로보의 휨응력 및 전단응력은 [철·설 9.5.2~9.5.4]에 따라 산출한다.

### (4) 이음부 설계

플랜지와 복부의 이음부 설계는 [철·설 9.8.3 고장력볼트 및 핀 이음]에 따라 볼트 및 이음판을 검토한다.

### (5) 2축응력 상태 검토

주거더의 플랜지와 라멘 가로보의 플랜지가 직접 연결되어 2방향 응력이 작용하는 부분의 검토는 [철·설 9.10.1(4) 2축응력 상태의 검토]에 따른다.

## 6. [단계 6] 세로보의 설계

### (1) 단면력 산정

세로보의 단면력은 [단계 5]의 가로보 설계에서와 동일하게 Local 방법과 Global 방법에서 산정한 단면력 중 불리한 경우를 적용한다.

### (2) 단면 가정 및 응력 검토

세로보의 휨응력 및 전단응력은 [KR C-09040 2.2]에 따라 산출한다.

### (3) 이음부 설계

플랜지와 복부의 이음부 설계는 [KR C-09060 2.3 고장력볼트 및 핀 이음]에 따라 볼트 및 이음판을 검토한다.

### (4) 2축응력 상태 검토

가로보와 세로보가 직접 연결되어 2방향 응력이 작용하는 부분의 검토는 [KR C-09080 2.3 2축응력 상태의 검토]에 따른다.

## 7. [단계 6] 다이어그램의 설계



(1) 다이어프램의 배치간격 검토

다이어프램의 간격은 복부판 중심간격의 4배 이하, 또는 8.0m 이내에서 결정하며, 일반적으로 5.0m 간격으로 설치한다.

(2) 다이어프램의 단면 가정 및 강성 산정

다이어프램의 단면형식은 중복판, 라멘구조 및 수직 브레이싱 방식이 있으며, 각 경우의 단면 및 강성 산정은 본 편람의 「해설1의 5. 다이어프램의 설계」에 따라 규정된 필요강성보다 크도록 결정한다.

(3) 다이어프램의 응력 검토

중간 다이어프램의 응력은 본 편람의 「해설1의 5.4 다이어프램의 응력검토」에 따라 검토하며 지점부 다이어프램의 응력은 [KR C-09080 4. 하중 집중점의 보강재]와 본 편람의 「해설1의 5.5 지점부 다이어프램의 응력검토」에 따라 검토한다..

## 8. [단계 8] 피로 검토

(1) 단면 가정

피로검토시의 단면은 주거더 설계에서 결정된 단면으로 가정한다.

(2) 발생 변동 응력 계산

활하중에 의해 발생하는 최대응력과 최소응력의 대수차인 응력범위를 산출한다.

(3) 최종 반복횟수 산정

설계시 최대응력범위의 반복횟수는 교통량과 하중조사 및 특별한 고려사항이 없으면 [KR C-09030 5. 허용피로응력]의 <표 7>에 따른다.

(4) 응력 범위 산정

부재의 용접 연결부의 형상과 위치에 따른 응력 범위는 [KR C-09030 5. 허용피로응력]에 따른다.

(5) 재하경로 판단

단재하 및 다재하 경로 구조물의 결정은 [KR C-09030 5. 허용피로응력]에 따른다.

(6) 허용피로응력 산정

활하중에 의한 응력범위는 [KR C-09030 5. 허용피로응력]에 규정된 허용피로응력범위를 초과하지 않아야 한다. 허용범위를 초과할 경우 초기에 가정된 단면을 수정하여야 한다.

## 9. [단계 9] 처짐 및 솟음량 검토

(1) 활하중에 대한 처짐 산정

충격하중을 포함한 활하중에 의한 강교의 주거더 및 가로보의 처짐은 부재의 총단면적으로 계산한다.

(2) 허용처짐량 검토

거더에서 산정된 최대 처짐이 [KR C-08070 4.2 교량의 연직처짐]에 규정한 허용처짐 이내가 되는지 검토한다.

(3) 거더별 솟음량 산정

시공중 솟음관리를 위해 [KR C-09020 8. 솟음]의 규정에 따라 거더별 솟음량을 산정한다.

## 10. [단계 10] 교량거더의 안정성 검토

(1) 열차탈선의 영향에 대한 검토

[KR C-08020 6.2 탈선하중]의 규정에 따라 지지부에서 전 교량 상부구조의 전도에 대한 안정성과 열차탈선의 영향에 대한 안정성을 검토한다.

(1) 받침에 작용하는 부의 반력에 대한 검토

[KR C-08100 2.3 받침에 작용하는 부의 반력]의 규정에 따라 주거더 받침에 작용하는 부의 반력에 대한 안정성을 검토한다.

## 11. [단계 11] 부속설비 설계

(1) 신축이음부 설계

[철·설 8.7.2 부속설비]에 따라 단부의 신축이음량을 설계한다.

(2) 인양고리

- ① 강재 운반 및 설치시 크레인으로 거치시킬수 있도록 가설용 고리를 설치한다.
- ② 가설용 고리는 강박스 거더 1셋트당 4개소를 설치한다.
- ③ 가설용 고리는 강박스 거더를 현장 거치후 철근 배근을 위한 시공에 지장이 없는 범위내에서 절삭하여야 한다.

(3) 다이아프램 개구부 보강재

- ① 개구부의 보강재는 다이아프램 판의 양측에 설치하도록한다.
- ② 우각부를 이루는 부분에 대하여 수평 보강판은 끝까지 연장시키고, 연직방향의 보강을 위해 보강재를 설치하는 것이 좋다.

(4) 결로수 집수구

우수침투 및 결로등에 의한 배수가 원활할 수 있도록 결로 배수구는 1지간당 1개소씩 중단기울기가 낮은 위치에 구멍을 뚫는다.

## 12. [단계 12] 동적검토

(1) 교량의 고유진동수 및 한계속도 산정

주행열차하중에 대한 동적해석 전에 자유진동해석을 수행하여[KR C-08070 3. (2)]에 의해 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고 이 속도에 대한 동적해석을 수행 한다. 동적해석 시 하중 재하는 단선, 복선교량에 관계없이 <그림 1>과 같이 궤도 중심에 따른 단선재하를 원칙으로 하며, 동적해석은 [KR C-08070 3. 주행안



전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법]에 따라 수행하도록 해야 한다.

(2) 상판수직 가속도 검토

동적해석에 의한 상판의 연직 가속도는 [KR C-08070 4.1 교량상판의 연직 가속도 검토] 규정의 제한치 이내가 되는지 검토한다.

(3) 면틀림 검토

동적해석에 의한 면틀림은 [KR C-08070 4.3 면틀림] 규정의 제한치 이내가 되는지 검토한다.

(4) 단부 회전각 검토

동적해석에 의한 단부 회전각은 [고속철도 설계기준(노반편) 6.12.1(4) 교량 상판 단부 회전각 변화 제한] 규정의 제한치 이내가 되는지 검토한다.

(5) 수직 변위 검토

동적해석에 연직처짐량 검토시에는 [KR C-08070 4.1 교량의 연직처짐]에 의한 하중조합을 적용하며, <표 5>에 의한 제한치 이내가 되는지 검토한다.

## 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)가 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영