

KR C-09110

Rev.1, 2. January 2014

아치

2014. 1. 2



한국철도시설공단

경 과 조 치

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

일 러 두 기

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

목 차

| | |
|--------------------------------|-------|
| 1. 용어의 정의 | 1 |
| 2. 일반내용 | 1 |
| 3. 변위의 영향 | 2 |
| 4. 아치의 좌굴 | 3 |
| 4.1 면내좌굴 | 3 |
| 4.2 면외좌굴 | 4 |
| 5. 부재의 설계 | 6 |
| 6. 극한강도의 검사 | 7 |
| 해설 1. 설계일반사항 | 8 |
| 1. 개요 | 8 |
| 2. 아치교의 분류 | 8 |
| 2.1 아치리브에 따른 구분 | 8 |
| 2.2 구조계에 따른 구분 | 9 |
| 3. 일반 채원의 계획 | 13 |
| 3.1 아치축선의 계획 | 13 |
| 3.2 라이즈비 | 14 |
| 3.3 아치리브의 높이 | 14 |
| 3.4 부재의 세장비 | 15 |
| 3.5 강재의 두께 | 15 |
| 3.6 최소 L형강 | 15 |
| 3.7 구조해석 | 15 |
| 3.8 단면 검토 및 좌굴에 대한 안정 검사 | 16 |
| 4. 변위의 영향 | 16 |
| 5. 아치리브의 좌굴해석 | 17 |
| 5.1 면내 좌굴 | 17 |
| 5.2 면외 좌굴 | 19 |
| 6. 부재의 설계 | 22 |
| 6.1 아치리브 | 22 |
| 6.2 보강형 | 23 |
| 6.3 행거 또는 지주 | 23 |



| | |
|---------------------------------|-----------|
| 6.4 브레이싱 | 24 |
| 6.5 다이어프램 | 24 |
| 7. 극한강도의 검사 | 24 |
| 8. 하중집중점 해석 및 보강 | 24 |
| 9. 열차하중에 의한 부등변위량 검토 | 25 |
| 10. 주행안전성 및 승차감 검토 기준 | 26 |
| 10.1 교량 상판의 연직가속도 | 26 |
| 10.2 교량의 연직처짐 | 27 |
| 10.3 먼들럼 | 28 |
| 해설 2. 설계흐름도의 구성 | 30 |
| 1. 주설계단계 | 30 |
| 2. [단계 1] 설계조건 및 표준단면 결정 | 31 |
| 3. [단계 2] 바닥판 설계 | 31 |
| 4. [단계 3] 주거더 설계 | 32 |
| 5. [단계 4] 가로보 설계 | 33 |
| 6. [단계 5] 이음 설계 | 33 |
| 7. [단계 5] 이음 설계 | 34 |
| 8. [단계 7] 브레이싱 및 다이어프램 설계 | 34 |
| 9. [단계 8] 전단연결재 설계 | 35 |
| 10. [단계 9] 처짐검토 및 솟음 | 35 |
| 11. [단계10] 피로 검토 | 36 |
| 12. [단계 11] 신축량 산정 | 36 |
| 13. [단계 12] 동적 검토 | 37 |
| 해설 3. 설계단계별 고려사항 | 38 |
| 1. 주설계단계 | 38 |
| 2. [단계 1] 설계조건 및 표준단면 결정 | 38 |
| 2.1 교량 제원 결정 | 38 |
| 2.2 사용재료 선정 | 38 |
| 2.3 설계하중 선정 | 38 |
| 2.4 표준단면 가정 | 38 |
| 3. [단계 2] 바닥판 설계 | 39 |
| 4. [단계 3] 아치리브 및 보강형 설계 | 40 |
| 4.1 하중산정 | 40 |
| 4.2 구조물 모델링 | 40 |
| 4.3 단면계수 산정 | 41 |
| 4.4 응력조합 및 합성응력 검토 | 41 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 5. [단계 4] 가로보 설계 | 42 |
| 5.1 하중 산정 | 42 |
| 5.2 휨/전단응력 검토 | 42 |
| 5.3 합성응력 검토 | 42 |
| 6. [단계 5] 이음 설계 | 42 |
| 6.1 용접이음방법 결정 | 42 |
| 6.2 용접 목두께 및 유효길이 결정 | 42 |
| 6.3 용접이음부 응력 검토 | 43 |
| 6.4 볼트 허용력 산정 | 43 |
| 6.5 볼트 및 이음판 설계 | 43 |
| 6.6 볼트설계시 검토사항 | 43 |
| 7. [단계 6] 보강재 설계 | 43 |
| 7.1 수직보강재 설계 | 43 |
| 7.2 수평보강재 설계 | 44 |
| 7.3 단보강재 설계 | 44 |
| 8. [단계 7] 브레이싱 및 다이어프램 설계 | 44 |
| 8.1 수평브레이싱 설계 | 44 |
| 8.2 제동 브레이싱의 설계 | 45 |
| 8.3 중간수직 브레이싱 및 다이어프램의 설계 | 45 |
| 8.4 지점부 단수직 브레이싱 및 다이어프램의 설계 | 45 |
| 8.5 교문 브레이싱의 설계 | 45 |
| 8.6 병렬보의 연결 | 45 |
| 9. [단계 8] 전단연결재 설계 | 45 |
| 9.1 전단연결재 형식 결정 | 45 |
| 9.2 수평전단력 산정 | 45 |
| 9.3 전단연결재 허용내하력 및 배치 | 46 |
| 10. [단계 9] 처짐검토 및 솟음 | 46 |
| 10.1 활하중에 의한 처짐량 산정 | 46 |
| 10.2 허용처짐량 산정 | 46 |
| 10.3 구조물의 레일면에서의 부등변위량 검토 | 46 |
| 10.4 솟음량 산정 | 46 |
| 11. [단계10] 피로 검토 | 46 |
| 11.1 발생변동응력 계산 | 46 |
| 11.2 응력반복횟수 산정 | 46 |
| 11.3 응력범주 산정 | 46 |
| 11.4 재하경로 판단 | 47 |
| 11.5 허용피로응력 산정 | 47 |



| | |
|--------------------------------|-----------|
| 12. [단계 11] 신축량 산정 | 47 |
| 12.1 신축이음부 설계 | 47 |
| 13. [단계 12] 동적검토 | 47 |
| 13.1 교량의 고유진동수 및 한계속도 산정 | 47 |
| 13.2 상판수직 가속도 검토 | 47 |
| 13.3 면틀림 검토 | 47 |
| 13.4 단부 회전각 검토 | 47 |
| 13.5 수직 변위 검토 | 47 |
| RECORD HISTORY | 48 |

1. 용어의 정의

- (1) 고정하중 합성 : 현장타설 바닥판의 중량을 합성 작용의 상태에서 받도록 하는 방법
- (2) 교량거더 간격 : 주거더 중심 사이의 거리
- (3) 그루브용접 : 용접되는 모재사이에 용착금속을 채워 넣는 용접
- (4) 니브레이스 : 수평재와 수직재가 만드는 우각부를 보강하기 위해 설치하는 사재. 귀잡이라고도 함
- (5) 다이아프램 : 박스거더 단면 등의 폐단면 부재 형상을 유지하기 위하여 내부에 부재축에 직각으로 배치하는 판. 힘을 받는 박스거더 부재의 좌굴현상을 방지하고, 비틀림에 대하여 단면형상을 유지하기 위하여 설치됨
- (6) 맞대기 이음 : 둘 이상의 모재의 단과 단을 거의 동일한 평면 내에서 맞붙여서 접합하는 이음
- (7) 목두께 : 필렛용접의 유효단면두께
- (8) 바닥판의 유효폭 : 합성단면으로서 계산할 수 있는 바닥판의 폭
- (9) 용접부 : 용착금속 및 열영향부를 포함한 부분의 총칭
- (10) 전단연결재 : 바닥판과 강거더가 합성 작용하도록 강거더에 붙인 것
- (11) 전단지연 : 큰 폭의 플랜지를 갖는 부재가 힘을 받을 때, 플랜지의 수직응력이 일정하게 분포되지 않고 복부판의 접합부에서 크게 되는 현상
- (12) 트러스 : 여러 개의 직선부재로 구성된 골조구조로서, 구조역학상 부재끼리 결합하는 점(격점)은 부재 양끝이 자유롭게 회전하도록 결합되어 있는 구조
- (13) 플레이트거더 : 상·하부플랜지와 복부판으로 구성된 I-단면 형상의 거더로서 압연 I형강과 용접 I형 플레이트거더가 주로 사용되며, 박판으로 이루어진 π 형 단면 및 박스형 단면의 거더도 넓은 의미로 이에 포함됨
- (14) 필렛용접 : 겹친 이음, T 이음, +자이음, 각이음 등에 있어서 교차하는 두 모재의 우각부를 용접하는 삼각형상의 단면을 갖는 용접
- (15) 합성거더 : 철근 콘크리트 바닥판과 강거더가 일체로 되어 작용하도록 이들을 적절한 전단연결재에 의하여 합성한 구조를 가진 거더
- (16) 활하중 합성 : 강거더의 자중 및 바닥판의 중량은 강거더가 받고 활하중 및 일부의 고정하중을 합성작용의 상태에서 받도록 하는 방법

2. 일반내용

- (1) 이 코드는 강아치교의 설계에 적용한다.
- (2) 아치교의 하중집중점에서는 응력집중현상이나 복잡한 응력의 흐름이 생기므로 제작상의 작업성을 고려하면서 안전성 또한 합리적인 설계를 해야 한다.



(3) 아치축선의 계획

- ① 아치축선은 하중에 의한 압력선과 일치시키는 것을 원칙으로 한다.
- ② 아치축선은 하중에 의한 압력선과 일치시키는 것이 바람직하지만, 활하중 등의 변동 하중이 있기 때문에 가능한 전체적인 응력의 균형을 고려하여 결정한다. 일반적으로 아치축선을 정하는 압력선을 구하는 하중은, 고정하중 또는 고정하중에 등분포 활하중의 1/2을 만재한 상태의 하중을 적용한다.

(4) 구조해석

- ① 아치리브에 발생하는 단면력은 축선이동의 영향을 받지만 일반적인 경우, 이 영향이 작아서 무시할 수 있으므로 미소변형이론에 기초하여 단면력을 계산한다.
- ② 단, 활하중에 의해 생기는 골조선의 모양의 변화가 「3항」의 규정에 의해 검사하여 무시할 수 없는 경우에는 그 영향을 고려해야 한다.
- ③ 부정정력을 계산함에 있어서는, 아치리브 단면변화의 영향을 고려해야 한다.

(5) 단면 검토 및 좌굴에 대한 안정 검사

- ① 아치의 모양과 부재단면의 모양을 선정할 때에는 면내·외의 전체 좌굴이 생기지 않도록 배려함과 동시에 부재는 휨모멘트와 축방향력을 받는 부재로서도 안전하도록 설계한다.
- ② 아치리브는 열차의 편재하 및 부분재하의 모든 경우에 대해 해석하고 해당되는 단면을 검사한다.

3. 변위의 영향

- (1) 1개 아치구조당의 고정하중 강도가 <식 (1)>로 산출되는 w 보다 큰 아치교에서는 고정하중과 활하중을 재하함에 따라 생기는 골조선의 변위의 영향을 고려하여 주구조를 설계해야 한다. 그러나 보강거더에 축방향력이 생기는 아치교에서는 이것을 무시한다.

$$w = \frac{8\alpha}{\gamma} \cdot \frac{EI}{L^3} \cdot \frac{f}{L} \quad (1)$$

여기서, E : 종탄성계수(MPa)

I : 아치면 내의 휨에 대한 편축 아치 부재의 단면2차모멘트의 평균치(mm⁴), 보강아치의 경우에는 아치와 보강거더의 합을 취한다.

L : 아치의 지간(mm)

f : 아치의 높이(mm)

α : <표 1>에 표시한 아치의 면내좌굴계수

γ : <표 1>에 표시한 보정계수

표 1. 면내좌굴계수 α 및 보정계수 γ

| 구조형식 f/L | | | | α | | | | | γ |
|---|---------------|-----------|------|----------|------|------|------|------|----------|
| | | | | 0.00 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | |
| 무보강 아치 | 2한지 아치 | | | 39.5 | 36.0 | 32.0 | 28.0 | 20.0 | 9 |
| | 고정 아치 | | | 81.0 | 76.0 | 69.5 | 63.0 | 48.0 | |
| 보강거더에 측방항력이 생기지 않는 2한지 보강아치 | 측경간이 없는 경우 | | | 39.5 | 36.0 | 32.0 | 28.0 | 20.0 | 12 |
| | 측경간이 있는 경우 | λ | 0.00 | 81.0 | 76.0 | 69.5 | 63.0 | 48.0 | |
| | | | 0.25 | 63.0 | 58.5 | 52.5 | 47.0 | 34.5 | |
| | | | 0.50 | 55.5 | 51.5 | 46.5 | 41.5 | 30.5 | |
| | | | 0.75 | 51.5 | 48.0 | 43.0 | 38.5 | 28.5 | |
| | | | 1.00 | 49.0 | 45.5 | 41.0 | 36.5 | 27.0 | |
| | | | 2.00 | 45.0 | 41.0 | 36.5 | 32.0 | 22.5 | |

여기서, (a) $\lambda = \frac{a}{L}(1 + I_A/I_G)$ (2)

a : 보강거더의 측경간의 지간(mm)

L : 아치의 지간(mm)

I_A : 면 내의 휨에 대한 편측 아치부재의 단면2차모멘트의 평균치(mm^4)

I_G : 편측보강거더의 단면2차모멘트의 평균치(mm^4)

(b) f/L 및 λ 가 <표 1>에 표시한 값의 중간 값으로 될 경우에는 α 를 선형적으로 보간하여 산출한다.

(c) 2한지 보강아치로서 $\lambda > 2$ 인 경우 α 는 2한지 무보강아치의 값을 사용한다. 다만 γ 는 12를 사용하는 것으로 해야 한다.

4. 아치의 좌굴

4.1 면내 좌굴

4.1.1 면내 좌굴에 대한 안정검토

(1) 아치교에 작용하는 수평력(H)는 <식 (1)>을 만족해야 한다.

$$\nu H \leq H_{cr} \quad (1)$$

여기서, H : 아치교에 작용하는 교축방향 수평반력(N)

ν : 안전률(S.F.=1.7)

H_{cr} : ②항의 한계수평력(N)

(2) 한계수평력

① 2한지 아치교 이외의 경우에 대해서도 한계수평력(H_{cr})은 <식 (2)>와 같이 쓸 수 있다.



$$H_{cr} = \alpha \frac{E \cdot I_y}{L^2} \quad (2)$$

여기서, α : <표 1>의 면외좌굴계수로서 양단편의 2한지 아치의 경우 <식(3)>과 같다.

$$\alpha = 4\pi^2 \left\{ 1 - 8 \left(\frac{f}{L} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

4.2 면외좌굴

4.2.1 적용범위

- (1) 아치의 간격이 지간에 비하여 작은 아치교에서는 면외좌굴에 대한 안전성을 검토해야 한다.
- (2) 지간과 아치의 간격의 비가 20 이하이고, f/L 이 1/6 이하이며 충분한 브레이싱이 설치된 아치교에서는 일반적으로 면외좌굴에 대한 검토가 필요치 않다.
- (3) 아치교의 면외좌굴은 <그림 1>에 표시한 재하상태에 대하여 검토하는 것을 원칙으로 한다.

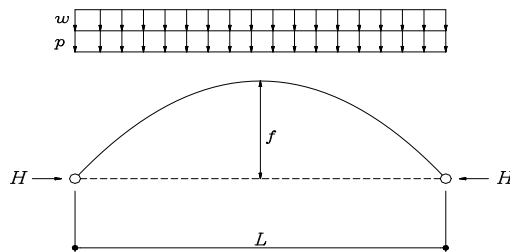


그림 1. 면외좌굴의 검토에 사용하는 재하 상태

여기서, w, p : 주구조에 작용하는 등분포 고정하중 및 활하중

4.2.2 면외좌굴에 대한 안정검토

아치축선이 연직면 내에 있고 대칭 포물선을 이루며, 부재가 대체적으로 같은 높이의 아치에서 브레이싱이 9.9의 규정에 준하여 설치되어 있을 경우에는 아치의 면외좌굴의 검토는 <식 (6)>을 따른다.

$$\frac{H}{A_g} \leq 0.85 f_{ca} \quad (6)$$

여기서, H : <그림 1>에 나타난 재하에 의하여 편측 아치부재에 작용하는 축방향력의 수평성분(N)

A_g : 편측 아치부재의 총단면적의 평균치(mm²)

f_{ca} : 편측 아치부재의 $L/4$ 점의 허용축방향 압축응력(MPa)

단, 유효좌굴길이(mm) 및 단면2차반지름(mm)은 「③항」을 따른다.

「②항」의 검토에 있어서 유효좌굴길이(l) 및 단면2차반지름(r)은 각각 <식 (7)>을 따른다.

$$\left. \begin{aligned} l &= \phi \beta L \\ r &= \sqrt{\{I_z + A_g (b/2)^2\} / A_g} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

여기서, I_z : 편측 아치부재의 연직축 주위에 대한 단면2차모멘트의 평균치(mm⁴)

A_g : 편측 아치부재의 총단면적의 평균치(mm²)

b : 아치축선의 간격(mm)

β : <표 1>에 표시한 값, 여기서 f/L 의 중간값에 대해서는 선형보간해야 한다.

ϕ : <식 (8)>에 규정하는 값

(i) 하로보강아치

$$\phi = 1 - 0.35k$$

(ii) 상로보강아치

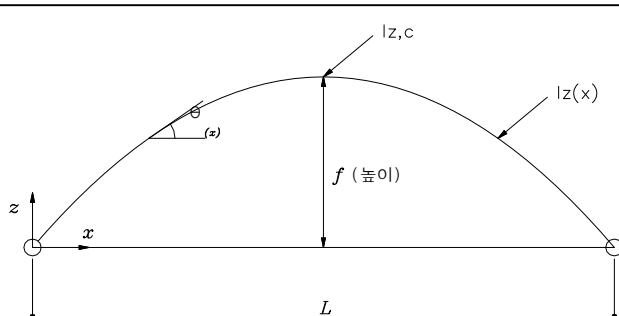
$$\phi = 1 + 0.45k$$

(iii) 중로보강아치

$$\phi = 1$$

k : <그림 1>의 재하상태에 있어서 행어 또는 지주가 분담하는 하중을 $(p+w)k$ 로 보고 구해지는 k 의 값. 다만, 상로 보강 아치에서 아치와 보강 거더를 아치 크라운부위에서 강결하지 않았을 때는 $k=1$ 로 한다.

표 2. 면외좌굴에 대한 β 의 값

| 아치높이의 비 f/L |  | | | | |
|-------------------------------------|--|------|------|------|------|
| | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 |
| 단 면 $I_z = \text{일정}$ | 0.50 | 0.54 | 0.65 | 0.82 | 1.07 |
| $I_z(x) = I_{z,c} / \cos \theta(x)$ | 0.50 | 0.52 | 0.59 | 0.71 | 0.86 |



5. 부재의 설계

(1) 아치리브

- ① 아치리브는 축방향 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로서 설계함을 원칙으로 한다.
- ② 좌굴의 검토에 사용할 환산 휨모멘트의 산출에 있어서는 부재단면의 도심의 골조선에 대한 편심량 및 부재축선이 곡선을 이루는 경우 서로 인접하는 격점을 잇는 직선과 부재축선과의 간격을 고려해야 한다. 이 경우 격점의 휨모멘트보다 격간 중앙점의 휨모멘트가 크다면 큰 것을 환산 휨모멘트로 하여도 무방하다. 또한, 아치 곡선이 연속 곡선인 경우에 서로 인접하는 격점을 잇는 직선과 아치축선과의 격간 중앙점에 있어서는 간격은 <식 (9)>로 구한다.

$$e = \frac{f}{n^2} \quad (9)$$

여기서, e : 아치축선과 서로 인접한 격점을 잇는 직선과의 간격(mm)

f : 아치의 높이(mm)

n : 격점수

「3항」에 규정된 변위의 영향을 고려할 필요가 없이 아치축선이 각 격점간에서 직선을 이루며, 부재단면에 편심이 없고 부재높이가 격간의 1/10 이하이면서 아래의 조건을 충족시키는 경우에는 아치부재를 축방향력만을 받는 부재로 설계한다. 또한, 이 경우의 유효좌굴길이는 격간 길이를 적용한다.

$$\beta \frac{f_{ca}}{f^A} \quad (10)$$

$t \times \frac{h^G}{h^A} > 1a$

여기서, h^A : 아치부재의 부재높이의 전길이에 걸친 평균값(mm)

h^G : 보강거더의 부재높이의 전길이에 걸친 평균값(mm)

f_{ca}^A : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 의한 아치부재의 허용 축 방향 압축응력의 평균값(MPa)

f_{ta} : 보강거더의 하부플랜지의 허용인장응력의 평균값(MPa)

β : $1.75 (0.04 + 0.004 \frac{l}{r})$ (보강 거더에 축력이 생기는 경우)

$0.04 + 0.004 \frac{l}{r}$ (보강 거더에 축력이 생기지 않는 경우)

$\frac{l}{r}$: 아치부재의 세장비

- (2) 보강아치교의 보강형은 축방향 인장력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로 설계한다.

(3) 행어 또는 지주

- ① 행어 또는 지주의 단면력을 산출할 때는 이들 양단에서 아치면 내의 변형에 대해서는 편이라고 가정한다.
- ② 행어 또는 지주를 보강거더 또는 아치리브에 연결시키는 세부구조의 설계에 있어서는, 연결부에 응력집중이나 2차응력의 발생으로 인한 결함이 생기지 않도록 주의해야 한다.
- ③ 행어의 경우, 풍하중에 의한 진동과 사용성, 안정성을 검토해야 한다.
- ④ 행어의 허용응력은 강선 또는 강봉의 인장강도의 33%를 취하는 것을 원칙으로 하나, 하로아치교의 아치부재에 정착구를 핀으로 연결하는 형식의 평행강선 케이블을 사용하는 경우에는 그 시공실적과 정착구조에 대한 상세검토에 근거하여 허용응력을 별도로 정할 수 있다.

(4) 브레이싱

- ① 아치교에는 충분한 강도의 수평 및 수직브레이싱을 설치해야 한다. 이 중 수평브레이싱은 풍하중과 같은 횡하중에 저항하는 구조이므로 소요강도를 갖고 있어야 할 뿐 아니라, 두 개의 아치리브를 일체로 만들어 아치교의 면외좌굴에 대한 저항을 높이기 위해 필요한 강도부재이므로 이에 따른 충분한 강도를 갖도록 설계해야 한다.
- ② 브레이싱을 생략하는 경우에는 아치리브 자체는 물론 전체 구조의 안정성 확보에 충분한 안전율을 확보해야 한다.
- ③ 다이아프램 - 아치리브와 보강형의 행어 연결부, 주요부재의 브레이싱 연결부, 받침부, 가로보의 연결부와 같이 집중력이 작용하는 지점부에는 다이아프램을 설치하여 힘의 전달이 확실히 되도록 한다.

6. 극한강도의 검사

「3항」의 규정에 의하여 변위의 영향을 고려할 경우에는, 고정하중의 1.7배 및 충격을 포함한 활하중의 1.7배에 의하여 생기는 응력은 <식 (11)>에 표시한 응력 f_u 를 넘어서는 안 된다.

$$\begin{aligned} f_u &= 1.7f_{ta} \quad (\text{인장응력의 경우}) \\ 1.7f_{cal} & \quad (\text{압축응력의 경우}) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, f_{ta} : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 표시한 허용축방향 인장응력(MPa)

f_{cal} : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 표시한 국부좌굴에 대한 허용축방향 압축응력(MPa)

그러나 「KR C-09040의 3항」의 규정에 따라 부재의 폭-두께비를 완화한 경우는 본 설계기준에 의한 최대폭-두께비 완화에 따른 허용압축응력을 적용한다.



해설 1. 설계일반사항

1. 개요

아치는 중간에 작용하는 하중이 포물선형태의 아치리브를 통하여 주로 압축력으로 지점까지 전달되도록 고안된 구조이다. 이러한 아치구조는 직선형태의 단순지지된 주형이나 트러스에 비하여 휨모멘트가 크게 감소되는 이점이 있지만, 수직반력뿐만 아니라 수평반력이 발생하므로 아치 지점은 이러한 수평반력도 지탱할 수 있도록 설계되어야 한다.

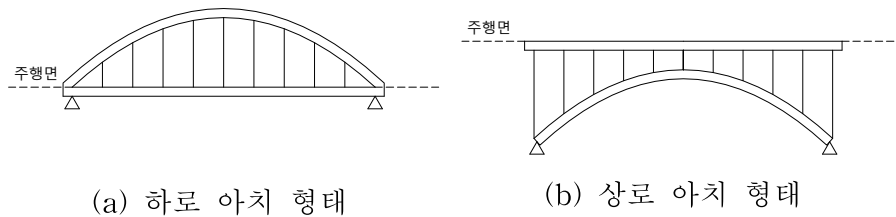


그림 2. 아치교량의 형태

2. 아치교의 분류

2.1 아치리브에 따른 구분

(1) Solid Rib Arch

Solid Rib Arch는 단일한 부재로 아치 리브를 구성한 것으로 미관이 우수하므로 다소 비경제적이더라도 장지간에 적용되는 예도 있다.

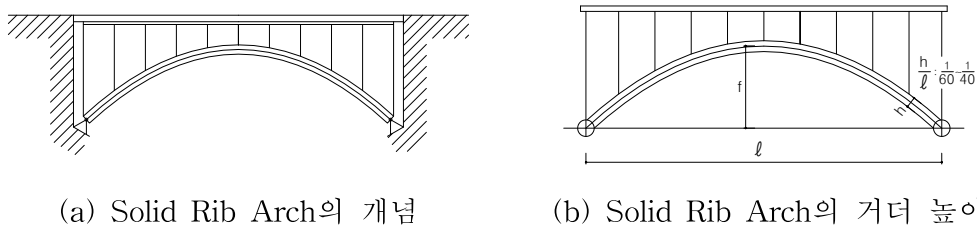


그림 3. Solid Rib Arch교의 개요

(2) Braced Rib Arch

아치 지간이 길어지는 경우에 Rib는 힘을 많이 분담하게 되고, 따라서 보다 강한 단면을 채택할 수 밖에 없다. 그럴 경우 Solid Rib를 적용하면 단면이 중량대비 단면의 효율성이 떨어지게 되므로 보강된(Braced) Rib 구조를 갖는 것이 유리하다. 관점에 따라 다소 차이는 있겠지만 Braced Rib Arch는 Solid Rib Arch에 비해 미관이 떨어진다. 그러나 경제성과 강도가 크기 때문에 장지간의 강아치교에 많이 적용된다.

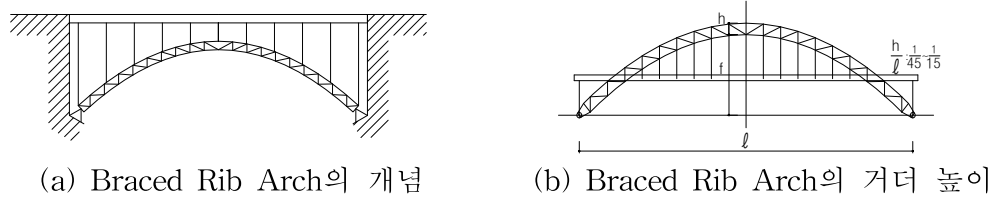


그림 4. Braced Rib Arch교의 개요

(3) Spandrel Braced Arch

아치교에서는 일반적으로 전단력이 작기 때문에 Braced Spandrel은 구조적으로 큰 의미가 없으나, 거더로 작용하므로 강성이 크고 미관이 우수할 수 있으며 시공시 유리한 경우가 있다.

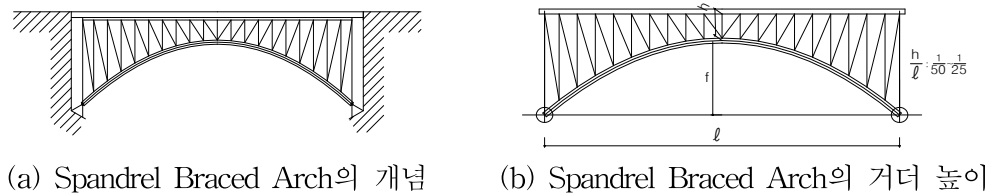


그림 5. Spandrel Braced Arch교의 개요

2.2 구조계에 따른 구분

(1) 2 Hinged Arch

2 Hinged Arch System은 아치이론에 가장 접근한 형식이다. Solid Rib Arch보다 Braced Rib Arch를 사용하는 것이 유리하다.

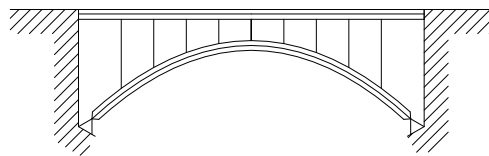


그림 6. 2 Hinged Arch교의 개념

(2) 3 Hinged Arch

3 Hinged Arch System은 가설위치의 지반 조건이 나쁜 경우와 같이, 부정정력에 의해 구조물이 크게 영향을 받을 가능성이 있는 지역에 주로 가설된다. 이러한 구조는 정정을 이룬다는 장점은 있으나 중앙 힌지부의 장기적인 처짐으로 주행성, 유지관리 측면에서 바람직하지 못한 것으로 알려져 있다.

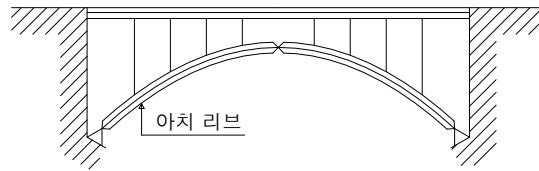


그림 7. 3 Hinged Arch교의 개념

(3) Fixed Arch

구조적으로는 가장 경제적이다. 그러나 양단의 고정 모멘트가 크므로 지반이 양호해야 하며 따라서 그 적용범위가 한정된다. Fixed Arch는 타형식에 비해서 강성이 크므로 처짐량이 작다. 2 Hinged구조로 계획하면 처짐에 의한 2차 단면력이 크게 발생되어 Fixed 구조로 채택한 사례가 있다. 특성상 힌지구조를 갖기 어려운 많은 콘크리트 아치교가 Fixed 구조를 채택하고 있다.

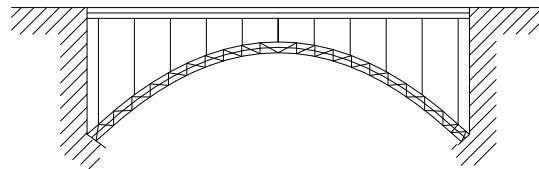


그림 8. Fixed Arch교의 개념

(6) 타이드 아치교 (Tied Arch Bridge)

타이드 아치교는 수평력을 보강형이 부담하므로 기초 지반에는 그다지 큰 수평력이 발생하지 않으며 따라서 지반이 나쁜 곳에서도 적용할 수 있다. 그러나 전반적으로 아치 리브의 구조적 효율성이 떨어진다. 타이드 아치교는 아치 리브와 보강형의 강성분담, 행어의 배치형상에 따라 다음의 4가지로 구분이 가능하다.

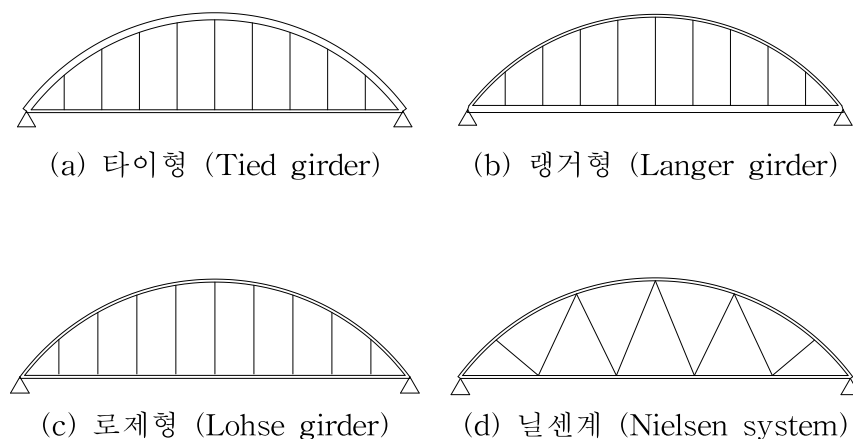


그림 9. Tied Arch교의 분류

① 타이형 (Tied Girder)

타이형은 리브 강성이 보강형의 강성보다 커서 리브가 축력과 휨모멘트에 대해 주로 저항하며 보강형에는 축력이 주로 발생하는 구조로서 국내에서는 한강대교가 대표적이다.



(a) 한강대교 (63.5m)

(b) Mornas교 (121.4m)

그림 10. Tied Girder Arch교의 사례

② 랭거형 (Langer Girder)

랭거형은 오스트리아 기술자인 Langer의 이름을 딴 것으로 보강형 강성이 리브 강성보다 커서 보강형이 축력과 휨모멘트에 대해 주로 저항하며 리브에는 축력이 주로 발생하는 구조다.

랭거교의 라이즈비는 1/7~1/8정도, 보강형 높이는 $L/30 \sim L/50$ 정도, 아 치 리브의 높이는 $L/100 \sim L/200$ 정도가 적당하다고 말하고 있다.



(a) 동작대교 (80m)

(b) Trisanna Bridge (120m)

그림 11. Langer Girder Arch교의 사례

③ 로제형 (Lohse Girder)

로제형은 19세기말 독일의 Elbe강에 지간 96.35m의 10지간 철도교가 최초다. 로제형은 리브와 보강형의 강성이 엇비슷하여 리브와 보강형이 축력과 휨모멘트에 대해 같이 분담하는 구조로서 일반적으로 랭거형과 Solid 리브의 중복 타이 아치의 중간적인 성격을 갖는다.

④ 닐센계 (Nielsen System)

아치교에서 복부재에 수직재가 사용되어 왔다. 그것은 미관을 위한 것보다는 오히려 설계 계산이 간편하다는 것이 주된 이유라고 생각된다. 수직재 대신 사재를 사



용하면 트러스교의 경우와 마찬가지로 강성이 큰 폭으로 향상되는 것은 당연하다. 랭거형의 수직재 대신에 사재를 사용한 교량은 O. F. Nielsen에 의해 제안되었으며, 1929년 스웨덴에서 특허를 얻었다. 그렇지만 그 자체의 부정정 차수가 커서 널리 사용되지 못하고 있다가 전자계산기에 의한 구조해석 기법의 발달로 일반적인 적용이 가능하게 되었다.

사재를 이용한 아치계 교량은 상로와 하로가 모두 가능하나 상로의 실적은 거의 없다. 또 종래의 랭거교에서 수직재를 사재로 한, 즉 수직재가 휨강도를 갖는 것을 트러스 랭거형이라고 칭하며 닐센계는 경사재를 Flexible한 Rod나 Cable로 처리한 것을 통칭한다.

닐센계 아치교의 대표적인 교량은 1963년 닐센교로서는 최초로 가설된 지간장 248m의 독일 Fehmarnsund교며 국내의 철도교량은 모암고가교가 대표적이다.



(a) 모암고가교
(경부고속철도:125m)



(b)Ogatayama bridge
(일본자기부상:138.6m)

그림 12. Nielsen Arch교의 사례

③ 아치교의 온도 솟음

아치교의 온도가 상승 또는 하강할 때 아치 구조계에 따라 솟음의 양상이 변화가 있다. 특히 아치리브, 행어, 거더 등의 사용재료가 다를 수 있으며, 이 경우 이들 재료의 온도변화를 합리적으로 예측 조합한다. 전체적으로 온도 상승시 전형적인 몇 가지 형태의 아치교 변형의 형태를 <그림 13>에 나타내었다. 점선은 온도상승후 변위를 나타내며 M, F는 수평에 대한 구속여부를 표시하였다.

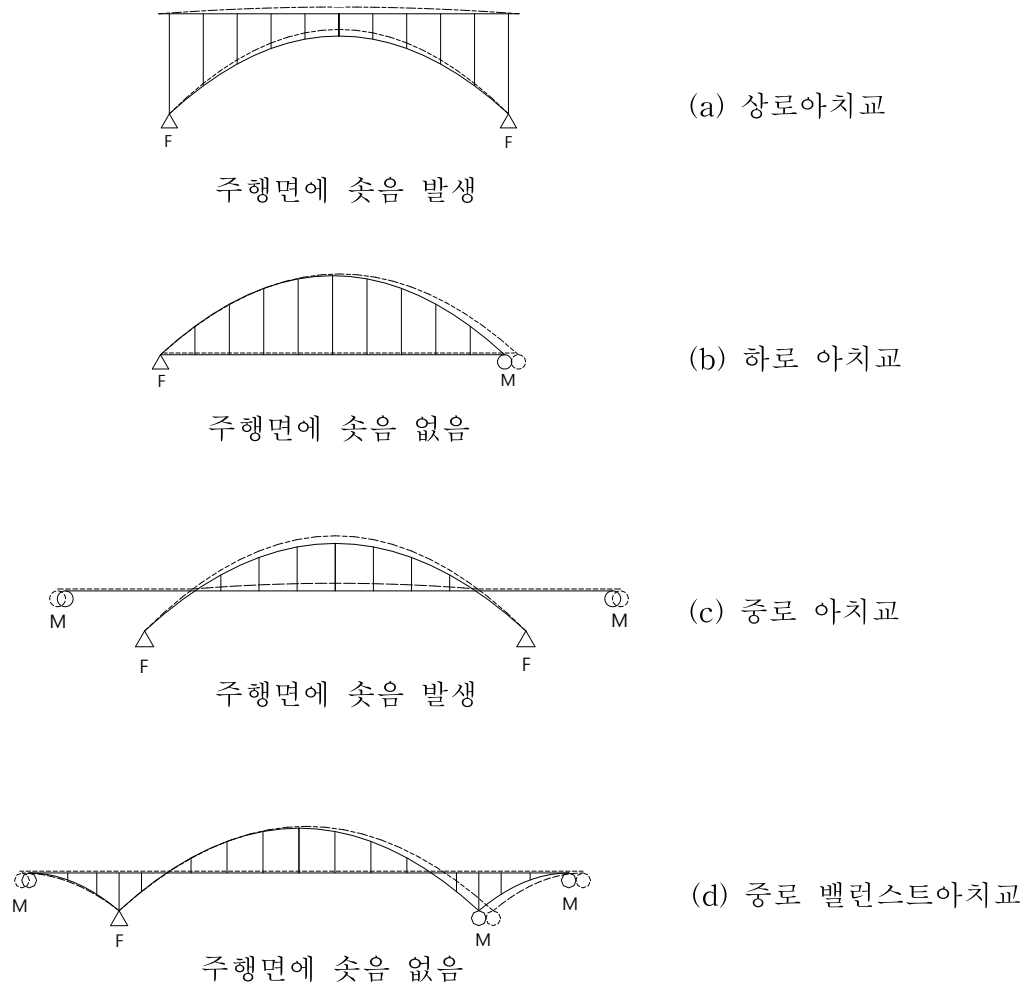


그림 13. 온도변화에 따른 변형도

3. 일반 제원의 계획

3.1 아치축선의 계획

아치축선은 하중에 의한 압력선과 일치 시킨다.

- (1) 아치축선이란 아치리브의 단면도심을 연결하는 선을 말하고, 아치의 하중에 의한 압력선이란 아치리브의 단면에서의 합력의 작용점을 연결하는 선을 말한다.
- (2) 아치축선은 하중에 의한 압력선과 일치시키는 것이 바람직하지만, 활하중 등의 변동 하중이 있기 때문에 전체적인 응력의 균형을 고려하여 결정하는 예가 많다. 일반적으로 아치축선을 정하는 압력선을 구하는 하중은, 고정하중 또는 고정하중에 등분포 활하중의 1/2을 만재한 상태의 하중으로 한다.
- (3) 아치축선을 압력선에 일치시키면 아치는 압축력만을 받으며, 이때 작용하는 수평력은 아래의 값으로 일정하다.



$$H_d = \frac{wl^2}{8f} \quad (12)$$

여기서, H_d : <그림 14>의 아치리브 단면에 작용하는 수평력

f : 아치의 높이(라이즈)

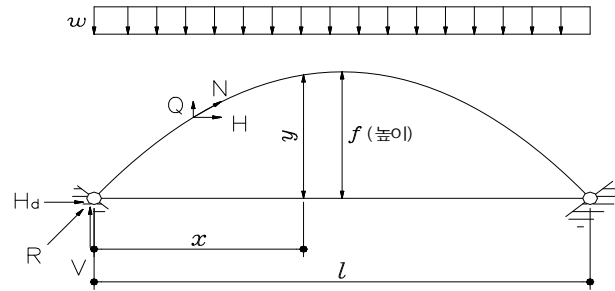


그림 14. 등분포하중이 만재하는 아치교

(4) 아치의 축선 y 에 대한 2차 포물선은 다음과 같이 표시된다.

$$y = \frac{4f}{l^2}x(l-x) \quad (13)$$

3.2 라이즈비

아치교의 라이즈 f 와 스패 L 과의 비, 즉 라이즈비 f/L 은 아치교의 강중에 중대한 영향을 미치게 되므로 신중하게 검토하여 결정한다. 보통 라이즈비 f/L 은 각 형식의 아치교에 대해서,

$$f/L = \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} \quad (14)$$

정도가 좋다. 라이즈비가 작을수록 미관은 좋으나, 처짐에 수반하는 부가응력이 발생하기 쉽고, 강중도 증대된다. 이것에 반하여 라이즈비가 너무 크면, 역시 강중이 커지며 더구나 횡방향의 안정성이 나빠지게 된다. 일반적으로 강중은, 라이즈비 f/L 및 고정하중 w 와 활하중 p 와의 비 w/p 에 의해 크게 좌우된다. 그 때문에 이들의 파라미터를 여러 가지로 변화시켜서 시산설계를 해서 강중이 최소가 되는 라이즈비 f/L 을 정한다.

3.3 아치리브의 높이

아치리브의 높이 h 는 그 스패를 L 로 하면 h/L 의 값은 <표 3>의 값이 적당하다.

일반적으로 아치리브의 높이 h 를 크게 하면 온도 응력은 증대된다. 그러나 처짐에 의한 부가응력은 감소되는 경향이 있다.

표 3. h/L 의 값

| 아치교의 종류 | | h/L |
|------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 아치리브 형 식 에 따른 분류 | 솔리드리브 아치교 | $\frac{1}{40} \sim \frac{1}{60}$ |
| | 브레이스드리브 아치교 | $\frac{1}{15} \sim \frac{1}{45}$ |
| | 스팬드럴 브레이스드 아치교 | $\frac{1}{25} \sim \frac{1}{60}$ |
| 타 이 드 아 치 교 | 브레이스드리브 타이드 아치교 | $\frac{1}{25} \sim \frac{1}{45}$ |
| | 보강 아치교, 랭거교 | $\frac{1}{25} \sim \frac{1}{50}$ |
| | 로제교, 널센교 | $\frac{1}{80} \sim \frac{1}{130}$ |

3.4 부재의 세장비

부재의 세장비 l/r 은 <표 4>에 제시한 값 이하로 한다. 다만, l , r 값은 「KR C-09030 구조용 강재 및 용접부의 허용응력」의 l , r 을 준용하는 것으로 한다. 주압축부재는 열차하중에 의해 압축응력이 발생하는 부재를 말하며, 주요하중에 의해 힘을 받지 않는 부재들은 부압축재로 분류한다.

표 4. 부재의 세장비

| 부재의 종류 | 세 장 비 |
|--------|-------|
| 주압축재 | 100 |
| 부압축재 | 120 |
| 인장재 | 200 |

3.5 강재의 두께

강재의 최소 두께는 다음의 각 호에 의한다

- (1) 주요부재에서는 9mm이상으로 한다. 다만, 강바닥판은 12mm이상으로 한다.
- (2) 2차부재에서는 8mm이상으로 한다. 다만, 채움재, 깔판, 난간 등에 사용하는 경우는 이 제한을 따르지 않는다.

3.6 최소 L형강

수평브레이싱, 제동트러스, 수직브레이싱 등에 사용하는 최소 L형강의 다리길이는 90mm이상으로 한다.

3.7 구조해석

- (1) 아치리브에 발생하는 단면력은 축선이동의 영향을 받지만 일반적인 경우, 이 영향이 작아서 무시할 수 있으므로 미소변형이론에 기초하여 단면력을 계산해도 좋다.



(2) 단, 활하중에 의해 생기는 골조선의 모양의 변화가 「3. 변위의 영향」의 규정에 의해 검사하여 무시할 수 없는 경우에는 그 영향을 고려한다.

(3) 부정정력을 계산함에 있어서는, 아치리브 단면변화의 영향을 고려한다.

3.8 단면 검토 및 좌굴에 대한 안정 검사

(1) 아치의 모양과 부재단면의 모양을 선정할 때에는 면내·외의 전체 좌굴이 생기지 않도록 배려함과 동시에 부재는 휨모멘트와 축방향력을 받는 부재로서도 안전하도록 설계한다.

(2) 아치리브는 열차의 편재하 및 부분재하의 모든 경우에 대해 해석하고 해당되는 단면을 검사한다.

4. 변위의 영향

1개 아치구조당의 고정하중 강도(N/mm)가 식(7.9.4)으로 산출되는 w (N/mm) 보다 큰 아치교에서는 고정하중과 활하중을 재하함에 따라 생기는 골조선의 변위의 영향을 고려하여 주구조를 설계한다. 그러나 보강거더에 축방향력이 생기는 아치교에서는 이것을 무시하여도 좋다.

$$w = \frac{8\alpha}{\gamma} \cdot \frac{EI}{L^3} \cdot \frac{f}{L} \quad (15)$$

여기서, E : 종탄성계수(MPa)

I : 아치면내의 휨에 대한 편축 아치 부재의

단면 2차모멘트의 평균치(mm⁴),

보강아치의 경우에는 아치와 보강거더의 합을 취한다.

L : 아치의 지간(mm)

f : 아치의 높이(라이즈)(mm)

α : <표 5>에 표시한 아치의 면내좌굴계수

γ : <표 5>에 표시한 보정계수

표 5. 면내좌굴계수 α 및 보정계수 γ

| 구조형식 f/L | | | | α | | | | | γ |
|--|---------------|-----------|------|----------|------|------|------|------|----------|
| | | | | 0.00 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | |
| 무보강 아치 | 2한지 아치 | | | 39.5 | 36.0 | 32.0 | 28.0 | 20.0 | 9 |
| | 고정 아치 | | | 81.0 | 76.0 | 69.5 | 63.0 | 48.0 | |
| 보강거더에 축방향력이 생기지 않는 2한지 보강 아치 | 측지간이 없는 경우 | | | 39.5 | 36.0 | 32.0 | 28.0 | 20.0 | 12 |
| | 측지간이 있는 경우 | λ | 0.00 | 81.0 | 76.0 | 69.5 | 63.0 | 48.0 | |
| | | | 0.25 | 63.0 | 58.5 | 52.5 | 47.0 | 34.5 | |
| | | | 0.50 | 55.5 | 51.5 | 46.5 | 41.5 | 30.5 | |
| | | | 0.75 | 51.5 | 48.0 | 43.0 | 38.5 | 28.5 | |
| | | | 1.00 | 49.0 | 45.5 | 41.0 | 36.5 | 27.0 | |
| | | | 2.00 | 45.0 | 41.0 | 36.5 | 32.0 | 22.5 | |

여기서, (a) $\lambda = \frac{a}{L}(1 + I_A/I_G)$ (16)

a : 보강거더의 측지간의 지간길이(mm)

L : 아치의 지간길이(mm)

I_A : 면내의 휨에 대한 편측 아치부재의 단면 2차모멘트의 평균치(mm⁴)

I_G : 편측보강거더의 단면 2차 모멘트의 평균치(mm⁴)

(b) f/L 및 λ 가 <표 5>에 표시한 값의 중간 값으로 될 경우에는 α 를 선형적으로 보간하여 산출하여도 좋다.

(c) 2한지 보강아치로서 $\lambda > 2$ 인 경우 α 는 2한지 무보강아치의 값을 사용해도 좋다. 다만, γ 는 12를 사용하는 것으로 한다.

5. 아치리브의 좌굴해석

5.1 면내 좌굴

5.1.1 면내좌굴에 대한 안정검토

아치교에 작용하는 수평력 H 는 다음 식을 만족해야 한다.

$$\nu H \leq H_{cr} \quad (17)$$

여기서, H : 아치교에 작용하는 교축방향 수평반력(N)

ν : S.F.(= 1.7)

H_{cr} : ③항의 한계수평력(N)

<식 (17)>을 아치리브의 총단면적으로 나누면 다음의 식이 얻어진다.



$$\frac{H}{A_g} \leq \frac{1}{\nu} \frac{E\pi^2}{\left(\frac{l}{r}\right)^2} \quad (18)$$

여기서, A_g : 전체길이에 걸친 아치리브 총단면적
(전체길이에 걸친 평균값)(mm²)

r : 단면 2차 반지름(mm)

l : 식(1.8)에 의해 계산된 유효좌굴길이(mm)

5.1.2 유효좌굴 길이

휨강성 $E \cdot I_y$ 가 일정하고, 지간길이 L , 아치높이(rise) f 인 2힌지 포물선 아치에 등분포 하중이 만재된 경우 발생할 수 있는 면내좌굴(in-plane buckling) 형상이 <그림 15 (a)>에 점선으로 표시되어 있다.

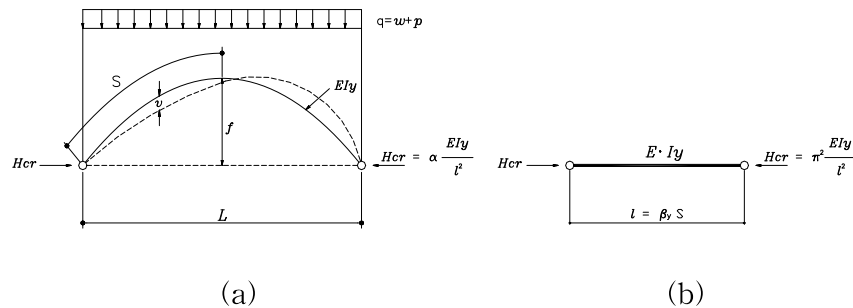


그림 15. 2힌지 아치의 면내 좌굴

<그림 15(a)>와 같이 등분포하중 q 를 받는 2차 포물선 형상의 축선을 가진 아치 교에서는 축방향력만을 받기 때문에 <그림 15(b)> 의 H_{cr} 과 같은 양끝 핀의 휨강도 $E \cdot I_y$ 를 가지는 중심압축 기둥으로 치환할 수 있다. 이와 같이 치환된 중심압축 기둥의 길이 l 을 유효좌굴길이라 하고, 이 유효좌굴길이 l 은

$$l = \beta_y \cdot S \quad (19)$$

여기서, S : 아치교 축 길이의 반. <그림 15(a)> 참조.

$$S = \frac{L}{4} \left\{ \frac{\sqrt{\left(\frac{L}{4f}\right)^2 + 1}}{\left(\frac{L}{4f}\right)} + \left(\frac{L}{4f}\right) \ln \frac{1 + \sqrt{\left(\frac{L}{4f}\right)^2 + 1}}{\left(\frac{L}{4f}\right)} \right\} \quad (20)$$

β_y : 유효좌굴 길이 산정을 위한 파라메타 <식 (21)> 또는 <표 6>의 값 적용)

$$\beta_y = \frac{\pi}{\sqrt{\alpha}} \frac{L}{S} \quad (21)$$

표 6. β_y 의 값

| 라이즈 비 (f/L) | 0.05 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| 3한지 아치 | 1.20 | 1.20 | 1.22 | 1.35 | 1.48 |
| 2한지 아치 | 1.00 | 1.10 | 1.22 | 1.35 | 1.48 |
| 고정 아치 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |

5.1.3 한계수평력

<그림 15(a)>의 2한지 아치교 이외의 경우에 대해서도 한계수평력 H_{cr} 은 <식 (22)>와 같이 쓸 수 있다.

$$H_{cr} = \alpha \frac{E \cdot I_y}{L^2} \quad (22)$$

여기서, α : <표 5>의 면내 좌굴 계수로서 양단핀의 2한지 아치의 경우 식(1.12)와 같다.

$$\alpha = 4\pi^2 \left\{ 1 - 8 \left(\frac{f}{L} \right)^2 \right\} \quad (23)$$

한편 유효좌굴길이 l <식 (19)>를 사용한 아치교의 한계수평력은 다음 식으로 얻어진다.

$$H_{cr} = \pi^2 \frac{E \cdot I_y}{l^2} \quad (24)$$

5.2 면외 좌굴

(1) 적용범위

- ① 아치의 간격이 지간에 비하여 작은 아치교에서는 면외좌굴에 대한 안전성을 검토한다.
- ② 지간과 주구 간격(교폭)의 비가 20이하이고, f/L 이 1/6이하이며 브레이싱이 설치된 아치교에서는 일반적으로 면외 좌굴에 대한 조사가 필요치 않다.
- ③ 아치교의 면외좌굴은 <그림 16>에 표시한 재하상태에 대하여 조사한다.

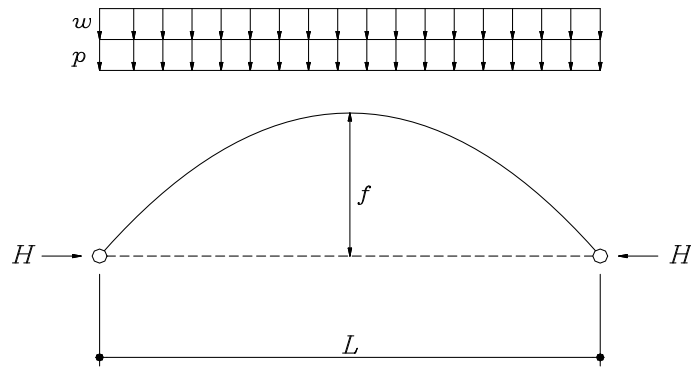


그림 16. 면외 좌굴의 조사에 사용하는 재하 상태

여기서, w, p : 주구조에 작용하는 등분포 고정하중 및 활하중

(2) 면외 좌굴에 대한 안정검토

아치축선이 연직면내에 있고 대칭 포물선을 이루며, 부재가 대체적으로 같은 높이의 아치에서 브레이싱이 「KR C-09070 브레이싱 및 다이아프램」의 규정에 준하여 설치되어 있을 경우에는 면외좌굴의 조사는 <식 (25)>에 따른다.

$$\nu H \leq H_{cr} \quad (25)$$

여기서, H : <그림 16>에 표시한 재하상태에 의하여 편측 아치 부재에 작용하는 교축방향 수평력(N)

ν : S.F. (= 2.0)

H_{cr} : 면외좌굴에 대한 한계 수평력
면외 좌굴은 면내좌굴보다 더 위험한 과를 초래할 수 있기 때문에 안전계수는 2로 하는 것이 좋다.

<식 (16)>의 양변을 아치리브의 총단면적 A_g 로 나누면 <식 (26)>이 얻어진다.

$$\frac{H}{A_g} \leq \frac{1}{2} \frac{E \pi^2}{\left(\frac{I}{r}\right)^2} \quad (26)$$

여기서, A_g : 전체 길이에 걸친 아치리브 총단면적의 평균값 (mm²)

r : 단면 2차 반지름(<식 (30)>)

I : 유효좌굴 길이(<식 (28)>)

$$\begin{aligned} \frac{H}{A_g} &\leq \frac{f_{cr}}{v} = \frac{1.7f_{ca}}{v} \\ \frac{H}{A_g} &\leq 0.85f_{ca} \end{aligned} \quad (27)$$

여기서, f_{ca} : 아치 부재의 L/4 점의 허용축방향 압축응력

<식 (26)>은 유효좌굴길이를 사용하므로 우변은 「KR C-09030의 4~7항」에 규정한

f_{ca} 를 사용하여 <식 (27)>과 같이 나타낼 수 있다. 단, <식 (25)>에서 면외 좌굴에 대한 안전율 $v = 2.0$ 으로 생각했기 때문에 우변에 계수 $1.7 / 2.0 = 0.85$ 를 곱하고 있다.

(3) 「5.2항」의 조사에 있어서 유효좌굴길이 l 은 <식 (28)>에 따른다.

$$l = \phi \beta L \quad (28)$$

여기서, L : 아치의 지간장

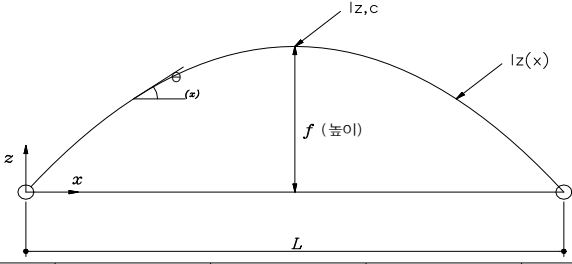
ϕ : 면외좌굴시 하중작용방향의 영향을 고려하기 위한 계수

$$\left. \begin{array}{l} \text{i) 하로 보강아치 : } \phi = 1 - 0.35k \\ \text{ii) 중로 보강아치 : } \phi = 1 \\ \text{iii) 상로 보강아치 : } \phi = 1 + 0.45k \end{array} \right\} \quad (29)$$

k : <그림 1>의 재하상태에서 행거 또는 지주가 분담하는 하중을 $(w + p)k$ 로 보고 구해지는 값. 단, 상로 보강아치에서 아치와 보강거더를 아치크라운부에서 강결하지 않았을 때는 $k = 1$ 로 한다.

β : <표 7>에 표시한 값, 여기서 f/L 의 중간값에 대하여는 직선적으로 보간한다.

표 7. 면외좌굴에 대한 β 의 값

| 라이즈비 f/L 단면 |  | | | | |
|-------------------------------------|--|------|------|------|------|
| | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 |
| $I_z = \text{일정}$ | 0.50 | 0.54 | 0.65 | 0.82 | 1.07 |
| $I_z(x) = I_{z,c} / \cos \theta(x)$ | 0.50 | 0.52 | 0.59 | 0.71 | 0.86 |

단면 회전 반경 r 은 2주구 아치교인 경우 <식 (30)>에 따른다.

$$r = \sqrt{\{I_z + A_g (b/2)^2\} / A_g} \quad (30)$$

여기서, I_z : 편측 아치부재의 연직축 주위에 대한 면외방향으로의 단면2차모멘트의 평균치(mm⁴)

A_g : 편측 아치부재의 총단면적의 평균치(mm²)

b : 아치축선의 간격



(4) 한계수평력

휨강성을 무시할 경우, 아치의 양단이 면외로 회전되지 않도록 구속된 포물선 2면지 아치에 등분포 하중 q 가 만재되었을 때, 면외 좌굴에 대한 한계수평 반력 H_{cr} 은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$H_{cr} = \gamma \frac{E \cdot I_z}{L^2} \quad (31)$$

여기서, γ : <그림 17>의 면외 좌굴 계수

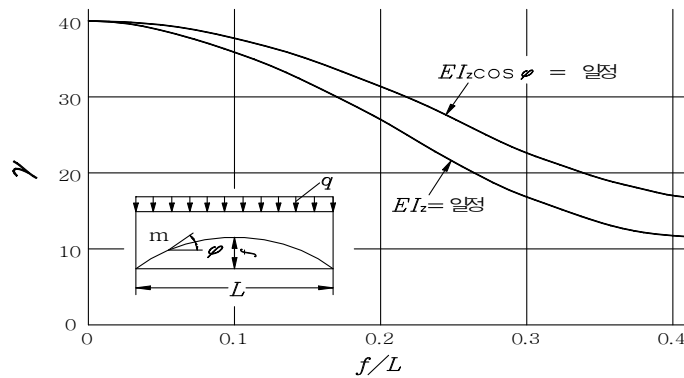


그림 17. 면외 좌굴계수

또한, 아치교의 면외방향 한계 수평력은 ③항의 유효좌굴길이 l 을 사용하면

$$H_{cr} = \pi^2 \frac{E \cdot I_z}{l^2} \quad (32)$$

로 계산된다.

6. 부재의 설계

6.1 아치리브

- (1) 아치부재는 축방향 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로서 설계한다.
- (2) 좌굴의 검토에 사용할 환산 휨모멘트의 산출에 있어서는 부재단면의 도심의 골조선에 대한 편심량 및 부재축선이 곡선을 이루는 경우 서로 인접하는 격점을 잇는 직선과 부재축선과의 간격을 고려한다. 이 경우 격점의 휨모멘트보다 격간 중앙점의 휨모멘트가 크다면 큰 것을 환산 휨모멘트로 하여도 무방하다. 또한, 아치 곡선이 연속 곡선인 경우에 서로 인접하는 격점을 잇는 직선과 아치축선과의 격간중앙점에 있어서의 간격은 다음 식으로 구한다.

$$e = \frac{f}{n^2} \quad (33)$$

여기서, e : 아치축선과 서로 인접한 격점을 잇는 직선과의 간격(mm)

f : 아치의 높이(mm)

n : 격점수

- (3) 변위의 영향을 고려할 필요가 없이 아치축선이 각 격점간에서 직선을 이루며, 부재 단면에 편심이 없고 부재높이가 격간의 $\frac{1}{10}$ 이하이면서 아래의 조건을 충족시키는 경우에는 아치부재를 축방향력만을 받는 부재로 설계하여도 좋다. 또한, 이 경우의 유효좌굴길이는 격간길이를 한다.

$$\beta \frac{f_{ca}^A}{f_{ta}} \times \frac{h^G}{h^A} > 1 \quad (34)$$

여기서, h^A : 아치부재의 부재높이의 전길이에 걸친 평균값 (mm)

h^G : 보강거더의 부재높이의 전길이에 걸친 평균값 (mm)

f_{ca}^A : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 의한 아치부재의 허용 축방향 압축응력의 평균값(MPa)

f_{ta} : 보강거더의 하부플랜지의 허용 인장응력의 평균값 (MPa)

β : $1.75 (0.04 + 0.004 \frac{l}{r})$ (보강거더에 축력이 생기는 경우)

$0.04 + 0.004 \frac{l}{r}$ (보강거더에 축력이 생기지 않는 경우)

$\frac{l}{r}$: 아치부재의 세장비

6.2 보강형

보강아치교의 보강형은 축방향 인장력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재로 설계한다.

6.3 행거 또는 지주

- (1) 행어 또는 지주의 단면력을 산출할 때는 이들 양단에서 아치면내의 변형에 대해서는 편이라고 가정하여도 좋다.
- (2) 행어 또는 지주를 보강거더 또는 아치리브에 연결시키는 세부구조의 설계에 있어서는, 연결부에 응력집중이나 2차응력의 발생으로 인한 결함이 생기지 않도록 주의한다.
- (3) 행어의 경우, 풍하중에 의한 진동과 사용성, 안정성을 검토한다.
- (4) 행어의 허용응력은 강선 또는 강봉의 인장강도의 33%강도로 한다. 하로아치교의 아치부재에 정착구를 핀으로 연결하는 형식의 평행강선 케이블을 사용하는 경우에는 그 시공실적과 정착구조에 대한 상세검토에 근거하여 허용응력을 별도로 정할 수 있다.



6.4 브레이싱

- (1) 아치교에는 수평 및 수직브레이싱을 설치한다. 이 중 수평브레이싱은 풍하중과 같은 횡하중에 저항하는 구조이므로 소요강도를 갖고 있어야 할 뿐 아니라, 두 개의 아치리브를 일체로 만들어 아치교의 면외좌굴에 대한 저항을 높이기 위해 필요한 강도 부재이므로 이에 따른 강도를 갖도록 설계한다.
- (2) 브레이싱을 생략하는 경우에는 아치리브 자체는 물론 전체 구조의 안전율을 확보한다.
- (3) 다이아프램 - 아치리브와 보강형의 행어 연결부, 주요부재의 브레이싱 연결부, 받침부, 가로보의 연결부와 같이 집중력이 작용하는 지점부에는 다이아프램을 설치하여 힘의 전달이 확실히 되도록 한다.

6.5 다이아프램

아치리브, 행거 또는 지주, 보강형 부재의 중간부에서 브레이싱등 연결부, 받침부, 가로보의 연결부와 같이 집중력이 작용하는 지점부에는 다이아프램을 설치하여 힘의 전달이 확실히 되도록 한다.

7. 극한강도의 검사

변위의 영향을 고려할 경우에는, 고정하중의 1.7배 및 충격을 포함한 활하중의 1.7배에 의하여 생기는 응력은, <식 (35)>에 표시한 응력 f_u 를 넘어서는 안 된다.

$$f_u = 1.7f_{ta} \quad (\text{인장응력의 경우}) \quad (35)$$

$$f_u = 1.7f_{cal} \quad (\text{압축응력의 경우})$$

여기서, f_{ta} : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 표시한 허용축방향 인장응력(MPa)

f_{cal} : 구조용 강재 및 용접부의 허용응력의 규정에 표시한 국부좌굴에 대한 허용축방향 압축응력(MPa)

부재의 폭-두께비를 완화한 경우는 본 설계지침에 의한 최대 폭-두께비 완화에 따른 허용압축응력을 적용한다.

8. 하중집중점 해석 및 보강

아치교 격점구조에 대해서 설계상 문제가 되는 장소를 열거하면 다음과 같다.

- (1) 하로 로제거더 · 랭거 거더의 거더 단부
- (2) 중로 아치의 아치리브와 보강거더 교차부
- (3) 힌지 아치의 지점
- (4) 연속 아치의 중간 지점부
- (5) 랭거 · 또는 지주의 격점부

(6) 가로 연결재의 격점부

이들 장소에서는 응력집중현상이나 복잡한 응력의 흐름이 생기므로 제작상의 작업성을 고려하면서 안전성 또한 합리적인 설계를 한다.

9. 열차하중에 의한 부등변위량 검토

- (1) 부등변위량의 검토에는 일반적으로 열차하중은 단선재하로 하고 충격은 필요에 따라 고려한다.
- (2) 열차하중에 의한 궤도면의 허용부등변위량은 지진이 작용하지 않는 경우에는 <표 8>의 값 이하로 또한 지진이 작용하는 경우에는 <표 9>의 값 이하로 한다.

표 8. 열차를 지지하는 구조물의 레일수준에서의
허용부등변위량(상시)

| 변위의 방향 | 열차속도 (km/h) | 평행처짐 (mm) | 굴절각(θ) (1/1000 rad.) | | | |
|-----------|----------------|--------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| | | | 평행이동각 | | 꺾임각 | |
| | | | Lb<30m | 30m≤Lb | Lb<30m | 30m≤Lb |
| 연직 | 120 | 2 | 7.5 | 9 | 9 | 9 |
| | 150 | | 5 | 6 | 6.5 | 7 |
| | 200 | | 4.5 | 4 | 5.5 | 4.5 |
| | 250 | | 3.5 | 3 | 4 | 3 |
| | 300이상 | 1.5 | 3 | 2.5 | 3 | 2 |
| 수평 | 120 | 2 | 4 | 5.5 | 5 | 6 |
| | 150 | | 3 | 3 | 3.5 | 4 |
| | 200 | | 2.5 | 2 | 3 | 2.5 |
| | 250 | 1.5 | 2 | 1.5 | 2.5 | 2 |
| | 300이상 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 2 | 1.5 |



표 9. 열차를 지지하는 구조물의 레일수준에서의
허용부등변위량(지진시)

| 변위의 방향 | 열차속도 (km/h) | 평행처짐 (mm) | 굴절각(θ) (1/1000 rad.) | | | |
|-----------|----------------|--------------|-------------------------------|---------------|------------|---------------|
| | | | 평행이동각 | | 꺾임각 | |
| | | | $Lb < 30m$ | $30m \leq Lb$ | $Lb < 30m$ | $30m \leq Lb$ |
| 연직 | 120 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 150 | | 18 | 16 | 20 | 18 |
| | 200 | 16 | 12 | 10 | 14 | 11 |
| | 250 | 11 | 8.5 | 7 | 9.5 | 7.5 |
| | 300이상 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| 수평 | 70 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| | 120 | | 9 | 12 | 11 | 12 |
| | 150 | | 6.5 | 7.5 | 8 | 9.5 |
| | 200 | | 5.5 | 5 | 6.5 | 6 |
| | 250 | 6 | 5.5 | 4 | 5.5 | 4 |
| | 300이상 | 3.3 | 2.5 | 2.2 | 3 | 2.2 |

주) 가. 도상궤도의 경우는 평행처짐에 대한 검토를 하지 않아도 좋다. 자갈도상궤도의 경우는 실제 발생하는 평행처짐량은 도상이 고체거동을 한다고 보고 해석한 결과보다 그 변형량이 최소 자갈두께의 5%까지 줄어들 수 있다.

나. 정적부등변위량도 고려한 것

다. 용어의 의미는 <그림 18>과 같다.

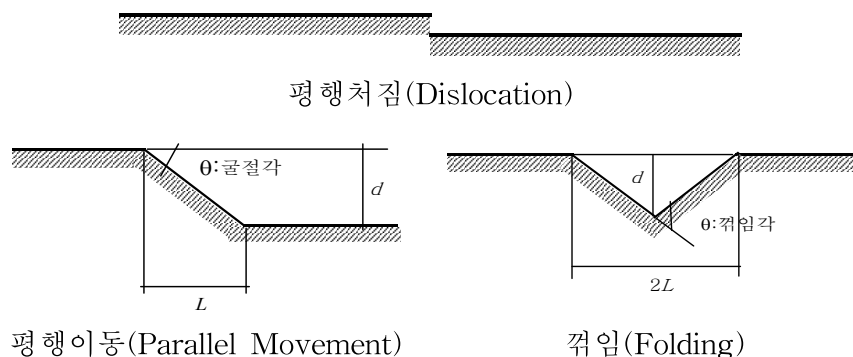


그림 18. 평행처짐, 평행이동, 꺾임

10. 주행안전성 및 승차감 검토 기준

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

10.1 교량 상판의 연직가속도

- (1) 주행열차하중에 의해 발생하는 철도교량 상판의 최대 연직가속도는 다음 값을 초과해서는 안 된다.

자 갈 궤 도 : 0.35g

콘크리트궤도 : 0.50g

- (2) 하중재하 방법 및 해석방법은 궤도를 따라 위치한 교량 상판부에 대해 검토를 수행한다.

10.2 교량의 연직처짐

- (1) 열차하중에 의한 연직처짐 검토의 하중조합은 주행안전성 및 승차감 평가에 대해 각각 <표 10>과 같이 적용한다.

표 10. 연직처짐 검토를 위한 하중조합

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

- (2) 주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 <식 (36)>의 값으로 제한 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600} \quad (36)$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐

L : 지간길이

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하궤도수는 <표 11>을 따른다.

표 11. 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중재하 궤도 수

| 궤도 수 | | |
|------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 이상 |
| 1 | 1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하) | 1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하) |

- (3) 승객의 승차감 만족을 위한 실 운행 열차하중 동적해석에 의한 최대 연직처짐은 <표 12>의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최대값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최대값 중 불리한 값을 적용한다.



표 12. 최대연직처짐 제한(승차감=‘매우양호’)

| 설계속도 (V)(km/h) | 거더 또는 부재의 지간(m) | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0~20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60~75 | 80~95 | 100~120 |
| $270 < V \leq 350$ | L/ 1500 | L/ 1500 | L/ 1600 | L/ 1750 | L/ 1900 | L/ 2100 | L/ 2200 | L/ 2350 | L/ 2500 | L/ 2200 | L/ 1900 |
| $200 < V \leq 270$ | L/ 1300 | L/ 1400 | L/ 1500 | L/ 1600 | L/ 1700 | L/ 1900 | L/ 2000 | L/ 2100 | L/ 2000 | L/ 1700 | L/ 1400 |
| $V \leq 200$ | L/ 1100 | L/ 1200 | L/ 1300 | L/ 1500 | L/ 1500 | L/ 1400 | L/ 1300 | L/ 1200 | L/ 1100 | L/ 800 | L/ 600 |

- (4) 하중재하 방법 및 해석방법은 「KR C-08070 주행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법」을 따르며 계산위치는 교량 전체에 대한 응답을 검토 후 최대값을 결정한다. <표 12>는 지간 120m까지 유효하며, 이 이상의 장대교량은 탈선에 대한 주행안전성 및 승객 승차감에 대해 교량-열차 상호작용해석을 통한 객차 내 연직가속도 평가 등 세밀한 평가를 수행한다.
- (5) 주행안전성에 대한 연직처짐과 승차감 검토를 위한 연직처짐, 두 가지 모두에 대한 검토를 수행한다.

10.3 면틀림

- (1) 면틀림은 차륜과 레일의 접촉에 대한 안전을 확보하여 탈선 위험을 최소화하기 위한 것으로 교량의 교축직각방향 회전에 의한 캔트 변화 (비틀림 각변화) 제한규정이다. 면틀림에 대한 규정은 1개 대차에 존재하는 4개 차륜이 같은 평면에서 벗어나지 않도록 제한하기 위한 것이다.
- (2) 면틀림은 3m떨어진 두 지점에서의 양쪽레일에 대한 캔트의 변화량(mm/궤도1m)을 의미한다.

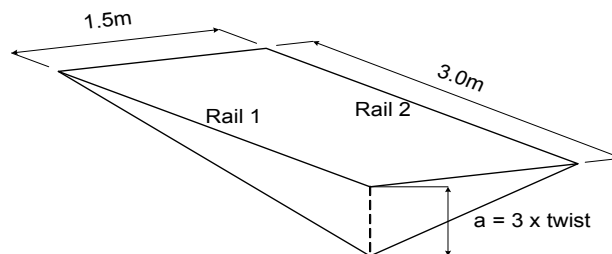


그림 19. 면틀림의 정의

- (3) 상판 면틀림은 <표 13> 규정을 따른다. 면틀림 검토를 위해 표준열차하중 재하 시는 <표 10>, <표 11>을 따라 재하하며, 실 운행열차 동적해석은 「KR C-08070 주

행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법」의 규정대로 단선재하하여 동적해석을 수행한다. 교량 종방향 레일부를 따라 검토하며, 임의의 속도에서의 최대값 발생 위치를 파악한 후 그 위치에서의 각 속도별 최대값을 산출하여 검토한다.

표 13. 면틀림 기준

| 설계속도(V) (km/h) | | 면틀림(mm/m) | 3m기준 면틀림 변화량 |
|----------------|--------------|-----------|--------------|
| 표준열차하중재하 | $V \leq 200$ | 1.0 | 3.0mm/3m |
| | $200 < V$ | 0.5 | 1.5mm/3m |
| 실 운행열차 동적해석 | | 0.4 | 1.2mm/3m |

- (4) 충격계수를 고려한 표준열차하중에 의한 것과 실 열차하중에 의한 동적해석 결과 중 불리한 값을 적용한다.



해설 2. 설계흐름도의 구성

1. 주설계단계

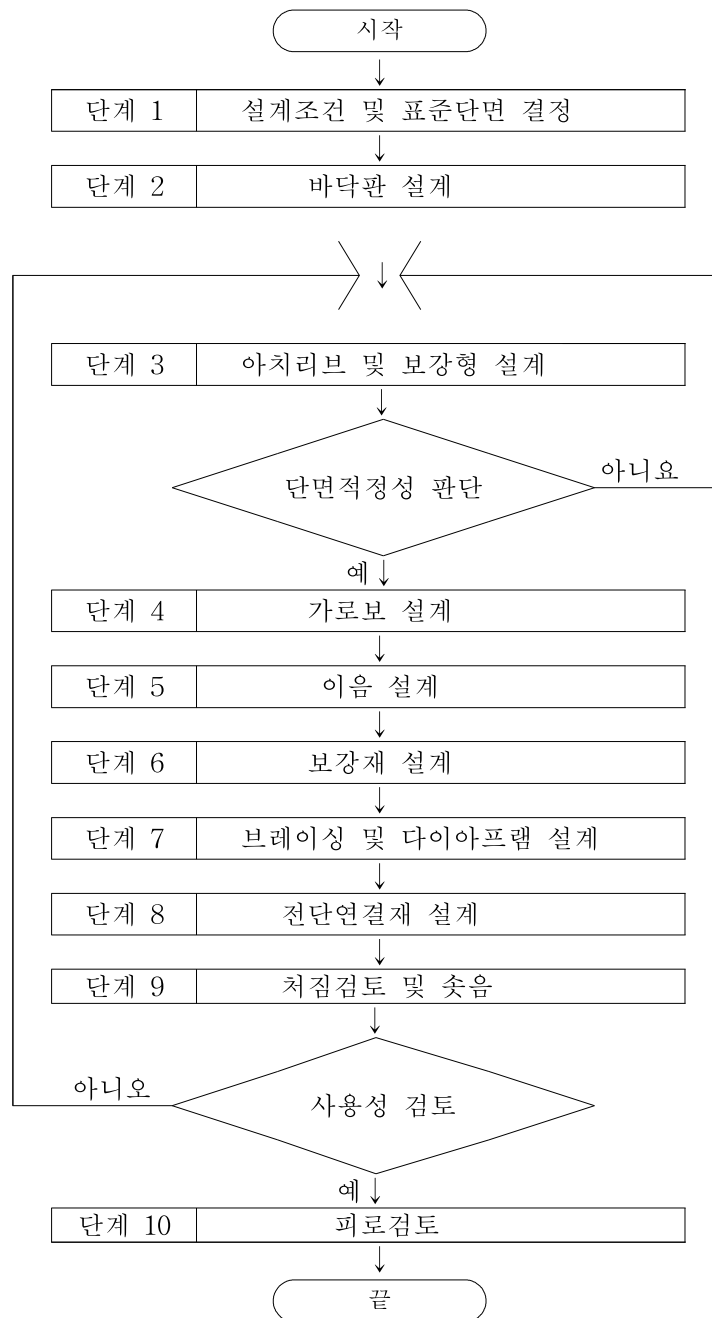


그림 20. 주설계 흐름도

2. [단계 1] 설계조건 및 표준단면 결정

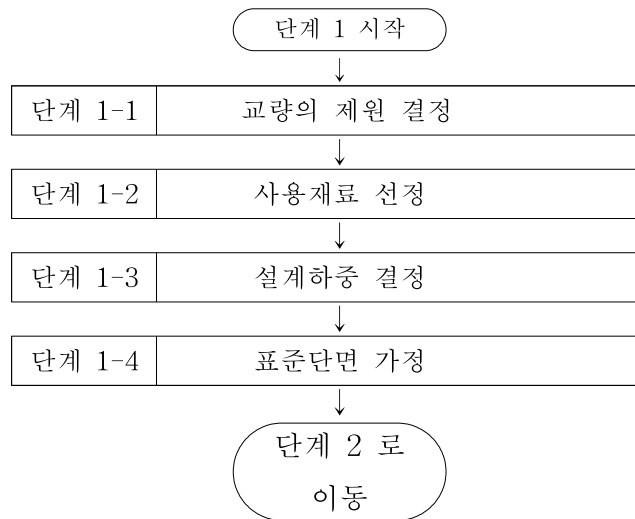


그림 21. 설계조건 및 표준단면 결정

3. [단계 2] 바닥판 설계

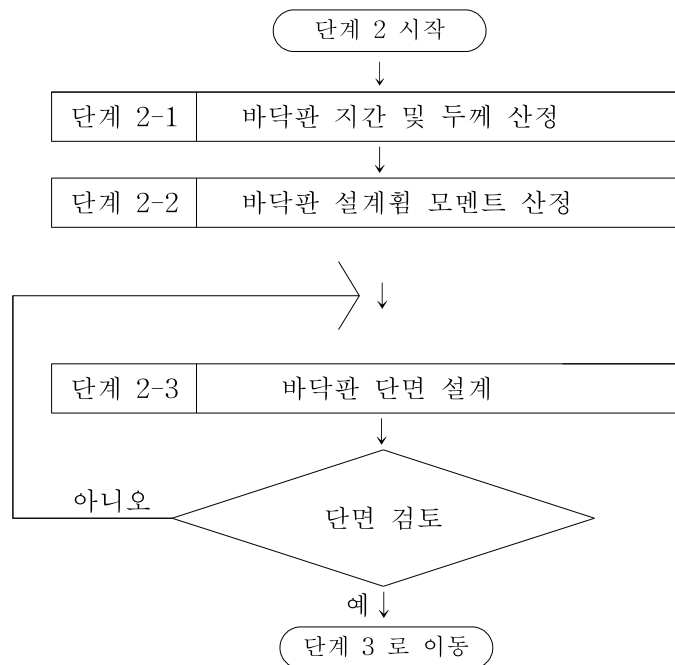


그림 22. 바닥판 설계



4. [단계 3] 주거터 설계

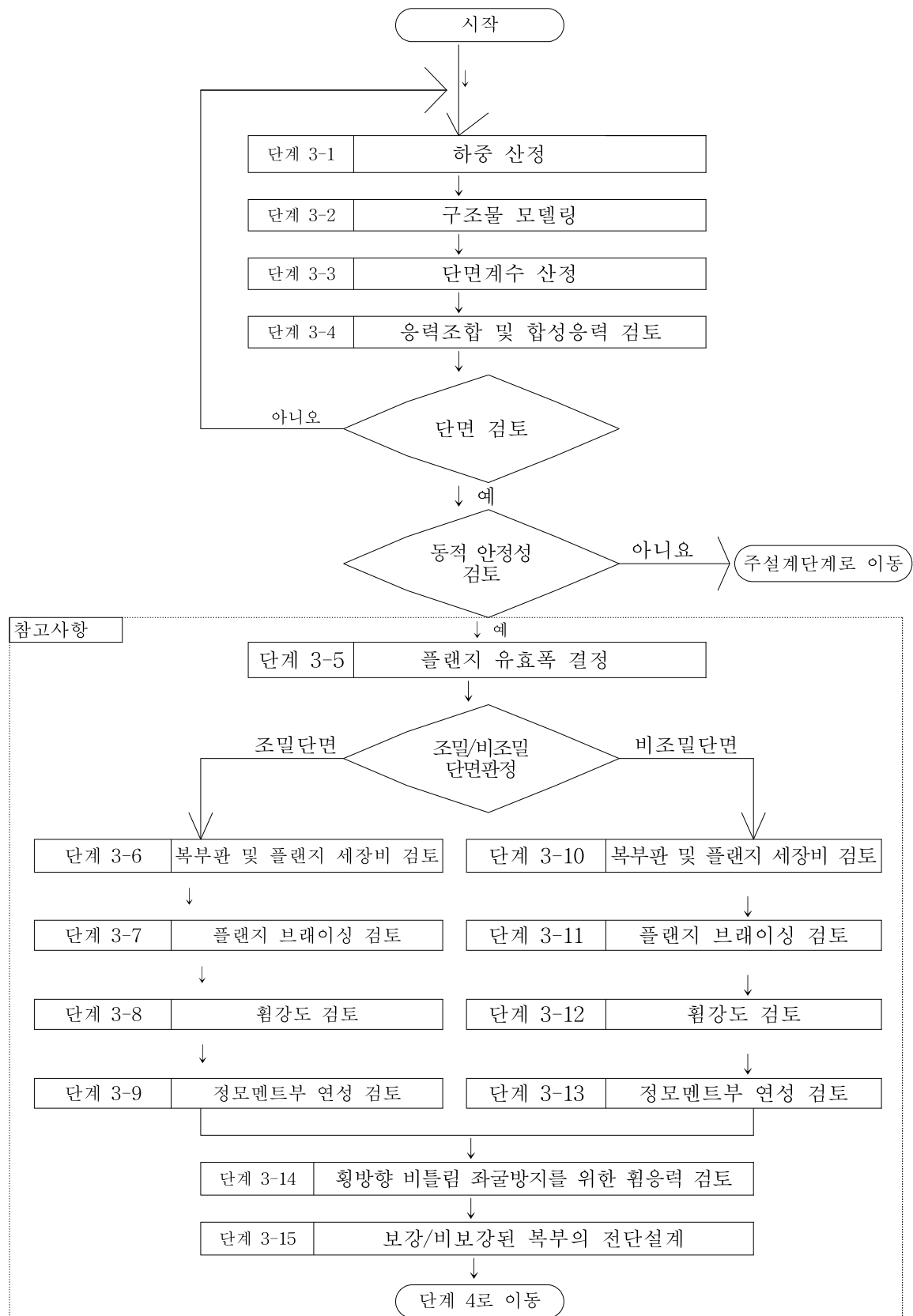


그림 24. 주거터 설계

5. [단계 4] 가로보 설계

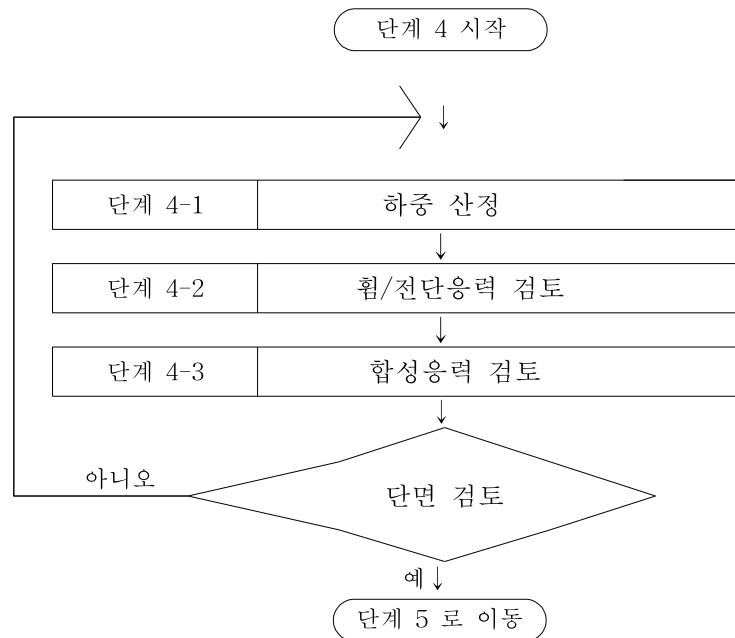


그림 24. 가로보 설계

6. [단계 5] 이음 설계

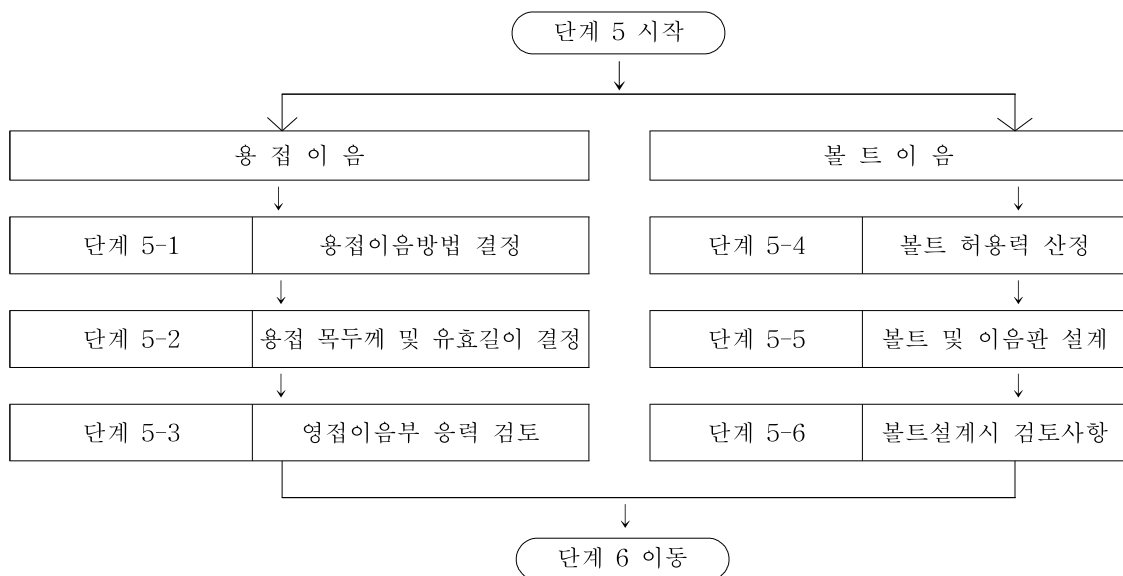


그림 25. 이음 설계



7. [단계 6] 보강재 설계

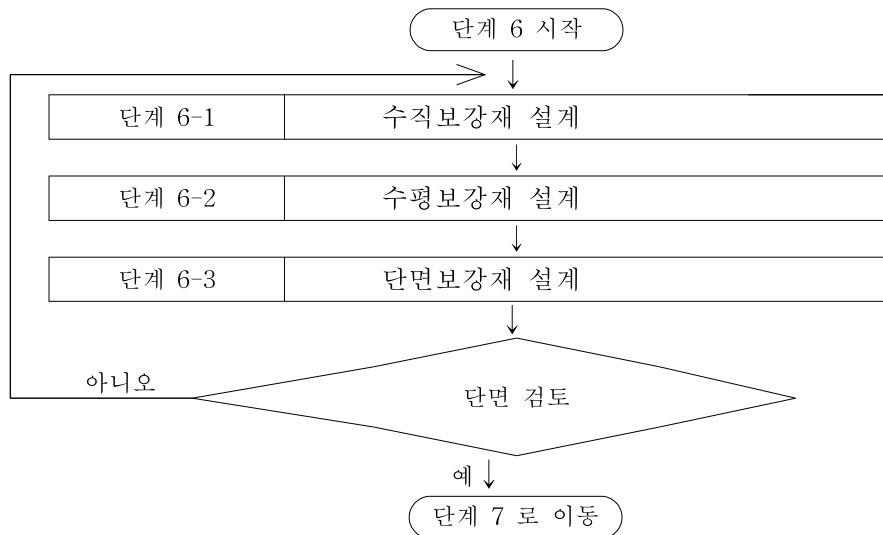


그림 26. 보강재 설계

8. [단계 7] 브레이싱 및 다이아프램 설계

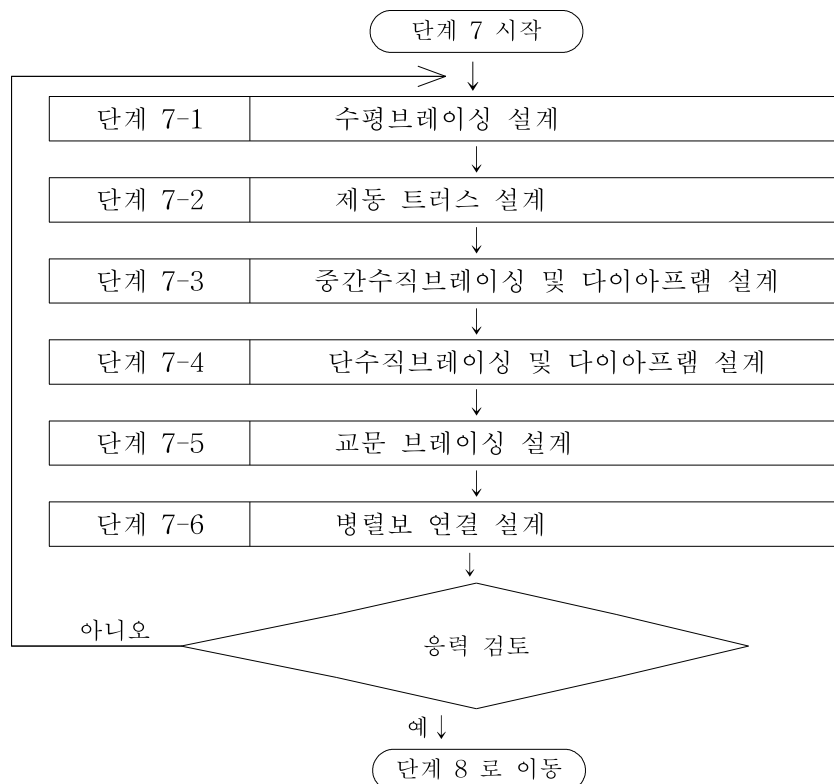


그림 27. 브레이싱 설계

9. [단계 8] 전단연결재 설계

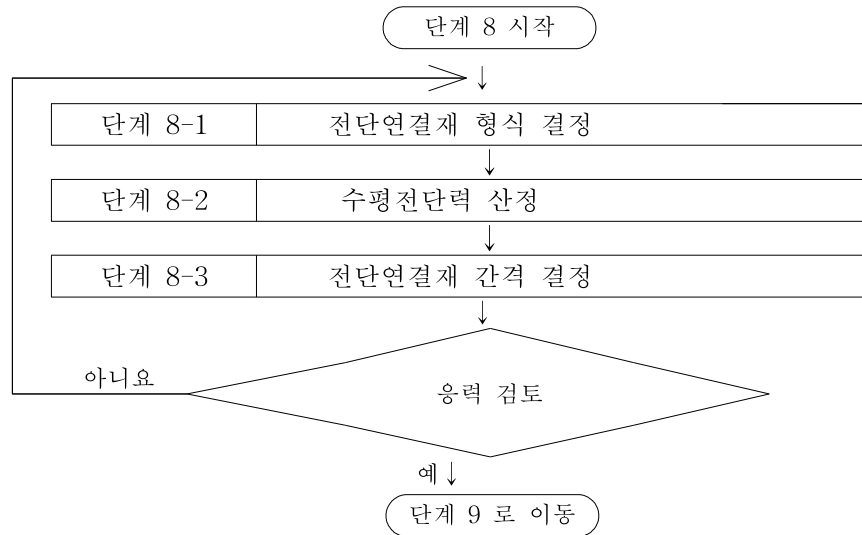


그림 28. 전단연결재 설계

10. [단계 9] 처짐검토 및 솟음

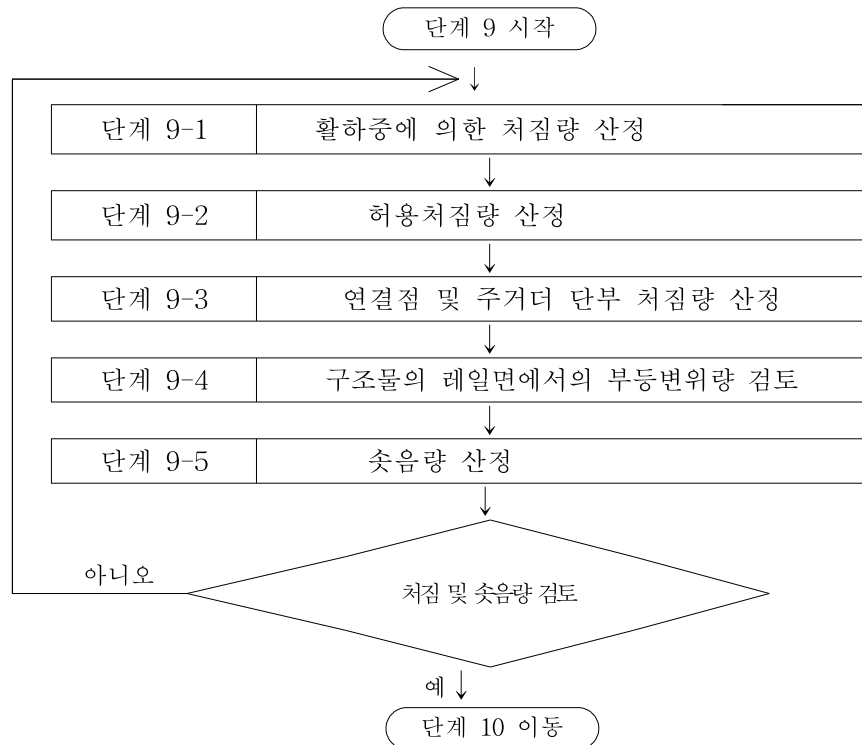


그림 29. 처짐검토 및 솟음



11. [단계10] 피로 검토

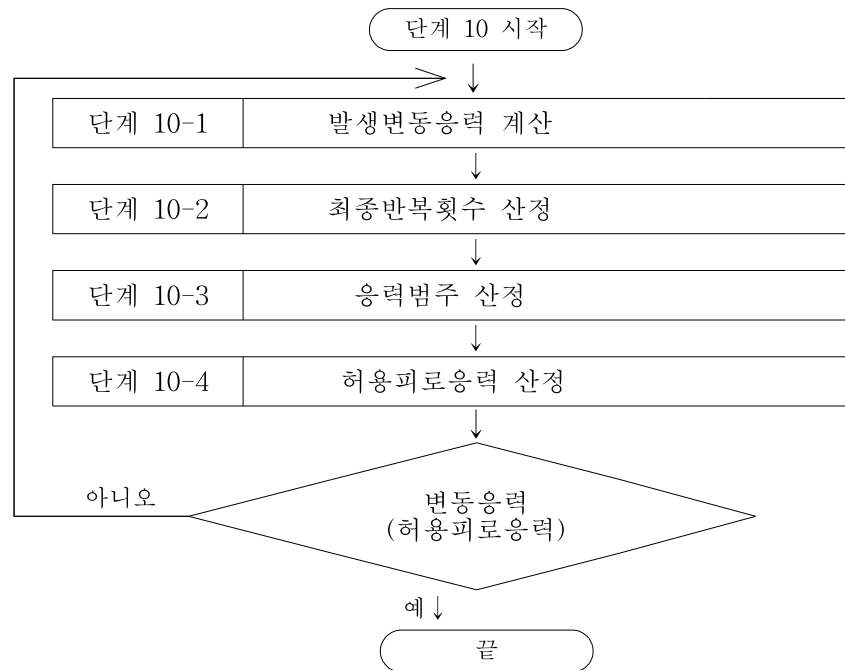


그림 30. 피로검토

12. [단계 11] 신축량 산정

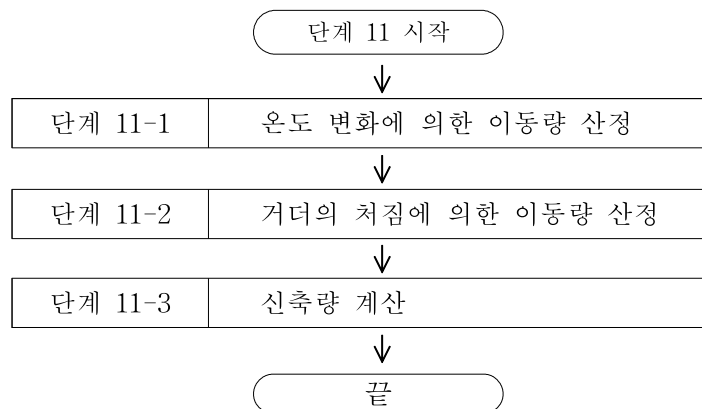


그림 31. 신축량 산정

13. [단계 12] 동적 검토

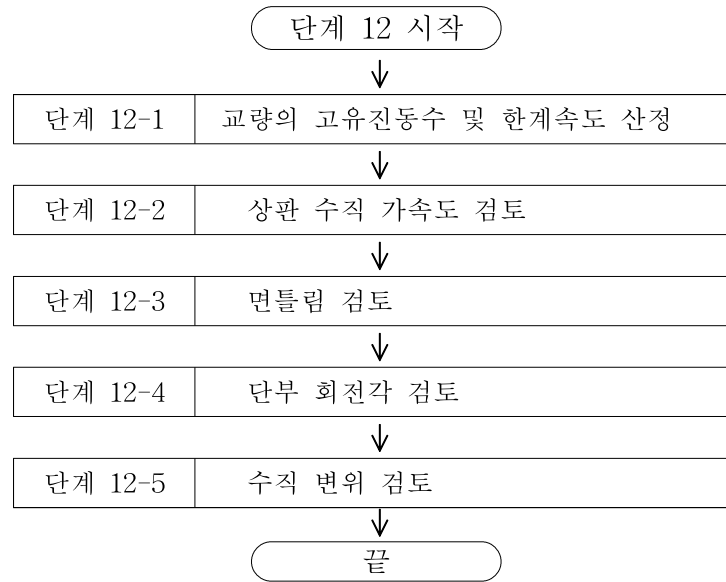


그림 32. 동적 검토



해설 3. 설계단계별 고려사항

1. 주설계단계

(1) 설계조건(교량 개요의 파악, 교량 연장 및 폭원 결정, 교량 설계방법 결정)

- ① [철도건설규칙 제4조 선로의 등급]의 규정에 따라 설계 활하중의 크기를 결정한다.
- ② 교량의 폭은 [철도건설규칙 제15조 시공기면의 폭]을 고려하여 결정한다.
- ③ 비합성거더 및 합성거더에서의 주부재 및 부부재의 설계방법은 「KR C-08020 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」을 적용하며, 바닥판 콘크리트의 설계방법은 「KR C-08020의 9. 강도설계법에 따른 하중조합」에 따른다.

(2) 사용재료(재료 일반, 재료의 허용응력, 재료특성 파악)

- ① 「KR C-09010 강교 및 강합성교 재료」에 따라 재료를 선택한다.
- ② 재료의 허용응력은 「KR C-09040 부재의 응력」의 규정을 따른다.
- ③ 설계계산에 사용하는 재료의 물리상수는 「KR C-09010 6. 재료의 특성치」에 따른다.

(3) 설계계산

아치교 각 부재의 설계에 있어서 [철·설 8.3.3 허용응력 설계법에 따른 하중조합]에 규정된 하중조합에 의해 발생하는 응력이 구조형식에 따라 규정된 허용응력 이하인지를 검사하는 것으로 한다.

2. [단계 1] 설계조건 및 표준단면 결정

2.1 교량 제원 결정

가설되는 교량의 제원을 파악하고 선로등급에 따라 표준활하중을 적용하여 교량을 설계한다. 도상의 유무 및 종류, 입지조건, 주변 환경과의 조화 등 여러 설계조건을 종합적으로 고려하여 교량의 제원, 형식 등을 적절히 선정하여 설계 한다.

2.2 사용재료 선정

「KR C-09010 강교 및 강합성교 재료」에 따라 사용재료를 선택한다.

2.3 설계하중 선정

아치교의 설계에는 [철·설 8.2.1 하중의 종류]에 규정된 주하중, 부하중, 주하중에 상당하는 특수하중, 부하중에 상당하는 특수하중에 대하여 고려하여야 한다.

2.4 표준단면 가정

- (1) 교량의 형식 및 용도에 따라 교량폭이 결정되면, 아치리브, 라이즈비 및 보강형수를 결정한다. 또 한 지간장별 작용하중에 저항하는 최적의 주부재크기(폭, 높이)뿐만 아니

- 라, 가설지의 지형을 고려하여 차량운반이 가능한 주부재의 크기도 함께 검토한다.
- (2) 상·하부 플랜지 및 복부, 가로보 및 세로보 단면의 결정은 「KR C-09080 3. 플랜지」 및 「KR C-09040 3.4 전단력과 휨모멘트」에 따른다.
- (3) 보강재의 간격 및 단면의 결정은 「KR C-09020 9.4 수평보강재」에 따른다.
- (4) I형 단면 보강형의 경우 일반적으로 휨에 의한 플랜지의 응력이 지배적이고, 복부판의 단면적을 적게 하는 것이 효율적인 단면을 얻게 된다. 따라서 주부재의 개수는 적고 주부재 간격이 넓은 편이 경제적이라고 할 수 있다. 보강형의 간격은 철근콘크리트 바닥판의 하중이 세로보→가로보→보강형→아치리브로 전달되는 경로를 거치게 되므로, 그 폭을 최대한 넓혀서 최소 개수로 배치하는 경우가 많다.
- ① 활하중 재하위치(선로 위치)를 고려한다.
 - ② 외측 주거더와 내측 주거더의 하중부담의 균형을 고려한다.
 - ③ 바닥판 돌출부의 휨모멘트와 바닥판 지간 중앙의 휨모멘트를 될 수 있는대로 비슷하게 한다.
 - ④ 배수구, 부설재 등이 장애가 되면 안 된다.
- (5) 복부판의 경제적 높이는 보강형 간격, 사용강재의 종류에 따라서도 다르며, 일반적으로 다음 사항을 고려하여 결정 한다.
- ① 소요 보강형 하부 공간과 계획노면 높이의 관계
 - ② 경제적 보강형 높이
 - ③ 복부판 높이와 복부판 두께에 관한 설계기준 규정
 - ④ 플랜지 폭, 플랜지 단면적
 - ⑤ 수송상의 제한

3. [단계 2] 바닥판 설계

☞ KR C-09100 Truss교 편 참조

- (1) 바닥판 지간 및 두께 산정
- ① 적용범의는 변장비가 1:2 이상인 철근콘크리트 바닥판으로 한다.
 - ② 바닥판의 지간은 「KR C-09050 2.4.2 바닥판의 지간」에 따라 결정하며, 단면가정을 위한 철근콘크리트 바닥판의 최소두께는 「KR C-09050 2.4.3 바닥판의 최소두께」에 따른다.
- (2) 바닥판 설계휨모멘트 산정(고정하중·활하중 산정, 충격계수 산정)
- ① 바닥판 단면검토를 위한 고정하중 및 활하중의 적용은 「KR C-08020 3.2 고정하중」 「KR C-08020 4. 운행하중」, 그리고 「KR C-09090 9.바닥판」에 따른다.
 - ② 충격하중은 「KR C-08020 4.4 표준열차하중에 대한 동적 효과」에 의해 산정된 충격계수를 활하중에 곱한 값으로 한다.



(3) 바닥판 단면 설계(주철근 및 배력철근량 산정)

- ① 주철근량 및 배력철근량의 산정은 「KR C-09050 2.4.5 구조상세」에 따라 철근의 지름, 덮개, 주철근 및 배력철근의 간격 등의 규정을 만족하도록 설계한다
- ② 합성거더인 경우의 바닥판 설계는 「3.1항」에 제시된 것 외에 「KR C-09090 9. 바닥판」의 규정도 만족하도록 설계한다.

(4) 사용성 검토(철근 간격 검토)

- ① 인장철근의 간격제한으로 균열을 제한하기 위하여 다음 식을 사용한다([콘크리트설계기준 6.3.3, 6.3.4] 참조).

$$s = 375 \times \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5c_c$$

$$s = 300 \times \left(\frac{210}{f_s} \right)$$

4. [단계 3] 아치리브 및 보강형 설계

4.1 하중산정

- (1) 주부재의 설계를 위한 고정하중은 「KR C-08020 3. 영구하중」에 따라 합성전 고정하중과 합성후 고정하중을 구분하여 산정한다.
- (2) 활하중은 「KR C-08020 4. 운행하중」에 따라 [KRL-2012](#) 하중재하를 적용하며, 충격하중은 「KR C-08020 4.4 [표준열차하중에 대한 동적효과](#)」에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다.
- (3) 교량상의 궤도가 일부 또는 전구간에 걸쳐 곡선부를 갖는 경우 「KR C-08020 4.8 원심하중」에 의해 계수를 곱하여 활하중의 원심하중을 고려한다.
- (4) 장대레일 설치시 「KR C-08020 5. 기타하중」에 의해 레일 종하중을 고려한다.
- (5) 차량 횡하중, 시동하중 또는 제동하중 및 풍하중의 부하중은 「KR C-08020 4. 운행하중」에 의해 결정된다.
- (6) 설하중, 지반변동의 영향 및 지점이동의 영향의 주하중에 상당하는 특수하중은 「KR C-08020 6. 특수하중」에 의해 결정된다.
- (7) 온도변화의 영향, 지진의 영향, 가설시 하중, 충돌하중 및 기타하중의 부하중에 상당하는 특수하중은 「KR C-08020 5. 기타하중」에 의해 결정된다.

4.2 구조물 모델링

- (1) 교량의 상부는 아치리브 및 각 보강형, 가로보, 세로보를 격자형태로 모델링하며 평면 곡선 및 Skew 효과를 고려한 3차원 모델링을 한다. 이때 보강형이 합성형일 경우 보강형 및 가로보는 상부 바닥판의 단면 강성도 고려한다.

- (2) 고정하중은 주부재의 강재 자중 및 콘크리트 바닥판의 자중을 고려하며, 바닥판 자중은 2차원 모델을 사용하여 거더에 반력으로 산정한 후 그 반력을 3차원 상부 모델에 재하한다.
- (3) 활하중은 각 보강형 혹은 세로보에 편심하중으로 재하하며 시간별 및 선로별로 가장 불리한 하중조합을 도출한다. 열차하중의 재하는 콘크리트 슬래브에 의한 하중의 횡분배 효과를 고려하여 최대 불리한 하중조합의 경우에 대하여 부재를 설계한다.

4.3 단면계수 산정

비합성 단면은 강재의 단면을 산정하고, 합성보강형 교량인 경우 각 단면에 대하여 합성전, 합성후로 나누어 시공단계에 합당한 단면계수를 산정한다.

4.4 응력조합 및 합성응력 검토

- (1) 거더단면의 응력은 탄성이론에 따라 평면 상태를 유지하는 것으로 하여 검토한다. 아치교의 경우 일반 플레이트 거더교와는 달리 축방향력을 받으므로 응력을 검토하고, 좌굴안정성을 검산한다.
- (2) 플레이트 거더에서 휨에 의한 전단응력의 단면내 분포는 플레이트 거더와 같은 얇은 단면의 경우, 전단력이 각 부재의 중앙선에 대하여 흐른다는 전단류(剪斷流) 이론에 의한 것을 엄밀해로 본다. 그러나 플레이트 거더의 경우는 전단력의 대부분을 복부판에서 받아 지지하고, 복부판내에는 응력분포가 균일하게 분포되므로 「KR C-09040 2.4 부재의 전단응력」에 따라 산정하도록 한다.
- (3) 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 휨모멘트의 전단력과 합성응력 검토」에 따라 합성 응력을 검토한다.
- (4) 1개의 아치구조당 고정하중이 큰 경우 변위의 영향을 고려하여 주구조를 설계하여야 하며, 변위의 영향을 고려하는 경우에는 극한강도의 검사도 수행한다. 그리고, 아치리브 간격이 지간에 비하여 작은 아치교에서는 면외좌굴에 대하여 안전한가를 조사한다.
- (5) 행거 또는 지주는 아치면내 방향에 대하여 편이라고 가정하여도 된다. 또한, 보강형 혹은 아치리브에 연결시키는 세부구조의 설계에 있어서는 연결부에 응력집중이나 2차 응력의 발생으로 인한 결함이 생기지 않도록 한다.



5.[단계 4] 가로보 설계

5.1 하중 산정

- (1) 가로보 설계를 위한 고정하중은 「KR C-08020 3. 영구하중」에 따라 산정한다.
- (2) 활하중은 「KR C-08020 4. 운행하중」에 따라 [KRL-2012](#) 하중재하를 적용하며, 충격하중은 「KR C-08020 4.4 [표준열차하중에 대한 동적효과](#)」에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다.
- (3) 기타 가로보에 작용하는 하중에 대해서는 「KR C-08020 하중」에 따라 산정한다.

5.2 휨/전단응력 검토

휨모멘트에 의한 플레이트 거더단면의 휨응력은 「KR C-09040 2.2 부재의 휨응력」에 따라 산정하며, 복부판의 휨에 따르는 복부판의 전단응력은 「KR C-09040 2.4 부재의 전단응력」에 따라 산정한다.

5.3 합성응력 검토

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 합성응력의 계산」에 따라 합성응력을 검토한다.

6. [단계 5] 이음 설계

6.1 용접이음방법 결정

응력을 전달하는 용접이음에는 전단면(全斷面) 용입홈용접, 부분 용입홈용접 또는 연속 필릿용접을 쓰도록 하며, 용접이음 방법의 결정은 [철·철 9.8.2 용접이음]에 따르도록 한다.

6.2 용접 목두께 및 유효길이 결정

- (1) 응력을 전달하는 용접부의 목두께는 「KR C-09060 2.2.2 용접이음의 목두께」에 따라 산정한다.
- (2) 용접부의 유효길이는 이론상의 목두께를 가지는 용접부의 길이로 하며, 「KR C-09060 2.2.3 용접부 유효길이」에 따라 산정하도록 한다.
- (3) 홈용접을 사용한 맞대기 이음은 가능한 한 뒷면용접을 하여 전단면을 용접하도록 하여 「KR C-09060 2.2.4 그루브용접에 의한 맞대기이음」에 따르며, 홈용접의 개선형상은 「KR C-09060 2.2.4 그루브용접에 의한 맞대기이음」에 따른다.
- (4) 필릿용접의 경우 필릿용접 치수, 최소 유효길이, 끝돌림 용접 및 겹침이음은 「KR

C-09060 2.2.6 필렛용접의 치수」, 「KR C-09060 2.2.7 필렛용접의 최소 유효길이」, 「KR C-09060 2.2.8 필렛용접의 끝돌림용접」 및 「KR C-09060 2.2.9 겹침이음」에 따른다.

(5) 필렛용접 또는 부분용입 홈용접을 사용한 T이음은 부재의 양쪽에 해야하며 「KR C-09060 2.2.10 필렛용접 또는 부분용입 홈용접을 사용한 T이음」 규정에 따른다.

(6) 용접과 일반볼트를 병용한 이음에서는 볼트는 응력을 받지 않는 것으로 한다.

6.3 용접이음부 응력 검토

(1) 용접이음에 인장력, 압축력, 또는 전단력이 작용하는 경우 용접부에 발생하는 응력은 「KR C-09060 2.2.11 인장력, 압축력 또는 전단력을 받는 용접이음의 응력」에 따라 산정한다.

(2) 축방향력, 휨모멘트 및 전단력을 동시에 받는 용접이음에서는 「KR C-09060 2.2.12 T형이음의 필렛용접이 휨모멘트와 전단력을 받는 경우의 검토」에 따라 합성응력에 대한 검토가 이루어져야 한다.

6.4 볼트 허용력 산정

볼트의 기본허용응력은 「KR C-09030 6. 볼트」의 규정에 따라 산정한다.

6.5 볼트 및 이음판 설계

(1) 고장력볼트를 사용한 볼트의 설계는 「KR C-09060 2.3 고장력 볼트 및 핀 이음」에 따른다.

(2) 고장력볼트 이음에 있어서 이음판의 설계는 「KR C-09060 2.3.6 이음판의 설계」에 따른다.

6.6 볼트설계시 검토사항

(1) 볼트설계시 인장재 순단면적의 계산은 「KR C-09060 2.3.8 순단면적의 계산」에 따른다.

(2) 볼트의 최소/최대 중심간격은 「KR C-09060 2.3.9 최소 중심간격」 및 「KR C-09060 2.3.10 최대 중심간격」에 따르며, 연단거리는 「KR C-09060 2.3.11 최소 연단거리」 및 「KR C-09060 2.3.12 최대 연단거리」에 따라 검토한다.

(3) 연결하려는 부재 또는 재편 사이에 채움판을 넣을 경우 「KR C-09060 2.3.17 채움판」의 규정에 따라야 한다.

7. [단계 6] 보강재 설계

7.1 수직보강재 설계

(1) 복부판 높이와 복부판 두께가 「KR C-09040 3.4 (3) 중간수직보강재가 없는 복부판



의 최대폭-두께비」에서 규정된 값 이상의 경우에는 복부판에 필히 수직보강재를 설치한다. 수직보강재의 간격은 형고보다 좁게 택하는 것이 보통이고, 수직 브레이싱 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 보강재 간격이 극단적으로 좁게되는 것을 방지한다.
- (3) 수직보강재의 강도는 「KR C-09040 3.4 (6) 중간수직보강재」에 따라 검토되어야 한다.

7.2 수평보강재 설계

- (1) 복부판에는 복부판 두께와 복부판 높이의 관계로부터 계산에 따라 수평보강재를 「KR C-09040 3.4 (5) 수평보강재」에 따라 설치한다. 수평보강재는 복부판의 한쪽에만 배치하고 돌출길이가 수직보강재보다 짧도록 하는 것이 일반적이며, 복부판의 좌굴파형의 마디가 되고 반드시 주거더가 내하력 한계에 이를 때까지 좌굴되지 않을 정도의 강도를 지닐 필요가 있다. 그 필요강도는 「KR C-09040 3.4 (5) 수평보강재」에 따른다.
- (2) 수평보강재의 강재종류는 그 설치 위치의 복부판에 발생하는 최대응력과 같은 응력을 받는 것으로 하여 결정한다. 또한 복부판의 현장이음에서는 수평보강재를 생략할 수 있으며, 보강재의 돌출부와 두께의 관계는 압축력을 받는 자유돌출부의 규정에 따르며, 복부판 응력이 맞은 곳에 설치한 보강재는 복부판 응력과 같은 응력을 받고 있는 것으로 하여 두께를 줄여도 좋다.

7.3 단보강재 설계

지점 및 Jack-up 위치, 가로보·세로보·수직브레이싱 등의 연결부와 같이 하중이 집중되는 점에서는 보강재를 「KR C-09080 4. 하중집중점의 보강재」에 따라 설계한다.

8. [단계 7] 브레이싱 및 다이어프램 설계

8.1 수평브레이싱 설계

- (1) 아치리브 및 보강형에는 상부수평 브레이싱 및 하부수평 브레이싱을 설치한다.
- (2) 적당한 수직 브레이싱 또는 다이어프램이 있는 보강형에서 궤도가 직선인 경우에는 지간 16m 이하, 곡선의 경우에는 지간 12m 이하의 것에 대해 하부 수평 브레이싱을 생략할 수 있다.

8.2 제동 브레이싱의 설계

교량 보강형에는 필요에 의해 제동하중과 시동하중 또는 장대레일에 의한 종하중에 저항하는 제동브레이싱을 설치한다. 제동 브레이싱은 트러스는 신축장치가 없는 연속세로보의 경우에는 세로보 전장의 중앙부에 설치하고 신축장치가 있는 세로보의 경우에는 신축 장치의 좌우측 구간의 중앙부에 각각 설치한다.

8.3 중간수직 브레이싱 및 다이아프램의 설계

- (1) 아치에서는 가능한 한 격점에 수직브레이싱 또는 다이아프램을 설치한다.
- (2) 보강형이 I형단면의 상로플레이트 거더인 경우에는 중간 수직브레이싱 및 다이아프램의 간격은 압축플랜지 폭의 20배 이하, 또는 박스거더단면의 상로플레이트 거더의 경우에는 복부판 중심간격의 4배 이하로 하고 어느 경우에도 8m를 넘지 않도록 한다.

8.4 지점부 단수직 브레이싱 및 다이아프램의 설계

상로아치의 지점부에는 상부 수평브레이싱에 작용하는 전 횡하중을 지점에 전달할 수 있도록 단 수직브레이싱 또는 다이아프램을 설치한다.

8.5 교문 브레이싱의 설계

하로 아치에는 교문 브레이싱을 설치하여 아치리브에 작용하는 전 횡하중을 지점에 전달할 수 있는 구조로 한다. 다만, 교문 브레이싱에는 가급적 큰 니브레이스를 설치한다.

8.6 병렬보의 연결

병렬보를 연결하는 횡방향 연결구조는 휨이나 비틀림에 의해 과도한 응력이 발생하지 않는 강성을 갖고, 휨이나 비틀림의 영향을 적게 받는 힌지 구조로 한다.

9. [단계 8] 전단연결재 설계

9.1 전단연결재 형식 결정

전단연결재의 설계에 있어서 합성효과, 사용장소, 시공의 난이 등을 고려하여 「KR C-09090 10. 전단연결재」 중에서 선택하도록 한다.

9.2 수평전단력 산정

- (1) 전단연결재는 각종 하중의 조합에 의한 강재들보와 바닥판 콘크리트 사이의 전단력이 가장 크게 되는 경우에 대해서 설계한다. 「KR C-09090 10. 전단연결재」
- (2) 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 바닥판 콘크리트와 강재들보의 온도차에 의해 전단연결재에 작용하는 전단력은 「KR C-09090 10. 전단연결재」에 따라 산정한다.

9.3 전단연결재 허용내하력 및 배치



전단연결재의 허용 내하력 및 최대 및 최소간격은 「KR C-09090 10. 전단연결재」의 규정에 따른다.

10. [단계 9] 처짐검토 및 솟음

10.1 활하중에 의한 처짐량 산정

충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)의 처짐량을 산정하도록 한다.

10.2 허용처짐량 산정

충격하중을 포함한 활하중에 대해 산정된 최대 처짐이 「KR C- 08050 처짐」 규정의 허용처짐 이내가 되는지 검토한다.

10.3 구조물의 레일면에서의 부등변위량 검토

구조물 변위에 의한 레일면에서의 어긋남, 평행이동, 꺾임에 대한 검토는 「KR C- 08050 처짐」에 따라 검토한다.

10.4 솟음량 산정

- (1) 지간 30m이상의 교량거더에 대해서는 주거더의 고정하중에 의한 처짐에 대하여 솟음을 둔다.
- (2) 아치교의 솟음량은 고정하중과 [KRL-2012하중](#) 또는 [EL하중](#)을 고려한다. 단, 열차하중에 대한 솟음은 무도상 개상식일 경우만 고려한다.
- (3) 압연강재 거더에서의 솟음은 두지 않으며, 조립 및 시공 중 부득이하게 발생한 솟음은 상향이 되도록 한다.

11. [단계10] 피로 검토

11.1 발생변동응력 계산

활하중에 의해 발생하는 최대응력과 최소응력의 대수차인 응력범위를 산출한다.

11.2 응력반복횟수 산정

응력반복횟수는 「KR C- 08050 처짐」에 따라 산정하도록 한다.

11.3 응력범주 산정

응력의 종류 및 범주는 「KR C- 09030 5. 허용피로응력」의 <표 10>에 따라 적용한다.

11.4 재하경로 판단

단재하 및 다재하 경로 구조물의 결정은 「KR C- 09030 5. 허용피로응력」에 따른다.

11.5 허용피로응력 산정

부재의 허용피로응력은 「KR C- 09030 5. 허용피로응력」에 따라 산정하도록 한다.

12. [단계 11] 신축량 산정

12.1 신축이음부 설계

「KR C- 08100 3.5 이동량 계산」 규정에 따라 신축이음장치를 결정한다.

13. [단계 12] 동적검토

13.1 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 수행한다.

동적해석 시 하중 재하는 단선, 복선교량에 관계없이 궤도 중심에 따른 단선재하를 하며, 동적해석은 「KR C- 08070 3. 주행안전성 및 승차감 검토를 위한 절차 및 방법」에 따라 수행하도록 한다.

13.2 상판수직 가속도 검토

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

13.3 먼들립 검토

동적해석에 의한 먼들립은 「KR C- 08070 4.3 먼들립」 규정의 제한치 이내가 되는지 검토한다.

13.4 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.

13.5 수직 변위 검토

동적해석에 연직처짐량 검토시에는 「KR C- 08070 4.2 교량의 연직처짐」에 의한 하중조합을 적용하며, <표 5. 최대연직처짐재하>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 둠.

Rev.1('14.1.?) 철도의 건설기준에 관한 규정(국토교통부고시제2013-236호, '13.5.16) 및 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영