

KR C-09120

Rev.0, 5. December 2012

# 라멘구조

2012. 12. 5



한국철도시설공단

## REVIEW CHART

[illegible]

## 경 과 조 치

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

## 일 러 두 기

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

# 목 차

1. 용어의 정의 .....	1
2. 일반사항 .....	2
3. 설계일반 .....	3
3.1 모서리부의 설계 .....	3
3.2 기둥 기초부의 설계 .....	8
4. 구조상세 .....	10
4.1 부재 .....	10
4.2 맨홀 .....	12
4.3 교량받침 .....	12
5. 라멘의 전체좌굴 .....	12
6. 방식 .....	13
 해설 1. 설계일반사항 .....	 14
1. 강교각의 일반사항 .....	14
1.1 개 요 .....	14
1.2 교각형식 및 단면형상 .....	14
2. 내진 설계 .....	15
2.1 설계지반운동 .....	15
2.2 지진력처리방법 검토 .....	17
2.3 해석방법의 선택 .....	18
2.4 해석모델의 작성 .....	21
2.5 설계지진력 결정 .....	22
3. 하중조합, 구조해석, 유효폭 및 유효좌굴 .....	23
3.1 하중조합 .....	23
3.2 구조해석 .....	25
3.3 유효폭 및 유효좌굴길이 산정 .....	26
4. 부재의 설계 .....	28
4.1 보 및 기둥부재의 설계 .....	28
4.2 접합부의 설계 .....	31
4.3 접합부의 다이어그램 .....	39
4.4 기둥기초부의 설계 .....	40
5. 받침의 설치 .....	47



6. 구조상세 .....	48
6.1 다이어그램 설계(하중집중점) .....	48
6.2 보강재 설계 .....	48
6.3 플랜지와 복부판의 용접설계 .....	51
6.4 이음, 처짐검토 .....	52
<b>해설 2. 설계흐름도의 구성 .....</b>	<b>56</b>
1. 주설계단계 .....	56
2. [단계 1] 10.1 설계 조건 .....	57
3. [단계 2] 하중의 산정 및 내진설계 .....	57
4. [단계 3] 하중조합 및 단면력 산정 .....	58
5. [단계 4] 보 및 기둥부재의 설계 .....	58
6. [단계 5] 접합부 설계 .....	59
7. [단계 6] 기둥기초부 설계 .....	59
8. [단계 7] 받침부 설계 .....	60
9. [단계 8] 상세설계 .....	60
10. [단계 9] 처짐검토 및 솟음 .....	61
<b>해설 3. 설계단계별 고려사항 .....</b>	<b>62</b>
1. [단계 1] 단면제원 가정 및 단면제상수 산정 .....	62
1.1 [단계 1-1] 교각의 제원 결정 .....	62
1.2 [단계 1-2] 사용재료 선정 .....	62
1.3 [단계 1-3] 설계하중 결정 .....	62
1.4 [단계 1-4] 표준단면 가정 .....	62
1.5 [단계 1-4] 단면 제상수의 산정 .....	63
2. [단계 2] 하중의 산정 및 내진설계 .....	63
2.1 [단계 2-1] 상시 해석 및 단면력 산정 .....	63
2.2 [단계 2-2] 내진구조계획 .....	62
2.3 [단계 2-3] 지진력처리방법 검토 .....	64
2.4 [단계 2-4], [단계 2-5] 해석방법의 선택 및 해석모델의 작성 .....	64
2.5 [단계 2-6] 내진 해석 및 설계지진력 산정 .....	64
3. [단계 3] 하중조합 및 설계단면력 산정 .....	64
4. [단계 4] 보 및 기둥부재의 설계 .....	64
4.1 [단계 4-1] 면내·면외의 유효폭 산정 .....	64
4.2 [단계 4-2] 유효좌굴길이 산정 .....	64
4.3 [단계 4-3] 단면가정 및 단면상수 산정 .....	64
4.4 [단계 4-4] 보 및 기둥부재 응력검토 .....	65
4.5 [단계 4-5] 변형성능 검토 .....	65

4.6 [단계 4-6] 보강재 및 다이어프램 설치 .....	65
5. [단계 5] 접합부의 설계 .....	65
5.1 [단계 5-1] 작용단면력 결정 .....	65
5.2 [단계 5-2] 접합부의 범위 결정 .....	65
5.3 [단계 5-3] 접합부의 응력 산정 .....	65
5.4 [단계 5-4] 접합부의 다이어프램 설계 .....	64
6. [단계 6] 기둥기초부의 설계 .....	66
6.1 [단계 6-1] 작용단면력 결정 .....	66
6.2 [단계 6-2] 앵커볼트 응력 검토 .....	66
6.3 [단계 6-3] 베이스플레이트 응력 검토 .....	66
6.4 [단계 6-4] 앵커프레임의 응력검토 .....	66
7. [단계 7] 받침부 설계 .....	66
7.1 [단계 7-1] 받침블록 형상결정 .....	66
7.2 [단계 7-2] 최소두께 결정 .....	66
7.3 [단계 7-3] 받침 블록 연결방법 결정 .....	66
7.4 [단계 7-4] 용접부 및 볼트설계 .....	67
8. [단계 8] 상세설계 .....	67
9. [단계 9] 처짐검토 및 솟음 .....	67
<b>RECORD HISTORY</b> .....	<b>68</b>

## 1. 용어의 정의

- (1) 강축 : 부재의 단면상에서 휨에 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. 휨을 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 : 필렛용접의 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 겹 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) 스캘럽 : 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 휨에 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) 필렛용접 : 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 절은 라멘구조를 사용하는 교량의 상부구조 및 강교각의 설계에 적용한다.
- (2) 구조해석에 이용하는 골조선은 부재중심선으로 하며, 라멘의 계산에 있어서는 각 부재마다 강도를 가정하여 단면력을 산출한다.
- (3) 라멘교각을 설계할 때의 활하중은 상부구조의 반력이 라멘의 고려하는 점에 대해서 가장 불리하게 되도록 상부구조에 재하해야 하며, T형교각의 경우에는 상부구조의 활하중에 의한 최대 반력을 사용한다. 이때 상부구조가 라멘교각상에서 연속구조가 아닌 경우 인접하는 두개의 상부구조에 작용하는 활하중에 의한 지점반력 가운데 고려하는 점에 큰 영향을 주는 쪽을 사용한다.
- (4) 라멘구조의 설계에서는 활하중에 의한 충격을 고려해야 한다. 또한 라멘구조를 지지하는 기초구조의 회전이나 상대적 이동이 예상되는 경우 그 영향을 고려해야 한다.
- (5) 기호

$f$  = 전단지연을 고려한 수직응력(MPa)

$f_a$  = 허용인장응력(MPa)

$v$  = 작용전단응력(MPa)



- $v_a$  = 허용전단응력(MPa)  
 $t_f$  = 거더의 플랜지 두께(mm)  
 $t_{dw}$  = 다이아프램의 복부판 두께(mm)  
 $t_{df}$  = 다이아프램의 플랜지 두께(mm)  
 $t_b$  = 베이스 플레이트의 판두께(mm)  
 $A_1, A_2$  = 거더 및 기둥의 단면적(mm<sup>2</sup>)  
 $W_1, W_2$  = 거더 및 기둥의 단면계수(mm<sup>3</sup>)

### 3. 설계일반

#### 3.1 모서리부의 설계

##### 3.1.1 설계휨모멘트

- (1) 모서리부에 작용하는 휨모멘트는 <그림 1>의 A-A 단면에 대해  $M_1$ , B-B 단면에 대해  $M_2$ 를 사용하여 단면을 결정해야 한다.

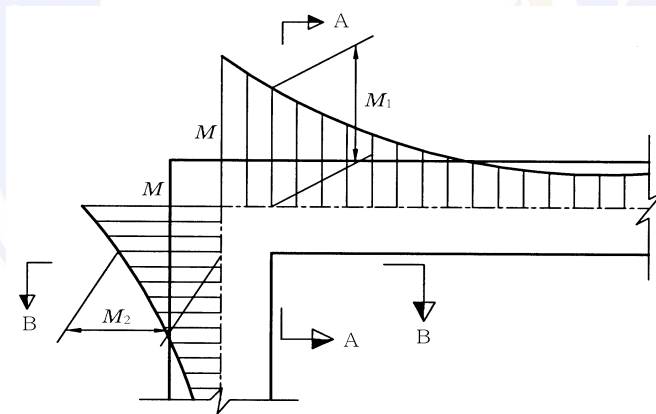


그림 1. 모서리부의 설계휨모멘트

##### 3.1.2 모서리부 응력의 검토

- (1) 플랜지 단면은 전단지연을 고려한 수직응력에 대하여 설계해야 한다. 또한 수직응력은 플랜지와 복부판이 분담하는 것으로 해야 한다. 다만, 원형 단면의 기둥과 박스형 단면의 거더 모서리부는 복부판을 끼워 넣지 않는 것으로 하고 수직응력은 플랜지 단면만으로 부담하도록 설계한다.
- (2) 거더 또는 기둥 플랜지의 수직응력은 <그림 2>의 AD 또는 AB부분에서 전단응력의 부호가 바뀌기 때문에 집중하중을 받는 것과 동일한 조건이 되고 전단지연에 의한 응력의 증가를 고려하여 결정한다.



(3) 플랜지의 최대수직응력은 휨모멘트와 축력에 의한 수직응력과 전단지연에 의한 수직응력을 합한 값이며 다음의 방법에 의해 구한다.

① 휨모멘트와 축력에 의한 수직응력

$$\left. \begin{aligned} f_{o1} &= \frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1}, & f_{i1} &= -\frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1} \\ f_{o2} &= \frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2}, & f_{i2} &= -\frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

② 전단지연에 의한 수직응력

$$\left. \begin{aligned} f_{sl} &= \frac{b}{d} \cdot \frac{F}{A_w} \cdot S_I \\ S &= \frac{A_w}{A_f} \\ S_I &= 7.805 \times \frac{S}{(S+3)^2} \sqrt{\frac{10S+30}{10S+3}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

③ 플랜지의 최대수직응력

$$f_{f \max} = f_{bc} + f_{sl} \quad (3)$$

여기서,  $M_1, M_2$  : 거더 및 기둥에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

$N_1, N_2$  : 거더 및 기둥에 작용하는 축방향력(N)

$V_1, V_2$  : 거더 및 기둥에 작용하는 전단력(N)

$f_{bc}$  :  $f_{o1}, f_{o2}, f_{i1}, f_{i2}$ 의 응력 즉, 거더와 기둥의 외측 및 내측 플랜지의 휨모멘트 및 축방향력에 의한 응력(MPa)

$f_{sl}$  : AD 및 AB 단면의 전단지연에 의한 플랜지 응력(MPa)

$f_{f \max}$  : 거더 및 기둥의 플랜지 최대응력(MPa)

$A_f$  : 거더 및 기둥의 플랜지 단면적(상 · 하 동일 플랜지의 전체면적)(mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 거더 및 기둥의 복부판 단면적(좌 · 우 복부판의 전체면적)(mm<sup>2</sup>)

$S_I$  :  $S$ 에 대한 값으로 <식 (2)> 또는 <그림 3>으로 부터 구해야 한다.

$b$  : 복부판 중심간격(mm)

$d$  : 거더 및 기둥의 플랜지 중심간격(mm)

$F$  : 플랜지의 집중력<그림 2>으로 거더의 전단지연응력은 기둥의 것을, 기둥의 전단지연응력은 거더의 것을 사용해야 한다.

$$\left. \begin{aligned} F_{o1} &= \frac{M_1}{d_1} - \frac{N_1}{2}, & F_{i1} &= \frac{M_1}{d_1} + \frac{N_1}{2} \\ F_{o2} &= \frac{M_2}{d_2} - \frac{N_2}{2}, & F_{i2} &= \frac{M_2}{d_2} + \frac{N_2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

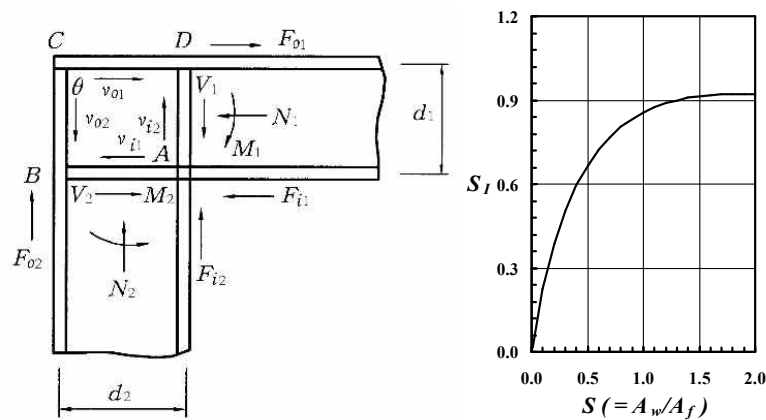
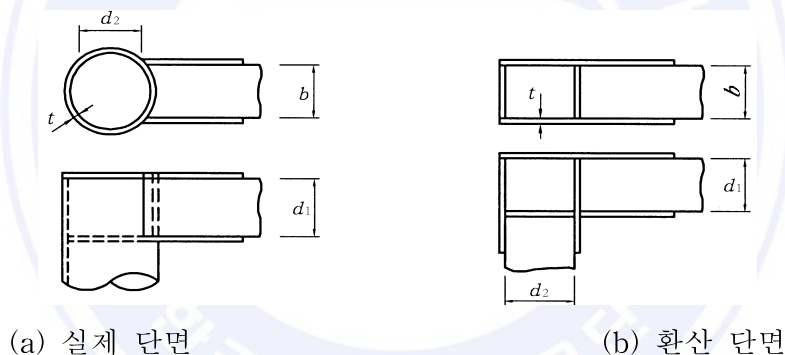


그림 2. 모서리부에 작용하는 외력

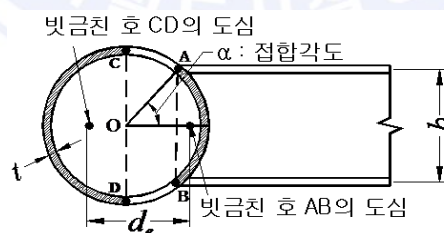
그림 3. 전단지연의 추정도

<그림 4(a)>과 같은 원형 단면의 기둥과 박스형 단면의 거더로 구성된 모서리부에서 거더 플랜지의 전단지연에 의한 응력은 원형 기둥을 <그림 4(c)>의 개념을 이용, <그림 4(b)>에 나타낸 것과 같은 박스형 단면으로 환산하여 <식 (2)>에 의해 계산한다.



(a) 실제 단면

(b) 환산 단면



(c)  $d_e$ 의 산정방법

$$(d_e = 2R/\pi + R\sin(\alpha)/\alpha)$$

그림 4. 원형 기둥의 모서리부

복부판의 판두께는 전단응력에 의해 결정한다. 다만 L. S. Beedle의 방법으로 전단응력으로 검토시 허용전단응력  $v_a$ 를  $0.45f_{ta}$  이하로 할 수 있다. 복부판의 최대전단응력을 상세해석에 의해 산출한 경우는 허용전단응력 KR C-09030의 2항에 규정된



$v_a$  이하가 되도록 한다.

복부판의 전단응력은 <식 (5)>에 따라 구한다.(<그림 2> 참조)

$$\left. \begin{aligned} v_{o1} &= \frac{F_{o1}}{2d_2t} \\ v_{i1} &= \frac{F_{i1} - V_2}{2d_2t} = v_{o1} \\ v_{o2} &= \frac{F_{o2}}{2d_1t} \\ v_{i2} &= \frac{F_{i2} - V_1}{2d_1t} = v_{o2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

여기서,  $F_{o1}, F_{i1}$  : 기둥에 작용하는 보의 플랜지로부터의 집중력(N)

$F_{o2}, F_{i2}$  : 보에 작용하는 기둥의 플랜지로부터의 집중력(N)

$v_{o1}, v_{i1}, v_{o2}, v_{i2}$  : 모서리부의 전단응력(MPa)

$t$  : 모서리부의 복부판 두께(mm)

플랜지 및 복부판 단면은 <식 6>에 따라 합성응력을 검토해야 한다.

$$\left( \frac{f}{f_a} \right)^2 + \left( \frac{v}{v_a} \right)^2 \leq 1.0 \quad (6)$$

여기서,  $f$  : 전단지연을 고려한 수직응력(MPa)

$v$  : 플랜지 단면에 대해서는 전단류이론에 의해 구한 전단응력,  
복부판에 대해서는 L. S. Beedle의 방법에 의해 구한 전단응력(MPa)

$f_a$  : KR C-09030의 4항에 규정된 허용인장응력

$v_a$  : KR C-09030의 4항에 규정된 허용전단응력 또는  $0.45f_{ta}$

### 3.1.3 다이아프램

- (1) 다이아프램의 최소판두께  $t_{dw}$ 는 박스형보 하부플랜지 판두께  $t_f$  이상으로 하고, 재질은 거더 플랜지의 재질과 동일한 것으로 할 때, 다이아프램의 두께는 <식 (7)>로 구할 수 있다. 원형 단면 기둥 모서리부의 다이아프램 규격은 응력검토 결과에 따라 정하는 것을 원칙으로 하나, <식 (7)>을 적용하거나, (3).항의 조건을 만족할 경우에는 다이아프램의 응력계산을 생략할 수 있다.

$$t_{dw} = t_f \cdot \left[ 1.8 \cdot \left( \frac{R-r}{R} - 1 \right)^4 + 1 \right] \quad (7)$$

$$\text{단, } \frac{R-r}{R} \geq 0.25$$

- (2) 박스형 단면 모서리부의 다이아프램에는 모서리부의 플랜지와 동일 두께 이상의 판을 사용해야 한다. 또한 모서리부의 다이아프램에 맨홀을 설치할 경우, 단면의 중앙부근에 설치하고 단면손실분을 다이아프램의 두께를 증가시키거나 리브를 설치하여 보강하며, 이 리브와 다이아프램의 필렛용접은 응력을 전달할 수 있을 만큼 충분한 크기를 확보해야 한다.
- (3) 원형 단면 모서리부의 다이아프램 규격에 대한 경험적인 방법으로 다음 조건을 만족할 경우 응력검토를 생략할 수 있다. 이때 재질은 거더 플랜지의 재질과 동일 이상의 것으로 한다.

- ①  $R \leq 1,500\text{mm}$
- ②  $t_f \leq 25\text{mm}$
- ③  $r \leq R/2$
- ④  $t_{dw} \geq t_f$  및  $t_{dw} \geq b_{dw}/17$
- ⑤  $t_{df} \cdot b_d \geq 250t_f$

여기서,  $R$  : 원형 기둥의 반경(mm)

$r$  : 맨홀의 반경(mm)

$t_f$  : 거더의 플랜지 두께(mm)

$t_{dw}$  : 다이아프램의 복부판 두께(mm)

$t_{df}$  : 다이아프램의 플랜지 두께(mm)

$b_d$  : 다이아프램의 플랜지 폭(mm)

$b_{dw}$  : 다이아프램의 복부판 높이(mm)

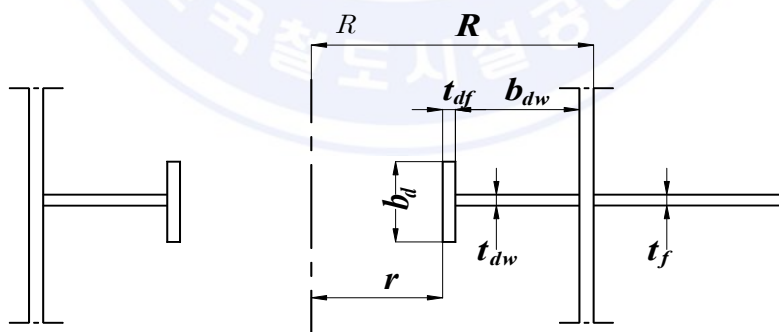


그림 5. 원형 기둥의 다이아프램

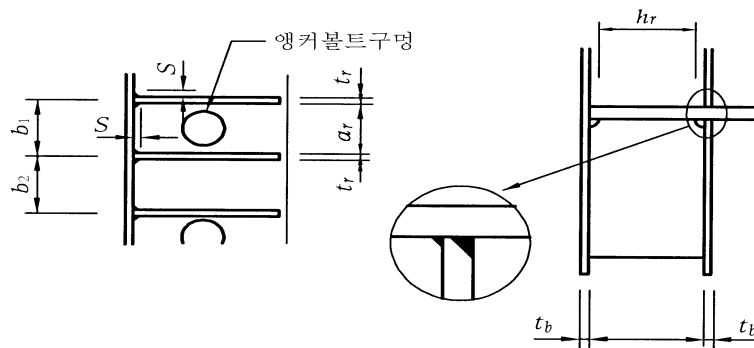


그림 6. 리브의 설치

### 3.2 기둥 기초부의 설계

- (1) 교각 기둥 기초부의 설계에 있어서 베이스 플레이트 하면의 콘크리트는 압축력에 저항하고, 인장력에 대해서는 앵커볼트 및 앵커프레임으로 저항하도록 설계한다.
- (2) 베이스부의 설계
  - ① 앵커볼트의 인장응력 및 콘크리트의 압축응력은 합성단면의 중립축 위치를 고려하여 계산하며, 원형단면의 경우는 속빈 원형단면의 콘크리트 부재의 설계계산식을 이용하여 구한다.
  - ② 기둥 기초부에 작용하는 수평력은 앵커볼트로 저항하는 것으로 하며, 그 전단력은 모든 앵커볼트에 균등하게 분포하는 것으로 한다.
  - ③ 베이스 플레이트의 두께 결정 - 베이스 플레이트의 설계는 특별히 엄밀한 해석을 행하지 않을 경우에는 <식 (8)>에 의해 구한다.

$$m = k \beta p a_r^2 \quad (8)$$

여기서,  $m$  : 베이스 플레이트가 받는 휨모멘트(N · mm/mm)

$k$  : 계수, 앵커볼트 구멍이 있는 구획에 대해  $k=1.7$ , 앵커볼트 구멍이 없는 구획  $k=1.0$

$p$  : 베이스 플레이트에 작용하는 최대등분포압축력(MPa)

$a_r$  : 리브의 내측간격(mm)

$\beta$  : 계수 <표 1>

$$t_b > \sqrt{\frac{6m}{f_{sa}}} \quad (9)$$

여기서,  $t_b$  : 베이스 플레이트의 판두께(mm)  $\geq 25$ mm

또한 앞 식에 의해 결정되는 판두께에 대해서는 전단응력에 대한 검토를 해야 한다. 베이스 플레이트에 작용하는 전단력( $q$ )은

$$q = k \alpha p a_r \quad (10)$$

여기서,  $\alpha$  : 계수 <표 2>

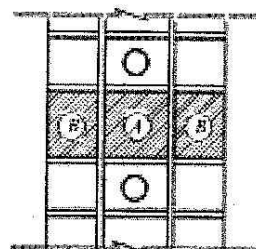
표 1. 휨에 대한 계수( $\beta$ )

$b/a$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5이상
$\beta$	0.0728	0.0764	0.0793	0.0817	0.0834	0.0847	0.0823

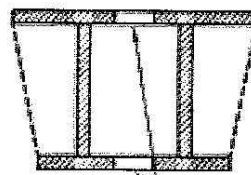
표 2. 전단력에 대한 계수( $\alpha$ )

$b/a$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5이상
$\alpha$	0.750	0.717	0.685	0.656	0.628	0.570	0.527

- ④ 상하 베이스 플레이트 사이에는 리브를 설치하며, 리브의 판두께는 앵커볼트로 부터의 압축력, 전단력, 그리고 편심에 의한 휨모멘트를 검토하여 결정한다.
- (3) 앵커프레임의 설계
- ① 앵커프레임은 베이스부로부터 작용하는 힘을 확실하게 기초 콘크리트에 전달할 수 있도록 설계한다.
  - ② 앵커프레임에는 앵커볼트 위치를 지점으로 한 연속 거더로서의 응력이 작용하고 앵커프레임의 상부 플랜지에는 콘크리트의 지압에 의한 판으로서의 응력이 작용하는 것으로 가정한다.
  - ③ 앵커프레임에 작용하는 볼트축력은 복부판과 다이아프램의 지압에 의해 받는 것으로 해야 한다. 이 때 다이아프램의 간격은 너트의 마주보는 면사이의 거리 중에서 작은 것으로 한다.
  - ④ 플랜지 판두께
- 가. 판구조에 대한 계산 - <그림 7(a)>에 있어서 콘크리트의 지압을 검토할 경우, ㉠ 부분은 4변-고정으로 ㉡부분은 3변-고정, 1변-자유인 판으로 보고 응력검토를 한다.



(a) 판구조



볼트구멍공제

(b) 거더구조

그림 7. 앵커프레임의 구조





- 나. 거더구조에 대한 계산 - 콘크리트의 지압에 대해서 볼트위치를 지점으로 고려하여 거더의 휨모멘트를 계산하고, 그에 따른 앵커빔 단면의 휨에 대하여 응력을 검토해야 한다. 이때 <그림 7(b)>에서와 같이 볼트구멍을 공제한 사선부분의 단면만을 고려한다.
- 다. 합응력 - 콘크리트의 지압을 받는 플랜지의 판두께는 가항과 나항에서 계산한 응력의 합으로 검토하여 판두께를 결정한다.
- 라. 전단저항면 - 인장력을 받는 앵커볼트군의 인발력에 대해서는 콘크리트의 전단저항면을 고려해야 한다. 이 때 콘크리트의 허용전단응력은 주하중에 대해서  $v_a = 0.5\text{MPa}$ 로 해야 한다.

## 4. 구조상세

### 4.1 부재

#### 4.1.1 거더 및 기둥

- (1) 부재의 판두께 변화는 <그림 8>에서 보는 바와 같이 화살표(⇔) 방향으로 변화를 주는 것을 표준으로 하며, 거더 및 기둥의 단면변화수는 설계조건과 경제성을 고려하여 적절하게 산정해야 한다. 또한 단면이 변할 때 인접하는 단면의 판두께 차이는 최대 12mm를 기준으로 하고 모서리부로부터 일반 단면으로 이동하는 곳은 부득이한 경우 최대 20mm까지 허용한다.

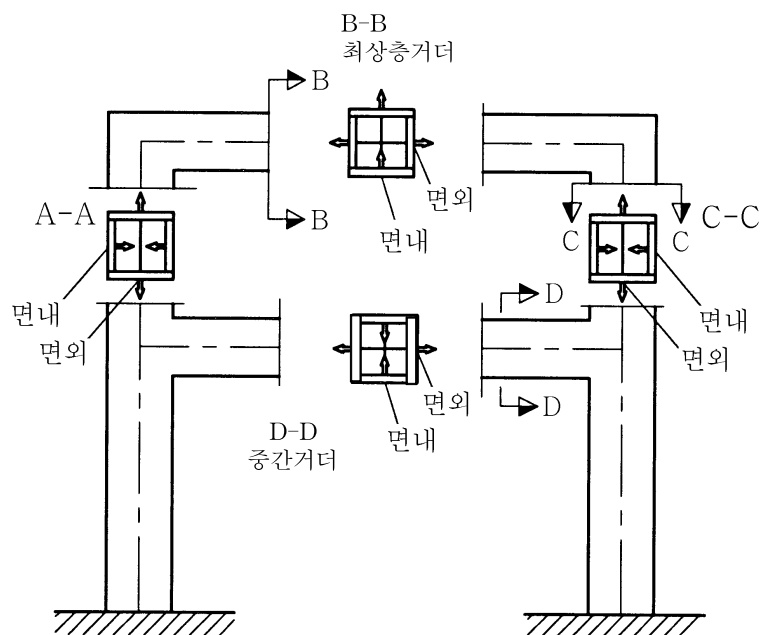


그림 8. 판두께 변화의 방향

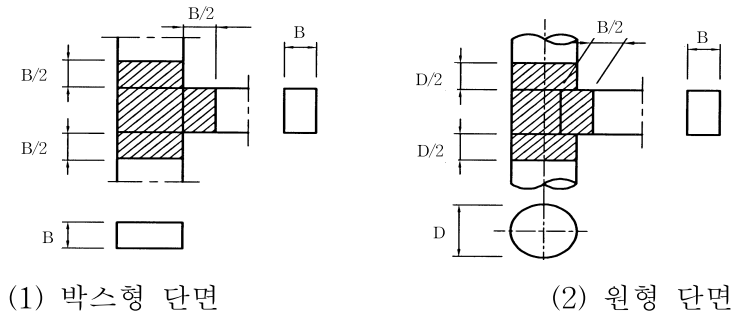


그림 9. 모서리부의 범위

(2) 모서리부 단면으로부터 일반부 단면으로 이동하는 위치는 박스형 단면의 경우 모서리부로부터 거더의 복부판 간격의 1/2 이상, 원형 단면의 경우 외경의 1/2 이상 떨어진 지점으로 한다.(<그림 9> 참조)

(3) 기둥부재로 원형 단면을 사용하는 경우 기둥의 외경은 1m 이상으로 한다.

#### 4.1.2 베이스부

(1) 베이스 플레이트의 두께는 25mm 이상이어야 한다.

(2) 와셔의 두께는 22mm를 표준으로 한다.

(3) 앵커볼트의 지름은 50mm 이상이어야 한다.

(4) 와셔의 지름은 앵커볼트 지름의 2배 정도로 한다.

(5) 기둥의 외측 연단과 앵커볼트 중심까지의 거리는 200mm 이상이어야 한다.

#### 4.1.3 앵커프레임

앵커프레임과 베이스부 사이에는 설치시 높이조정이 가능하도록 최소로 필요한 범위 내로 적절한 높이조절용 장치를 설치하는 것을 고려한다.

#### 4.1.4 다이아프램

(1) 상부구조 교량받침부에는 상부반력을 전달하기에 충분한 강성을 갖는 다이아프램을 설치한다.

(2) 교량받침부 이외의 일반부에 있어서는 5m 이내의 간격으로 중간다이아프램을 설치하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 원형 단면 기둥의 경우 외경의 3배 이내로 설치해야 한다.

(3) 원형 단면 모서리부의 다이아프램은 <그림 5>와 같이 하는 것을 표준으로 한다.

#### 4.1.5 종리브

(1) 박스형 단면의 플랜지 또는 복부판에는 좌굴방지를 위한 종리브를 설치한다.

(2) 기둥단면에 사용하는 종리브의 재질은 플랜지 또는 복부판과 동일한 것으로 한다.

(3) 박스형 단면의 폭 또는 높이가 1.5m 이하인 경우 종리브는 단면 산정 시 고려하지 않는다. 또한 이 경우 종리브는 연결하지 않는다. 다만, 이음부에 있어서는 판의 국부좌굴에 대해 특별히 주의를 해야 한다.

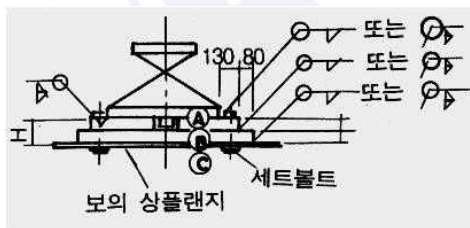


## 4.2 맨홀

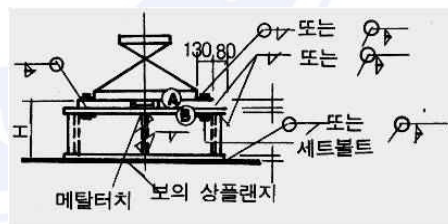
- (1) 맨홀은 내부에 우수가 침투되지 않는 구조로 하고 강도 및 외관상 큰 지장이 없는 곳에 설치한다.
- (2) 맨홀의 위치는 기둥의 경우 지상으로부터 2m 이상인 위치에, 거더의 경우는 거더의 선단 혹은 상부 플랜지의 단면이 여유가 있는 위치에 설치한다. 맨홀의 최소치수는 400mm×600mm로 한다.

## 4.3 교량받침

- (1) 강재교각상에 설치하는 교량받침은 용접에 의해 연결하는 것을 표준으로 한다.
- (2) 교량받침의 용접은 거더의 상부 플랜지와 교량 받침사이의 높이에 따라 다음과 같이 적용해야 한다. 여기서  $H$ 는 네모서리 중에 제일 낮은 높이로 취한다.
  - ①  $H < 130\text{mm}$ 인 경우 판 받침 사용
  - ②  $H \geq 130\text{mm}$ 인 경우 박스형 받침 사용
 다만 용접목두께가 12mm를 초과하는 등 부득이한 경우에는 볼트로 연결해야 한다.
- (3) ㉠㉢㉣의 판에 설치하는 세트볼트 구멍은 트랙형으로 하여 교축방향 및 교축직각방향의 가설오차를 흡수할 수 있는 구조로 해야 한다. 또한 ㉠의 판에 설치하는 세트볼트구멍에는 세트볼트 설치 후 방수제를 충전하는 것으로 한다. 또한  $t_1$  및  $t_2$ 는 최소 22mm 이상으로 한다. 용접은 박스거더 받침의 조립용접 및 박스거더 받침의 보 플랜지로의 연결용접을 제외하곤 공장 또는 현장 중 어느 곳에서 시공한다.
- (4) 상향력이 작용하는 교량받침부의 용접은 안전성이 확보되도록 충분히 검토해야 한다.



(a) 판 받침 사용



(b) 박스거더받침 사용

그림 10. 교량받침의 연결방법

## 5. 라멘의 전체좌굴

- (1) 라멘기둥의 유효좌굴길이( $l$ )는 특별히 엄밀한 계산을 하지 않을 때는 <표 9.4.4>를 따른다.
- (2) 축방향 압축력과 휨모멘트가 함께 작용하는 라멘부재의 좌굴에 대한 검토는 「9.5.3항」의 규정을 따른다. 이 경우 허용압축응력( $f_{ca}$ )은 KR C-09030의 <표 4>에 표시한 유효좌굴길이

(l)를 사용하여 KR C-09030의 4항의 규정에 따라 구한다. 그러나 특수한 구조형식의 라멘이나 단면이 현저하게 변화하는 경우에 대해서는 별도로 엄밀한 검토를 해야 한다.

## 6. 방식

- (1) 흙 속 또는 수중에 있는 라멘구조의 기둥 부분은 피복콘크리트, 방식판, 방식도장 등으로 보호해야 한다. 또한 폐합단면인 경우에는 내부에 물이 고이지 않도록 물빼기 등의 구조상세에 주의해야 한다.





## 해설 1. 설계일반사항

### 1. 강교각의 일반사항

#### 1.1 개 요

강교각은 좁은 입지조건이나 공기의 제약 그리고 제작의 간편성 측면에서 종래의 콘크리트 교각에 비하여 유리한 구조라고 할 수 있다. 일반적으로 교각의 설계에서는 상부구조로부터의 하중을 안전하게 기초 구조로 전달함과 동시에, 가설지점의 상황에 가장 적절한 것이어야 한다. 또한 상부구조의 형식에 따라서는 교각의 변위가 상부구조에 직접 영향을 미치는 경우도 있으므로 지지조건을 만족시키도록 하여야 한다.

강교각은 철근 콘크리트 기초 중에 앵커프레임을 매입하고 그 위에 강재교각 본체를 얹혀 앵커볼트를 사용하여 완성하게 된다. 이때 보와 기둥의 단면은 보강재와 다이어프램 등을 설치한 보강단면으로 이루어지게 되며, 원형기둥 단면의 경우는 직경과 판두께를 먼저 결정한 후 설계하여야 한다. 접합부 보로부터의 휨모멘트를 기둥으로 원활하게 전달하는 역할을 하며, 이때 단면력의 급변으로 인하여 보 및 기둥의 내측 플랜지에 전단지연현상이 발생하므로 이를 설계에 반영해야 한다. 기둥기초부의 설계형식은 압축력에 대해서 베이스 플레이트 하면의 콘크리트로 저항하고, 인장력에 대해서는 앵커볼트와 앵커플레이트로 저항하는 RC방식과 앵커볼트 및 앵커프레임으로 압축력 및 인장력에 저항하는 말뚝방식이 있다. RC방식은 베이스 플레이트 직하의 콘크리트 지압을 충분히 기대할 수 있는 경우에 사용되며, 말뚝방식은 시공상의 이유로 콘크리트의 지압을 충분히 기대하기 힘든 경우에 사용된다. 여기서 RC방식의 앵커볼트 볼트 한개당 소요 단면적은 RC기둥으로 가정한 교각 기둥으로 부터의 반력에 의해 결정된다.

차량 충돌에 대한 방호 역할을 위하여 외피 콘크리트와 속채움 콘크리트를 노면으로

부터 2m높이까지 설치한다. 강교각은 콘크리트 교각에 비해 유지관리가 중요하므로, 유지관리를 설비로서 맨홀, 트랩, 배수구, 도장용 발판 등을 고려하여 설계하여야 한다.

#### 1.2 교각형식 및 단면형상

교각의 형식은 그 설치위치 및 하중조건에 따라 단주 및 라멘형식 등이 있으며, 또한 각각의 단면형상은 설계조건을 고려하여 원형 또는 상자형 단면을 채택할 수 있다. 단주 형식의 교각은 단선형식인 경우는 가능하나, 복선과 같이 설계하중이 크거나 기둥의 설치위치가 제약을 받는 경우에는 라멘형식을 채택하는 것이 바람직하다.

기둥의 단면형상을 선택하는데 있어서는 여러 가지 요인을 고려하여야 하므로 매우 복잡한 문제라고 할 수 있다. 원형단면의 경우 국부좌굴 및 비틀림저항, 미관 등이 유리한 반면 상자형에 비하여 제작상의 결함이 발생할 염려가 있다고 할 수 있다.

한편 상자형 단면은 하중방향과 크기에 따라 단면치수 및 두께 등을 적절히 조절할 수 있으나 용접부위에 대한 상세한 검토가 요망된다.

## 2. 내진 설계

### 2.1 설계지반운동

#### 2.1.1 설계지반운동

(1) 설계지반운동의 수준은 다음과 같이 분류한다.

- ① 평균재현주기 500년 지반운동(50년내 초과확률 10%)
- ② 평균재현주기 1000년 지반운동(100년내 초과확률 10%)

등급별 구조물은 <표 3>에 규정한 평균재현주기를 갖는 설계지반운동에 대하여 만족할 수 있도록 설계한다.

#### 2.1.2 설계지반운동 표현법

- (1) 설계지반운동은 G. 탄성지진응답계수에 주어진 바와 같이 원칙적으로 그 지역의 지반조건을 고려한 5%감쇠비를 적용한 표준설계응답스펙트럼으로 표현한다. 그러나 지역 특성을 잘 나타내는 합리적인 근거가 있는 응답스펙트럼의 사용도 가능하다.
- (2) 건설부지에서 기록된 계측지진을 수정보완 한 가속도-시간이력곡선이나 설계스펙트럼을 만족시키는 인공가속도-시간이력곡선을 사용할 수도 있다.

표 3. 등급별 설계지반운동

재현주기	내진등급
500년	II등급
1,000년	I등급

표 4. 지진구역 계수  $Z$

지진구역	행정구역 <sup>(e)</sup>		구역계수
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도 남부 <sup>(a)</sup> , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 <sup>(b)</sup>	
II	도	강원도 북부 <sup>(c)</sup> , 전라남도 남서부 <sup>(d)</sup> , 제주도	0.07

주) (a) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(b) 전라남도 북동부(군,시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시

(c) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(d) 전라남도 남서부(군,시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

(e) 행정구역의 경계를 통과하는 교량의 경우에는 구역계수가 큰 값을 적용한다.





### 2.1.3 지진구역계수

- (1) 지진재해도 해석결과에 근거하여 남한 전지역을 2개의 지진구역으로 설정하며, 각 지진구역별 구역계수  $Z$ 는 <표 4>에 나타낸 바와 같다.
- (2) 구역계수는 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년에 해당하는 지진지반운동의 최대 지반가속도 값을 중력가속도( $g$ )로 나눈 값으로서 무차원량으로 시된다.

### 2.1.4 가속도계수 $A$

- (1) 가속도계수  $A$ 는 지진구역별로 내진등급에 따른 최대지진지속도의 크기를 나타내기 위한 계수로서 구역계수  $Z$ 에 지진위험도 계수  $I$ 를 곱함으로써 구할 수 있으며, 무차원으로 표시된다. 내진등급과 지진구역에 따른 가속도계수는 <표 5>와 같다.
- (2) 따라서 내진등급과 지진구역에 따른 최대지진지속도의 크기는 가속도계수  $A$ 에 중력가속도  $g$ 를 곱한 값과 같다.
- (3) 지진위험도계수  $I$ 는 A절에서 정의한 각 내진등급에 따른 평균재현주기로, 500년 평균재현주기에 대한 최대 지반가속도의 비를 나타내며 <표 6>와 같다.

### 2.1.5 지반의 영향

- (1) 지반의 영향은 교량의 지진하중을 결정하는데 고려되어야 한다. <표 7>에 명시된 지반계수  $S$ 는 <표 8>에서 정의된 지반종류에 근거를 두고 있다.

표 5. 가속도계수  $A$

내진등급	II등급		I등급	
재현주기	500년		1,000년	
지진구역	I	II	I	II
가속도 계수	0.11	0.07	0.154	0.098

표 6. 지진위험도 계수  $I$

내진등급	II등급	I등급
재현주기(년)	500	1,000
위험도 계수, $I$	1	1.4

표 7. 지반계수  $S$

지반계수	지 반 종 류			
	I	II	III	IV
$S$	1.0	1.2	1.5	2.0



표 8. 지반종류의 구분

지반종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파 속도(m/sec)	표준관입시험 (N값 <sup>(a)</sup> )	비배수전단강도 (kPa)
I	경암지반 보통암지반	760 이상	-	-
II	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	> 50	> 100
III	단단한 토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
IV	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
V	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주) (a) 비 점착성 토층만을 고려한 평균 N 치

(2) 지반 종류 V는 부지의 특성 조사가 요구되는 다음 경우에 속하는 지반으로서, 전문가가 작성한 부지중속 설계응답스펙트럼을 사용하여야 한다.

- ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 키클레이와 매우 민감한 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반.
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반
- ③ 매우 높은 소성을 갖은 점토지반
- ④ 층이 매우 두꺼우며 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토

## 2.2 지진력 처리방법 검토

### 2.2.1 강도설계법 적용시

응답수정계수  $R$ 은 하부구조의 연성능력과 여유력을 고려하여 기둥 또는 교각에 설계지진력에 의한 항복을 유도하기 위해 제시된 방법으로 탄성해석에 대한 소성해석의 단면력의 비를 가정한 것이다. 탄성해석에서 기둥이 항복할 경우 탄성지진력에 응답수정계수  $R$ 를 적용한 단면의 소요강도는 설계강도 이내이어야 하며 내진설계기준의 규정을 만족하여야 한다. 아울러 단면의 설계강도가 소요강도 이하이거나, 탄성변형 응답량이 구조물간의 유간을 초과하는 경우에는 구조계획 변경 또는 단면 재가정에 의한 설계를 수행하여야 한다. 응답수정계수가 1 보다 작은 경우에는 설계지진력에 대해 탄성거동을 확보해야 한다. 즉 우리나라의 지진규모와 구조물의 중요성을 감안하여 지진력에 의한 소요강도가 부재의 설계강도보다 작은 경우에는 응답수정계수를 1.0으로 하였으며, 소요강도가 설계강도를 초과하는 경우에 스펙트럼을 사용한 비선형 방법으로 응답수정계수를 이용한 방법을 사용한다.



- (1) 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건과 소성힌지구역에 관련된 설계요건을 모두 충족시키는 경우, 교량의 각 부재와 연결부분에 대한 설계지진력은 탄성지진력을 <표 9>의 응답수정계수로 나눈 값으로 한다. 다만, 축방향력과 전단력은 응답수정계수로 나누지 않는다.
- (2) 하부구조와 연결부분에 대한 응답수정계수는 각각 1.0과 0.8을 넘지 못한다.
- (3) 응답수정계수  $R$ 은 하부구조의 양 직교축방향에 대해 모두 적용한다.
- (4) 벽식교각의 약축방향은 <표 9>의 기둥규정을 적용하여 설계할 수 있다. 이때 응답수정계수  $R$ 은 단일기둥의 값을 적용할 수 있다.

표 9. 응답수정계수  $R$

하부구조	$R$	연결부분 <sup>(a)</sup>	$R$
벽식교각	2	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 가구(Bent)			
1. 수직말뚝만 사용한 경우	3	상부구조의 한	0.8
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 상용한 경우	2	시간내의 신축이음	
단일 기둥	3	기둥, 교각 또는 말뚝 가구와 캡빔 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝가구			
1. 수직말뚝만 사용한 경우	5	기둥 또는 교각과	1.0
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	3	기초	
다주 가구	5		

주) (a) 연결부분은 부재간에 전단력과 압축력을 전달하는 기구를 의미하며, 교량받침과 전단키 등이 이에 포함된다. 이때 응답수정계수는 구속된 방향으로 작용하는 탄성지진력에 대해서만 적용된다.

## 2.2.2 허용응력 설계법 적용시

강구조물에 허용응력설계법을 사용할 경우 허용응력은 규정된 허용응력에 허용응력 증가계수 1.55를 곱한값으로 설계한다.

## 2.3 해석방법의 선택

### 2.3.1 해석법의 선정

- (1) 지진해석 방법은 단일모드 해석법을 기본으로 하되, 다중모드 및 시간이력해석법을 사용할 수 있다.
- (2) 지진해석 방법의 선정요령은 기초형식 및 교량의 해석모형과 지진응답 및 정형성(Regularity)에 따라 선정한다.
- (3) 정밀한 해석이 요구되는 교량에 대해서는 비탄성 해석을 할 수 있다.
- (4) 다중모드 또는 비선형 해석에 사용되는 감쇠비는 경험치 또는 실험치에 의하지 않는 경우, 5% 감쇠비 또는 이에 상응하는 Rayleigh 감쇠를 적용한다.

- (5) 정밀해석 결과를 위해 개선된 모드별 감쇠비를 사용할 경우 이를 인정한다.
- (6) 교각에 작용하는 수직력과 수평변형에 의한 추가모멘트 효과를 고려하기 위해 연직 방향 고정하중의 영향을 고려하여야 한다.

### 2.3.2 단일모드스펙트럼 해석법

해설 1의 2.3항과 같이 지진해석 방법은 여러 가지 있으나 본 지침에서는 단일모드스펙트럼 해석법에 관해서만 다루기로 한다. 설계력 결정에 쓰이는 탄성지진응답 계수  $C_s$ 는 KR C-02040의 4.5항에서 규정한 다음과 같은 무차원식으로부터 구한다.

$$C_s = \frac{1.2AS}{T^{2/3}} \quad (11)$$

여기서,  $A$  : 가속도 계수

$S$  : 지반계수

$T$  : 식(3) 또는 다른 적합한 방법으로 구한 교량의 주기, 단,  $C_s$  값은  $2.5A$ 보다 크게 취할 필요는 없다.

또한, 종방향 및 횡방향 지진에 의한 부재의 단면력과 처짐을 계산하는 등가정적 지진하중  $P_e(y)$ 는 다음 식으로 산정할 수 있다.

$$P_e(y) = \frac{\beta C_s}{\gamma} w(y) v_s(y) \quad (12)$$

여기서,  $P_e(y)$  : 등가정적 지진하중이며 진동의 기본모드를 대표하기 위해 가하는 단위길이당 하중강도(그림 11)

$C_s$  : 식(1)로 주어지는 탄성지진응답계수

한편 교량의 주기  $T$ 는 다음과 같다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma}{p_o g \alpha}} \quad (13)$$

여기서,  $g$  : 중력가속도( $=9.81\text{m/s}^2$ )

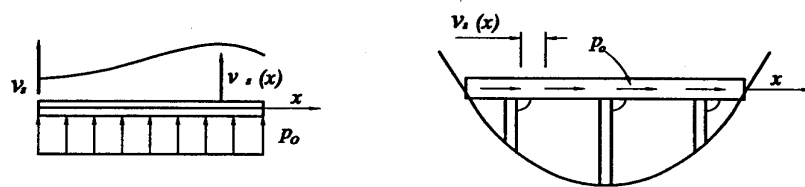
$w(y)$  : 교량 상부구조와 동적거동에 영향을 주는 하부구조의 단위길이당 사하중

$v_s(y)$  : 균일한 등분포하중  $p_o$ 에 의한 정적 처짐

$$\alpha = \int v_s(y) dy \quad (14)$$

$$\beta = \int w(y) v_s(y) dy \quad (15)$$

$$\gamma = \int w(y) v_s(y)^2 dy \quad (16)$$



(a) 평면도, 횡방향 하중

(b) 입면도, 종방향 하중

그림 11. 횡방향 및 종방향으로 가정된 하중을 받는 교량 상판

### 2.3.3 다중모드스펙트럼 해석법

#### (1) 일반사항

다중모드스펙트럼해석법은 비정형 교량의 3방향 연계효과와 최종응답에 대한 다중 모드의 기여 효과를 결정하기 위해 공인된 공간뼈대 선형 동적해석 프로그램을 사용하여 수행하여야 한다. 이때, 교량의 수학적 모형은 자유도, 질량, 관성효과, 절점 등이 합리적으로 모델링되어야 한다.

#### (2) 진동모드의 형상과 주기

고려중인 방향에 대하여 해석에 필요한 교량의 주기와 모드형상은 고정지반 조건에 대해서 지진에 저항하는 전체 시스템의 질량과 강성을 고려하여 이론적으로 확립된 방법에 의하여 계산하여야 한다.

#### (3) 해석

응답해석시 고려되는 모드의 수는 지간수의 3배 이상이어야 한다. 이 때, 잔여모드를 모두 포함해서 해석하더라도 응답이 10% 이상 증가하지 않는 충분한 개수의 모드를 고려하여야 한다.

#### (4) 부재력과 변위

부재의 단면력과 변위는 개별 모드들로부터 각각의 응답성분(예를 들면, 힘, 변위 또는 상대변위)은 CQC방법(Complete Quadratic Combination)으로 조합함으로써 계산한다.

### 2.3.4 직교지진력의 조합

부재의 각 주축에 대한 탄성응답은 탄성력 및 탄선변위로부터 구한 탄성지진력을 다음과 같이 조합하여 사용한다.

- (1) 하중경우 1 : 종방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)에 횡방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)의 30%를 합한 경우
- (2) 하중경우 2 : 횡방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)에 종방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)의 30%를 합한 경우

### 2.3.5 강교 내진설계

- (1) 구조용 강재 기둥과 연결부의 설계와 시공은 추가의 요구조건을 만족하여야 하며, 허용응력 설계법의 적용시에는 허용응력증가계수 1.55를 적용한다.

- (2) P- $\Delta$ 효과(지진변위로부터 발생하는 편심과 기둥축력에 의한 모멘트)로 인한 2차 휨을 고려하여 축방향 응력과 휨응력을 계산할 때, 모든 축방향 하중을 받는 부재는 축방향력과 휨을 받는 부재의 설계기준을 적용하여 설계하여도 된다.

## 2.4 해석모델의 작성

탄성지진력과 변위결정을 위해 필요한 해석모델의 예는 <그림 12>와 같다. 보요소를 사용하였으며 지진에 대한 설계 지반면을 기초의 도심으로 정한다. 상부구조는 집중질량의 관성효과를 적절하게 절점위치로 분배하기 위해 각 경간 단부의 연결부와 지간의 1/4지점 마다 또는 그 이상의 절점을 갖는 1개의 보요소로 모형화 한다. 하부구조중 교각은 코핑과 기둥부분으로 나누어 모델링 하며 기둥의 순간적 내의 질량을 고려하기 위해 기초의 도심을 설계지반면으로 하는 것이 좋다.

강교는 상당수가 포트 베어링을 사용하므로 고정단에서만 지진력에 저항 하므로 교 축방향 지진력을 고정단이 설치된 교각이 부담하도록 하여야 한다. 즉 PSC 거더교에서 쓰이는 탄성받침에서와 같이 교축방향의 지진력을 모든 교각에서 부담하도록 해석하는 오류를 범해서는 안된다.

<그림 13>은 강교에서의 받침부 모델의 일례이다. 받침부와 거더의 도심이 일치하지 않는 경우가 대부분 이므로 교각에 더미(dummy) 부재를 설치하여 거더의 도심과 콘스트레인을 사용하여 구속하고자 하는 자유도를 고정단과 가동단의 특성을 적절히 반영하도록 구속해 주어야 한다. 기초-지반을 등가의 스프링계수를 사용하여 모델화할 수도 있으나 기초가 얇은 기초이거나 확실한 경우에는 완전고정으로 처리하기도 한다.

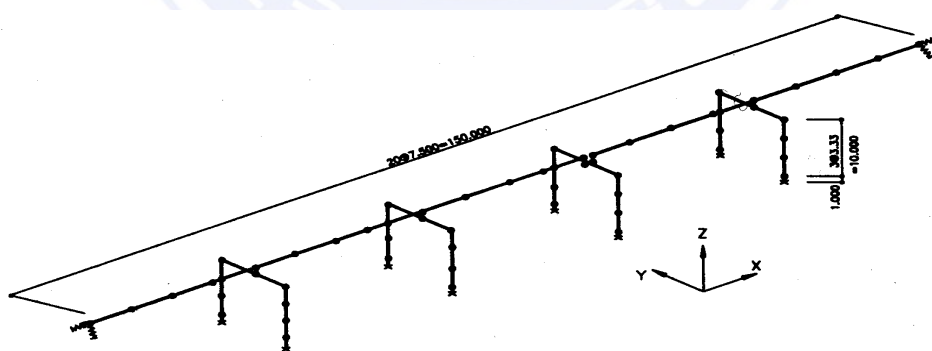


그림 12. 내진해석 모델의 예

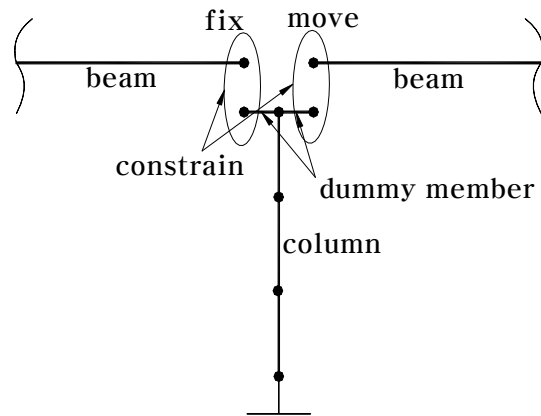


그림 13. 받침부 모델 세부도

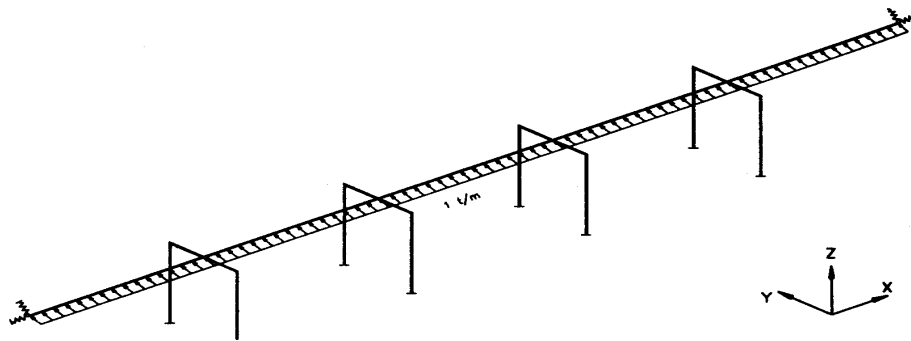


그림 14. 교축직각방향 등분포하중 재하도

## 2.5 설계지진력 결정

### 2.5.1 교축직각 방향의 지진력과 변위 결정(단일모드스펙트럼 해석)

#### (1) 정적처짐의 계산 $v_s(y)$

먼저 상부 슬래브에 <그림 14>와 같이 단위길이당 1.0 kN/m의 하중을 재하하여 정적처짐  $v_s(y)$ 를 계산한다.

#### (2) $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ 의 계산

식(14), 식(15), 식(16)에  $x$ 대신  $y$ 를 대입하여 구한다.

#### (3) 주기 $T$ 의 계산

식(13)을 이용하여 계산한다.

#### (4) 등가정적지진하중 $P_e(y)$ 의 계산

식(2)를 이용하여  $P_e(y)$ 를 계산하고 <그림 15>와 같이 해석모델에 재하하여 설계 지진력을 산출한다.

### 2.5.2 교축방향의 지진력과 변위 결정

#### (1) 교축방향에 대해서도 교축직각방향과 마찬가지로 <그림 16>과 같이 등분포하중을



재하하여 정적처짐  $v_s(x)$ 를 구한 후 등가정적하중  $P_e(x)$ 를 결정하고 이를 재하하여 교축직각방향 설계지진력을 결정한다.

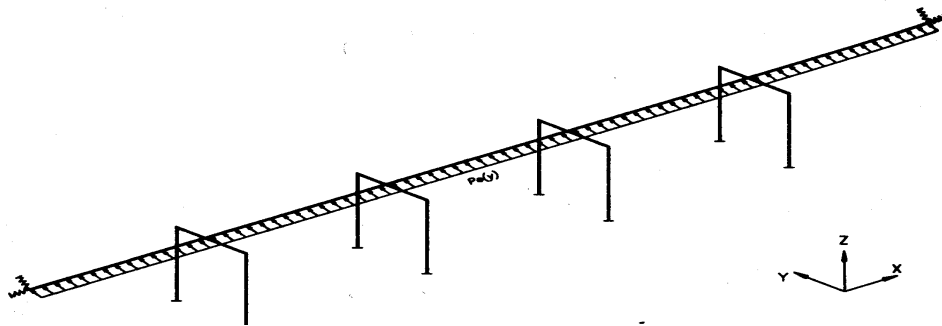


그림 15. 교축직각방향 지진력 재하도

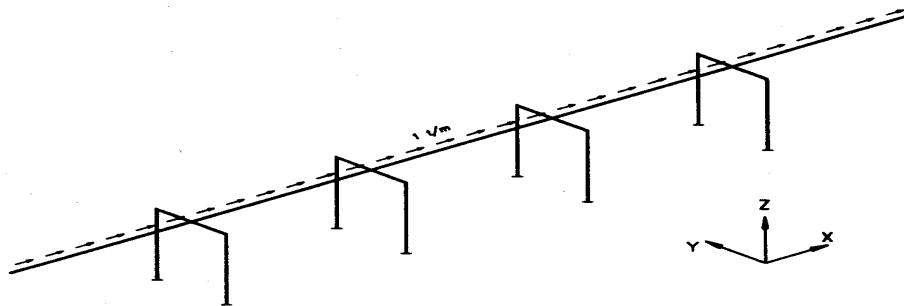


그림 16. 교축방향 등분포하중 재하도

### 3. 하중조합, 구조해석, 유효폭 및 유효좌굴

#### 3.1 하중조합

설계에 고려할 여러 가지 하중조합과 이에 대한 허용응력의 증가계를 정리하면 <표 10>과 같다.





표 10. 하부구조(강구조)에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수

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

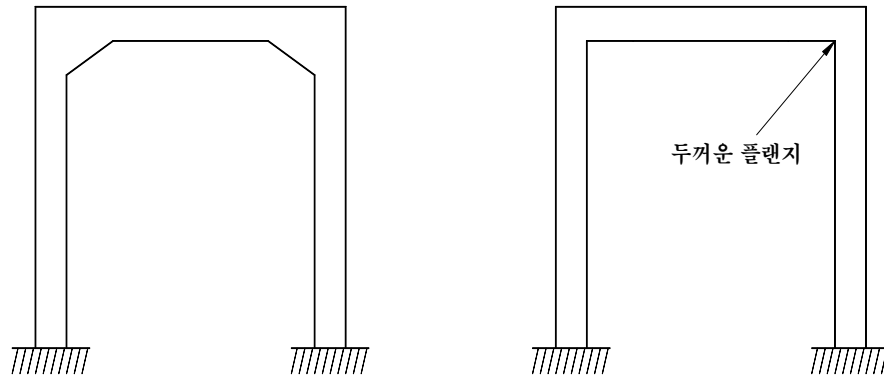
주) (1) - 이 경우에는 주하중에 활하중(충격포함)과 원심하중을 포함시키지 않음..

(가) 교각의 면내(교축직각방향)에 작용하는 기본하중

구분	기본하중
①	상부구조 고정하중
②	하부구조 고정하중
③	상부구조 활하중단선)
④	상부구조 활하중단선)
⑤	풍하중(활하중 재하시)
⑥	풍하중(활하중 비재하시)
⑦	지진하중(열차하중 재하시)
⑧	지진하중(열차하중 비재하시)
⑨	충격하중
⑩	원심하중(단선)
⑪	원심하중(복선)
⑫	차량 횡하중
⑬	온도하중
⑭	유수압

(나) 교각의 면외(교축방향)에 작용하는 기본하중

구분	기본하중
①	지진하중(열차하중 재하시)
②	시동 및 제동하중
③	장대레일 종하중



(a) 보의 높이가 변화하는 경우 (b) 판의 두께가 변화하는 경우

그림 17. 라멘교각의 단면변화

### 3.2 구조해석

#### 3.2.1 기본가정

구조해석시 사용되는 골조선은 부재중심선을 택하도록 한다. 또한 골조 전체해석에서는 유효폭을 고려한 각 부재마다의 강성을 가정하여 단면력을 계산하여야 하며, <그림 17(a)>와 같이 단면이 크게 변하는 경우에는 변단면으로서의 강성을 사용하고 <그림 17(b)>와 같이 판 두께 만이 변하는 경우에는 일정단면으로서의 강성을 사용하여도 무방하다. 아울러 강교각 설계시 재하 하중으로서는 상부구조 설계시의 각지점에서의 최대 반력을 사용토록 한다.

#### 3.2.2 절점좌표의 기본설정 위치

구조해석상 필요로 하는 대표적인 절점 위치는 다음과 같다.

- (1) 골조상의 절점(기둥하단, 보와 기둥의 교차점, 내민보의 선단)
- (2) 하중재하점(상부 구조물의 받침위치, 기타)
- (3) 현장이음위치
- (4) 단면변화위치, 보-기둥 접합부의 단면계산 위치

이상의 조건중 (1)와 (2)에 대해서는 설계조건 및 골조형상 등이 결정되면 쉽게 정할 수 있다. 그러나 (3)와 (4)는 시공조건 또는 설계진행단계에서는 설정하기 곤란하므로 이에 대해서는 과거의 설계예와 경험등을 토대로 결정하도록 한다.



### 3.3 유효폭 및 유효좌굴길이 산정

#### 3.3.1 면내변형에 대한 유효폭

응력계산을 위한 유효폭은 KR C-09080의 3.1의 ③항의 플랜지 유효폭에 준하여 산출하는 것으로 한다. 그러나 하부구조의 등가지간길이  $l$ 에 대해서는 동설계기준에 명시되어 있지 않으므로 지배적인 하중재하 상태에서의 휨모멘트 분포형상을 고려하여 결정토록 하여야만 한다. <표 11>은 면내변형에 대한 교각형식에 따른 등가지간길이  $l$ 을 정리한 것이다. 여기서 역L자형 교각의 경우 보의 내민부와 기둥에 대해서는 게르버거더의 캔틸레버부에 준하는 것으로 간주하여 구한 것이다. 또한 라멘교각의 보 경간부에 대해서는 연속거더의 지간중앙부에 준하는 것으로 하며, 기둥에 대해서는 캔틸레버부를 적용하되 이때의 거리는 모멘트 변화 위치를 고려하여 기둥기초부로부터 높이의 1/3 지점까지 거리를 택한 것이다.

#### 3.3.2 면외변형에 대한 유효폭

역L형 교각의 내민부와 기둥의 등가지간길이  $l$ 은 면내변형에서와 마찬가지로 방법으로 계산하며 KR C-09080의 3.1의 ③항에 준하여 유효폭을 산출한다. 또한 라멘교각의 기둥은 캔틸레버부로 간주하여 등가지간길이를 계산토록 한다.

표 11. 면내방향의 등가지간길이

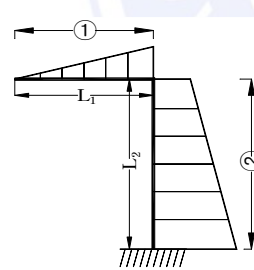
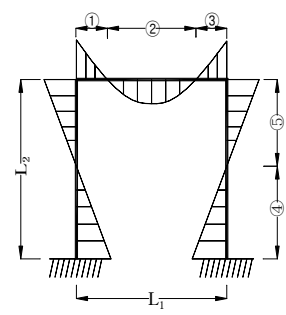
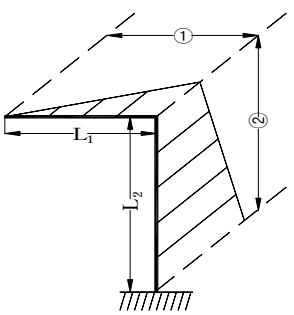
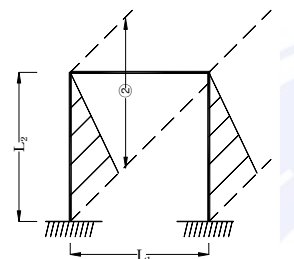
교 각 형 식	구 간	등가지간길이	적 용	비 고
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">역 L 자형 교각</div>  </div>	①	$l = 2L_1$	캔틸레버부	$L_1$ : 보의 내민길이
	②	$l = 2L_2$	캔틸레버부	$L_2$ : 기둥 기초부로부터 접합부까지의 높이
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">라 멘 교각</div>  </div>	①	$l = 2 \cdot (0.2L_1)$	캔틸레버부	$L_1$ : 기둥간격
	②	$l = 0.6L_1$	지간중앙부	
	③	$l = 2(0.2L_1)$	캔틸레버부	
	④	$l = 2\left(\frac{1}{3}L_2\right)$	캔틸레버부	$L_2$ : 기둥 기초부로부터 접합부까지의 높이
	⑤	$l = 2\left(\frac{1}{3}L_2\right)$	캔틸레버부	

표 12. 면외방향의 등가저간길이

교 각 형 식		구간	등가저간길이	적용	비 고
역 L 자 형  교 각		①	$l = 2L_1$	캔틸레버부	$L_1$ : 보의 내민길이
		②	$l = 2L_2$	캔틸레버부	$L_2$ : 기둥 기초부로 부터 접합부 까지의 높이
라 멘  교 각		②	$l = 2L_2$	캔틸레버부	$L_2$ : 기둥 기초부로 부터 접합부 까지의 높이

### 3.3.3 유효좌굴길이의 산정

라멘 기둥의 유효좌굴길이는 KR C-09030의 4.3항에 준하여 계산한다. 라멘 교각에 대해서는 보와 기둥의 강비, 지점이 고정인가 힌지인가, 또한 라멘의 보에 올려진 교량의 주거더가 라멘구조를 어떻게 구속하고 있는가 등에 의해 압축부분을 검토하기 위한  $l$ 의 산정 방법이 달라진다. 라멘구조의 형식은 1층라멘의 보위에 교량의 주거더를 올려놓는 방식이 가장 많이 사용된다. 이러한 경우의  $l$ 을 결정하는 방법을 <표 13>에 예시한다. 기둥의  $l$ 은 동표의 값에 따라 기둥의 길이  $H$ 를 곱하여 구한다.

표 13. 라멘기둥의 좌굴길이

기둥 받침조건		힌 지	고정
부 재			
보		$l = B$	$l = B$
기둥	라멘 면내	$\eta = 1.64 \sqrt{\frac{B}{B-a}}$ 단, $\eta \leq 2.32$	$\eta = 0.82 \sqrt{\frac{B}{B-a}}$ 단, $\eta \leq 1.16$
	라멘 면외	$\eta = \left(\frac{4a}{B} + 0.3\right) \left(1 - \frac{b}{B}\right) + 0.7$ 단, $\eta \geq 1$	$\eta = 2$

여기서,  $B, H, b, a$  : <그림 18> 참조

$\eta$  : 기둥의 좌굴계산시 기둥길이에 곱하는 계수, 즉, 기둥의 계산좌굴길이는  $l = \eta \times H$

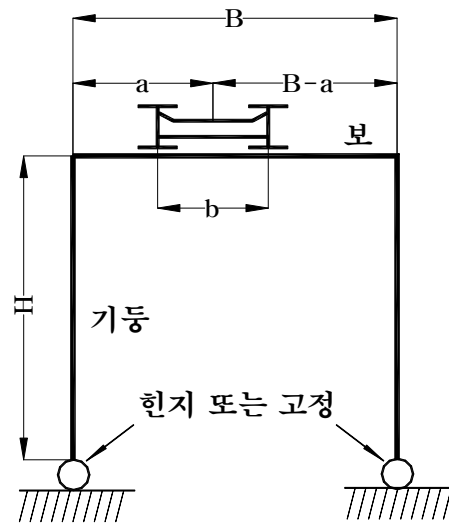


그림 18. 라멘의 부재길이

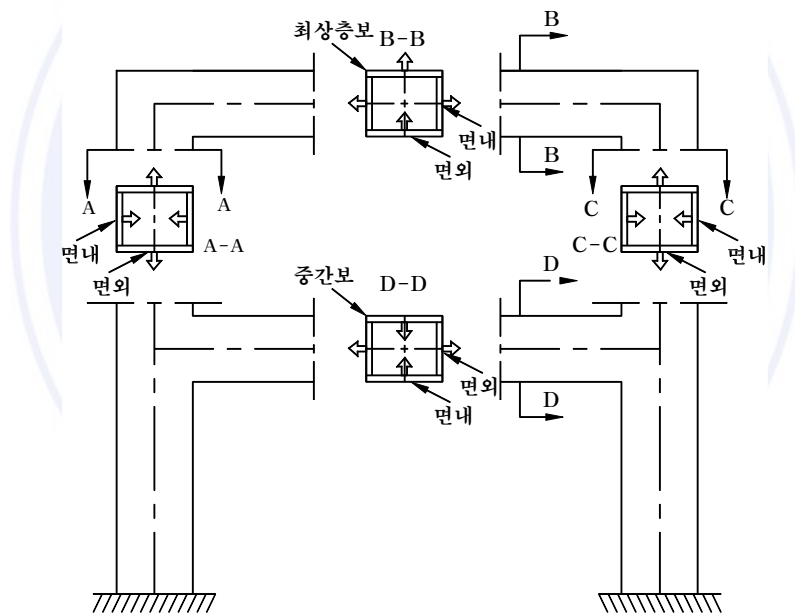


그림 19. 관두개의 변화 방향

## 4. 부재의 설계

### 4.1 보 및 기둥부재의 설계

#### 4.1.1 단면구성

보와 기둥부재의 관두개 변화 방향은 <그림 19>에 표시한 화살표 방향으로 하는 것을 원칙으로 한다. 이때의 단면변화수는 보의 지간길리와 기둥높이에 따라 변화 하나 가능한한 단면변화수를 줄이는 것이 바람직하다. 또한 단면변화시 인접하는

단면과의 판두께 차이는 12 mm정도 이내로 하나, 모서리부 및 기둥기초부 부근 단면의 경우에는 20 mm정도로 하여도 무방하다. 한편 기둥부재로서 원형단면을 사용하는 경우에는 바깥지름을 1 m이상으로 하고 단면변화는 안쪽을 원칙으로 한다.

#### 4.1.2 최소두께(변형성능의 확보)

강교각의 내진안전성을 확보하기 위해서는 이에 대한 조사법의 확립이 요구되지 만, 현단계에서는 이를 고려하는 방법으로서 다음과 같이 기둥하단에서의 보강판의 폭-두께비와 보강재의 두께를 제한함으로써 이에 대응하는 것으로 간주한다.

표 14. 플랜지, 복부판의 최소두께

강종	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
판두께 $t$	$\frac{b}{22n}$	$\frac{b}{19n}$	$\frac{b}{22n}$	$\frac{b}{16n}$

여기서,  $t$  : 판두께(mm)  
 $b$  : 플랜지 및 복부판의 전폭(mm)  
 $n$  : 보강판으로 구분된 패널수( $n \geq 2$ )

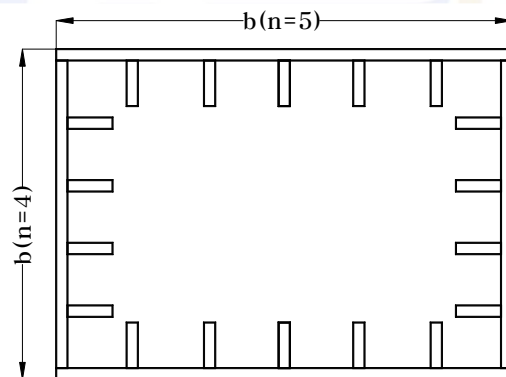


그림 20. 보강된 판의 전폭

기둥하단에서의 종방향 보강재 최소판두께 다음 표와 같다.

표 15. 종방향보강재의 최소두께

강종	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
판두께 $t_l$	$\frac{h_l}{9.0}$	$\frac{h_l}{8.0}$	$\frac{h_l}{7.5}$	$\frac{h_l}{6.5}$

여기서,  $t_l$  : 종방향 보강재의 판두께(mm)

$h_l$  : 종방향 보강재의 높이(mm)



#### 4.1.3 소요단면2차모멘트

종방향 보강재 하개의 단면2차 모멘트는 철도설계지침 규정에 의해서 산출한 값 이상 이어야 한다.

#### 4.1.4 종방향 보강재

상자형단면 기둥의 플랜지와 복부판에는 좌굴방지를 위해 종방향 보강재를 설치하도록 한다. 단면계산에 종방향 보강재를 고려하는 경우에는 이를 연속구조로 하여야 하며, 단면의 폭과 높이가 1.5 m 이하이거나 맨홀등을 설치하는 경우에는 연속시키지 않아도 무방하다. 또한 기둥 하단에서는 지진시의 내하력 향상을 위하여 <그림 21>에 나타낸 바와 같이 하단 베이스 플레이트 까지 종방향 보강재를 연속시켜야 한다.

#### 4.1.5 다이아프램의 설치

상부구조 받침부에는 상부로부터 전달되는 하중에 충분히 저항할 수 있도록 다이아프램을 설치하여야 한다. 또한 받침부 이외의 보와 기둥에서는 5 m이내의 간격으로 <그림 22>에 나타낸 바와 같은 다이아프램을 설치하도록 한다. 단, 원형단면 기둥의 경우에는 설치간격을 바깥지름의 3배 이내로 한다.

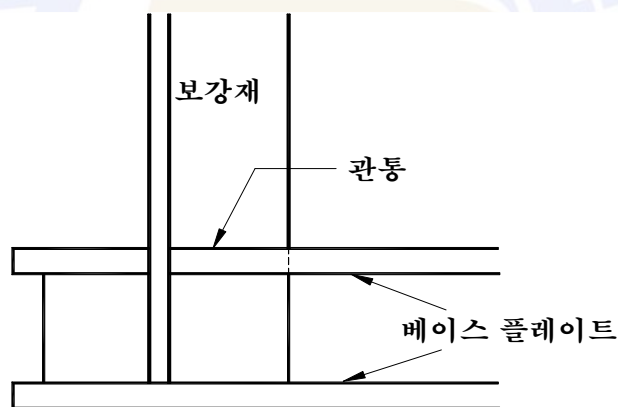
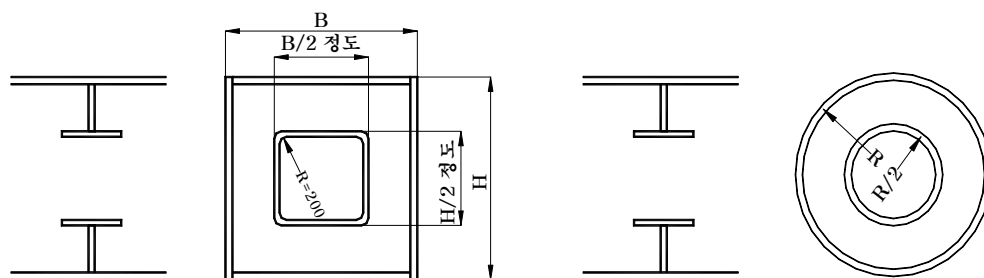


그림 21. 기둥하단의 종방향 보강재



(a) 상자형단면의 중간다이아프램

(b) 원형단면의 중간다이아프램

그림 22. 중간다이아프램



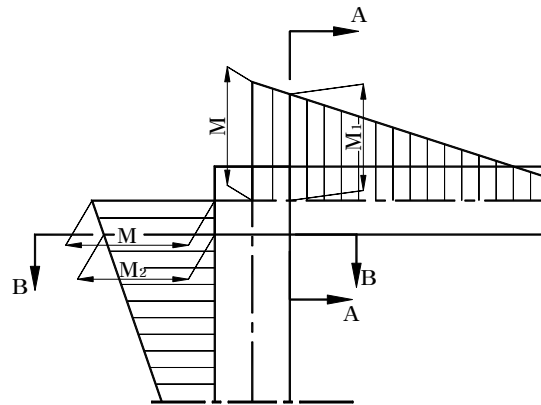


그림 23. 접합부의 설계휨모멘트

## 4.2 접합부의 설계

### 4.2.1 작용단면력

접합부에 작용하는 휨모멘트는 <그림 23>의 A-A 단면에 대해서는  $M_1$ 을, B-B 단면에 대해서는  $M_2$ 를 사용하여 단면을 결정하는 것을 원칙으로 한다.

### 4.2.2 접합부의 범위

접합부는 <그림 24>에 나타난 바와 같이 상자형 단면의 경우에는 접합부부터 복부판 간격의 1/2 이상까지로 하며, 원형단면의 경우에는 바깥지름의 1/2 까지 한다.

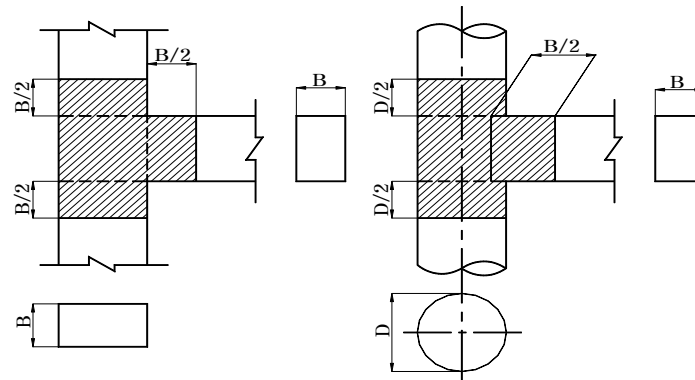


그림 24. 접합부의 보강범위

### 4.2.3 접합부의 응력산정

#### (1) 설계일반

- ① 구조해석에 이용하는 골조선은 부재중심선으로 하며, 라멘의 계산에 있어서는 각 부재마다 강도를 가정하여 단면력을 산출한다.
- ② 라멘교각을 설계할 때의 활하중은 상부구조의 반력이 라멘의 고려하는 점에 대해서 가장 불리하게 되도록 상부구조에 재하하여야 하며, T형교각의 경우에는 상부구조의 활하중에 의한 최대 반력을 사용해도 좋다. 이때 상부구조가 라멘교각상에



서 연속구조가 아닌 경우 인접하는 두개의 상부구조에 작용하는 활하중에 의한 지점반력 가운데 고려하는 점에 큰 영향을 주는 쪽을 사용한다.

- ③ 라멘구조의 설계에서는 활하중에 의한 충격을 고려하여야 한다. 또한 라멘구조를 지지하는 기초구조의 회전이나 상대적 이동이 예상되는 경우 그 영향을 고려하여야 한다.

④ 기호

$f$  = 전단지연을 고려한 수직응력(MPa)

$f_a$  = 허용인장응력(MPa)

$v$  = 작용전단응력(MPa)

$v_a$  = 허용전단응력(MPa)

$t_f$  = 거더의 플랜지 두께(mm)

$t_{dw}$  = 다이아프램의 복부판 두께(mm)

$t_{df}$  = 다이아프램의 플랜지 두께(mm)

$t_b$  = 베이스 플레이트의 판두께(mm)

$A_1, A_2$  = 거더 및 기둥의 단면적(mm<sup>2</sup>)

$W_1, W_2$  = 거더 및 기둥의 단면계수(mm<sup>3</sup>)

(2) 모서리부 응력검토

- ① 플랜지 단면은 전단지연을 고려한 수직응력에 대하여 설계하여야 한다. 또한 수직응력은 플랜지와 복부판이 분담하는 것으로 하여야 한다. 다만, 원형 단면의 기둥과 박스형 단면의 거더 모서리부는 복부판을 끼워넣지 않는 것으로 하고 수직응력은 플랜지 단면만으로 부담하도록 설계한다.
- ② 거더 또는 기둥 플랜지의 수직응력은 <그림 25>의 AD 또는 AB부분에서 전단응력의 부호가 바뀌기 때문에 집중하중을 받는 것과 동일한 조건이 되고 전단지연에 의한 응력의 증가를 고려하여 결정한다.
- ③ 플랜지의 최대수직응력은 휨모멘트와 축력에 의한 수직응력과 전단지연에 의한 수직응력을 합한 값이며 다음의 방법에 의해 구한다.

휨모멘트와 축력에 의한 수직응력

$$f_{o1} = \frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1}, \quad f_{i1} = -\frac{M_1}{W_1} - \frac{N_1}{A_1} \quad (17)$$

$$f_{o2} = \frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2}, \quad f_{i2} = -\frac{M_2}{W_2} - \frac{N_2}{A_2}$$

전단지연에 의한 수직응력

$$f_{sl} = \frac{b}{d} \cdot \frac{F}{A_w} \cdot S_I \quad (18)$$

$$S = \frac{A_w}{A_f}$$

$$S_I = 7.805 \times \frac{S}{(S+3)^2} \sqrt{\frac{10S+30}{10S+3}}$$

플랜지의 최대수직응력

$$f_{fmax} = f_{bc} + f_{sl} \quad (19)$$

여기서,  $M_1, M_2$  : 거더 및 기둥에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

$N_1, N_2$  : 거더 및 기둥에 작용하는 축방향력(N)

$V_1, V_2$  : 거더 및 기둥에 작용하는 전단력(N)

$f_{bc}$  :  $f_{o1}, f_{o2}, f_{i1}, f_{i2}$ 의 응력 즉, 거더와 기둥의 외측 및 내측 플랜지의 휨모멘트 및 축방향력에 의한 응력(MPa)

$f_{sl}$  : AD 및 AB 단면의 전단지연에 의한 플랜지 응력(MPa)

$f_{fmax}$  : 거더 및 기둥의 플랜지 최대응력(MPa)

$A_f$  : 거더 및 기둥의 플랜지 단면적  
(상 · 하 동일 플랜지의 전체면적)(mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 거더 및 기둥의 복부판 단면적  
(좌 · 우 복부판의 전체면적)(mm<sup>2</sup>)

$S_I$  :  $S$ 에 대한 값으로 <식 (18)> 또는 <그림 26>로부터 구하여야 한다.

$b$  : 복부판 중심간격(mm)

$d$  : 거더 및 기둥의 플랜지 중심간격(mm)

$F$  : 플랜지의 집중력<그림 25>로 거더의 전단지연응력은 기둥의 것을, 기둥의 전단지연응력은 거더의 것을 사용하여야 한다.

$$F_{o1} = \frac{M_1}{d_1} - \frac{N_1}{2}, F_{i1} = \frac{M_1}{d_1} + \frac{N_1}{2} \quad (20)$$

$$F_{o2} = \frac{M_2}{d_2} - \frac{N_2}{2}, F_{i2} = \frac{M_2}{d_2} + \frac{N_2}{2}$$

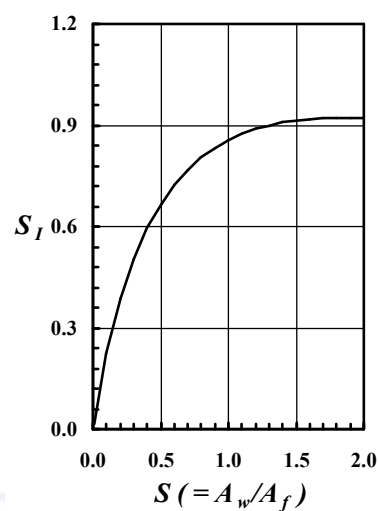
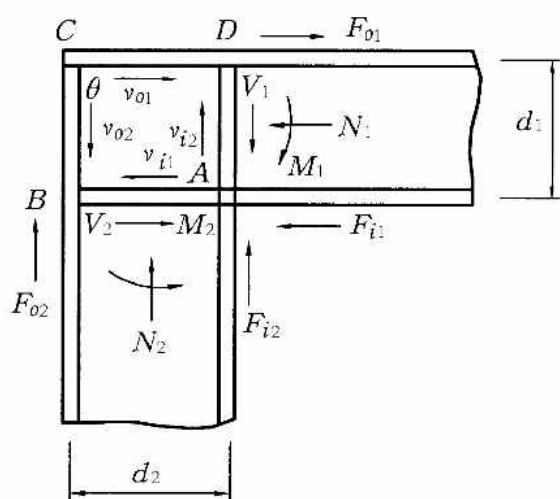
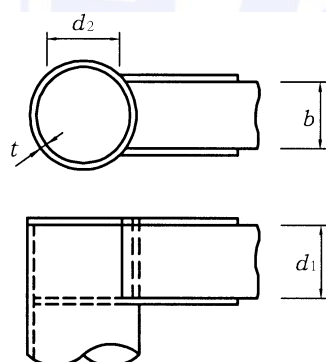
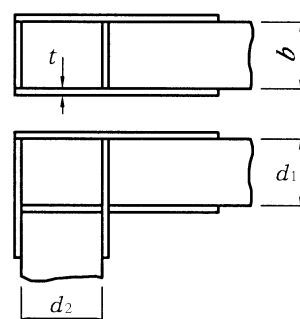


그림 25. 모서리부에 작용하는 외력      그림 26. 전단지연의 추정도

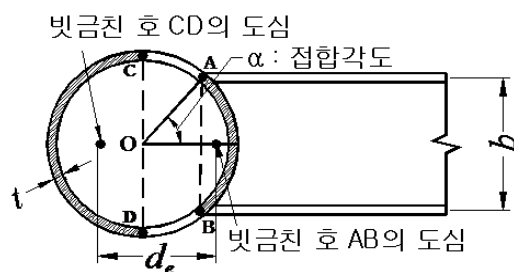
- ④ <그림 27(a)>와 같은 원형 단면의 기둥과 박스형 단면의 거더로 구성된 모서리부에서 거더 플랜지의 전단지연에 의한 응력은 원형 기둥을 <그림 27(c)>의 개념을 이용, <그림 27(b)>에 나타낸 것과 같은 박스형 단면으로 환산하여 <식 (18)>에 의해 계산한다.



(a) 실제 단면



(b) 환산 단면



(c)  $d_e$ 의 산정방법 ( $d_e = 2R/\pi + R\sin(\alpha)/\alpha$ )

그림 27. 원형기둥의 모서리부

- ⑤ 복부판의 판두께는 전단응력에 의해 결정한다. 다만, L.S Beedle의 방법으로 전단응력으로 검토시 허용전단응력  $v_a$ 를  $0.45f_{ta}$  이하로 할 수 있다. 복부판의 최대 전단응력을 상세해석에 의해 산출한 경우는 허용전단응력  $v_a$  이하가 되도록 한다. 복부판의 전단응력은 다음의 방법에 따라 구한다.(그림 25)

$$\begin{aligned} v_{o1} &= \frac{F_{o1}}{2d_2t} \\ v_{i1} &= \frac{F_{i1} - V_2}{2d_2t} = v_{o1} \\ v_{o2} &= \frac{F_{o2}}{2d_1t} \\ v_{i2} &= \frac{F_{i2} - V_1}{2d_1t} = v_{o2} \end{aligned} \quad (21)$$

여기서,  $F_{o1}, F_{i1}$  : 기둥에 작용하는 보의 플랜지로부터의 집중력 (N)

$F_{o2}, F_{i2}$  : 보에 작용하는 기둥의 플랜지로부터의 집중력 (N)

$v_{o1}, v_{i1}, v_{o2}, v_{i2}$  : 모서리부의 전단응력(MPa)

$t$  : 모서리부의 복부판 두께 (mm)

- ⑥ 플랜지 및 복부판 단면은 다음 <식 (22)>에 따라 합성응력을 검토하여야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 \leq 1.0 \quad (12)$$

여기서,  $f$  : 전단지연을 고려한 수직응력(MPa)

$v$  : 플랜지 단면에 대해서는 전단류이론에 의해 구한 전단응력, 복부판에 대해서는 L.S. Beedle의 방법에 의해 구한 전단응력(MPa)

$f_a$  : 허용인장응력

$v_a$  : 허용전단응력 또는  $0.45f_{ta}$

### (3) 부재응력 검토

원형단면의 기둥과 박스형 단면의 보로 구성된 접합부에서 보 플랜지의 전단지연에 의한 응력 및 패널존의 전단응력은 원형기둥을 <그림 27 (c)>에 나타난 바와 같이 유효환산깊이  $d_e$ 로써 박스형단면으로 치환하여 계산하며 원형기둥 단면의 응력계산에 있어서는 전단지연응력을 고려치 않아도 무방하다.

#### ① 전단응력

$$F_{i1} = \frac{M}{d_1} + \frac{N_1}{2} \quad (23)$$



$$v_i = \frac{F_{i1}}{\pi R t_1} \sqrt{1 - \left(\frac{y}{R}\right)^2} \quad (24)$$

$$v_{i1\max} = \frac{2F_{i1}}{A_c} \leq v_a$$

여기서,  $v_{i1}$  : 원형기둥의 전단응력(MPa)

$v_{i1\max}$  : 원형기둥의 최대전단응력(MPa)

$d_1$  : 보의 플랜지 중심간격(mm)

$t_1$  : 원형기둥의 판두께(mm)

$R$  : 원형기둥의 반경(mm)

$y$  : 원형기둥 축중심으로부터의 거리(mm)

$A_c$  : 원형기둥의 단면적 ( $\text{mm}^2$ )

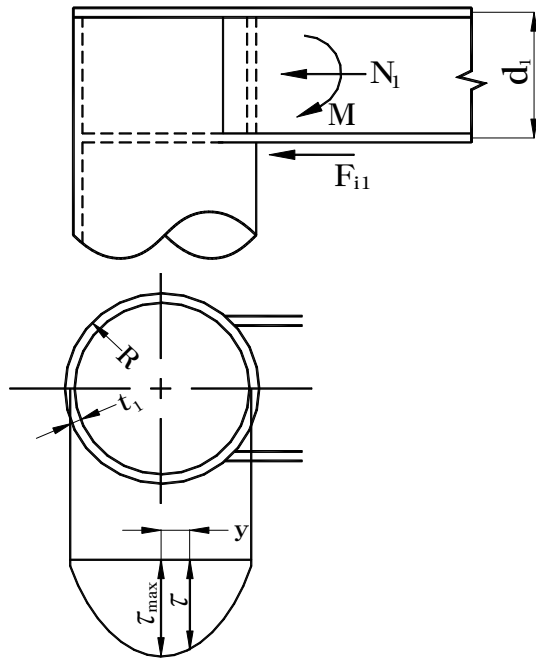


그림 28. 전단응력 분포

## ② 축방향응력

원형기둥의 축방향응력은 관용적인 보 이론에 의해 구한다.

$$f_l = \frac{M \cdot y}{I_x} + \frac{N_2}{A_c} \quad (25)$$

여기서,  $f$  : 축방향응력 (MPa)

$y$  : 축중심으로부터의 거리 (mm)



$I_x$  : 단면 2차모멘트(할입(割込)형식은 할입복부판 고려)(mm<sup>4</sup>)

$N_2$  : 기둥에 작용하는 축방향력 (kN)

$A_c$  : 기둥의 단면적(mm<sup>2</sup>)

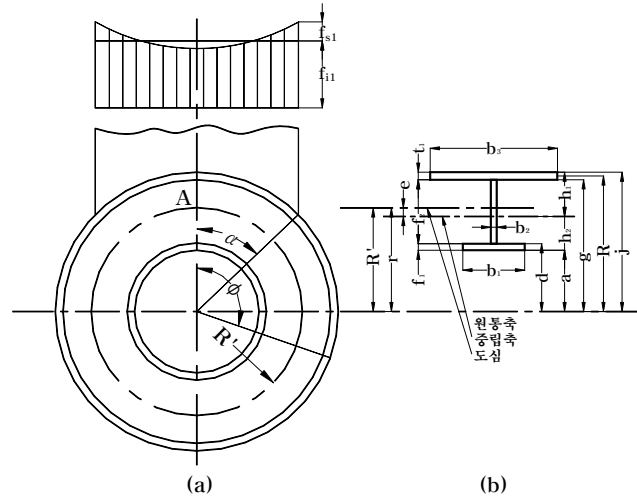


그림 29. 원형기둥 다이어프램

### ③ 원주방향응력

다이어프램은 보의 플랜지가 하중이 집중하는 곳에 있기 때문에 응력의 조사가 필요하다. 이 방법은 이하와 같다.

$$f_o = -\frac{T_\phi}{A_r} - \frac{M_\phi \cdot h_1}{A_r \cdot e \cdot j} \quad (26)$$

$$f_i = -\frac{T_\phi}{A_r} + \frac{M_\phi \cdot h_2}{A_r \cdot e \cdot a} \quad (27)$$

$$v = \frac{Q_\phi}{A_d} \quad (28)$$

여기서,  $f_o$  : 외측 연단응력 (MPa)

$f_i$  : 내측 연단응력 (MPa)

$v$  : 다이어프램의 전단응력 (MPa)

$T_\phi$  : 임의 점에서의 압축력 (kN)

$M_\phi$  : 임의 점에서의 휨모멘트 (kN·m)

$Q_\phi$  : 임의 점에서의 전단력 (kN)

$a, j, h_1, h_2$  : <그림 30>참조



$$b_3 = b_2 + 1.56 \sqrt{Rt_1}, \quad A_d = b_2 f_2$$

$$A_r = b_1 f_1 + b_2 f_2 + b_3 t_1$$

$$e = R' - r, \quad R', r : <\text{그림 29}> \text{ 참조}$$

$$r = \frac{A_r}{b_1 \log_e \frac{d}{a} + b_2 \log_e \frac{g}{d} + b_3 \log_e \frac{j}{g}}$$

응력을 계산하는 위치로서는  $\phi = \alpha$ ,  $\phi = \pi/2$ ,  $\phi = \pi$ 의 세 점을 택하도록 하며, 이때 각각의 위치에서의  $T_\phi$ ,  $M_\phi$ ,  $Q_\phi$ 는 다음 식으로부터 구하는 것으로 한다.

-  $\phi = \alpha$ 일 경우

$$T_\phi = T_o \cos \alpha - \frac{F_{i1}}{2} \sin \alpha \left( \frac{\alpha}{\pi} - 1 \right) \quad (29)$$

$$M_\phi = M_o + R' \left[ T_o (1 - \cos \alpha) - \frac{F_{i1}}{2} \left\{ \frac{2\lambda}{\pi} (1 - \cos \alpha) + \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} - \frac{3}{4}\lambda + \frac{1}{4}\lambda k \right) \sin \alpha \right\} \right] \quad (30)$$

$$Q_\phi = T_o \sin \alpha - \frac{F_{i1}}{2} \left\{ \frac{1}{\pi} (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) + \cos \alpha \right\} \quad (31)$$

-  $\phi = \pi/2$ 인 경우

$$T_\phi = \frac{F_{i1}}{4} \quad (32)$$

$$M_\phi = M_o + T_o R' + F_{i1} R' \left\{ \frac{\lambda}{\pi} + \frac{1}{4} - \frac{\lambda}{8} (3 - k) \sin \alpha \right\} \quad (33)$$

$$Q_\phi = T_o + \frac{F_{i1}}{2\pi} \quad (34)$$

-  $\phi = \pi$ 인 경우

$$T_\phi = -T_o \quad (35)$$

$$M_\phi = M_o + 2T_o R' - F_{i1} R' \left\{ \frac{2\lambda}{\pi} - \frac{\lambda}{8} (3 - k) \sin \alpha \right\} \quad (36)$$

$$Q_\phi = 0 \quad (37)$$

$$\text{여기서, } k = \frac{2f_{i1} - fs1}{2f_{i1}}, \quad \lambda = \frac{R}{R'} = \frac{j}{R}$$

#### ④ 원형기둥 접합부 설계시의 고려사항

기존의 원형기둥 교각의 접합부의 설계에서는 <그림 27>에서와 같이 환산길이  $d_2$ 를 이용하여 상자형 단면으로 치환토록 하고 있으나, 기둥부재의 플랜지 내부집중력으로부터 계산되는 보의 전단지연응력과 패널존의 전단응력은 환산길이(유효환산길이)  $d_2$ 의 영향을 받기 때문에 주의하여야 한다. 즉, 환산길이  $d_2$ 는 보 플랜지의 폭과 기둥의 직경이 동일할 때 그 값이 “0”이 되므로 전단지연응력 및 패널존의 전단

응력 등을 계산할 수 없게 된다. 이에 대하여 Okumura 등은 접합부의 구조상세들을 고려하여  $\alpha$ 를  $45^\circ \sim 55^\circ$  정도로 정하고 있으나 접합부의 과대설계를 완화하는데는 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 최근의 연구에서는 실험결과를 기초로 기존의  $d_2$ 에 대하여 <그림 27>과 같이 환산길이  $d_e$ 를 이용한 설계방법을 제시하고 있다.

### 4.3 접합부의 다이아프램

#### 4.3.1 상자형단면 접합부

상자형 단면 접합부의 다이아프램에는 접합부의 플랜지와 동일한 재료를 사용하도록 한다. 또한 이부분에는 일반적으로 맨홀이 설치되게 되며 이에 따른 단면 손실분에 대해서는 <그림 30>에 나타난 바와 같이 보강재에 의한 보강을 하는 것으로 한다. 박스형 단면 모서리부의 다이아프램에는 모서리부의 플랜지와 동일 두께 이상의 판을 사용하여야 한다. 또한 모서리부의 다이아프램에 맨홀을 설치할 경우, 단면의 중앙 부근에 설치하고 단면손실분을 다이아프램의 두께를 증가시키거나 리브를 설치하여 보강하며, 이 리브와 다이아프램의 필렛용접은 응력을 전달할 수 있을 만큼 충분한 크기를 확보하여야 한다.

#### 4.3.2 원형기둥 접합부

- ① 다이아프램의 최소 판두께  $t_{dw}$ 는 박스형보 하부플랜지 판두께  $t_f$  이상으로 하고, 재질은 거더 플랜지의 재질과 동일한 것으로 할때, 다이아프램의 두께는 <식 (38)>로 구할 수 있다. 원형 단면 기둥 모서리부의 다이아프램 규격은 응력검토 결과에 따라 정하는 것을 원칙으로 하나, <식 (38)>을 적용하거나, 4.2항의 조건을 만족할 경우에는 다이아프램의 응력계산을 생략할 수 있다.

$$t_{dw} = t_f \cdot \left[ 1.8 \cdot \left( \frac{R-r}{R} - 1 \right)^4 + 1 \right] \quad (38)$$

$$\text{단, } \frac{R-r}{R} \geq 0.25$$

- ② 원형 단면 모서리부의 다이아프램 규격에 대한 경험적인 방법으로 다음 조건을 만족할 경우 응력검토를 생략할 수 있다. 이때 재질은 거더 플랜지의 재질과 동일 이상의 것으로 한다.

$$R \leq 1,500\text{mm}, t_f \leq 25\text{mm}, r \leq R/2, t_{dw} \geq t_f \text{ 및 } t_{dw} \geq b_{dw}/17, t_{df} b_d \geq 250 t_f$$

여기서,  $R$  : 원형 기둥의 반경(mm)

$r$  : 맨홀의 반경(mm)

$t_f$  : 거더의 플랜지 두께(mm)

$t_{dw}$  : 다이아프램 복부판 두께(mm)



$t_{df}$  : 다이어프램 플랜지 두께(mm)  
 $b_d$  : 다이어프램 플랜지 폭(mm)  
 $b_{dw}$  : 다이어프램 복부판 높이(mm)

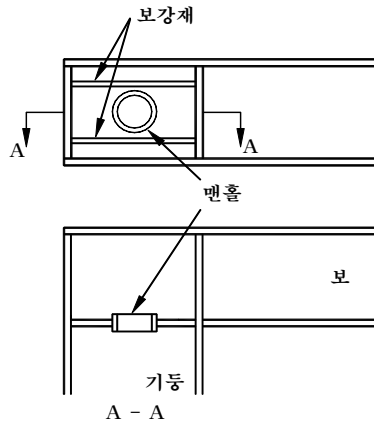


그림 30. 집합부 맨홀설치

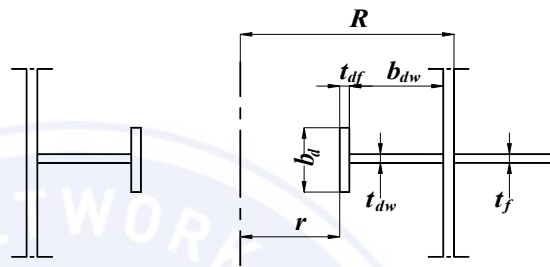


그림 31. 원형기둥 집합부 다이어프램

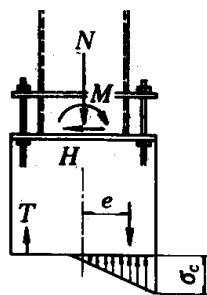
#### 4.4 기둥기초부의 설계

강재교각의 기둥기초부의 설계방침은 기둥으로부터의 힘에 대하여 압축력에 대해서는 베이스 플레이트 하면의 콘크리트로, 인장력에 대해서는 앵커볼트 및 앵커프레임으로 저항하는 철근콘크리트 방식을 기본으로 한다.

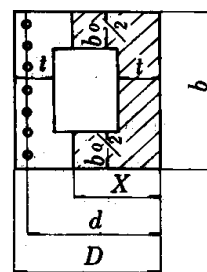
##### 4.4.1 앵커볼트

###### (1) 앵커볼트의 인장응력 및 콘크리트 압축응력

기둥기초부에는 축방향력  $N$ 과 휨모멘트  $M$ 에 의해 베이스플레이트와 콘크리트의 접촉면에 인장 및 압축응력이 생기게 되며, 철근콘크리트 구조의 가정과 마찬가지로 콘크리트 인장에 저항치 못하는 것으로 하여 단철근 단면으로 계산한다. <그림 32>은 베이스 플레이트에 맨홀 설치를 한 것을 나타내며 이때의 앵커볼트의 인장응력 및 콘크리트의 압축응력은 중심축 위치에 따라 다음과 같이 주어진다.



(a)



(b)

그림 32. 베이스 플레이트에 관한 응력

①  $X > t$  인 경우

중립축  $X$  의 위치

$$b_0 X^3 + 3ab_0 X^2 + 3[(b-b_0)(2a+t)t + 2nA_s f]X - (b-b_0)(3a+2t)t^2 - 6nA_s f d = 0 \quad (39)$$

여기서,  $a = e - D/2$

$$e = \frac{M}{N}$$

$$\text{단, } e \geq \frac{1}{6} \cdot \frac{bD^3 - (b-b_0)(D-2t)^3}{bD^2 - (b-b_0)(D-2t)D}$$

$$f = d + a$$

$n$  : 강과 콘크리트의 탄성계수비 (=15)

$A_s$  : 인장축 앵커볼트군의 단면적( $\text{mm}^2$ )

인장축 앵커볼트군에 발생하는 인장력  $T(\text{kN})$

$$T = \frac{2N(d-X)}{\frac{1}{n \cdot A_s} [bX^2 - (b-b_0)(X-t)^2] - 2(d-X)} \quad (40)$$

앵커볼트의 인장응력  $f_s(\text{MPa})$

$$f_s = \frac{T}{A_s} \quad (41)$$

콘크리트의 최대압축응력  $f_c(\text{MPa})$

$$f_c = \frac{2NX}{bX^2 - (b-b_0)(X-t)^2 - 2nA_s(d-X)} \quad (42)$$

②  $X \leq t$  일 때

중립축  $X$  의 위치

$$bX^3 + 3abX^2 + 6nA_s f(X-d) = 0 \quad (43)$$

인장축 앵커볼트군에 발생하는 인장력  $T(N)$

$$T = \frac{2N(d-X)}{\frac{1}{n \cdot A_s} bX^2 - 2(d-X)} \quad (44)$$

앵커볼트의 인장응력  $f_s(\text{MPa})$

$$f_s = \frac{T}{A_s} \quad (45)$$

콘크리트의 최대압축응력  $f_c(\text{MPa})$

$$f_c = \frac{2NX}{bX^2 - 2nA_s(d-X)} \quad (46)$$



## (2) 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력은 다음 식으로부터 구한다.

$$v = \frac{H}{A_s} \quad (47)$$

여기서,  $H$  : 수평력(kN)

$A_s$  : 앵커볼트의 종단면적(mm<sup>2</sup>)

## (3) 합성응력의 검토

앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음 식을 만족시켜야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 \leq 1.0 \quad (48)$$

여기서,  $f, v$  : 앵커볼트 인장 및 전단응력(MPa)

$f_a, v_a$  : 허용인장응력 및 허용전단응력(MPa)

## 4.4.2 베이스플레이트

### (1) 베이스부의 구조

베이스부의 구조 및 치수는 <그림 33> 및 <그림 34>에 나타난 것을 표준으로 한다.

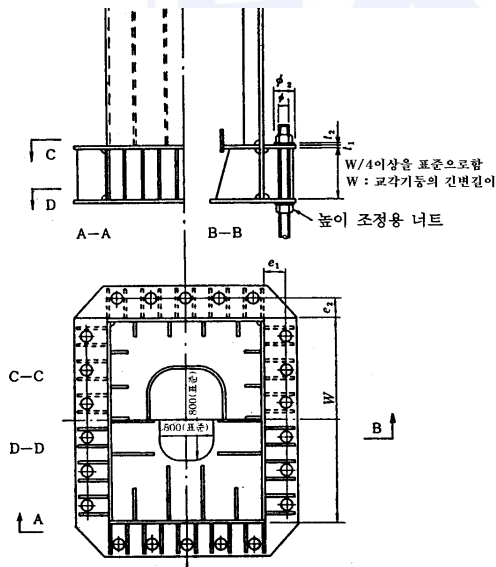


그림 33. 박스형 단면기둥의 베이스부

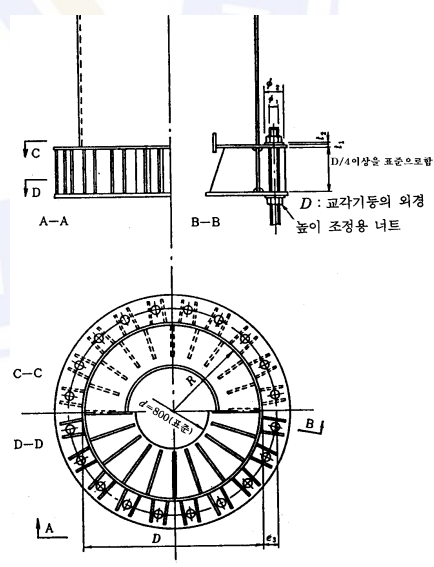


그림 34. 원형 단면기둥의 베이스부

여기서,  $t_1$  : 베이스플레이트의 두께(25mm 이상)

$t_2$  : 와셔의 두께(22mm를 표준)

$\phi_1$  : 앵커볼트의 지름(50mm 이상)

$\phi_2$  : 와셔의 지름( $2\phi_1$  정도)

$e, e_1, e_2$  : 기둥의 외측연단과 앵커볼트 중심간거리(200mm 이상)

## (2) 하부 베이스플레이트

베이스 플레이트의 두께  $t_d$ 는 다음식으로부터 구하며  $t_d \geq 25\text{mm}$ 이어야 한다.

$$t_d \geq \sqrt{\frac{6m}{f_{sa}}} \quad (\text{mm}) \quad (49)$$

여기서,  $f_{sa}$  : 강재의 허용압축응력(MPa)

<식 (50)>에서  $m$ 은 베이스플레이트에 작용하는 휨모멘트로서 다음식으로부터 구할 수 있다.

$$m = k \cdot \beta \cdot p \cdot a^2 \quad (50)$$

여기서,  $k$  : 계수

앵커볼트 구멍이 있는 구획  $k=1.7$

앵커볼트 구멍이 없는 구획  $k=1.0$

$\beta$  : <표 16>에 의한 계수

$p$  : 베이스플레이트에 작용하는 최대 등분포압축력(MPa)

$a$  : 보강재 내측의 간격 <그림 35> 참조

원형단면의 경우 앵커볼트 구멍 유무에 따라  $a_1$  또는  $a_2$ 를 사용

또한 이상에서 구한 판두께에 대하여 다음과 같은 전단력을 조사하여야 한다.

$$q = k \cdot \alpha \cdot p \cdot a \quad (51)$$

여기서,  $q$  : 하부 베이스플레이트에 작용하는 전단력(MPa)

$\alpha$  : <표 17>에 의한 계수

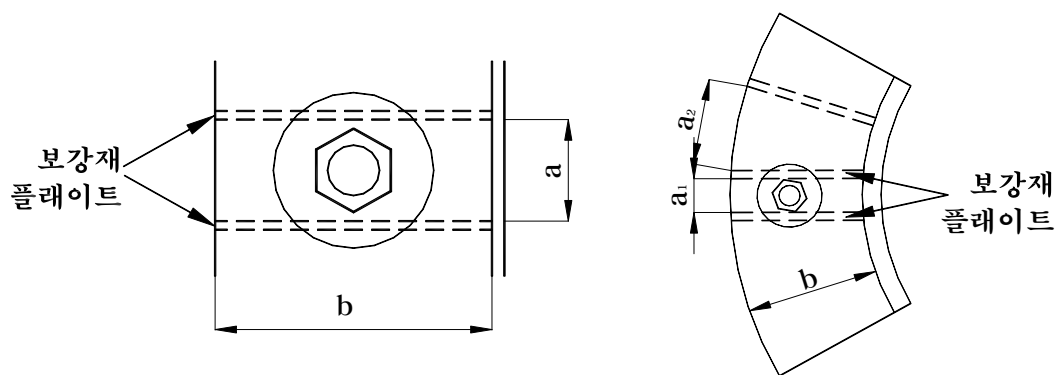
표 16. 휨에 대한 계수  $\beta$

$b/a$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5이상
$\beta$	0.0728	0.0764	0.0798	0.0617	0.0834	0.0847	0.0823

표 17 전단력에 대한 계수  $\alpha$

$b/a$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25	1.5이상
$\alpha$	0.750	0.717	0.685	0.656	0.628	0.570	0.527





(a) 상자형 단면

(b) 원형단면

그림 35. 보강재의 간격

### (3) 상부베이스플레이트

상부 베이스 플레이트는 <그림 35>에서  $a \leq B + 2t_w$ 가 되는 경우에는 휨응력에 대한 조사는 생략하여도 무방하다. 그러나 구조상 불가피하게  $a > B + 2t_w$ 가 되는 경우는 식(40)의  $p$ 대신에 앵커볼트의 축방향력을 등분포 하중으로 환산한 값 (볼트 한 개당의 축방향력/( $a \times b$ ))를 사용하는 것으로 한다. 또한 휨모멘트 및 전단력은 <식 (50), 식 (51)>에 각각 계수 1.7을 곱하여 구하여도 무방하다.

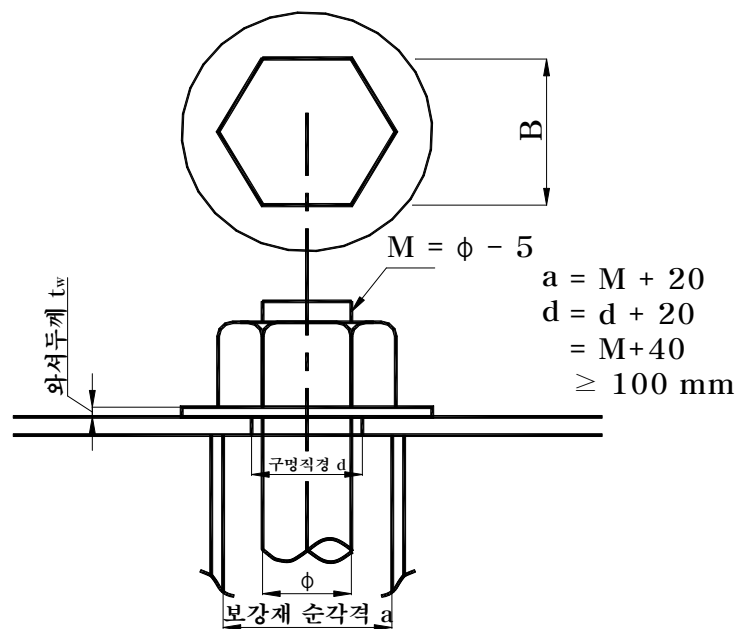


그림 36. 상부베이스플레이트의 보강재 순간격

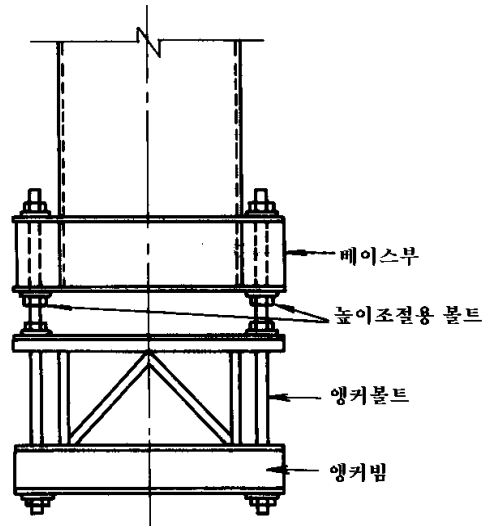


그림 37. 앵커프레임의 구조

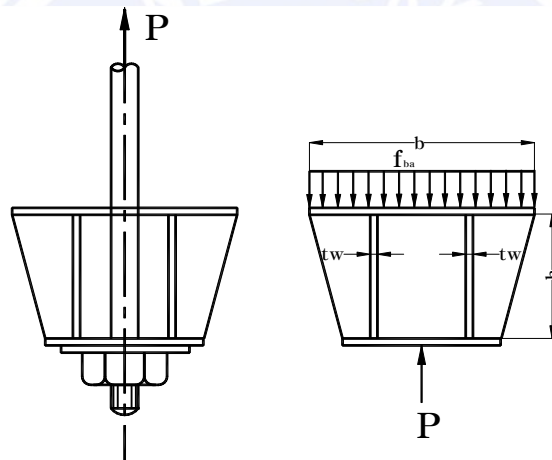


그림 38. 앵커빔에 작용하는 외력

#### 4.4.3 앵커 프레임

앵커볼트에 작용하는 인장력은 앵커 빔을 통해 기초의 콘크리트에 전달된다. 앵커 프레임 전체로서는 앵커볼트 위치를 지점으로 하는 연속보로서의 응력이 작용하고, 앵커 빔의 상부 플랜지에는 콘크리트의 지압에 의한 판으로서의 응력이 작용한다.

##### (1) 앵커프레임의 구조

앵커프레임의 구조는 <그림 37>에 나타난 것과 같이 이루어진다.

##### (2) 앵커빔의 플랜지폭 결정

앵커빔의 플랜지폭  $b$ 는 앵커볼트의 인장력에 대한 지압력에 저항할 수 있도록 결정한다.

$$b = \frac{p}{f_{ba} l} \quad (52)$$



여기서,  $b$  : 앵커빔의 플랜지 폭(mm)  
 $p$  : 앵커볼트 1개당 인장력(kN)  
 $f_{ba}$  : 콘크리트의 허용지압응력(MPa),  $f_{ba}(=f_{ck}/3)$   
 $f_{ck}$  : 콘크리트의 설계기준강도(MPa)  
 $l$  : 앵커볼트의 간격(mm)

### (3) 앵커빔의 복부판 두께 결정

복부판의 두께는 다음식으로 구한다.

$$t_w \geq \frac{s}{2v_a h} = \frac{p}{4v_a h} \quad (53)$$

여기서,  $s$  : 복부판에 작용하는 전단응력( $= p/2$ (kN))  
 $p$  : 앵커볼트 1본당 인장력(kN)  
 $h$  : 복부판의 높이 (mm)  
 $t_w$  : 복부판 두께 (mm)

또한, 복부판은 전단응력과 휨모멘트의 합성응력을 검토해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 \leq 1.0 \quad (54)$$

여기서,  $f, v$  : 복부판의 휨 및 전단응력 (MPa)

### (4) 앵커빔 다이어프램의 두께결정

볼트 축방향력은 복부판과 다이어프램의 지압에 의해서 받게되는 것으로 다이어프램의 판두께는 <식 (55)>에 따라 결정한다.

$$f_c = \frac{p}{2(t_w b_w + t_D b_D)} \leq f_{ca} \quad (55)$$

여기서,  $t_w$  : 복부판 두께(mm)  $\geq 10$ mm  
 $t_D$  : 다이어프램 판두께(mm)  $\geq 10$ mm  
 $b_w$  : 와셔와 복부판의 접촉길이(mm)  
 $b_D$  : 와셔와 리브의 접촉길이(mm)

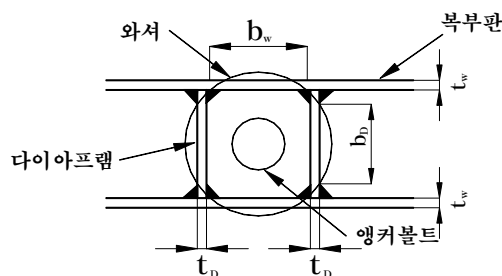
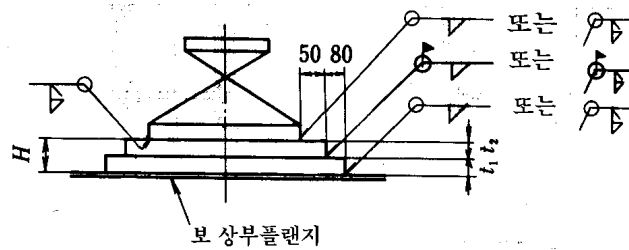


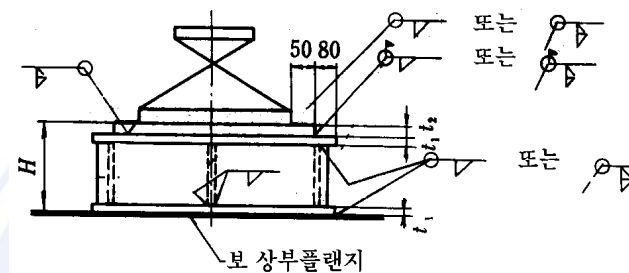
그림 39. 다이어프램

## 5. 받침의 설치

강재교각상에 설치하는 받침은 <그림 40>에 나타난 것과 같은 것을 표준으로 한다.



(a)  $H < 130$ 의 경우(받침판 사용)



(b)  $H \geq 130$ 의 경우(상자형받침 사용)

그림 40. 받침의 설치방법

강교각 상부에 받침을 설치하는 요령은 <그림 40>에 나타난 바와 같으며, 이때  $t_1$ 과  $t_2$ 의 두께는 22mm 이상이어야 한다. 또한 상시하중 조건중에서 부반력이 발생하거나 용접사이즈가 12mm를 초과하는 경우에는 <그림 41>에 나타난 바와 같이 볼트체결을 하는 것으로 하며, 이때 받침부 하면에는 사이드 블럭을 설치하여 수평력에 저항토록 하여야 한다. 아울러 판 ㉠, ㉡, ㉢에서의 볼트구멍은 교축 및 교축직각 방향을 가설오차를 고려할 수 있도록 제작하는 것이 바람직하다.

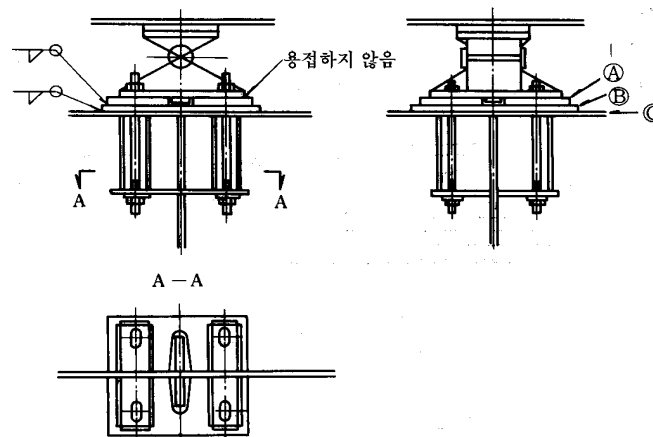


그림 41. 볼트에 의한 받침 설치방법



## 6. 구조상세

### 6.1 다이아프램 설계(하중집중점)

상부구조 받침 바로 밑면과 지점침하가 일어날 때 책임용 재키위치의 다이아프램은 상부구조로부터의 연직하중 및 수평하중이 집중하여 작용하기 때문에 일반적인 검사와는 달리 이러한 작용력에 충분히 저항할 수 있도록 설계한다. 검사로서는 다이아프램의 복부판의 전단응력, 집중력을 받는 기둥으로서의 다이아프램 복부판과 보강재 단면 또한 다이아프램 복부판과 보강재의 용접부의 응력을 조사하는 것이 좋다.

### 6.2 보강재 설계

#### 6.2.1 수직보강재

수직보강재의 간격은 각 단면에 대한 최대 연단압축응력 및 전단응력을 이용하여 결정한다.

(1) 수평보강재를 이용하지 않는 경우

$$\frac{a}{b} \leq 1 \quad \left( \frac{b}{10t} \right)^4 \left[ \left( \frac{f}{365} \right)^2 + \left\{ \frac{v}{61 + 81 \left( \frac{b}{a} \right)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 \quad (56)$$

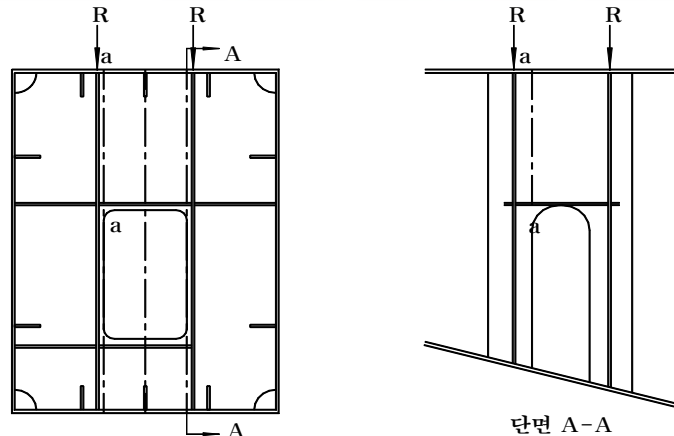


그림 42. 하중집중점의 다이아프램 형상

(2) 수평보강재를 1단만 이용하는 경우

$$\frac{a}{b} \leq 0.80 \quad \left( \frac{b}{10t} \right)^4 \left[ \left( \frac{f}{950} \right)^2 + \left\{ \frac{v}{127 + 61 \left( \frac{b}{a} \right)^2} \right\}^2 \right] > 1 \quad (57)$$

$$\frac{a}{b} \leq 0.80 \quad \left( \frac{b}{10t} \right)^4 \left[ \left( \frac{f}{950} \right)^2 + \left\{ \frac{v}{95 + 81 \left( \frac{b}{a} \right)^2} \right\}^2 \right] \leq 1 \quad (58)$$

여기서,  $a$  : 수직보강재 간격 (mm)

$b$  : 상하 플랜지의 순간격 (mm)

$t$  : 복부판의 두께 (mm)

$f$  : 보를 설계할 때 구한 복부판의 최대연단압축응력 (MPa)

$\tau$  : 보를 설계할 때 구한 복부판의 최대전단응력(MPa)

수직보강재의 강도( $I_{v,req}$ )는 다음과 같은 방법으로 구한다.

$$I_{v,req} = \frac{bt^3}{1092} \gamma_{v,req} \quad (59)$$

$$\gamma_{v,req} = 8.0 \times \left( \frac{b}{a} \right)^2 \quad (60)$$

여기서,  $t$  : 복부판의 판두께(mm)

$b$  : 복부판의 판폭(mm)

$a$  : 수직보강재의 간격(mm)

수직보강재가 받침 바로 밑면, 지점침하가 일어날 때 책업용 재키위치 및 현장조립 점검용 출입구의 다이아프램과 병용할 경우에는 수직보강재의 강도는 검토를 생략 하여도 좋다.

## 6.2.2 수평보강재

수평보강재의 소요강도는 다음을 만족시켜야 한다.

$$I_h \geq \frac{bt^3}{1092} \gamma_{h,req} \quad (61)$$

$$\gamma_{h,req} = 30.0 \times \left( \frac{a}{b} \right) \quad (62)$$

여기서,  $I_h$  : 수평보강재의 소요 단면 2차 모멘트(mm<sup>4</sup>)

$b$  : 보강되는 판의 전폭(mm)

$t$  : 보강되는 판의 두께(mm)

$\gamma_{h,req}$  : 수평보강재의 소요강비

$a$  : 수직보강재 간격(mm)

## 6.2.3 종방향보강재

종방향보강재는 다음과 같이 설계한다. 종방향보강재의 단면 2차 모멘트는 <식 (63)>을 만족시켜야 한다.

$$I_l \geq \frac{bt^3}{10.92} \gamma_{l,req} \quad (63)$$

$$A_l \geq \frac{bt}{10n} \quad (64)$$



여기서,  $t$  : 보강된 판의 사용판두께 (mm)

$b$  : 보강된 판의 전폭 (mm)

$\gamma_{l,req}$  : 종방향보강재의 필요강비

그리고,  $\gamma_{l,req}$ 는  $\alpha \leq \alpha_o$ 이고 또한, 횡방향보강재 1개의 단면 2차모멘트  $I_t$  가 <식 (65)>를 만족하는 경우 다음 식으로 결정한다.

$$I_t \geq \frac{bt^3}{1092} \frac{(1+n\gamma_{l,req})}{4\alpha^3} \quad (65)$$

$$t \geq t_o : \gamma_{l,req} = 4\alpha^2 n \left( \frac{t_o}{t} \right)^2 (1+n\delta) - \frac{(\alpha^2+1)^2}{n} \quad (66)$$

$$t < t_o : \gamma_{l,req} = 4\alpha^2 n (1+n\delta) - \frac{(\alpha^2+1)^2}{n}$$

여기서,  $\alpha = \frac{a}{b}$  : 보강판의 종횡 치수비

$\alpha_o = \sqrt[4]{1+n\gamma_l}$  : 한계종횡치수비

$a$  : 횡방향보강재 간격 (mm)

$\delta$  : 종방향보강재 1개의 단면적비

$n$  : 종방향보강재에 따라 나뉘어지는 패널 수

$\gamma_l = I_l / \left( \frac{bt^3}{1092} \right)$  : 종방향보강재의 강비

$t_o$  : 보강되는 판의 최소두께

#### 6.2.4 원형단면기둥의 보강재

원형단면기둥의 보강재는 다음과 같이 설계한다.

##### (1) 간격

최대간격은 원형기둥 외경의 3배로 한다. 다만,  $R/t \leq 30$ 의 범위에 있는 경우에는 보강재를 생략하여도 좋다.

##### (2) 강도

현장용접 점검용 출입구의 보강재는 플랜지부착의 다이아프램을 사용하여 충분한 강도가 주어지기 때문에 특별한 검사가 필요하지는 않지만 매립콘크리트부의 보강재는 환보강재의 형식을 채용하므로 다음을 만족하여야 한다.

$$b \geq \frac{d}{20} + 70(\text{mm}) \quad (67)$$

$$t \geq \frac{b}{17} (\text{mm}) \quad (68)$$



여기서,  $b$  : 환보강재의 폭 (mm)

$t$  : 환보강재의 두께 (mm)

$d$  : 원형기둥의 외경 (mm)

### 6.3 플랜지와 복부판의 용접설계

수평전단응력을 전달하는 플랜지와 복부판을 결합하는 용접은 맞대기 용접으로 한다. 이 경우의 개선(開先)치수는 이하와 같이 하는 것이 좋다.

(1)  $t \leq 25$  일 때

<그림 43>의  $(S_1 + 0.707S_2)$  를 허용응력에 대한 용접단면의 필요치수의 1.5배 이상 ( $=S_{req}$ )으로 하지만 완전용입 홈용접으로 한다. 여기에 1.5배로 한 것은 부분용입 용접의 경우 L형 용접부는 볼트부에 응력이 집중되기 쉬운 점을 고려하였기 때문이다.

(2)  $t > 25$  일 때

<그림 44>에 대한  $(S_1' + S_1'' + 0.707S_2)$  를 허용응력에 대한 용접단면의 필요치수의 1.5배 이상 ( $=S_{req}$ )으로 하지만 완전용입으로 한다.

(3) 단, 6.1항, 6.2항에 있어서

$$S_1 \geq \frac{t}{2}$$

$$S_1' + S_1'' \geq \frac{t}{2}$$

$$S_1, S_1', S_1'', S_2 \geq 6mm$$

이 되어야 한다.

(4) 완전용입 그루브용접으로 하지 않는 경우

완전용입 그루브용접으로 하지 않는 경우는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받는 용접이음의 검사를 수행한다.

(5) 접합부

접합부는 작용력이 크기 때문에 완전용입 그루브용접으로 한다.

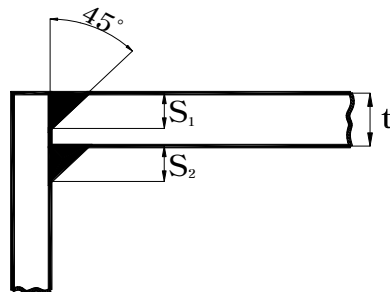


그림 43. 개선치수( $t \leq 25$ )

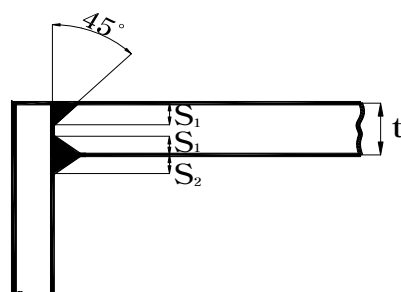


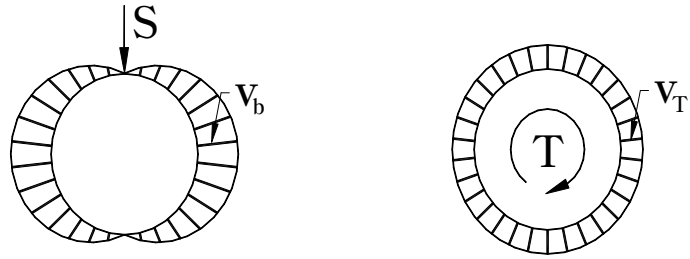
그림 44. 개선치수( $t > 25$ )



## 6.4 이음, 처짐검토

### 6.4.1 이음

이음부에 작용하는 응력 검토는 다음식에 의한다.



a) 휨에 의한 전단응력

(b)비틀림에 의한 전단응력

그림 45. 휨과 비틀림에 의한 전단응력도

#### (1) 수직응력

$$f_N = \frac{N}{A} \quad (69)$$

#### (2) 휨응력

$$f_b = \frac{M}{W} \quad (70)$$

#### (3) 합성응력

$$f = f_N + f_b \quad (71)$$

#### (4) 전단응력

$$v_{bmax} = \frac{2S}{2\pi R t} \quad (72)$$

$$v_l = \frac{T}{2\pi R^2 t} \quad (73)$$

여기서,  $S$  : 전단력(kN)

$T$  : 비틀림 모멘트(kN · m)

$R$  : 원형단면기둥의 반지름(mm)

$t$  : 원형단면기둥의 두께(mm)

#### (5) 합성응력에 대한 검토

축방향 압축응력과 전단응력의 조합에 대해서는 다음식으로 검토한다.

$$\frac{f}{f_a} + \left( \frac{v}{v_a} \right)^2 \leq 1.0 \quad (74)$$

#### 6.4.2 처짐

주형을 라멘교각으로 받칠 경우 활하중(충격을 포함하지 않음)에 의한 라멘교각의 최대처짐은 다음 식을 만족하여야 한다.

$$(\delta_1 + \delta_2) \text{ 또는 } (\delta_2 + \delta_3) \text{ 중 큰 값} \leq (L_1 + L_2 + L_3)/500 \quad (75)$$

(1) <그림 36 (a)> 의 경우

$$\delta_1 \leq L_1/300 \quad (76)$$

$$\delta_3 \leq L_3/300 \quad (77)$$

(2) <그림 36 (b)> 의 경우

$$\delta_1 \leq L_1/500 \quad (78)$$

$$\delta_3 \leq L_3/500 \quad (79)$$

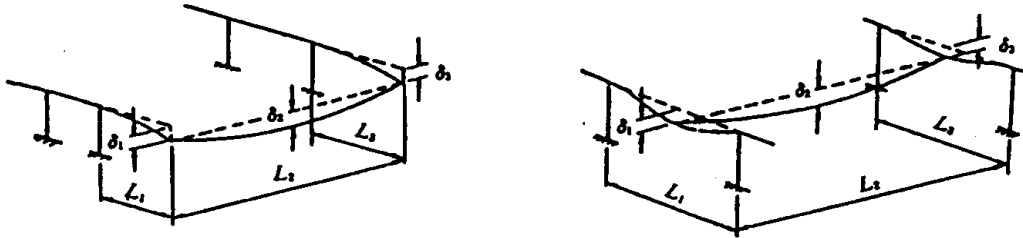


그림 46. 라멘교각의 처짐

또 위의 식을 만족하더라도 상부구조의 응력이  $\delta_1$  또는  $\delta_3$ 에 의해서 무시할 수 없는 영향을 받는다고 생각될 경우에는 주형을 탄성반침상의 보로 간주하고 해석하여야 한다.

#### 6.4.3 제작 솟음

제작솟음은 보 및 기둥의 처짐에 대응하여 올린 양을 적용하지만 처짐값이 작은 경우에는 그에 대한 제작솟음을 하지 않는 경우가 많다. 하지만 캔틸레버부에 대해서는 제작솟음을 주어야 한다.

#### 6.4.4 기둥기초부

(1) 베이스부, 앵커빔

베이스부, 앵커빔의 용접이음은 그 부분에 작용하는 힘의 전달방법을 충분히 파악하여 계산하지 않으면 안된다. 베이스부의 용접 및 앵커빔의 용접은 다음을 표준으로 한다.

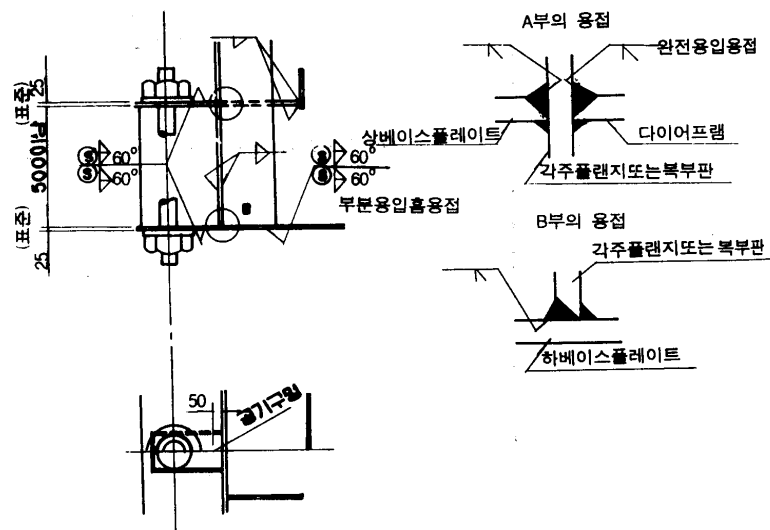


그림 47. 베이스부의 용접

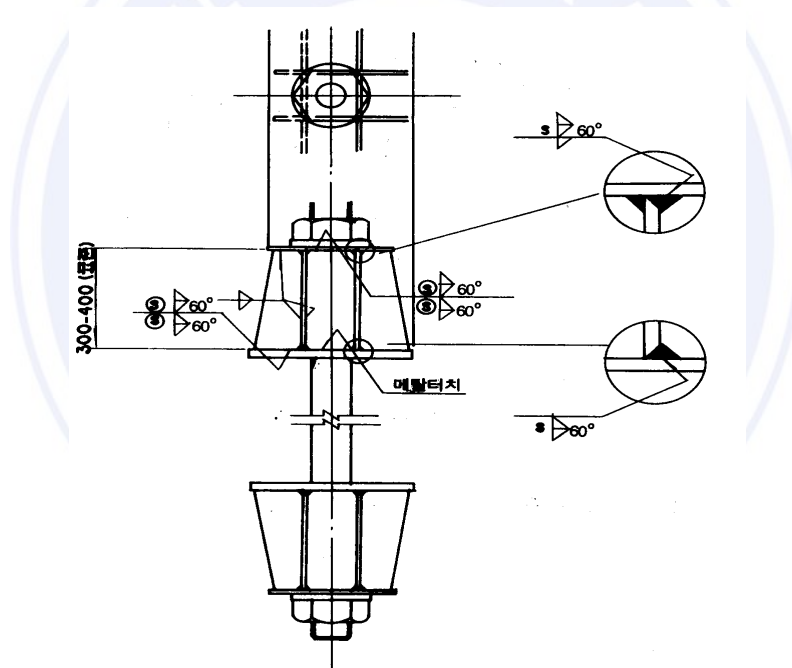


그림 48. 앵커빔의 용접

## (2) 기둥의 코너부의 용접

기둥의 코너부에 있어서는 기둥플랜지와 복부판의 용접과 리브의 용접이 겹치지 않도록 리브를 배치하여야 한다. 기둥코너부의 용접은 다음을 표준으로 한다.

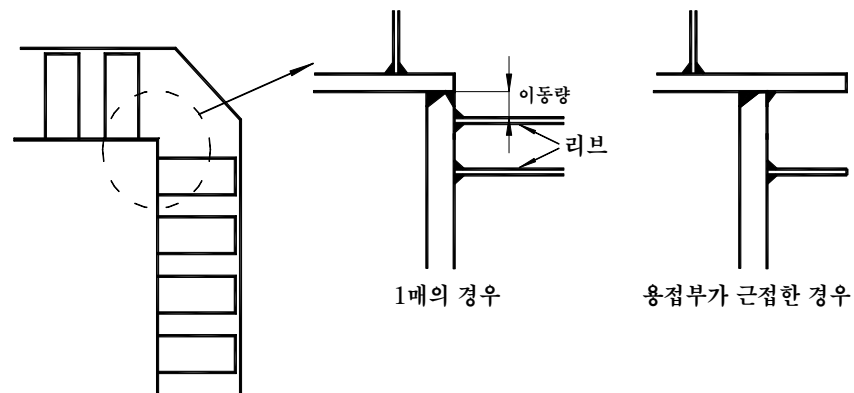


그림 49. 각형단면기둥 코너부의 용접

(3) 기타용접

앵커볼트의 너트, 와셔와 베이스부, 앵커빔과의 용접방법은 그 사용목적에 따라 행하는 것으로 한다.

(4) 공기구멍, 그라우트 구멍

베이스부, 앵커빔에는 공기구멍·그라우트구멍을 설치하지 않으면 안된다.



## 해설 2. 설계흐름도의 구성

### 1. 주설계단계

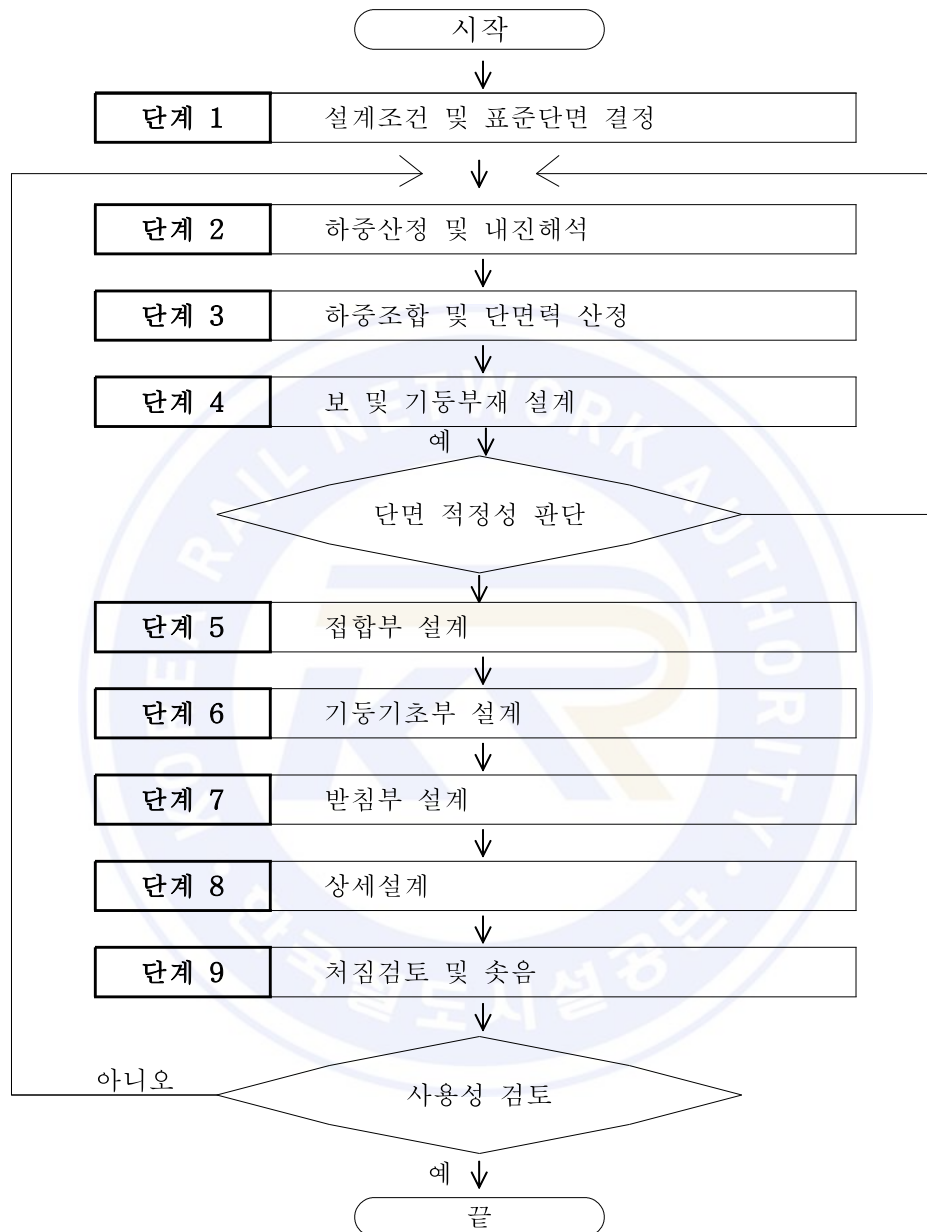


그림 50. 주설계 흐름도

## 2. [단계 1] 10.1 설계 조건

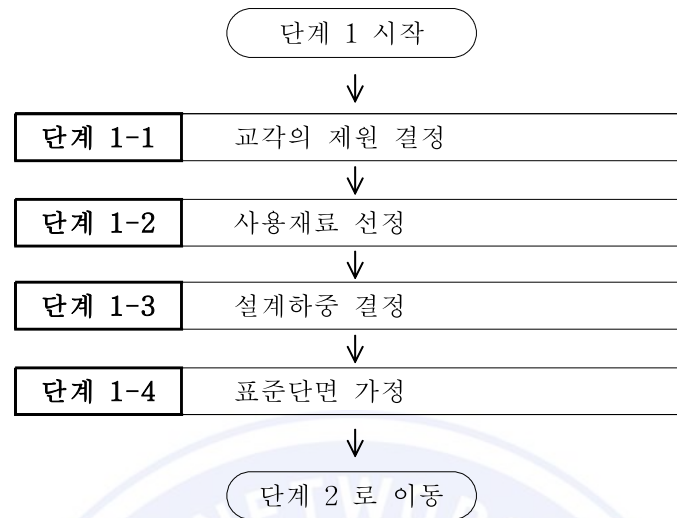


그림 51. 설계 조건 및 표준단면 결정

## 3. [단계 2] 하중의 산정 및 내진설계

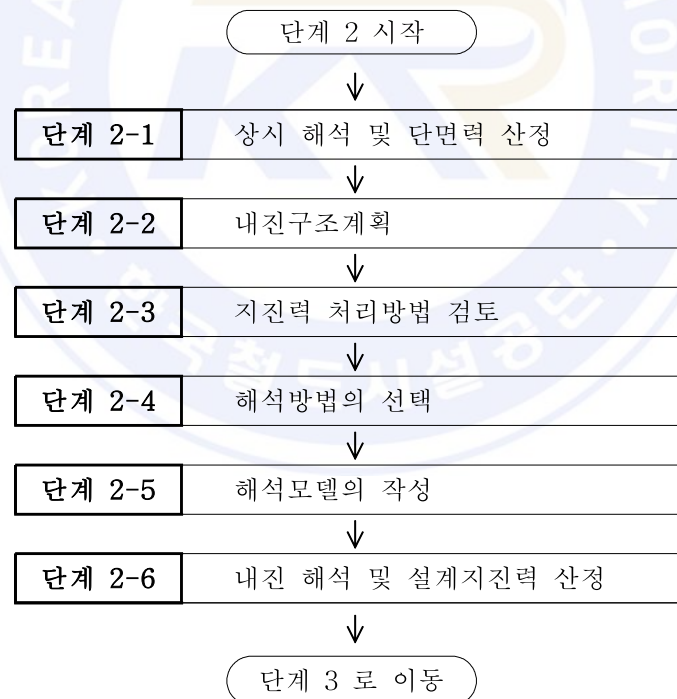


그림 52. 하중산정 및 내진해석





#### 4. [단계 3] 하중조합 및 단면력 산정

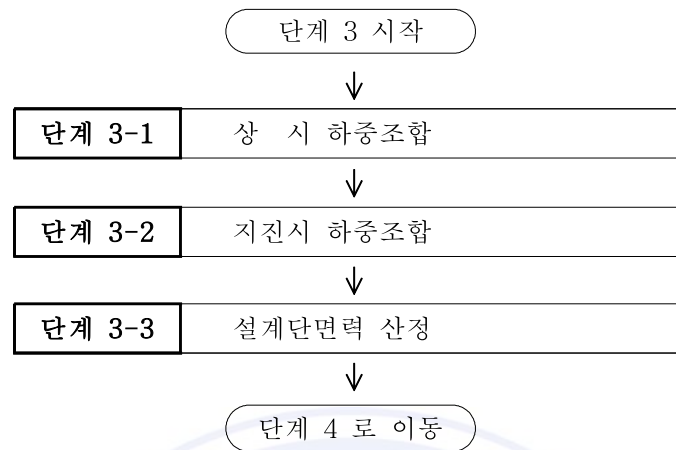


그림 53. 하중조합 및 단면력 산정

#### 5. [단계 4] 보 및 기둥부재의 설계

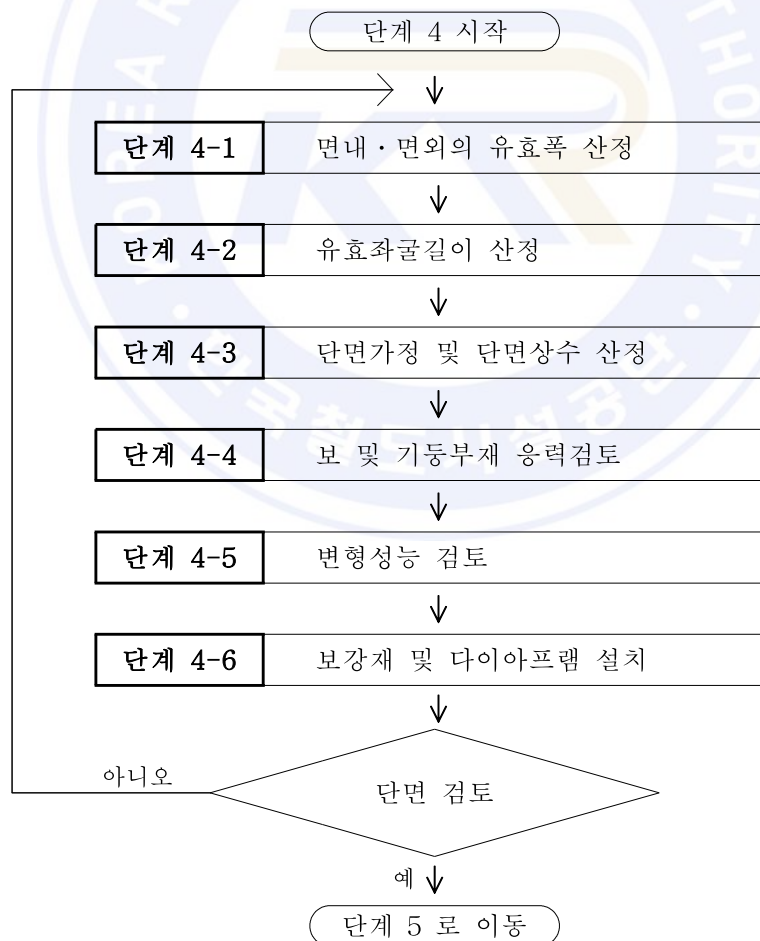


그림 54. 보 및 기둥부재 설계

## 6. [단계 5] 접합부 설계

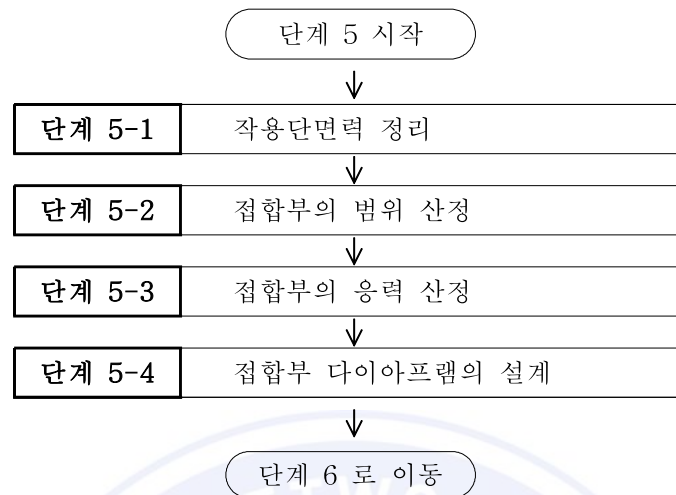


그림 55. 접합부 설계

## 7. [단계 6] 기둥기초부 설계



그림 56. 기둥기초부 설계



## 8. [단계 7] 받침부 설계



그림 57. 받침부 설계

## 9. [단계 8] 상세설계

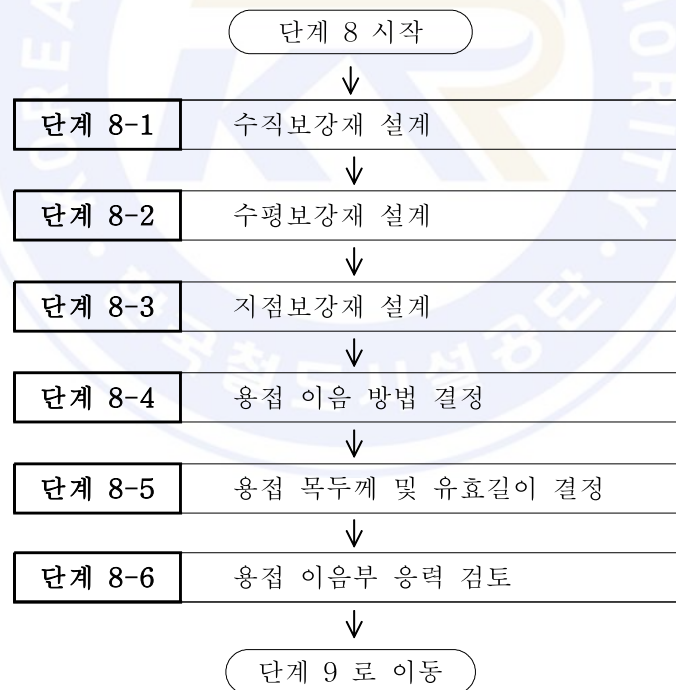


그림 58. 상세설계

10. [단계 9] 처짐검토 및 솟음

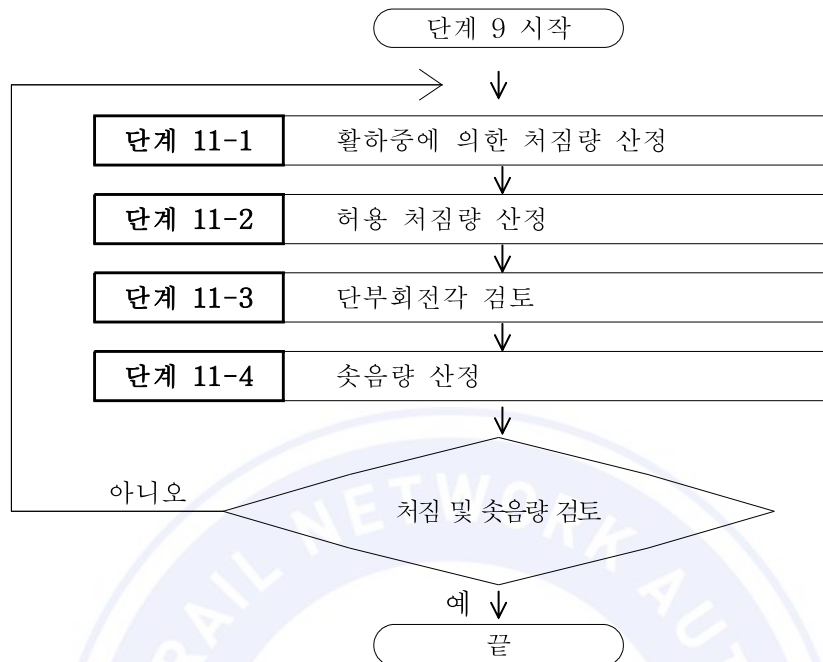


그림 59. 처짐검토 및 솟음



### 해설 3. 설계단계별 고려사항

#### 1. [단계 1] 단면제원 가정 및 단면제상수 산정

##### 1.1 [단계 1-1] 교각의 제원 결정

###### 1.1.1 받침의 연단거리

교량 받침면은 받침을 통해서 상부구조로부터의 집중하중을 받는 곳이고, 또 지진 시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 콘크리트 교각에서는 받침 끝에서 정부연단 거리까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연하여 교좌가 파손되는 경우도 있다. 또한 가동단에서는 받침이 벗어나 거더가 낙하 하는 경우도 있다.

강재교각의 경우는 하부구조 정부에 있어서 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부 연단 사이의 거리  $S$  (mm)를 콘크리트 교각과 동일한 규정값 이상이 되도록 하는 것이 좋다.

###### 1.1.2 [단계 1-2] 받침 최소지지길이 검토

교량의 끝부분에 있어서 지진시에 낙교를 방지하기 위하여 내진설계시 최소 받침

지지길이  $N$ 는 다음 값보다 작아서는 안된다.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H) \times (1 + 0.000125\theta^2) \quad (\text{mm}) \quad (80)$$

여기서,  $L$  : 인접 신축이음부 또는 교량단부까지의 거리 (mm)

$H$  : 기둥의 평균높이 (mm)

##### 1.2 [단계 1-2] 사용재료 선정

강교각에는 KR C-09010에 제시된 강재를 모두 적용할 수 있으며, 기둥 및 보부재와 접합부 영역을 이중의 재료로 설정할 수 있다. 특히 <그림 24>에 나타낸 접합부 영역은 응력집중 현상이 현저히 크게 일어나는 영역이므로 고강도 강재의 적용이 일반적이다.

##### 1.3 [단계 1-3] 설계하중 결정

강교각에 적용하는 하중은 KR C-08020을 준용한다.

##### 1.4 [단계 1-4] 표준단면 가정

강교각의 기둥 단면은 콘크리트 교각과는 달리 보부재와 기둥부재 접합부에 단차를 주기 않기 때문에 보부재의 응력검토 결과에 따라서 단면의 교축방향 복부판 높이가 결정되는 경우가 많다. 그러나 기둥부재를 지나치게 크게 하면 유효단면 폭이 크게 감소하여 비경제적이 되고, 반대로 지나치게 작게 할 경우 전체좌굴에 대한 위험이

발생하므로 주의를 요한다. 따라서 최적단면을 결정할 수 있으면서도 안정성을 확보할 수 있는 교각단면의 결정이 중요하다. 콘크리트 교각처럼 보와 기둥부재 접합부에 현치를 설치하거나 제작 및 운반의 편의를 위해 접합부 영역 이내에 볼트 연결을 실시하는 것도 배제되어야 한다.

## 1.5 [단계 1-4] 단면 제상수의 산정

가정된 단면에 대해 단면의 면적, 전단면적(Shear Area), 2차모멘트 등의 상수들을 산정하지만, 후에 플랜지 및 종방향 리브의 설치에 따른 단면 제 상수를 다시 계산하여야 한다.

## 2. [단계 2] 하중의 산정 및 내진설계

### 2.1 [단계 2-1] 상시 해석 및 단면력 산정

#### 2.1.1 하중산정

강교각에 작용되는 하중은 고정하중, 활하중, 풍하중, 온도하중, 유수압, 충돌하중, 지진하중 등 콘크리트 교각에서 고려하는 모든 하중을 동일하게 고려한다. 이때 하중 CASE는 각 하중 조건별, 검토단면별로 세분화하여 산출한다. 이때, 구조해석으로부터 산출된 부재력을 조합하여 최대의 단면력을 계산한다. 이때 1축의 단면력이 작용할 때와 2축의 단면력이 동시에 작용하는 경우를 모두 고려한다. 보의 작용 단면력을 산정하는 위치는 보 일반부 중 최대 부재력 점과 보 및 기둥부재 접합부 영역과의 경계점에 대해 산출한다. 기둥의 단면력은 기둥부재와 기초부가 만나는 점과 단면변화부에 대해 산정하며, 라멘이나 2층 이상의 경우는 부재력의 변화가 크므로 단부와 최대 부재력점 단면 변화점 등에 대해 부재력을 산출한다.

#### 2.1.2 해석 모델링 및 하중재하

해석모델의 절점은 단면력을 정리해야 하는 위치와 단면상수가 변화되는 곳, 그리고 하중재하 위치를 적절히 나누어 주어야만 한다. 하중의 재하는 하중의 특성에 따라 집중하중 및 분포하중으로 재하한다. 또한, 기둥과 보의 지점부에 특히 큰 현치가 있는 경우나 보부재 또는 기둥 부재의 부재두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향을 고려하여야 한다.

- (1) 부재 단부가 다른 부재와 접합할 때는 그 부재단에서 부재 두께의 1/4 안쪽점으로부터 절점까지로 한다.
- (2) 부재가 그 축선에 대해 25°이상 경사진 현치를 갖는 경우에는 부재 두께의 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 한다. 다만, 현치의 경사가 60° 이상의 경우는 현치의 시점부터 부재 두께의 1/4 안쪽 점에서부터 절점까지로 한다.



## 2.2 [단계 2-2] 내진구조계획

설계지진력 산정 및 내진 및 면진받침 결정 등 내진 구조계획을 수행한다.

## 2.3 [단계 2-3] 지진력처리방법 검토

상부구조의 종류와 중량 및 강교각의 강성을 고려하여 구체적인 지진력 처리방법을 계획한다.

## 2.4 [단계 2-4], [단계 2-5] 해석방법의 선택 및 해석모델의 작성

내진, 면진구조에 대해 다중모드스펙트럼 해석법을 기본으로 하며, 교량의 주기가 3초 이상이거나 감쇄율이 30%를 초과하는 경우에는 시간이력해석을 수행할 수 있다.

## 2.5 [단계 2-6] 내진 해석 및 설계지진력 산정

해석을 수행하고, 설계지진력을 산정한다. 이때, 다중모드스펙트럼 해석법을 적용하는 경우에는 종방향과 횡방향 지진해석 결과를 조합하여 설계지진력을 산정한다.

## 3. [단계 3] 하중조합 및 설계단면력 산정

강교각의 설계는 허용응력설계법에 의해 진행되므로 사용하중에 대한 단면력 조합을

기본 조합으로 하며, 각 하중 Case에 대해 허용응력의 할증을 고려한다. 이때, 상시 및 지진시 하중 등 작용하는 모든 단면력중 가장 불리한 조건을 설계단면력으로 결정한다.

## 4. [단계 4] 보 및 기둥부재의 설계

### 4.1 [단계 4-1] 면내·면외의 유효폭 산정

강교각의 경우 보 및 기둥부재의 설계는 면내 및 면외방향의 유효폭을 산정하여 전단지연응력에 대해 고려하도록 하며, 이는 해설 1의 3.3항고 4.2항의 내용에 따라 산정 한다.

### 4.2 [단계 4-2] 유효좌굴길이 산정

강교각은 T형 뿐만 아니라 라멘형 2층형 등 다양한 형태의 구조 형상을 가지게 되며, 이때 유효좌굴길이는 해설 1의 3.3항에 따라 산정 한다.

### 4.3 [단계 4-3] 단면가정 및 단면상수 산정

강교각의 단면을 구체적으로 가정하고 면내 및 면외방향의 단면상수를 유효폭을 고려하여 산정한다. 작용단면력에 대해 응력계산 및 합성응력 검토가 허용치 이내에 있도록 개략의 단면을 가정한다. 이 단계에서 단면의 좌굴 및 변형성능 검토나 종방향 보강재 등을 고려하는 것이 좋다.



#### 4.4 [단계 4-4] 보 및 기둥부재 응력검토

면내 및 면외 유효폭을 고려하여 작용 단면력에 대한 응력계산을 수행하고, 축방향력, 전단응력 등이 휨응력과 함께 작용할 때는 합성응력의검토를 추가로 수행해야 한다.

#### 4.5 [단계 4-5] 변형성능 검토

강교각의 기둥 지점부는 지진 및 진동에 대해 에너지 흡수를 충분히 할 수 있는 구조를 채택해야 한다. 이때 해설 1의 4.1항의 판의 최소두께 두께에 대한 제한을 적용하는 것이 일반적이다.

#### 4.6 [단계 4-6] 보강재 및 다이아프램 설치

단면 구성판의 국부좌굴의 방지를 위해 해설 1의 4.1항과 같이 종방향 보강재를 설치한다. 기둥부재의 경우는 복부판에도 종방향 보강재를 설치하여야 한다. 이때 종방향 보강재는 연속구조로 하여야 한다. 상부구조 받침부에는 상부로부터 전달되는 하중에 충분히 저항할 수 있도록 해설 1의 4.1항과 같이 다이아프램을 설치한다. 받침부 이외의 보와 기둥에 대해서는 5m 이내 간격으로 일반부 다이아프램을 설치한다.

### 5. [단계 5] 접합부의 설계

#### 5.1 [단계 5-1] 작용단면력 결정

<그림 23>과 같이 보 및 기둥 부재에 대해 단면력을 산출하는 것을 원칙으로 한다.

#### 5.2 [단계 5-2] 접합부의 범위 결정

접합부 범위는 보 및 기둥 부재 폭의 1/2을 표준으로 한다. 원형기둥 접합부의 접합부 범위는 <그림 24>와 같이 정의한다.

#### 5.3 [단계 5-3] 접합부의 응력 산정

접합부의 전단지연응력은 일반부보다 다소 큰 경향이 있고, 유효폭 개념을 적용하지 않으므로 주의하여야 한다. 접합부에서는 전단지연을 고려한 플랜지의 수직응력과 복부판의 전단응력 및 패널부의 전단응력 등과 합성응력을 검토한다. 전단지연 파라메타  $S_f$ 는 <식 (18)>과 같이 단면적비  $S(=A_w/A_f)$ 에 대한 식으로 정의 되므로, 기존의 설계기준[도·설]에서의 도표에 의한 방법과 차이가 있다. <그림 26>은 <식 (18)>을 기존의 도표에 의한 방법으로 나타낸 것이다.

#### 5.4 [단계 5-4] 접합부의 다이아프램 설계

접합부 다이아프램 설계는 해설 1의 4.3항과 같이 수행한다. 이때, 박스형 단면 접합부는 맨홀과 맨홀에 의한 단면손실에 대해 보강재를 설치하는 것으로 하고 있으며, 원형기둥 접합부는 응력을 직접 계산하는 방법과 필요최소두께 산정에 의해 다이아프



램의 두께를 결정하는 방법 및 경험적인 방법에 의한 설계방법이 있다.

## 6. [단계 6] 기둥기초부의 설계

### 6.1 [단계 6-1] 작용단면력 결정

기둥 하단부에 대한 축력, 휨모멘트, 전단력을 작용 단면력으로 결정한다.

### 6.2 [단계 6-2] 앵커볼트 응력 검토

해설 1의 4.4항과 같은 방법으로 앵커볼트의 응력을 검토하며, 이때 발생하는 콘크리트의 압축력을 동시에 검토한다.

### 6.3 [단계 6-3] 베이스플레이트 응력 검토

박스형 기둥과 원형기둥에 대해 베이스부의 구조를 <그림 33>과 <그림 34>로 결정할 수 있으며, 상부 및 하부 베이스 플레이트에 대해 응력을 계산하여 안전을 검토한다.

### 6.4 [단계 6-4] 앵커프레임의 응력검토

앵커프레임은 기둥기초부의 기초판 내부에 위치하는 구조로, 일반적으로 <그림 37>과 같은 구조를 가진다. 앵커프레임은 <그림 38>과 같은 보강구조 형식으로 안전성을 검토한다.

## 7. [단계 7] 받침부 설계

### 7.1 [단계 7-1] 받침블록 형상결정

받침블록의 높이  $H$ 가 130 mm를 초과하는 경우에는 박스형 슈 받침을 적용하며, 130 mm 미만의 경우는 판 슈 받침을 사용한다.

### 7.2 [단계 7-2] 최소두께 결정

<그림 40>에 나타낸 바와 같으며, 이때  $t_1$ 과  $t_2$ 의 두께는 22mm 이상이어야 한다. 또한 상시하중 조건중에서 부반력이 발생하거나 용접사이즈가 12mm를 초과하는 경우에는 <그림 41>에 나타낸 바와 같이 볼트체결을 하는 것으로 하며, 이때 받침부 하면에는 사이드 블록을 설치하여 수평력에 저항토록 하여야 한다. 소울 플레이트의 두께는 최소 22 mm 이상으로 한다.

### 7.3 [단계 7-3] 받침 블록 연결방법 결정

강재교각상의 받침은 용접에 의해 설치하는 것을 원칙으로 하지만, 용접 각 길이가 12 mm를 넘는 등 부득이한 경우에는 볼트로 설치한다.

#### 7.4 [단계 7-4] 용접부 및 볼트설계

상향력을 받는 경우 용접부의 계산을 수행하여야 하며, 볼트구멍은 교축 및 교축직각 방향을 가설오차를 고려할 수 있도록 제작한다.

#### 8. [단계 8] 상세설계

수직보강재, 수평보강재, 지점보강재 용접부 설계를 수행한다.

#### 9. [단계 9] 처짐검토 및 솟음

활하중에 의한 강교각의 처짐량을 산정하고 허용처짐량을 산정하며, 단부회전각 검토 및 솟음량을 산정한다.





## 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.

