

$$F_T = P_T \frac{L_n}{R} \quad (4.3-214)$$

여기서, L_n : 최대 정모멘트 지점과 이에 인접한 내측 지점의 중심선 사이의 호의 길이 (mm)

R : L_n 구간 내의 최소 거더반경 (mm)

④ 직선 경간이나 경간 일부가 직선인 구간에 대해서는 F_T 를 0으로 할 수 있다.

(3) 공칭전단강도

① 콘크리트 바닥판 내에 매입된 스터드 전단연결재 1개의 공칭전단강도는 다음과 같다. 단, 아래 강도식은 스터드의 직경이 25 mm 이하이고 최소인장강도가 500 MPa 이하인 경우에 적용한다.

$$Q_n = 0.27d^2 \sqrt{f_c' E_c} \leq 0.8A_{sc}F_u \quad (4.3-215)$$

여기서, d : 스터드의 직경 (mm)

A_{sc} : 스터드 전단연결재의 단면적 (mm^2)

E_c : 콘크리트의 탄성계수 (MPa)

F_u : 스터드 전단연결재의 최소인장강도 (MPa)

② 콘크리트에 매립된 \square 형강 전단연결재의 공칭전단강도는 다음과 같다.

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_c \sqrt{f_c' E_c} \quad (4.3-216)$$

여기서, t_f : \square 형강 전단연결재의 플랜지두께 (mm)

t_w : \square 형강 전단연결재의 웨브두께 (mm)

L_c : \square 형강 전단연결재의 길이 (mm)

4.3.3.1.11 보강재

4.3.3.1.11.1 중간수직보강재

(1) 일반사항

① 수직보강재는 판 또는 L형강을 사용하여 웨브의 한쪽 또는 양쪽에 볼트나 용접으로 접합한다. 직선교에서 다이아프램이나 수직 브레이싱의 이음판으로 사용되지 않은 보강재는 압축플랜지에 틈이 없도록 밀착시키거나 접합해야 하나, 인장플랜지와는 밀착시키지 않아도 된다. 수평 곡선교에서 웨브 한쪽 면에만 설치된 수직보강재는 상·하 플랜지에 모두 접합시켜야 하고, 수직보강재를 양쪽 모두 설치할 때에는 상·하 플랜지에 틈이 없도록 밀착시키거나 접합해야 한다.

② 다이아프램이나 수직 브레이싱의 이음판으로 사용되는 보강재는 상·하 플랜지에 접합시켜야 한다.

- ③ 수직보강재-웨브 용접단부와 이에 인접한 웨브-플랜지 용접부 또는 수평보강재-웨브 용접단까지의 거리는 $4t_w$ 이상 그리고 $6t_w$ 와 100 mm 이하이어야 한다.

(2) 돌출폭

돌출폭 b_t 는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$b_t \geq 50 + \frac{D}{30} \quad (4.3-217)$$

그리고

$$16t_p \geq b_t \geq b_f/4 \quad (4.3-218)$$

여기서, b_f : I-단면의 경우, 가장 넓은 압축플랜지의 전폭; U-형단면의 경우, 가장 넓은 압축플랜지의 전폭; 폐단면 박스거더의 경우 $b_f/4$ 제한치는 적용되지 않는다. (mm)
 t_p : 수직보강재의 두께 (mm)

(3) 단면2차모멘트

- ① 수직보강재 양쪽 웨브에서 전단력 V_u 가 설계전단좌굴강도 $\phi_v V_{cr}$ 보다 크지 않은 경우, 수직보강재의 단면2차모멘트 I_t 는 다음 값 중 작은 값을 만족해야 한다.

$$I_t \geq I_{t1} \quad (4.3-219)$$

그리고

$$I_t \geq I_{t2} \quad (4.3-220)$$

여기서,

$$I_{t1} = b t_w^3 J \quad (4.3-221)$$

$$I_{t2} = \frac{D^4 \rho_t^{1.3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5} \quad (4.3-222)$$

$$J = \frac{2.5}{(d_0/D)^2} - 2.0 \geq 0.5 \quad (4.3-223)$$

$$F_{crs} = \frac{0.31E}{\left(\frac{b_t}{t_p} \right)^2} \leq F_{ys} \quad (4.3-224)$$

$$V_{cr} = C V_p \quad (4.3-225)$$

$$V_p = 0.58 F_{yw} D t_w \quad (4.3-226)$$

여기서, ϕ_v : 전단에 대한 강도저항계수

V_{cr} : 인접 웨브 패널의 공칭전단좌굴강도 중 작은 값 (N)

V_u : 설계조합하중에 의한 인접 웨브의 전단력 중 큰 값 (N)

I_t : 한 쪽 면만 보강된 경우는 웨브와의 접합면에 대하여, 양면 보강된 경우에는 웨브의 중심축에 대한 수직보강재의 단면2차모멘트 (mm^4)

b : d_0 와 D 중 작은 값 (mm)

d_0 : 인접한 웨브 폭들 중 작은 값 (mm)

J : 보강재 휨강성 변수

ρ_t : F_{yu}/F_{crs} 와 1.0 중 큰 값

F_{crs} : 보강재의 국부좌굴강도 (MPa)

F_{ys} : 보강재의 최소 항복강도 (MPa)

C : 식 (4.3-185), 식 (4.3-186) 또는 식 (4.3-187)에 규정된 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비. 비보강 웨브의 경우 $k=5.0$ 을 적용한다.

V_p : 소성전단력 (N)

② 수직보강재의 한쪽 또는 양쪽 웨브에서 전단력 V_u 가 설계전단좌굴강도 $\phi_v V_{cr}$ 보다 커서 웨브의 후좌굴강도 또는 사인장강도가 요구되는 경우, 수직보강재의 단면2차모멘트 I_t 는 다음을 만족해야 한다.

가. $I_{t2} \geq I_{t1}$ 인 경우

$$I_t \geq I_{t1} + (I_{t2} - I_{t1}) \left(\frac{V_u - \phi_v V_{cr}}{\phi_v V_n - \phi_v V_{cr}} \right) \quad (4.3-227)$$

나. 그 밖의 경우

$$I_t \geq I_{t2} \quad (4.3-228)$$

여기서, V_n : 4.3.3.1.9.3에 규정된 전단좌굴강도와 사인장강도의 조합공칭강도로 산정한 인접 웨브 패널의 공칭전단강도 중 작은 값 (N)

다. 수평보강재가 있는 경우, 수직보강재는 또한 다음 조건을 만족해야 한다.

$$I_t \geq \left(\frac{b_t}{b_l} \right) \left(\frac{D}{3.0d_0} \right) I_l \quad (4.3-229)$$

여기서, b_t : 수직보강재의 돌출폭 (mm)

b_l : 수평보강재의 돌출폭 (mm)

I_l : 4.3.3.1.11.3(3)에 규정된 수평보강재의 단면2차모멘트 (mm^4)

4.3.3.1.11.2 하중집중점 지압보강재

(1) 일반사항

① 지압보강재는 모든 지점부 위치에 설치해야 한다. 압연 형강보의 지점부 위치나 조립단면

또는 압연형강이 바닥판을 통하지 않고 집중하중을 받는 위치에는 지압보강재를 설치하거나 웨브를 부록 B.5에 따라 설계해야 한다.

- ② 지압보강재는 단일 또는 여러 개의 판 또는 L형강을 웨브 양면에 용접 또는 볼트로 접합시켜 설계하중에 의한 전체 수직력을 전달할 수 있도록 설계해야 한다.
- ③ 지압보강재는 웨브의 전체높이까지 연장시켜야 하며, 가능한 한 플랜지 연단까지 연장시켜야 한다. 각 지압보강재는 플랜지에 밀착되어 하중을 지지할 수 있도록 공장가공을 하거나 완전용입홈용접으로 플랜지와 접합시켜야 한다.

(2) 돌출폭

지압보강재의 돌출폭 b_t 는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$b_t \leq 0.48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (4.3-230)$$

여기서, F_{ys} : 지압보강재의 최소항복강도 (MPa)

t_p : 지압보강재의 두께 (mm)

(3) 지압강도

설계지압강도는 다음과 같이 구한다.

$$(R_{sb})_r = \phi_b (R_{sb})_n \quad (4.3-231)$$

여기서, ϕ_b : 지압에 대한 강도저항계수

$(R_{sb})_n$ = 지압보강재의 공칭지압강도 (N)

$$= 1.4A_{pn}F_{ys} \quad (4.3-232)$$

A_{pn} : 웨브 용접면으로부터 돌출된 지압보강재의 단면적으로서 플랜지 연단 위의 돌출부는 포함하지 않는다. (mm^2)

F_{ys} : 지압보강재의 최소항복강도 (MPa)

(4) 지압보강재의 축방향 강도

① 일반사항

설계축방향강도 P_r 은 지압보강재의 최소항복강도 F_{ys} 를 사용하여 4.2에 따라 결정한다. 회전반경은 웨브 중심축에 대해 계산하며 유효길이는 $0.75D$ 로 한다. 여기서, D 는 웨브 높이이다.

② 유효단면

- 가. 웨브에 볼트로 접합된 보강재의 경우는 지압보강재 만을 유효 기둥단면으로 취급한다.
- 나. 웨브에 용접된 보강재의 경우, 유효 기둥단면에 웨브의 일부를 포함한다. 웨브에 용접으로 접합된 2개의 지압보강재가 사용된 경우는 지압보강재의 양쪽으로 각각 $9t_w$ 이내의 웨브를 유효 기둥단면으로 본다. 만약 1쌍 이상의 지압보강재가 사용된 경우에는 지압보강재

- 중 가장 외측 보강재들로부터 각각 $9t_w$ 이내의 웨브를 유효 기둥단면으로 본다.
- 다. 연속지간의 내부지점부 하이브리드 단면에서 웨브의 최소항복강도가 플랜지의 최소항복강도의 70%보다 작으면 웨브는 유효단면에서 제외시켜야 한다.
- 라. 웨브의 최소항복강도가 보강재의 항복강도보다 작으면 웨브 유효단면은 F_{yw}/F_{ys} 의 비로 줄여야 한다.

4.3.3.1.11.3 수평보강재

(1) 일반사항

- ① 수평보강재가 필요한 부분에 대해서는 웨브의 1면에 수평방향으로 플레이트를 용접접합하거나 혹은 앵글을 볼트로 체결하여 설치한다. 수평보강재는 식 (4.3-134)의 시공성 기준, 식 (4.3-141)의 사용한계상태기준, 그리고 강도한계상태에서의 요구조건을 모두 만족하도록 설치위치를 결정해야 한다. 수평보강재는 계약서에서 허용되지 않는다면 보강재가 필요한 구간에서 가능한 절단하지 않도록 한다. 웨브의 보강재 역할을 하는 수직보강재가 수평보강재에 의해 간섭되는 경우, 수직보강재는 힘과 축방향 강성을 발휘할 수 있도록 수평보강재에 부착시켜야 한다.
- ② 강도한계상태에서의 설계하중과 시공성을 검토할 때 수평보강재의 힘응력 f_s 는 다음 식을 만족해야 한다.

$$f_s \leq \phi_f R_h F_{ys} \quad (4.3-233)$$

여기서, ϕ_f : 힘에 대한 강도저항계수

F_{ys} : 보강재의 최소항복강도 (MPa)

R_h : 4.3.3.1.1.10(1)에 규정된 하이브리드 단면의 응력감소계수

(2) 돌출폭

수평보강재의 돌출폭 b_l 은 다음 조건을 만족해야 한다.

$$b_l \leq 0.48t_s \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (4.3-234)$$

여기서, t_s : 보강재의 두께 (mm)

(3) 단면2차모멘트와 회전반경

수평보강재는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$I_l = D t_w^3 \left[2.4 \left(\frac{d_0}{D} \right)^2 - 0.13 \right] \beta \quad (4.3-235)$$

그리고

$$r \geq \frac{0.16d_0 \sqrt{\frac{F_{ys}}{E}}}{\sqrt{1 - 0.6 \frac{F_{yc}}{R_h F_{ys}}}} \quad (4.3-236)$$

여기서 β : 다음과 같이 계산된 수평보강재 힘강성을 위한 곡률보정계수

① 수평보강재가 곡률중심의 반대편 웨브면에 설치된 경우

$$\beta = \frac{Z}{6} + 1 \quad (4.3-237)$$

② 수평보강재가 곡률중심 쪽 웨브면에 설치된 경우

$$\beta = \frac{Z}{12} + 1 \quad (4.3-238)$$

Z = 곡률인자

$$= \frac{0.95d_0^2}{Rt_w} \leq 12 \quad (4.3-239)$$

여기서, d_0 : 수직보강재 간격 (mm)

I_t : 수평보강재와 웨브 유효폭 $18t_w$ 를 포함한 조합단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트 (mm^4). F_{yw} 가 F_{ys} 보다 작을 경우 유효단면에 포함된 웨브의 폭을 F_{yw}/F_{ys} 비로 감소시킨다.

R : 해당 패널의 최소 거더반경 (mm)

r : 수평보강재와 웨브 유효폭 $18t_w$ 를 포함한 조합단면의 중립축에 대한 회전반경 (mm)

4.3.3.1.12 덮개판

4.3.3.1.12.1 일반사항

(1) 부재에 덧붙여지는 각 덮개판의 길이 L_{cp} (mm)는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$L_{cp} \geq 2d + 900 \quad (4.3-240)$$

여기서, d : 강재 단면의 전체높이 (mm)

(2) 플랜지에 인장응력과 압축-인장 교번응력을 일으키는 반복하중을 받는 단재하경로 구조물에서 두께 20 mm 이상되는 플랜지에는 부분용접을 한 덮개판을 사용해서는 안 된다. 각 덮개판의 최대두께는 덮개판이 붙여지는 플랜지두께의 2배를 초과해서는 안 된다. 덮개판을 여러 겹으로 용접해 붙이는 것은 허용되지 않는다. 덮개판의 폭은 덮개판이 붙여지는

플랜지폭보다 좁거나 넓게 할 수 있다.

4.3.3.1.12.2 단부 요구조건

(1) 일반사항

이론적인 덮개판의 끝단은 설계하중에 의한 힘모멘트 M_u 또는 힘응력 f_{bu} 가 플랜지의 설계휨 강도와 같은 단면위치로 결정해야 한다. 덮개판은 이론적인 덮개판의 끝단보다 다음 조건들을 만족하도록 연장해야 한다.

- ① 실제 덮개판의 끝단은 KDS 14 31 20(4.2)에 규정된 피로조건의 응력범위 내에 있어야 한다.
- ② 설계하중에 의해 이론적인 끝단에서 덮개판에 발생되는 축력은 덮개판의 이론적인 끝단과 실제 끝단 사이의 용접이나 볼트를 통하여 전달될 수 있어야 한다.
- ③ 단면변화를 준 덮개판 끝의 폭은 75 mm 이상이어야 한다.

(2) 용접단

덮개판의 이론적인 끝단과 실제 끝단 사이의 용접은 이론적인 끝단에서 덮개판에 발생되는 힘을 충분히 전달할 수 있어야 한다. 덮개판의 폭이 플랜지폭보다 더 넓을 경우 덮개판을 끝돌림용접해서는 안 된다.

(3) 볼트 연결단

- ① 이론적인 끝단과 실제 끝단 사이의 플랜지와 덮개판을 마찰연결하는 경우 연결볼트는 이론적인 끝단에서 설계하중에 의해서 계산되는 덮개판의 축방향력을 충분히 저항할 수 있어야 한다. 단부 볼트연결의 미끄럼강도는 KDS 14 31 25(4.1.3.6)에 따라서 결정한다.
- ② 덮개판과 플랜지의 종방향 용접은 연속적이어야 하고, 단부 볼트연결부의 첫 번째 볼트열과 만나기 전 볼트 간격만큼 떨어진 곳에서 용접을 끝내야 한다.

4.3.3.2 박스거더

4.3.3.2.1 일반사항

- (1) 이 규정은 경간장 105m 이내인 단일 박스거더 또는 다중 박스거더를 갖는 직선 또는 곡선 단순교 또는 연속교에 적용한다. 이 규정은 4.3.3.1.1.1, 4.3.3.1.1.3~4.3.3.1.1.8 및 4.3.3.2.1.1~4.3.3.2.1.4에 정의되거나 기술된 요구조건을 만족하는 합성단면, 하이브리드 단면 및 균질 단면, 그리고 웨브의 높이가 일정하거나 변하는 단면에 적용한다. 4.3.3.1.1.6의 규정은 U형단면의 상부플랜지에만 적용해야 한다.
- (2) 단일 박스거더는 전체 단면의 중앙에 위치시켜야 하며, 고정하중의 무게중심은 박스의 전 단중심에 가능한 한 가깝게 위치하도록 설계해야 한다. 이 규정은 다실 단일 박스거더 또는 하부플랜지를 콘크리트와 합성시킨 박스단면에는 적용할 수 없다.
- (3) 힘을 받은 모든 형태의 박스단면은 최소한 다음조건을 만족하도록 설계해야 한다.
 - ① 4.3.3.2.2에 규정된 단면비 제한

- ② 4.3.3.2.3에 규정된 시공성
- ③ 4.3.3.2.4에 규정된 사용한계상태
- ④ 4.3.3.2.5에 규정된 피로 및 파괴한계상태
- ⑤ 4.3.3.2.6에 규정된 강도한계상태

(4) 웨브가 세장한 부재의 웨브 휨좌굴강도는 4.3.3.1.1.9에 따라 결정해야 한다. 하이브리드 단면 또는 세장 웨브를 갖는 부재의 플랜지 응력감소계수는 4.3.3.1.1.10에 따라 결정해야 한다.

4.3.3.2.1.1 응력계산

- (1) 플랜지의 폭이 유효 경간장의 1/5을 초과하지 않으면 다중 및 단일 박스단면의 플랜지 폭 전체를 휨에 대한 유효폭으로 본다. 단경간의 경우 유효 경간장은 경간장과 같다. 연속교의 경우 유효 경간장은 영구하중변곡점 간의 거리 또는 단순지점과 영구하중 변곡점 사이의 거리와 같다. 만약 플랜지의 폭이 유효 경간장의 1/5을 초과할 때에는 경간장의 1/5을 휨에 대한 유효폭으로 본다.
- (2) 단일 박스단면, 곡선교의 다중 박스단면과 박스플랜지 전체가 유효하지 않는 단면인 경우, 휨전단과 순수비틀림에 의한 전단의 영향을 고려해야 한다. 강도한계상태에서 계수하중에 의한 박스플랜지의 순수비틀림 전단응력은 플랜지의 계수비틀림 전단강도 F_{vr} 을 초과할 수 없다. F_{vr} 은 다음과 같이 산정한다.

$$F_{vr} = 0.75\phi_v \frac{F_{yf}}{\sqrt{3}} \quad (4.3-241)$$

여기서, ϕ_v : 전단에 대한 강도저항

- (3) 또한, 단면 뒤틀림에 의한 횡방향 휨응력은 4.3.3.2.5에 규정된 피로와 강도한계상태에 대하여 고려되어야 한다. 계수하중에 의한 횡방향 휨응력은 강도한계상태에서 135 MPa을 초과해서는 안 된다. 단면 뒤틀림에 의한 종방향 휨응력은 4.3.3.2.5에 규정된 피로에 대해서는 고려해야 하지만 강도한계상태에 대해서는 무시할 수 있다. 횡방향 휨과 종방향 휨응력은 합리적인 해석방법에 의해 결정해야 한다. 웨브 또는 박스플랜지에 부착된 수직보강재는 횡방향 휨에 저항하는 것으로 간주한다.

4.3.3.2.1.2 받침

- (1) 지점에는 단일 또는 이중받침을 설치할 수 있다. 박스거더 단면의 웨브 내외 측에 이중받침을 설치할 수 있다. 단일받침이 하부플랜지 폭보다 좁은 경우는 전단중심선을 따라 배치해야 하며, 기타 지점은 모든 하중경우에 대하여 전도가 발생하지 않도록 배치해야 한다. 하부고정받침을 사용할 때에는 설계 시 이들로부터 야기되는 하중효과도 고려해야 한다.

4.3.3.2.1.3 플랜지와 웨브의 연결

- (1) 이 절에 규정된 경우를 제외하고는 플랜지-웨브용접의 총 유효두께는 웨브 또는 플랜지의 두께보다 작아서는 안 된다. 1시간 내에 2개 이상의 중간 내측 다이아프램이 설치된 경우에 플랜지-웨브 연결은 필릿용접을 사용할 수 있다. 만약, 필릿용접을 사용할 때는 연결플랜지 또는 웨브의 양측 모두를 용접해야 한다.

4.3.3.2.1.4 접근 및 배수

- (1) 박스단면의 접근구멍은 응력이 작은 곳의 하부플랜지에 위치시켜야 한다. 접근구멍이 플랜지 응력에 미치는 영향을 모든 한계상태에 대해 조사하여 필요 시 구멍을 보강해야 한다. 압축을 받는 박스플랜지에 있는 접근구멍의 경우, 강도한계상태에서 구멍이 있는 면의 남아 있는 플랜지의 공칭휨강도는 4.3.3.1.8.2(2)의 규정에 따라 결정해야 한다. 이 때 λ_f 는 구멍이 있는 면의 플랜지 투영폭을 보강을 포함한 플랜지 두께로 나눈 값으로 적용한다. 박스단면의 내측에 통풍과 배수를 위한 규정을 두어야 한다.

4.3.3.2.2 단면비 요구조건

4.3.3.2.2.1 웨브 단면비

(1) 일반사항

웨브는 경사지거나 또는 수직이어야 한다. 하부플랜지와 수직을 이루는 평면과 웨브판의 경사는 1/4을 초과해서는 안 된다. 경사 웨브의 경우 모든 설계요구조건에서 경사를 고려한 웨브 길이를 적용하여 검토해야 한다. U형단면의 상부플랜지에 부착된 웨브는 플랜지 폭의 중앙점에 부착해야 한다.

(2) 수평보강재가 없는 웨브

웨브는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (4.3-242)$$

(3) 수평보강재가 있는 웨브

웨브는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \quad (4.3-243)$$

4.3.3.2.2.2 플랜지 단면비

압축 또는 인장을 받는 U형단면의 상부플랜지는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 12.0 \quad (4.3-244)$$

$$b_f \geq D/6 \quad (4.3-245)$$

$$t_f \geq 1.1t_w \quad (4.3-246)$$

4.3.3.2.2.3 다중 박스단면의 활하중 분배계수 적용 특별제한

- (1) 2개 이상의 단일 박스단면으로 구성된 직선교에서 활하중 분배계수를 적용하여 활하중 흡모멘트를 산정할 경우에는 다음에 언급된 기하학적 조건을 만족해야 한다. 또한, 베어링 연결선은 사각을 이루지 않아야 한다.
- (2) 지간 중앙에서의 인접 박스 간 플랜지의 중심간격 a 는 그림 4.3-1과 같이 각 박스단면의 플랜지 중심간격 w 의 80% 보다 크고 120% 보다 작아야 한다. 또한, 평행하지 않은 박스거더 단면을 사용하는 경우 중앙지간에서의 요구조건 외에 지점에서의 인접한 박스거더의 플랜지 중심간격은 각 박스단면의 플랜지 중심간격의 65% 이상 및 135% 이내이어야 한다. 각 박스단면의 플랜지 중심간격은 동일해야 한다.
- (3) 웨브의 경사도는 1/4을 넘어서는 안 된다.
- (4) 난간이나 연석을 포함한 바닥판의 내민부는 인접 박스 간 상부 강재플랜지의 평균 중심간격 a 의 60%를 초과할 수 없으며, 또한 1,800 mm 이내이어야 한다.

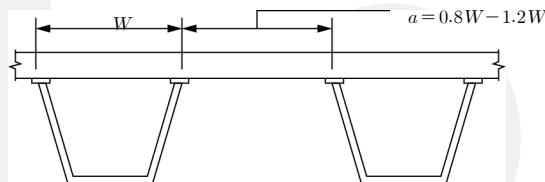


그림 4.3-1 플랜지중심 간 거리

4.3.3.2.3 시공성

4.3.3.2.3.1 일반사항

- (1) 여기에 명시된 사항 외에는 4.3.3.1.3 규정을 적용해야 한다.
- (2) 각각의 박스단면의 기하학적 형상은 모든 시공단계 동안 유지되어야 한다. 박스거더 단면의 변형을 제어할 수 있도록 일시적 또는 영구적인 중간 내측 다이아프램 또는 크로스프레임, 외측 다이아프램 또는 크로스프레임, 상부 횡브레이싱 등의 부재 설치를 검토해야 한다.

4.3.3.2.3.2 흡

- (1) 주요 시공단계에서 4.3.3.1.3.2(1)~4.3.3.1.3.2(3)의 규정은 U형단면 박스의 상부플랜지에만 적용해야 한다. 비지지길이는 내측 크로스프레임 또는 다이아프램 사이의 거리로 본다. 조밀 또는 비조밀 웨브를 갖는 U형단면박스 상부플랜지의 횡비틀림좌굴강도를 구하는데 부록 A.3.3의 규정을 적용할 수 없다.

(2) 주요 시공단계에서 압축을 받는 비합성박스의 압축플랜지는 다음을 만족해야 한다.

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (4.3-247)$$

그리고

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (4.3-248)$$

여기서, ϕ_f : 휨에 대한 강도저항계수

f_{bu} : 종방향 텀을 고려하지 않고 계산된 고려 중인 단면의 계수하중에 의한 종방향 플랜지응력 (MPa)

F_{crw} : 4.3.3.1.1.9에 규정된 웨브의 공칭휨작굴강도 (MPa)

F_{nc} : 4.3.3.2.8.2에 규정된 압축플랜지의 공칭휨강도 (MPa). 시공성검토에서 F_{nc} 를 계산할 때 웨브 응력감소계수 R_b 는 1.0으로 한다.

(3) 조밀 또는 비조밀 웨브를 가진 단면인 경우 식 (4.3-248)은 검토하지 않아야 한다.

(4) 주요 시공단계 검토에서 비합성 박스거더 인장플랜지 및 연속적으로 횡지지된 인장 또는 압축플랜지는 다음을 만족해야 한다.

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yf} \Delta \quad (4.3-249)$$

여기서,

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yf}} \right)^2} \quad (4.3-250)$$

f_v : 고려 중인 단면에서 계수하중에 의한 플랜지의 순수비틀림에 의한 전단응력 (MPa)

$$= \frac{T}{2A_0 t_f} \quad (4.3-251)$$

여기서, A_0 : 박스거더 단면의 폐합단면적 (mm^2)

R_h : 4.3.3.1.1.10(1)에 규정된 하이브리드계수

T : 계수하중에 의한 내부토크 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

콘크리트가 굳기 전 또는 합성되기 전에 박스플랜지에 작용하는 하중에 대해서 플랜지는 비합성 박스플랜지로 설계해야 한다. 플랜지 자중을 포함한 계수가 곱해지지 않은 영구하중 및 계수가 곱해지지 않은 시공하중으로 인한 비합성 박스플랜지의 최대 수직처짐은 웨브 사이의 횡방향지간의 1/360 배를 초과해서는 안 된다. 계수영구하중과 계수 시공하중으로 인한 비합성 박스플랜지의 두께방향 휨응력은 135 MPa을 초과해서는 안 된다. 비합성 박스플랜지 위에 놓인 젖은 콘크리트의 무게 및 다른 일시적 또는 영구적인 하중은 박스플랜지가 웨브 사이에 단순보처럼 작용하는 것으로 볼 수 있다. 콘크리트 바닥판이 굳기

전이거나 합성되기 전에 작용하는 하중으로 인한 플랜지의 응력과 처짐을 제어할 필요가 있는 경우에는 플랜지를 보강할 수 있다.

4.3.3.2.3.3 전단

- (1) 4.3.3.1.3.3에 규정된 전단요구조건을 검토할 때 필요시 4.3.3.2.9의 규정도 함께 적용해야 한다.

4.3.3.2.4 사용한계상태

- (1) 여기에 명시된 사항 외에는 4.3.3.1.4를 적용해야 한다.
 (2) 식 (4.3-139)의 f_l 항은 0으로 놓아야 한다. 식 (4.3-140)은 적용할 수 없다. 4.3.3.2.2.1(2) 규정을 만족하는 웨브를 갖는 정모멘트부 단면을 제외하고 모든 단면들은 식 (4.3-141)을 만족해야 한다.

4.3.3.2.5 피로 및 파괴한계상태

- (1) 여기에 명시된 사항 외에는 4.3.3.1.5의 규정을 적용해야 한다.
 (2) 전단연결재의 피로인 경우 4.3.3.2.10의 해당규정을 적용해야 한다. 4.3.3.1.10.3에 규정된 전단연결재 피로규정은 적용할 수 없다.
 (3) 4.3.3.1.5.3에 규정된 전단 요구조건을 검토할 때 4.3.3.2.9의 해당 규정을 적용해야 한다.
 (4) 다음 단면에 대해서는 단면 비틀림으로 인한 종방향 텁응력과 횡방향 휨응력을 고려해야 한다.
 ① 단일 박스단면을 갖는 직선교 또는 곡선교
 ② 4.3.3.2.2.3의 요구조건을 만족하지 않는 다중 박스단면 직선교
 ③ 다중 박스단면 곡선교
 ④ 4.3.3.2.1.1을 적용했을 때 플랜지 전체가 유효하지 않는 단일 또는 다중 박스단면

- (5) 박스단면의 모든 상세에서 모재의 피로강도를 검토할 때, 종방향 텁으로 인한 응력범위를 고려해야 한다. 플랜지-웨브 필릿용접부에 근접한 모재나 횡방향 요소를 웨브나 박스플랜지에 연결하는 필릿용접 끝단에 근접한 모재의 피로강도 평가 시에 횡방향 응력 범위를 별도의 경우로 고려해야 한다. 횡방향 휨응력 발생범위를 결정할 때, 일회 응력반복횟수는 피로검토가 중요한 2개의 다른 횡방향 위치에서 계수 피로하중의 통과에 의해 결정된 응력범위의 75%로 정의된다. 이와 같이 산정된 응력범위는 어떤 경우에도 단일 차선에 작용 시킨 계수 피로하중에 의한 응력범위보다 커야한다.

- (6) 크로스프레임 연결판과 플랜지를 연결하는 필릿용접 끝단에서 하부 박스플랜지의 횡방향 휨응력 범위에 저항하는 내측 크로스프레임 내에 있는 하부 횡방향 부재의 필요성 여부에 대해 반드시 검토해야 한다. 플랜지 종방향보강재를 사용하지 않는 경우 박스플랜지 부근에 있는 횡방향 크로스프레임 부재는 박스플랜지에 부착되어야 하며, 종방향보강재를 사용하는 경우에는 횡방향 부재를 볼트로 종방향보강재에 부착시켜야 한다. 이들 횡방향 크로스프레임 부재의 단면2차모멘트는 고려 중인 내측 크로스프레임에 부착되는 가장 큰 연

결판의 웨브와 접촉되는 단부를 기준으로 한 단면2차모멘트보다 작아서는 안 된다.

- (7) 단일 박스단면에서는 임의 위치에서 플랜지와 웨브가 가상적으로 완전 파단이 지속된 후에도 전체 고정하중과 활하중의 일부를 단면이 지탱하는 것으로 해석을 통하여 판명되지 않는 경우에는 인장플랜지는 파괴유발부재로 보아야 한다. 2개의 박스단면을 갖는 경우 손상된 구조물의 적절한 강도와 안정성을 정밀해석으로 증명하지 않는 한 정모멘트부 하부플랜지만을 파괴유발부재로 간주한다. 2개를 초과하는 박스거더 단면을 갖는 경우에는 박스단면의 모든 요소는 파괴유발부재로 간주하지 말아야 한다.

4.3.3.2.6 강도한계상태

4.3.3.2.6.1 일반사항

- (1) 4.3.3.2.6은 강도한계상태하중조합에 대해 적용해야 한다.

4.3.3.2.6.2 휨

(1) 일반사항

고려 중인 단면에서 인장플랜지에 구멍이 있는 경우 인장플랜지는 4.3.3.1.1.8의 요구조건을 만족해야 한다.

(2) 정모멘트 구간

- ① 곡선 강거더교 단면은 비조밀단면으로 고려해야 하며 4.3.3.2.7.2의 요구조건을 만족해야 한다.
- ② 아래의 요구조건을 모두 만족하는 직선교 단면은 조밀단면으로 설계해야 한다.
 - 가. 플랜지와 웨브의 최소항복강도가 455 MPa을 초과하지 않으며,
 - 나. 웨브는 4.3.3.2.2.1(2)의 요구조건을 만족하며,
 - 다. 단면은 4.3.3.2.2.3의 요구조건을 만족하는 교량의 일부이며,
 - 라. 4.3.3.2.1.1에 따라 플랜지 전체가 유효하며,
 - 마. 웨브가 다음 세장비 한계를 만족하는 경우

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (4.3-252)$$

여기서, D_{cp} : 부록 B.3.2에 규정된 소성모멘트 적용 시 압축을 받는 웨브의 높이 (mm)

- ③ 조밀단면은 4.3.3.2.7.1의 요구조건을 만족해야 한다. 그 밖의 경우, 비조밀단면으로 고려해야 하며 4.3.3.2.7.2의 요구조건을 만족해야 한다.
- ④ 조밀 및 비조밀단면은 4.3.3.1.7.3에 규정된 연성요구조건을 만족해야 한다.

(3) 부모멘트 구간

4.3.3.2.8을 적용해야 한다. 부록 A의 규정은 적용할 수 없다. 연속교의 내측 지점단면에서 계수하중에 의한 부모멘트를 재분배하여 설계할 수 없다.

4.3.3.2.6.3 전단

(1) 4.3.3.2.9의 규정을 적용해야 한다.

4.3.3.2.6.4 전단연결재

(1) 4.3.3.1.10.4를 적용해야 한다. 필요 시 4.3.3.2.10을 함께 적용해야 한다.

4.3.3.2.7 휨강도-정모멘트부

4.3.3.2.7.1 조밀단면

(1) 일반사항

강도한계상태에서 단면은 다음을 만족해야 한다.

$$M_u \leq \phi_f M_n \quad (4.3-253)$$

여기서, ϕ_f : 휨에 대한 강도저항계수

M_n : 4.3.3.2.7.1(2)에 규정된 단면의 공칭휨강도 ($N \cdot mm$)

M_u : 계수하중에 의한 단면의 주축에 대한 휨모멘트 ($N \cdot mm$)

(2) 공칭휨강도

단면의 공칭휨강도는 4.3.3.1.7.1(2)의 규정으로 구해야 하며, 연속교의 경우 항상 식 (4.3-152)의 한계 이내 값이어야 한다.

4.3.3.2.7.2 비조밀단면

(1) 일반사항

① 압축플랜지는 강도한계상태에서 다음을 만족해야 한다.

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (4.3-254)$$

여기서, ϕ_f : 휨에 대한 강도저항계수

f_{bu} : 플랜지 횡방향 휨이나 종방향 텁을 고려하지 않은 플랜지 종방향 응력 (MPa)

F_{nc} : 4.3.3.2.7.2(2)에 규정된 압축플랜지의 공칭휨강도 (MPa)

② 인장플랜지는 다음을 만족해야 한다.

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nt} \quad (4.3-255)$$

여기서, F_{nt} : 4.3.3.2.7.2(2)에 규정된 인장플랜지의 공칭휨강도 (MPa)

강도한계상태에서 4.3.3.1.1.1(1)④의 규정으로 산정한 콘크리트 바닥판의 최대 종방향 압축응력은 $0.6f'_c$ 을 초과해서는 안 된다.

(2) 공칭휨강도

① U형단면 박스의 압축플랜지 공칭휨강도는 다음과 같이 구한다.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (4.3-256)$$

여기서, R_b : 4.3.3.1.1.10(2)에 규정된 웨브응력감소계수

R_h : 4.3.3.1.1.10(1)에 규정된 하이브리드 단면의 응력감소계수

② 폐단면 박스의 압축플랜지 공칭휨강도는 다음과 같이 구한다.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (4.3-257)$$

여기서,

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (4.3-258)$$

f_v = 계수하중에 의한 플랜지의 순수비틀림 전단응력 (MPa)

$$= \frac{T}{2A_0 t_{fc}} \quad (4.3-259)$$

여기서, A_0 : 박스거더 단면의 폐합단면적 (mm^2)

T : 계수하중에 의한 내부 비틀림모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

③ 폐단면과 U형단면 박스의 인장플랜지 공칭휨강도는 다음과 같이 구한다.

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \Delta \quad (4.3-260)$$

여기서,

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yt}} \right)^2} \quad (4.3-261)$$

f_v = 계수하중에 의한 플랜지의 순수비틀림 전단응력 (MPa)

$$= \frac{T}{2A_0 t_{ft}} \quad (4.3-262)$$

4.3.3.2.8 휨강도-부모멘트부**4.3.3.2.8.1 일반사항**

(1) 압축플랜지

압축플랜지는 강도한계상태에서 다음을 만족해야 한다.

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (4.3-263)$$

여기서, ϕ_f : 휨에 대한 강도저항계수

f_{bu} : 플랜지의 횡방향 휨이나 종방향 텁을 고려하지 않은 플랜지 종방향 응력 (MPa)

F_{nc} : 4.3.3.2.8.2에 규정된 압축플랜지의 공칭휨강도 (MPa)

(2) 연속적으로 횡지지된 인장플랜지

강도한계상태에서 다음의 규정을 만족해야 한다.

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nt} \quad (4.3-264)$$

여기서, F_{nt} : 4.3.3.2.8.3에 규정된 인장플랜지의 공칭휨강도 (MPa)

4.3.3.2.8.2 압축플랜지의 휨강도

(1) 일반사항

종방향보강재로 보강되지 않은 압축플랜지의 공칭휨강도는 4.3.3.2.8.2(2)의 규정으로 구해야 한다. 종방향보강재로 보강된 압축플랜지의 공칭휨강도는 4.3.3.2.8.2(3)의 규정으로 구해야 한다.

(2) 비보강 플랜지

압축플랜지의 공칭휨강도는 다음과 같이 구한다.

$$F_{nc} = F_{cb} \sqrt{1 - \left(\frac{f_v}{\phi_v F_{cv}} \right)^2} \quad (4.3-265)$$

① 여기서, F_{cb} 는 플랜지의 공칭압축좌굴강도로 다음과 같이 구한다.

가. $\lambda_f \leq \lambda_p$ 인 경우

$$F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (4.3-266)$$

나. $\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r$ 인 경우

$$F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \left[\Delta - \left(\Delta - \frac{\Delta - 0.3}{R_h} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (4.3-267)$$

다. $\lambda_f > \lambda_r$ 인 경우

$$F_{cb} = \frac{0.9 E R_b k}{\lambda_f^2} \quad (4.3-268)$$

② F_{cv} 는 전단만 작용할 때 플랜지의 공칭전단좌굴강도로 다음과 같이 구한다.

가. $\lambda_f \leq 1.12 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$ 인 경우

$$F_{cv} = 0.58 F_{yc} \quad (4.3-269)$$

나. $1.12\sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc}}} < \lambda_f \leq 1.40\sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc}}}$ 인 경우

$$F_{cv} = \frac{0.65\sqrt{F_{yc}Ek_s}}{\lambda_f} \quad (4.3-270)$$

다. $\lambda_f > 1.40\sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc}}}$ 인 경우

$$F_{cv} = \frac{0.9Ek_s}{\lambda_f^2} \quad (4.3-271)$$

여기서,

$$\lambda_f = \text{압축플랜지의 세장비} = \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \quad (4.3-272)$$

$$\lambda_p = 0.57\sqrt{\frac{Ek}{F_{yc}\Delta}} \quad (4.3-273)$$

$$\lambda_r = 0.95\sqrt{\frac{Ek}{F_{yr}}} \quad (4.3-274)$$

$$\Delta = \sqrt{1 - 3\left(\frac{f_v}{F_{yc}}\right)^2} \quad (4.3-275)$$

f_v = 계수하중에 의한 플랜지의 순수비틀림 전단응력 (MPa)

$$= \frac{T}{2A_0t_{fc}} \quad (4.3-276)$$

$$\begin{aligned} F_{yr} &= \text{잔류응력이 고려된 압축플랜지의 항복강도 또는 웨브의 최소항복강도 중 작은 값 (MPa)} \\ &= (\Delta - 0.3)F_{yc} \leq F_{yw} \end{aligned} \quad (4.3-277)$$

k = 균일분포 압축응력에 대한 판의 좌굴계수 = 4.0

k_s = 전단응력에 대한 판의 좌굴계수 = 5.34

여기서, ϕ_f : 휨에 대한 강도저항계수

ϕ_v : 전단에 대한 강도저항계수

b_{fc} : 웨브 사이의 압축플랜지 폭 (mm)

A_0 : 박스거더 단면의 폐합단면적 (mm^2)

R_b : 6.3.1.1.10(2)에 규정된 웨브 응력감소계수

R_h : 6.3.1.1.10(1)에 규정된 하이브리드 단면의 응력감소계수

T : 계수하중에 의한 내부 비틀림모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

(3) 종방향보강재로 보강된 압축플랜지

압축플랜지의 공칭휨강도는 4.3.3.2.8.2(2)에 규정된 종방향보강재가 없는 압축플랜지의 공칭휨강도 산정식으로 구해야 하며 이를 적용할 때 다음을 따라야 한다.

- ① b_{fc} 는 w 로 대체한다.
- ② 등분포 수직응력에 대한 판 좌굴계수 k 는 아래와 같이 구한다.
- ③ $n=1$ 인 경우

$$k = \left(\frac{8I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.3-278)$$

- ④ $n=2$ 인 경우

$$k = \left(\frac{0.894I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.3-279)$$

단, $1.0 \leq k \leq 4.0$

- ⑤ 전단응력에 대한 판 좌굴계수 k_s 는 아래와 같이 구한다.

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84 \left(\frac{I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}}}{(n+1)^2} \leq 5.34 \quad (4.3-280)$$

여기서, I_s : 플랜지와 평행한 축에 대한 보강재 하단에서의 종방향보강재 1개의 단면2차모멘트 (mm^4)

n : 등간격인 종방향보강재의 수

w : 압축플랜지의 종방향보강재 사이 폭 또는 웨브로부터 가장 가까운 종방향보강재까지의 거리 중 큰 값 (mm)

압축플랜지 종방향보강재는 4.3.3.2.11.2 규정을 만족해야 한다.

4.3.3.2.8.3 인장플랜지 휨강도

- (1) U형단면 박스의 인장플랜지 공칭휨강도는 다음과 같이 구해야 한다.

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (4.3-281)$$

여기서, R_h : 4.3.3.1.1.10(1)에 규정된 하이브리드 단면의 응력감소계수

- (2) 폐단면 박스의 인장플랜지 공칭휨강도는 식 (4.3-260)으로부터 구해야 한다.

4.3.3.2.9 전단강도

- (1) 한 쪽 웨브의 설계전단강도를 결정할 때 여기에 명시된 사항 이외에는 4.3.3.1.9의 규정을 적용해야 한다. 경사진 웨브의 경우에는 4.3.3.1.9의 웨브 높이 D 는 경사를 따라 측정한 높이를 사용해야 한다. 경사진 웨브의 경우 각 웨브는 계수하중에 의한 전단력 V_{ui} 에 대하여 설계되어야 한다.

$$V_{ui} = \frac{V_u}{\cos\theta} \quad (4.3-282)$$

여기서, V_u : 경사진 웨브 1개에 작용하는 계수하중에 의한 전단력 (N)

θ : 연직축에 대한 웨브의 경사각 ($^{\circ}$)

- (2) 모든 단일 박스단면, 곡선교 단면, 그리고 4.3.3.2.2.3의 요구조건을 만족시키지 않거나 또는 4.3.3.2.1.1의 규정에 따라 플랜지 전체폭이 유효하지 않는 다중 박스단면교인 경우, V_u 는 흡전단과 순수비틀림전단의 합으로 구해야 한다.
- (3) 식 (4.3-182)를 검토할 때, 박스플랜지의 b_{fc} 또는 b_{ft} 는 웨브 사이의 유효플랜지폭의 1/2로 한다. 이 때, 유효플랜지폭은 4.3.3.2.1.1의 규정으로 구하며 그 값은 $18t_f$ 를 초과하지 않아야 한다. 여기서, t_f 는 박스플랜지의 두께이다.
- (4) 웨브 보강재는 4.3.3.2.11.1의 요구조건을 만족해야 한다.

4.3.3.2.10 전단연결재

- (1) 여기에 명시된 사항 이외에는 4.3.3.1.10의 규정에 따라 전단연결재를 설계해야 한다.
- (2) 부모멘트 구간에도 전단연결재를 설치해야 한다.
- (3) 모든 단일 박스단면, 곡선교 단면, 그리고 4.3.3.2.2.3의 요구조건을 만족시키지 않거나 또는 4.3.3.2.1.1의 규정에 따라 플랜지 전체폭이 유효하지 않는 다중 박스단면교인 경우, 전 단연결재는 흡전단과 순수비틀림전단을 합한 전단력에 대하여 설계해야 한다. U형단면 박스거더의 한 쪽 상부플랜지에 발생하는 단위길이 당 종방향 피로전단력 발생범위 V_{fat} 는 추가적인 흡전단과 비틀림전단을 받는 웨브에 대하여 계산되어야 한다. 산정된 전단연결재 피치는 다른 쪽 상부플랜지에도 동일하게 적용해야 한다. 식 (4.3-195)로 주어진 곡률에 의한 피로전단력 발생범위 F_{fat1} 는 직선 또는 곡선 경간 전체 또는 경간 일부분에 있는 박스단면의 설계 시에 무시할 수 있다.
- (4) 강도한계상태를 만족하도록 전단연결재의 개수를 검토하는 경우, 강박스단면의 단면적과 콘크리트 바닥판의 유효단면적은 식 (4.3-207), 식 (4.3-208), 식 (4.3-212) 및 식 (4.3-213)으로 P 를 결정할 때 적용되어야 한다.
- (5) 합성박스플랜지의 전단연결재는 플랜지의 폭에 걸쳐 균등하게 분포되어야 한다. 합성박스플랜지에서 전단연결재 사이의 횡방향 최대간격 s_t 는 다음을 만족해야 한다.

$$\frac{s_t}{t_f} \sqrt{\frac{F_{yf}}{kE}} \leq R_1 \quad (4.3-283)$$

여기서, k : 4.3.3.2.8.2에 규정된 균일분포 수직응력에 대한 판의 좌굴계수

R_1 : 식 (4.3-272)로 산정된 박스플랜지의 한계세장비

- (6) 피로한계상태에서 합성박스플랜지의 경우, 식 (4.3-192)의 V_{sr} 은 식 (4.3-194)에 주어진 종방향 피로전단력 발생범위와 콘크리트 바닥판의 비틀림 피로전단력 발생범위의 벡터 합으로 구해야 한다. 강도한계상태를 만족하는 전단연결재의 개수는 4.3.3.1.10.4에 따라 결정해야 한다. 또한, 전단연결재 1개 당 콘크리트 바닥판의 계수하중에 따른 종방향 및 비틀림 전단력의 벡터 합은 식 (4.3-204)로부터 구한 Q_r 을 초과해서는 안 된다.

4.3.3.2.11 보강재

4.3.3.2.11.1 웨브 보강재

(1) 웨브의 중간수직보강재는 4.3.3.1.11.1에 따라 설계해야 한다.

(2) 웨브의 수평보강재는 4.3.3.1.11.3에 따라 설계해야 한다.

(3) 여기에 명시된 사항 이외에 대해서 지압보강재는 4.3.3.1.11.2에 따라 설계해야 한다. 지압보강재는 경사진 웨브보다는 반드시 다이아프램에 부착되어야 한다. 다이아프램에 부착된 지압보강재의 경우 4.3.3.1.11.2(4)②는 웨브보다는 다이아프램에 적용되어야 한다. 신축이음부 베이링에 위치한 지압보강재와 다이아프램 설계 시에는 온도변화로 인한 편심을 고려해야 한다.

4.3.3.2.11.2 압축플랜지 종방향보강재

(1) 박스플랜지에 설치된 압축플랜지 종방향보강재는 플랜지폭을 가로질러 등간격으로 배치해야 한다. 보강재의 최소항복강도는 부착된 박스플랜지의 최소항복강도보다 작아서는 안 된다.

(2) 플랜지 종방향보강재의 돌출폭 b_l 은 다음을 만족해야 한다.

$$b_l \leq 0.48t_s \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (4.3-284)$$

여기서, t_s : 종방향보강재 돌출요소의 두께 (mm)

(3) 플랜지와 평행한 축에 대해 보강재하단에서의 보강재 1개의 단면2차모멘트 I_l 은 다음을 만족해야 한다.

$$I_l \geq \psi w t_{fc}^3 \quad (4.3-285)$$

여기서, $\psi = 0.125k^3$ ($n=1$ 인 경우)

$= 1.120k^3$ ($n=2$ 인 경우)

k = 등분포 수직응력에 대한 판의 좌굴계수

$= 1.0 \leq k \leq 4.0$

n : 등간격인 플랜지 종방향보강재의 수

w : 종방향보강재 사이의 플랜지폭과 웨브에서 가장 가까운 종방향보강재까지의 거리 중 큰 값 (mm)

4.3.3.3 기타 휨부재

4.3.3.3.1 일반사항

4.3.3.3.1.1 범위

4.3.3.3은 다음의 경우에 적용한다.

(1) 휨을 받는 비합성 H형 부재

(2) 비합성 박스형 부재

(3) 비합성 원형강관

(4) □형강, L형강, T형강 및 봉

(5) 매입형 압연형강

(6) 합성강관

4.3.3.3.1.2 강도한계상태

(1) 휨

설계휨강도 M_r 은 다음과 같다.

$$M_r = \phi_f M_n \quad (4.3-286)$$

여기서, M_n : 4.3.3.3.2.2 및 4.3.3.3.2.3에 규정된 비합성 및 합성부재에 대한 공칭휨강도(N · mm)

ϕ_f : 강도한계상태에서 휨에 대한 강도저항계수

(2) 축방향력과 휨모멘트의 조합

4.4.1.1에 규정된 축방향 압축력과 휨모멘트의 조합에 관한 상관관계식 또는 4.4.1.2에 규정된 축방향 인장력과 휨모멘트의 조합에 관한 상관관계식을 적용한다.

(3) 전단력

설계전단강도 V_r 은 다음과 같다.

$$V_r = \phi_v V_n \quad (4.3-287)$$

여기서, V_n : 비합성부재 및 합성부재의 웨브에 대한 4.3.3.1.9.2 및 4.3.3.3에 규정된 공칭전단

강도 (N)

ϕ_v : 강도한계상태에서 전단에 대한 강도저항계수

4.3.3.3.2 공칭휨강도

4.3.3.3.2.1 일반사항

(1) 횡방향비틀림좌굴에 관한 규정을 합성부재, 비합성 박스형 부재, 웨브와 평행한 축에 대해 힘을 받는 H형 부재 및 원형강관에는 적용할 필요가 없다.

4.3.3.3.2.2 비합성부재

(1) H형 부재

이 규정은 H형 부재와 두개의 □형강의 플랜지가 웨브판으로 연결되는 부재에 적용한다.

4.3.3.1.8의 규정은 웨브에 수직한 축에 대한 힘의 경우에 적용한다.

웨브와 평행한 축에 대한 공칭휨강도는 다음과 같다.

$$M_n = M_p \quad (4.3-288)$$

여기서, M_p : 웨브와 평행한 중심축에 대한 소성휨강도 ($N \cdot mm$)

(2) 박스형 부재

공칭휨강도는 다음과 같다.

$$M_n = F_y S \left[1 - \frac{0.064 F_y S l}{A E} \left(\frac{\sum \left(\frac{b}{t} \right)}{I_y} \right)^{0.5} \right] \quad (4.3-289)$$

여기서, S : 힘축에 관한 단면계수 (mm^3)

A : 박스를 형성하는 판의 중심선으로 둘러싸인 면적 (mm^2)

l : 비지지길이 (mm)

I_y : 힘축에 수직한 축에 대한 단면2차모멘트 (mm^4)

b : 판 사이의 순간격 (mm)

t : 판 두께 (mm)

(3) 원형강관

비합성 원형강관의 공칭휨강도는 다음과 같다.

$$\frac{D}{t} < 2 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 인 경우} : M_n = M_p \quad (4.3-290)$$

$$2 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{D}{t} \leq 8.8 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 인 경우} : M_n = M_y \quad (4.3-291)$$

여기서, D : 원형강관의 외경 (mm)

t : 강관의 두께 (mm)

(4) □형강, L형강, T형강 및 강봉

① 비틀림이 구속된 □형강

하중작용점과 지점의 비틀림이 구속된 □형강의 경우에는 4.3.3.1.8의 규정을 적용한다.

② 기타의 경우

4.3.3.2.2(4)①에 포함되지 않은 □형강, L형강, T형강 및 강봉의 공칭휨강도는 다음 중 최솟값을 취한다.

가. 항복

나. 횡방향 비틀림좌굴

다. 요소의 국부좌굴

4.3.3.2.3 합성부재

(1) 매입형 형강

① 4.2.8.2.1.1의 규정을 만족하는 매입형 형강이 압축력을 받지 않는 경우, 공칭휨강도는 다음 값 중 작은 값으로 한다.

$$M_n = M_{ps} \quad (4.3-292)$$

$$M_n = M_{yc} \quad (4.3-293)$$

② 4.4.1.1의 규정을 고려하기 위하여 압축력과 흔을 동시에 받는 매입형 형강의 공칭휨강도는 다음과 같다.

가. $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.3$ 인 경우 :

$$M_n = ZF_y + \frac{(d-2c)A_r F_{yr}}{3} + \left(\frac{d}{2} - \frac{A_w F_y}{1.7 f_{ck} b} \right) A_w F_y \quad (4.3-294)$$

나. $0.0 < \left(\frac{P_u}{\phi_c P_n} \right) < 0.3$ 인 경우

M_n 은 $P_u = 0$ 일 때 식 (4.3-292)과 (4.3-293)로 계산되는 M_n 과 $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.3$ 일 때의 식

(4.3-294)에 의한 M_n 사이를 선형보간으로 결정한다.

여기서, P_u : 설계축방향하중 (N)

P_n : 4.2.8.2에 규정된 공칭압축강도 (N)

ϕ_c : 강도한계상태에서 압축에 대한 강도저항계수

M_{ps} : 강재 단면의 소성모멘트 ($N \cdot mm$)

M_{yc} : 부록 B.2에 규정된 합성단면의 항복모멘트 ($N \cdot mm$)

Z : 소성단면계수 (mm^3)

A_w : 웨브단면적 (mm^2)

f_{ck} : 콘크리트의 최소 28일 압축강도 (MPa)

A_r : 주철근의 단면적 (mm^2)

c : 주철근 중심을 기준으로 한 피복두께 (mm)

d : 휨평면에서의 부재높이 (mm)

b : 휨평면에 수직인 부재의 폭 (mm)

F_{yw} : 철근의 최소항복강도 (MPa)

(2) 충전형 강관

4.2.8.2의 규정을 만족하는 충전형 강관의 공칭휨강도는 다음과 같다.

$$\textcircled{1} \quad \frac{D}{t} < 2.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 인 경우}$$

$$M_n = M_{ps} \quad (4.3-295)$$

$$\textcircled{2} \quad 2.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{D}{t} \leq 8.8 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 인 경우}$$

$$M_n = M_{yc} \quad (4.3-296)$$

4.3.3.3.3 합성부재의 공칭전단강도

4.3.3.3.3.1 매입형 형강

(1) 공칭전단강도는 다음과 같다.

$$V_n = 0.58 F_{yw} D t_w + \frac{F_{yw} A_v (d - c)}{s} \quad (4.3-297)$$

여기서, F_{yw} : 강재의 웨브의 최소항복강도 (MPa)

F_{yw} : 전단철근의 최소항복강도 (MPa)

D : 강재의 웨브높이 (mm)

t_w : 강재의 웨브두께 (mm)

A_v : 사인장균열에 대한 전단철근의 단면적 (mm^2)

s : 전단철근의 간격 (mm)

d : 전단평면 내의 부재높이 (mm)

c : 주철근 중심을 기준으로 한 피복두께 (mm)

4.3.3.3.3.2 충전형 강관

(1) 직사각형 강관

공칭전단강도는 다음과 같다.

$$V_n = 1.16D t_w F_y \quad (4.3-298)$$

여기서, D : 강관의 웨브높이 (mm)

t_w : 강관의 두께 (mm)

(2) 원형강관

원형강관의 공칭전단강도는 강관만을 고려하여 산정한다.

4.3.3.4 다이아프램 및 수직가새

4.3.3.4.1 일반사항

교량의 단부 및 내부지점과 지간 중간부에는 필요에 따라 다이아프램이나 수직가새를 설치해야 한다. 모든 시공단계 및 사용단계에서 다이아프램이나 수직가새의 필요성을 다음과 같이 검토한다.

- (1) 거더하단에서 바닥틀로, 그리고 바닥틀에서 받침부로 횡방향 풍하중의 전달
- (2) 모든 하중에 대한 압축플랜지의 안정성
- (3) 콘크리트 바닥판이 양생되기 이전의 상부압축플랜지의 안정성
- (4) 수직방향의 고정하중 및 활하중의 분배
 - ① 사용단계에서 필요한 다이아프램이나 수직가새 이외에도 시공 중 필요 시에는 임시로 가새를 설치한다.
 - ② 수직가새나 다이아프램이 하중을 받는 경우에는 이에 저항하도록 설계해야 한다. 적어도 다이아프램이나 수직가새는 풍하중을 전달할 수 있도록 설계해야 하며, 4.1.1 또는 4.2.2에 규정된 세장비 규정을 만족해야 한다.
 - ③ 다이아프램과 수직가새의 연결판은 KDS 14 31 20(4.1.3.1)을 만족해야 한다.
 - ④ 교량단부 및 슬래브의 이음부에는 다이아프램을 설치하거나 슬래브의 캔틸레버부를 지지하도록 한다.

4.3.3.4.2 플레이트거더 단면

- (1) 압연거더에 설치되는 다이아프램이나 수직가새의 높이는 거더 높이의 1/2 이상으로 하고, 플레이트거더에 설치되는 경우에는 가능한 한 높게 한다.
- (2) 단부에 설치되는 다이아프램이나 수직가새는 모든 횡방향하중을 받침부로 전달할 수 있도록 설계한다. 다이아프램이나 수직가새가 교축방향과 수직이 아닌 경우에는 전달되는 힘의 교축방향성분을 고려한다. 사각이 20° 이상인 사교의 중간에 설치되는 수직가새는 교축방향과 직각으로 한다. 사교의 경우 지점부의 수직가새는 받침의 가로방향 연결선과 일치하지 않아도 좋다.
- (3) 단부에 설치되는 다이아프램은 바닥틀이나 바닥틀 연결부에서 전달되는 힘과 텁에 저항 할 수 있도록 설계한다. 교축방향부재와 다이아프램의 연결부설계 시 다이아프램의 단부 흡모멘트를 고려해야 한다.

4.3.3.4.3 박스거더 단면

- (1) 단면의 회전, 변위 및 텁에 저항할 수 있도록 각 지점부에는 박스거더 단면내부에 다이아프램이나 수직가새를 설치하고, 박스거더로부터 받침부로 비틀림모멘트나 횡방향 하중을 전달할 수 있도록 설계해야 한다.
- (2) 인장력에 저항하거나 연결을 위해 다이아프램을 설치할 경우, 박스거더 단면의 웨브와 플랜지에 연결해야 한다. 내부출입문은 가능한 크게 설치해야 하고, 내부 출입문의 설치로 인한 다이아프램의 응력집중을 검토하여 필요 시 보강해야 한다.
- (3) 4.3.3.2.1.1의 규정대로 다중 박스거더 단면을 설계할 경우 단면내부나 단면과 단면 사이에 영구적인 다이아프램이나 수직가새를 설치하지 않아도 좋다. 단일 박스거더 단면인 경우에는 단면변형을 방지하기 위하여 적당한 간격으로 내부에 다이아프램이나 수직가새를 설치해야 한다.

4.3.3.4.4 트러스교 및 아치교

- (1) 집중하중의 작용점, 가로보 연결부 및 기타 연결부에는 다이아프램을 설치한다. 교량의 텁을 방지하기 위하여 중간에 다이아프램을 설치하는 것이 좋다.
- (2) 트러스교 단부의 지지부 핀에 연결된 연결판은 다이아프램으로 연결한다. 지지부의 웨브는 다이아프램으로 연결한다.
- (3) 덮개판이나 웨브판의 단부가 주부재의 교차점으로부터 1200 mm 이상 떨어져 있을 경우에는 주부재를 연결하는 연결판 사이에 다이아프램을 설치한다.

4.3.3.5 수평가새

4.3.3.5.1 일반사항

- (1) 모든 시공단계나 사용단계에서 수평가새의 필요성을 반드시 검토하고, 필요 시 플랜지면 근처에 수평가새를 설치한다. 수평가새의 필요성을 검토할 때 다음 사항을 고려한다.
 - ① 횡방향 풍하중의 받침부로의 전달
 - ② 횡방향 지진하중의 전달
 - ③ 제작, 가설 및 바닥틀의 설치 시에 발생하는 변형 방지
- (2) 시공 후 필요치 않은 임시수평가새는 철거해도 좋다.
- (3) 영구 수평가새의 설계 시에는 적어도 4.1.1 및 4.2.2를 만족해야 한다.
- (4) 수평가새의 연결판은 KDS 14 31 20(4.1.3.2)를 만족해야 한다.
- (5) 수평가새의 내진설계 시에는 지진하중을 고려해야 한다.

4.3.3.5.2 플레이트거더 단면

- (1) 필요할 경우 외측 주형 사이에 수평가새를 설치한다. 충분한 강성을 갖고 있는 바닥틀에 연결된 플랜지에는 수평가새를 설치하지 않아도 좋다.

- (2) 연속교 거더의 부모멘트 구간에는 가설 중 부재의 안정성을 위한 수평가새의 필요여부를 검토해야 한다.

4.3.3.5.3 박스거더 단면

- (1) 제작, 가설 및 콘크리트의 타설 도중에 발생하는 단면의 변형을 방지하기 위하여 각 박스거더 단면의 플랜지 사이에 상부 수평가새의 필요성을 검토해야 한다.
- (2) 바닥 콘크리트가 굳기 이전에 발생하는 전단흐름에 저항할 수 있도록 상부 수평가새를 설치하고, 이 때 박스거더의 흔으로 인해 발생하는 하중을 고려해야 한다.
- (3) 가새가 웨브와 연결되어 있는 경우, 가새의 실제 위치를 고려하여 전단흐름을 계산하기 위해 단면적을 감소시켜야 하고, 가새로부터 상부플랜지로 하중이 전달될 수 있도록 적절한 수단을 강구해야 한다.

4.3.3.5.4 트러스교

- (1) 하로 트러스교와 상로 트러스교에는 상부 수평가새와 하부 수평가새를 각각 설치한다. X형 가새의 경우, 인장 및 압축부재의 세장비 규정을 만족하도록 하며, 교차점에서 서로 연결한다. 압축을 받는 현재에 연결된 가새 부재는 가능한 한 높을수록 좋고, 상·하부플랜지에 연결한다. 수평가새의 설치가 원활하도록 가로보 연결부의 위치를 결정한다. 가로보와 교축방향의 주부재가 만나는 곳에서는 수평가새를 양 부재에 연결한다.

4.4. 조합력과 비틀림을 받는 부재

- (1) 이 절에서는 축력과 1축 또는 2축 흔의 조합상태에 비틀림이 작용하거나 작용하지 않는 부재 혹은 비틀림만을 받는 부재에 적용한다.

4.4.1 흔과 축력이 작용하는 1축 및 2축 대칭단면 부재

4.4.1.1 압축력과 흔을 받는 1축 및 2축 대칭단면 부재

- (1) 2축 대칭단면 부재와 I_{yc}/I_y 의 값이 0.1 이상 0.9 이하로서 기하축(x 축 또는 y 축)으로만 흔이 발생하도록 구속된 1축 및 2축 대칭단면 부재에 있어서 흔과 압축력의 상관관계는 식(4.4-1)과 식(4.4-2)에 의해 제한된다. 여기서, I_{yc} 는 압축력을 받는 플랜지의 y 축에 대한 단면 2차모멘트를 나타낸다. 이 조항의 규정 대신 4.4.2의 규정을 적용할 수 있다.

$$\textcircled{1} \quad \frac{P_u}{P_r} \geq 0.2 \text{인 경우}$$

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad (4.4-1)$$

② $\frac{P_u}{P_r} < 0.2$ 인 경우

$$\frac{P_u}{2P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad (4.4-2)$$

여기서, P_u : 하중조합으로 구한 소요압축강도(N)

P_r : 4.2에 따라 정한 설계압축강도($=\phi_c P_n$) (N)

M_u : 하중조합으로 구한 소요휨강도 (N · mm)

M_r : 4.3에 따라 정한 설계휨강도($=\phi_b M_n$) (N · mm)

x : 강축 힘을 나타내는 아래첨자

y : 약축 힘을 나타내는 아래첨자

ϕ_c : 압축에 대한 저항계수($=0.90$)

ϕ_b : 힘에 대한 저항계수($=0.90$)

4.4.1.2 인장력과 힘을 받는 1축 및 2축 대칭단면 부재

(1) 기하축(x 축 또는/과 y 축)으로만 힘이 발생하도록 구속된 1축 대칭단면 부재에 있어서 힘과 인장력의 상관관계는 식 (4.4-1) 및 식 (4.4-2)로 제한한다.

여기서, P_u : 하중조합으로 구한 소요인장강도(N)

P_r : 4.1에 따라 정한 설계인장강도($=\phi_t P_n$) (N)

M_u : 하중조합으로 구한 소요휨강도 (N · mm)

M_r : 4.3에 따라 정한 설계휨강도($=\phi_b M_n$) (N · mm)

ϕ_t : 인장에 대한 저항계수(4.1.3참조)

ϕ_b : 힘에 대한 저항계수($=0.90$)

(2) 2축대칭 단면을 가진 부재에서 축방향의 인장력과 힘이 동시에 작용할 때, 4.3의 C_b 값은

$\sqrt{1 + \frac{P_u}{P_{ey}}}$ 를 곱하여 증가시킬 수 있다. 여기서 $P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_b^2}$ 이다. 식 (4.4-1) 및 식 (4.4-2)를 대

신해서 인장과 힘과의 상관관계에 대한 좀 더 정밀한 해석결과를 사용할 수 있다.

4.4.1.3 1축 힘과 압축력을 받는 2축 압연형강 조밀단면 부재

(1) 주축에 대한 모멘트와 함께 힘과 압축을 받고 $(KL)_z \leq (KL)_y$ 인 2축 대칭 압연형강 조밀단면 부재는 4.4.1.1의 조합법 대신에 서로 독립적인 두 한계상태인 면내 불안정 한계상태와 면외 좌굴(또는 횡비틀림좌굴) 한계상태에 대하여 개별적으로 고려해도 무방하다.

(2) $M_{uy}/M_{ry} \geq 0.05$ 인 부재는 4.4.1.1의 규정을 따라야 한다.

① 면내 불안정 한계상태에 대해서는 식 (4.4-1)을 사용한다. P_r , M_{ux} , M_{rx} 의 값은 힘이 발생한 면내에서 산정한다.

② 면외작굴과 횡비틀림작굴의 한계상태에 대해서는 다음의 식을 사용한다.

$$\frac{P_u}{P_{ry}} \times \left(1.5 - 0.5 \frac{P_u}{P_{ry}} \right) + \left(\frac{M_{ux}}{C_b M_{rx}} \right) \leq 1.0 \quad (4.4-3)$$

여기서, P_{ry} : 면외 휨을 고려한 설계압축강도 (N)

C_b : 4.3.2.1.1.1에 정의된 횡비틀림작굴 보정계수

M_{rx} : 4.3.2.1.1.1에 따라 $C_b = 1$ 을 이용하여 산정된 강축 휨에 대한 설계횡비틀림작굴강도(N · mm)

4.4.2 휨과 축력을 받는 비대칭 단면 부재 및 기타 부재

(1) 이 조항에서는 4.4.1에서 다루지 않는 단면형상에 대한 휨과 축응력의 상관관계를 규정한다.

(2) 4.4.1의 규정 대신에 임의의 단면형상에 대해 이 절의 다음 규정을 사용할 수 있다.

$$\left| \frac{f_{ua}}{F_{ca}} + \frac{f_{ubw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{ubz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0 \quad (4.4-4)$$

여기서, f_{ua} : 부재 단면의 특정 위치에서 하중조합으로 구한 소요축방향응력(MPa)

F_{ca} : 설계축방향응력($=\phi_c F_\sigma$), 압축에 대해서는 4.2에 따라 산정되고 인장에 대해서는 4.1에 따라 산정된다.(MPa)

f_{ubw}, f_{ubz} : 부재 단면의 특정위치에서 하중조합으로 구한 소요휨응력(MPa)

F_{dw}, F_{dz} : 4.3에 따라 결정된 설계휨응력($=\frac{\phi_b M_n}{S}$)(MPa) 특정 위치의 단면계수의 값을 사용하고, 응력의 부호를 고려해야 한다.

w : 강주축 휨을 나타내는 아래첨자

z : 약주축 휨을 나타내는 아래첨자

ϕ_c : 압축에 대한 저항계수($=0.90$)

ϕ_t : 인장에 대한 저항계수(4.1.3 참조)

ϕ_b : 휨에 대한 저항계수($=0.90$)

(3) 식 (4.4-4)은 단면의 가장 불리한 부분에서의 휨응력의 부호를 고려하여 주축에 대해 적용한다. 휨응력 항은 부호에 따라 축력 항에 적절히 가감되어야 한다.

(4) 압축력이 작용하는 경우는 KDS 14 31 15의 규정에 따라 2차효과를 고려해야 한다.

(5) 식 (4.4-4) 대신에 좀 더 엄밀한 해석에 바탕을 둔 휨-인장 상관관계를 사용해도 무방하다.

4.4.3 비틀림 또는 비틀림, 휨, 전단력 또는/과 축력 등을 동시에 받는 부재

4.4.3.1 원형과 각형강관의 비틀림강도

(1) 비틀림항복과 비틀림작굴의 한계상태를 고려한 원형과 직사각형 강관의 설계비틀림강도

$\phi_T T_n$ 은 다음과 같이 산정한다.

$$\begin{aligned}\phi_T &= 0.90 \\ T_n &= F_{cr} C\end{aligned}\quad (4.4-5)$$

여기서, C 는 강관의 비틀림상수이며, 임계좌굴응력 F_{cr} 은 다음과 같이 산정한다.

① 원형강관에 대한 F_{cr}

식 (4.4-6)과 식 (4.4-7) 중에 큰 값을 사용한다. 단, $0.6F_y$ 를 초과할 수는 없다.

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D}} \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}}} \quad (4.4-6)$$

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (4.4-7)$$

여기서, L : 부재의 길이 (mm)

D : 외경 (mm)

② 각형강관에 대한 F_{cr}

$$\text{가). } h/t \leq 2.45 \sqrt{E/F_y}$$

$$F_{cr} = 0.6F_y \quad (4.4-8)$$

$$\text{나). } 2.45 \sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3.07 \sqrt{E/F_y}$$

$$F_{cr} = \frac{0.6F_y (2.45 \sqrt{E/F_y})}{\left(\frac{h}{t}\right)} \quad (4.4-9)$$

$$\text{다). } 3.07 \sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260$$

$$F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (4.4-10)$$

여기서, h : 4.2.1.1.2에 정의된 내측 모서리 반경을 감한 플랜지 사이의 순간격 (mm)

t : 설계벽두께

(2) 비틀림전단상수 C 는 다음과 같이 안전측으로 취할 수 있다.

$$\textcircled{1} \text{ 원형강관} : C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$$

$$\textcircled{2} \text{ 각형강관} : C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3$$

4.4.3.2 비틀림, 전단, 흔, 축력을 동시에 받는 강관

(1) 소요비틀림강도 T_u 가 설계비틀림강도 T_r 의 20% 이하이면 강관에 대한 비틀림, 전단, 흔 또는/과 축력의 상관관계는 4.4.1의 규정에 따라 산정하고 비틀림 효과는 무시한다. T_u 가 T_r 의 20%를 초과하면 비틀림, 전단, 흔 또는/과 축력의 상관관계는 다음의 식에 따라 제한한다.

$$\left(\frac{P_u}{P_r} + \frac{M_u}{M_r} \right) + \left(\frac{V_u}{V_r} + \frac{T_u}{T_r} \right)^2 \leq 1.0 \quad (4.4-11)$$

여기서, P_u : 하중조합으로 구한 소요축강도 (N)

P_r : 4.1 또는 4.2에 따라 산정된 설계인장강도 또는 설계압축강도 ($=\phi P_n$) (N)

M_u : 하중조합으로 구한 소요휨강도 (N · mm)

M_r : 4.3에 따라 산정된 설계휨강도 ($=\phi_b M_n$) (N · mm)

V_u : 하중조합으로 구한 소요전단강도 (N)

V_r : 4.3.2.1.2에 따라 산정된 설계전단강도 ($=\phi_v V_n$) (N)

T_u : 하중조합으로 구한 소요비틀림강도 (N · mm)

T_r : 4.4.3.1에 따라 산정된 설계비틀림강도 (N · mm)

4.4.3.3 비틀림과 조합응력을 받는 비강관 부재

(1) 비강관 부재들의 설계비틀림강도은 다음과 같이 수직응력항복 한계상태, 전단응력항복 한계상태, 좌굴 한계상태에 따라 구해진 값들 중 가장 작은 값을 택한다.

$$\phi_T = 0.90$$

① 수직응력항복 한계상태

$$F_n = F_y \quad (4.4-12)$$

② 전단응력항복 한계상태

$$F_n = 0.6F_y \quad (4.4-13)$$

③ 좌굴 한계상태

$$F_n = F_{cr} \quad (4.4-14)$$

여기서, F_{cr} : 해석에 의해 결정된 단면의 좌굴응력 (MPa)

(2) 탄성영역에 이웃한 부분에는 약간의 제한된 국부항복을 허용한다.

4.4.4 구멍이 있는 플랜지의 인장파단

(1) 축력과 주축힘이 조합된 하중상태 하에서 인장을 받는 플랜지의 볼트 구멍 위치에서 플랜지의 인장파단강도는 식 (4.4-15)에 의해 제한된다. 축력과 힘에 의해 인장을 받는 각각의 플랜지는 개별적으로 검토되어야 한다.

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{M_{ux}}{M_{rx}} \leq 1.0 \quad (4.4-15)$$

여기서, P_u : 하중조합으로 구해진 소요인장강도 (N)

P_t : 4.1.3.2에 따라 산정된 인장파단의 한계상태에 대한 설계인장강도 ($=\phi_t P_n$) (N)

M_{ux} : 하중조합으로 구한 소요휨강도 (N · mm)

M_{rx} : 4.3.2.1.1.13에 따라 정하는 설계휨강도 ($=\phi_b M_n$) 또는 고려되어지지 않은 볼트 구멍으로 산정된 소성모멘트 M_p (N · mm)

ϕ_t : 4.1.3.2에서 규정된 인장파단에 대한 저항계수 ($=0.75$)

ϕ_b : 힘에 대한 저항계수 ($=0.90$)

4.5. 기타 부재

4.5.1 기둥과 보의 가새

4.5.1.1 일반사항

- (1) 모든 가새는 부재에 대해 직각으로 설치되는 것으로 가정하며, 가새가 경사진 경우나, 대각 가새인 경우에는 가새의 강도 및 강성을 경사각에 따라 보정하여야 한다. 가새의 강성도를 평가함에 있어 그 부재 특성과 기하학적 특성뿐만 아니라 접합부 및 정착부의 상세의 영향 또한 고려해야 한다.
- (2) 가새구조는 상대구속 가새와 절점구속 가새, 이 2가지의 일반적인 형태로 분류한다. 상대 구속 가새는 인접 가새점에 대하여 가새점의 거동을 제어하며, 절점구속 가새는 인접 가새 점의 직접적인 상호작용과는 관계없이 가새점의 거동을 제어한다. 가새의 허용강도 및 강성은 별도의 구조해석을 통한 결과값이 명시되어 있는 경우를 제외하고는 소요한계강도 및 강성값과 같거나 그 이상이어야 한다.
- (3) 가새의 강도와 강성을 계산하기 위하여 구조물의 초기변형이나 부재의 초기변형을 포함한 2차해석을 수행한다면, 그 결과를 이 절의 규정 대신에 사용할 수 있다.

4.5.1.2 기둥 안정용 가새

- (1) 각각의 기둥은 그 길이에 걸쳐 끝단 및 중간위치에서 상대구속 가새 또는 절점구속 가새구조로 가새지지될 수 있다. 절점구속 가새의 설계식은 기둥 길이에 걸쳐서 등간격으로 가새가 배치된다고 가정한 경우이다.

4.5.1.2.1 상대구속 가새

4.5.1.2.1.1 소요강도

$$P_{bu} = 0.004 P_u \quad (4.5-1)$$

4.5.1.2.1.2 소요강성

$$\beta_{bu} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{2P_u}{L_b} \right) \quad (4.5-2)$$

여기서, $\phi = 0.75$

L_b : 가새간의 길이(비지지길이) (mm)

P_{bu} : 소요압축강도 (N)

4.5.1.2.2 절점구속 가새

4.5.1.2.2.1 소요강도

$$P_{bu} = 0.01 P_u \quad (4.5-3)$$

4.5.1.2.2.2 소요강성

$$\beta_{bu} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{8 P_u}{L_b} \right) \quad (4.5-4)$$

여기서, $\phi = 0.75$

P_{bu} : 소요압축강도 (N)

- (1) L_b 의 값이 L_q (여기서, L_q 는 K 값이 1인 기둥의 소요강도에 요구되는 최대 비지지길이) 보다 작은 경우에는 식 (4.5-4)의 L_b 대신에 L_q 를 적용해도 된다.

4.5.1.3 보 안정용 가새

- (1) 보, 거더 및 트러스의 길이방향 회전에 대한 구속은 부재의 가새 지점에서 확보되는 것으로 한다. 보에 대한 가새는 상부와 하부플랜지의 상대변위, 즉 단면의 비틀림을 방지해야 한다. 보의 횡방향 안정성은 횡가새, 비틀림가새 또는 이 2가지의 조합으로 확보해야 한다. 복곡률 흄을 받는 보에서 변곡점을 가새 지점으로 볼 수 없다.

4.5.1.3.1 횡좌굴 가새

- (1) 횡좌굴 가새는 압축플랜지 부근에 부착시켜야 한다. 다만, 캔틸레버 보에서 단부에 위치한 가새는 상부(인장)플랜지 부근에 접합해야 한다. 또한, 복곡률 흡을 받는 보에서 변곡점 부근에 횡지지가새를 설치하는 경우 이 가새는 양쪽 플랜지 모두에 접합해야 한다.

4.5.1.3.1.1 상대구속 가새

- (1) 소요강도

$$P_{bu} = 0.008 M_u C_d / h_o \quad (4.5-5)$$

- (2) 소요강성

$$\beta_{bu} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_u C_d}{L_b h_o} \right) \quad (4.5-6)$$

여기서, $\phi = 0.75$

h_o : 플랜지 도심간의 거리 (mm)

C_d : 단곡률인 경우 1.0, 복곡률인 경우 2.0 (단, 변곡점에 가장 가까운 가새에만 적용한다.)

L_b : 횡적 비지지길이 (mm)

M_u : 소요휨강도 ($N \cdot mm$)

4.5.1.3.1.2 절점구속 가새

- (1) 소요강도

$$P_{bu} = 0.02 M_u C_d / h_o \quad (4.5-7)$$

- (2) 소요강성

$$\beta_{bu} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10M_u C_d}{L_b h_o} \right) \quad (4.5-8)$$

여기서, $\phi = 0.75$

M_u : 소요휨강도 ($N \cdot mm$)

L_b 의 값이 L_q (여기서, L_q 는 보의 소요휨강도 M_u 에 요구되는 최대 비지지길이)보다 작은 경우에는 식 (4.5-8)의 L_b 대신에 L_q 를 적용해도 된다.

4.5.1.3.2 비틀림좌굴 가새

- (1) 비틀림좌굴 가새는 절점가새 또는 보 길이에 걸친 연속가새일 수 있다. 비틀림좌굴 가새는

단면의 어떠한 위치에도 부착할 수 있으며, 반드시 압축플랜지 부근에 부착시킬 필요가 없다. 비틀림좌굴 가새와 보 사이의 접합부는 다음과 같이 주어지는 소요모멘트를 저항할 수 있어야 한다.

4.5.1.3.2.1 상대구속 가새

(1) 소요모멘트

$$M_{bu} = \frac{0.024 M_u L}{n C_b L_b} \quad (4.5-9)$$

(2) 크로스프레임 또는 다이아프램가새의 소요강성도

$$\beta_{Tb} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}\right)} \quad (4.5-10)$$

$$\beta_T = \frac{1}{\phi} \left(\frac{2.4 L M_u^2}{n E I_y C_b^2} \right) \quad (4.5-11)$$

$$\beta_{sec} = \frac{3.3 E}{h_o} \left(\frac{1.5 h_o t_w^3}{12} + \frac{t_s b_s^3}{12} \right) \quad (4.5-12)$$

여기서, $\phi = 0.75$

L : 부재 경간길이 (mm)

n : 경간 내에서 가새 지점의 수

E : 강재의 탄성계수 (N/mm²)

I_y : 약축에 대한 단면2차모멘트 (mm⁴)

C_b : 4.3의 모멘트 분포에 따른 보정계수

t_w : 보 웨브의 두께 (mm)

t_s : 웨브 보강재의 두께 (mm)

b_s : 웨브 보강재의 폭 (mm)(양면 보강인 경우, 양쪽 폭의 합을 사용)

β_T : 웨브 비틀림을 배제한 가새의 강성 (N · mm/rad)

β_{sec} : 웨브의 비틀림강성 (N · mm/rad)(웨브의 중간보강재가 있는 경우 이의 효과를 포함)

M_u : 소요휨강도 (N · mm)

만약, $\beta_{sec} < \beta_T$ 이면, 식 (4.5-10)은 음수가 되는데, 이는 웨브의 비틀림강성이 부적절하기 때문에 보의 비틀림좌굴가새가 비효율적임을 가리킨다.

필요하다면, 웨브 보강 중간보강재는 보의 전체높이에 걸쳐 설치해야 한다. 특히, 비틀림좌굴가새가 있는 경우에는 가새가 부착되는 플랜지까지 중간보강재를 연장해야 한다. 대안

으로서, 비틀림좌굴가새가 직접 부착되지 않는 플랜지의 경우에 보의 중간보강재는 플랜지에서 $4t_w$ 거리만큼 떨어진 위치까지만 설치해도 무방하다. 설계한 비지지길이가 L_q 보다 작은 경우에는 식 (4.5-9)의 L_b 대신에 L_q 를 적용해도 된다.

4.5.1.3.2.2 연속 비틀림좌굴 가새

- (1) 연속 비틀림좌굴 가새의 경우, 식 (4.5-9), 식 (4.5-10) 및 식 (4.5-11)의 사용에 있어서 L/n 의 값은 1, L_b 는 L_q 로서 적용하며, 가새의 모멘트와 강성은 단위길이 당의 값으로 주어지게 된다. 비보강 웨브의 뒤틀림강성도는 다음과 같다.

$$\beta_{\text{sec}} = \frac{3.3E t_w^3}{12h_o} \quad (4.5-13)$$

4.5.2 핀

4.5.2.1 위치

- (1) 편심을 최소화할 수 있도록 핀의 위치를 결정한다.

4.5.2.2 강도

4.5.2.2.1 휨과 전단의 조합

- (1) 휨과 전단을 동시에 받을 경우에는 다음 식을 만족해야 한다.

$$\frac{6.0M_u}{\phi_f D^3 F_y} + \left(\frac{2.2V_u}{\phi_v D^2 F_y} \right)^3 \leq 0.95 \quad (4.5-14)$$

여기서, D : 핀의 직경 (mm)

M_u : 설계하중에 의한 휨모멘트 ($N \cdot mm$)

V_u : 설계하중에 의한 전단력 (N)

F_y : 핀의 항복강도 (MPa)

ϕ_f : 휨에 대한 저항계수로서 $\phi_f=1.0$

ϕ_v : 전단에 대한 저항계수로서 $\phi_v=1.0$

M_u 와 V_u 는 동일한 단면에서 구한 값을 사용한다.

4.5.2.2.2 지압

- (1) 핀의 지압강도는 다음과 같다.

$$(R_{pB})_r = \phi_b (R_{pB})_n \quad (4.5-15)$$

$$(R_{pB})_n = 1.5tD F_y \quad (4.5-16)$$