

KR C-09040

Rev.1, 12. December 2022

부재의 응력

2022. 12. 12.



국가철도공단

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 충칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 부재의 응력	1
2.1 일반내용	1
2.2 부재의 휨응력	3
2.3 축방향력과 휨모멘트를 받는 부재	4
2.4 부재의 전단응력	9
2.5 휨모멘트와 전단력과의 합성응력의 계산	10
2.6 부재의 유효단면적	11
3. 판요소의 폭-두께비와 보강재	12
3.1 일반내용	12
3.2 축방향 압축력을 받는 판요소	13
3.3 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 판요소	17
3.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판	19
4. 인성요구조건	24
 해설 1. 판요소의 폭-두께비와 보강재 해설	 27
1. 축방향 압축력을 받는 판요소	27
1.1 최대폭-두께비	27
1.2 보강재의 소요강도	32
1.3 보강재의 강종	35
2. 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 판요소	35
2.1 최대폭-두께비	35
2.2 보강재의 소요강도	37
2.3 보강재의 강종	38
3. 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판	38
3.1 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판 최소두께 규정	38
3.2 중간수직보강재가 있는 복부판의 최대폭-두께비	38
3.3 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비	40
3.4 중간수직보강재의 간격	42
3.5 수평보강재	48
3.6 중간수직보강재	52



3.7 구멍 뚫린 판을 가진 부재	53
RECORD HISTORY	55

1. 용어의 정의

- (1) 강축 : 부재의 단면상에서 휨에 대하여 강한 축.
- (2) 그루브용접 : 용접되는 모재사이에 용착금속을 채워 넣는 용접.
- (3) 모재 : 절단, 용접 등에 의해 가공되는 구조의 본체가 되는 재료.
- (4) 목두께 : 필릿용접의 유효단면두께.
- (5) 바닥판의 유효폭 : 합성단면으로서 계산할 수 있는 바닥판의 폭.
- (6) 비드 : 1회의 패스에 의해 만들어진 용접금속.
- (7) 세장비 : 부재의 좌굴길이를 부재의 단면이차반경으로 나눈 값.
- (8) 약축 : 부재의 단면상에서 휨에 대하여 약한 축.
- (9) 용접부 : 용착금속 및 열영향부를 포함한 부분의 총칭.
- (10) 캔틸레버구조 : 한 경간 내에서만 모멘트가 자유롭게 전달되는 주부재의 거더 또는 트러스로서 최소 한 지점을 통과하여 인접경간으로 내밀고 있어서 모멘트가 인접경간으로 자유롭게 전달되지 못하는 구조.
- (11) 트러스 : 여러 개의 직선부재로 구성된 골조구조로서, 구조역학적 부재끼리 결합하는 점(격점)은 부재 양끝이 자유롭게 회전하도록 결합되어 있는 구조.
- (12) 플레이트거더 : 상·하부플랜지와 복부판으로 구성된 I-단면 형상의 거더로서 압연 I형강과 용접 I형 플레이트거더가 주로 사용되며, 박판으로 이루어진 π 형 단면 및 박스형 단면의 거더도 넓은 의미로 이에 포함.
- (13) 필릿용접 : 겹친 이음, T 이음, +자이음, 각이음 등에 있어서 교차하는 두 모재의 우각부를 용접하는 삼각형상의 단면을 갖는 용접.

2. 부재의 응력

2.1 일반내용

- (1) 이 지침은 강교 및 강합성교의 설계에 적용하는 부재에 관한 일반사항을 규정하였다.
- (2) 기호

A = 복부판 및 플랜지의 중심선으로 둘러싸인 면적(mm^2)

A_{fg} = 강축에 대한 인장플랜지의 총단면적(mm^2)

A'_{fg} = 약축에 대한 인장플랜지의 총단면적(mm^2)

A_{fn} = 강축에 대한 인장플랜지의 순단면적(mm^2)

A'_{fn} = 약축에 대한 인장플랜지의 순단면적(mm^2)

A_g = 단면의 총단면적(mm^2)

A_n = 단면의 순단면적(mm^2)

A_w = 복부판의 총단면적(mm^2)



f	= 「2.2 ①항」의 규정에 의해 산출한 휨응력(MPa)
f_a	= KR C-09030의 <표 1> ①, ④, ⑥, ⑧(MPa)
f_c	= 휨 압축연단 응력(MPa)
f_{cso}	= KR C-09030의 표2 에 나타낸 $l/r \approx 0$ 때의 허용압축응력(MPa)
f_t	= 휨 인장연단 응력(MPa)
f_{ta}	= KR C-09030의 표1 에 규정한 기본 허용인장응력(MPa)
I	= 플레이트거더의 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm ⁴)
I_x	= 강축에 대한 총단면의 단면2차모멘트(mm ⁴)
I_y	= 약축에 대한 총단면의 단면2차모멘트(mm ⁴)
l	= 부재의 좌굴길이(mm)
M	= 휨모멘트(N · mm)
M_{eq}	= 휨모멘트가 직선적으로 변화하는 경우의 등가모멘트(N · mm)
M_t	= 전단 중심에서의 비틀림모멘트(N · mm)
M_x	= 강축에 작용하는 휨모멘트(N · mm)
M_{xa}	= 횡좌굴을 고려한 강축에 대한 허용휨모멘트(N · mm)
M_y	= 약축에 작용하는 휨모멘트(N · mm)
M_{yso}	= 약축에 대한 허용휨모멘트(N · mm)
P	= 부재에 작용하는 축방향력(N)
P_m	= 강축 또는 약축에 관한 허용좌굴응력 가운데 작은 쪽의 값(N)
r	= 고려하는 축에 대한 총단면의 단면2차반지름(mm)
S	= 계산 단면에 작용하는 전단력(N)
t	= 복부판 또는 플랜지의 두께(mm)
y	= 플레이트거더 총단면의 중립축에서부터 응력을 계산하고자 하는 위치까지의 거리(mm)
y_c	= 플레이트거더 총단면의 중립축에서 압축연단까지의 거리 또는 강축에서부터 휨에 관한 압축연단까지의 거리(mm)
y'_c	= 약축에서부터 휨에 관한 압축연단까지의 거리(mm)
y_t	= 플레이트거더 총단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리 또는 강축에서부터 휨에 관한 인장연단까지의 거리(mm)
y'_t	= 약축에서부터 휨에 관한 인장연단까지의 거리(mm)
v	= 전단응력(MPa)
v_a	= KR C-09030의 <표 1> 의 ②, ⑤, ⑦, ⑧(MPa)
v_m	= 복부판에 작용하는 평균 전단응력(MPa)
v_t	= 비틀림모멘트에 의한 전단응력(MPa)

2.2 부재의 휨응력

(1) 플레이트거더 및 이것과 유사한 구조물의 휨모멘트에 의한 응력은 다음 각 항에 따라 계산한다.

① 휨모멘트에 의한 응력

$$f = \frac{M}{I} y \quad (1)$$

여기서, f : 휨응력(MPa)

M : 휨모멘트(N · mm)

I : 플레이트거더의 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm⁴) ②항에서도 동일)

y : 플레이트거더의 총단면의 중립축에서부터 응력을 계산하고자 하는 위치까지의 거리(mm)

<식 (1)>에서 I 는 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트이지만 플랜지와 복부판을 연결하는 용접(필렛용접 또는 그루브용접)이나 덮개판과 플랜지를 연결하는 필렛용접에 의한 단면적의 증가는 고려하지 않았다.

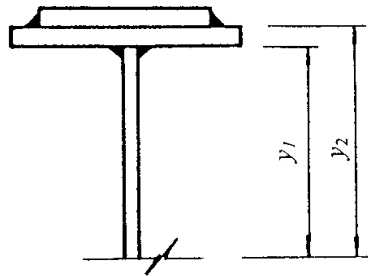


그림 1. 용접비드 응력 계산시의 y

용접 비드에서의 휨응력(f)를 계산하는 경우 y 는 계산하는 비드 단면의 도심을 택하지만, 플랜지와 복부판 사이의 목용접의 경우에는 복부판 상연까지, 또 덮개판과 플랜지 사이의 경우에는 용접면까지로 한다(<그림 1>의 y_1 및 y_2). 한편, 용접 비드에서 비드 방향의 인장 및 압축만에 대해서는 모재와 같은 허용응력을 택하게 되므로 일반적으로 검산할 필요가 없지만 플랜지판과 복부판을 연결하는 용접에서의 검산에서 휨응력(f)의 값을 구할 경우에는 ②와 같은 계산이 필요하다.

② 휨모멘트에 의한 연단응력

$$f_c = \frac{M}{I} y_c, \quad f_t = \frac{M}{I} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} \quad (2)$$

여기서, f_c : 휨 압축연단의 응력(MPa)

f_t : 휨 인장연단의 응력(MPa)



- y_c : 보의 종단면의 중립축에서 압축연단까지의 거리(mm)
 y_t : 보의 종단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리(mm)
 A_{fg} : 인장 플랜지의 종단면적(mm²)
 A_{fn} : 인장 플랜지의 순단면적(mm²)

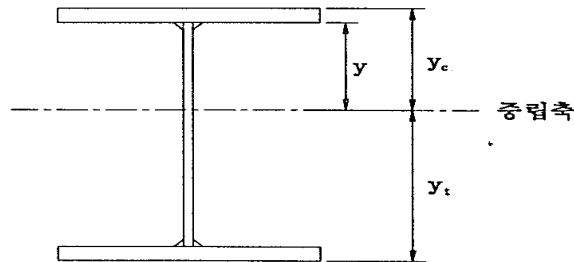


그림 2. 중립축 및 연단까지의 거리

<식 (2)>는 <식 (1)>을 플레이트거더의 압축연단 및 인장연단에 적용한 것이다. 인장연단의 휨응력을 계산하는 경우에는 구멍을 공제한 순단면적을 계산해야 하므로 플레이트거더의 종단면적과 순단면적의 비(A_{fg}/A_{fn})를 곱한다.

주거더의 덮개판부에는 덮개판의 바깥끝까지의 거리가 보 자체의 y_c 와 y_t 보다 크지만 그 부분의 I 값도 크게 되므로 덮개판에 대해서 특별히 휨모멘트에 의한 $f = (M/I)y$ 를 계산하지 않고 플랜지 단면을 단독으로 계산하여 덮개판의 휨응력을 더하는 방법이 현재 사용되고 있다. 또, 이 부분의 인장플랜지에 있어서 구멍의 공제를 고려하여 단면을 증가시킨 경우에도 플랜지만의 원단면적과 증가단면적을 비교하여 설계하는 것이 편리하다.

2.3 축방향력과 휨모멘트를 받는 부재

(1) 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재는 각각에 대해 「2.2, (1)」의 규정을 만족시키는 것 외에 다음의 각 항에 대한 검토도 해야 한다.

(2) 응력의 검토

① 축방향력이 인장인 경우

부재의 전체 단면에 발생하는 응력은 <식 (3)> 및 <식 (4)>를 만족해야 한다.

• 인장응력의 검토

$$\frac{P}{A_n} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta} \quad (3)$$

• 압축응력의 검토

$$-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao} \quad (4)$$

I_x 및 I_y 는 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트를 사용하고 <식 (3)>에 대해서는 「2.2, (1) ②」와 같이 응력에 A_{fg}/A_{fn} 및 A_{fg}'/A_{fn}' 를 곱해 볼트구멍에 의한 단면감소의 영향을 고려한다. 한편, H형 단면인 경우 $A_{fg}'/A_{fn}'=1$ 로 하여 <식 (3)>을 사용한다. <식 (4)>는 축방향 인장력이 작고 휨모멘트가 큰 경우의 압축응력에 관한 계산식이고 휨모멘트에 의한 압축응력의 계산에는 볼트구멍에 의한 단면감소의 영향은 고려하지 않는다.

② 축방향력이 압축인 경우

부재의 전체 단면에 발생하는 응력은 <식 (5)> 및 <식 (6)>을 만족하여야 한다.

• 인장응력의 계산

$$-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta} \quad (5)$$

• 압축응력의 계산

$$\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao} \quad (6)$$

<식 (5)> 및 <식 (6)>은 <식 (3)> 및 <식 (4)>와 같은 응력에 대한 계산식으로서, I_x 및 I_y 는 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트로 고장력 볼트이음의 경우에는 그대로 사용해도 좋지만, 보통 볼트나 구멍이 뚫려 있는 경우에는 인장인 경우와 같이 응력에 A_{fg}/A_{fn} 및 A_{fg}'/A_{fn}' 를 곱해야 한다.

실제로 M_x 및 M_y 에 의한 처짐(δ)과 축방향력(P)로 인한 휨모멘트는 압축응력을 증가시키고 이것에 의해 변형도 추가되어 휨모멘트가 더욱 커지는 경향이 있다. <식 (6)>에 이것을 고려하여 나타내면 <식 (7)>과 같다.

$$\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x \left(1 - \frac{sP}{P_{Ex}}\right)} y_c + \frac{M_y}{I_y \left(1 - \frac{sP}{P_{Ey}}\right)} y_c' \leq f_{ca} \quad (7)$$

여기서, P_{Ex} 및 P_{Ey} 는 x 축 및 y 축에 관한 오일러 좌굴값이고 s 는 안전율이다. 그러나 보통의 철도교 부재에서는 sP/P_{Ex} , $sP/P_{Ey} \ll 1$ 이므로 계산의 편의를 위해 <식 (6)>을 사용하도록 한다.

허용응력(f_{cao})는 「KR C-09030의 <표 4>」에 규정한 $l/r \equiv 0$ 일 때의 허용압축응력을 사용한다. 다만, 최대폭-두께비를 완화하는 경우는 국부좌굴을 고려한 <표 5>에 나타난 보의 압축플랜지의 허용압축응력을 사용한다. 또한, 여기서 이용한 M_x 및 M_y 는 대상점에 대한 휨모멘트이고 부재의 한쪽 끝에서부터 다른 쪽 끝으로 모멘트가 M_1 에서 M_2 까지 변화하는 경우 M_{eq} 는 사용하지 않는다.

일반적으로 철도교에 사용되는 기둥의 하단이 힌지인 라멘에서는 기둥의 단면이 변하는 경우가 많지만 지금까지의 예에 의하면 부정정력을 구하기 위해 기둥의 하단에



서부터 뼈대선 높이의 0.7위치의 단면을 기둥의 대표단면으로 하여 계산하여도 비교적 정확하다.

<식 (3)>에서부터 <식 (6)>까지의 응력의 검산에서는 계산하여 구한 휨모멘트 및 축력의 합계에 의한 응력이 허용응력 이하여야 하지만, 현치의 시작부에 대해서는 안전을 위해 <그림 3>과 같이 구한 휨모멘트에 대해 검산해야 한다.

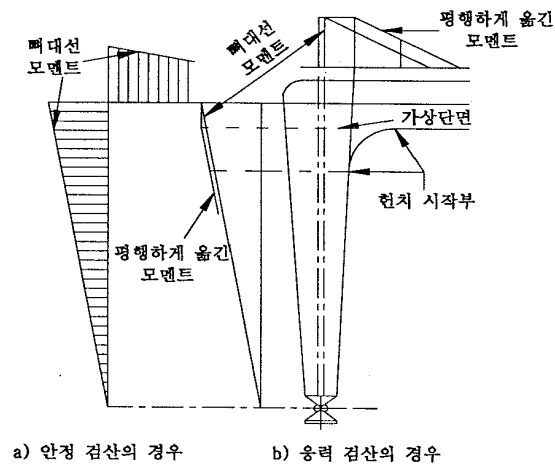


그림 3. 라멘의 휨모멘트를 취하는 방법

(3) 좌굴검토

$$\frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{ya0}} \leq 1.0 \quad (8)$$

다만, 축방향 인장력의 경우에는 $P=0$ 으로 계산한다.

여기서, P : 부재에 작용하는 축방향력(N). 다만, 「KR C-08020, 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」에 따라 허용응력을 할증하여 하중 조합을 한 경우에는 강교편 「KR C-08020, 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」 <표 12>에 표시한 계수로 나눈 값이다.

M_x, M_y : 각각 강축 및 약축에 작용하는 휨모멘트(N · mm). 다만, 「KR C-08020, 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」에 따라 허용응력을 할증하여 하중조합을 한 경우에는 강교편 「KR C-08020, 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」 <표 12>에 표시한 계수로 나눈 값이다. 또한 <식 (3)>, <식 (4)>, <식 (5)> 및 <식 (6)>에 있어서는 검산하려는 단면에 대한 휨모멘트이고, <식 (8)>에 있어서는 휨모멘트가 한쪽 끝으로부터 다른 끝까지 M_1 에서 M_2 까지 직선적으로 변화하는 경우 $M_{eq} = 0.6M_1 + 0.4M_2$ 으로 계산되는 등가모멘트(M_{eq})로 한다.

다만, $M_1 \geq M_2$ 이고 $M_{eq} \geq 0.4M_1$ 이어야 한다.

I_x, I_y : 각각 강축 및 약축에 대한 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm⁴)

A_n, A_g : 각각 검사하려는 단면의 순단면적 및 총단면적(mm²)

A_{fn}, A_{fg} : 각각 검사하려는 강축에 대한 플랜지의 순단면적 및 총단면적(mm²)

y_t, y_c : 각각 강축에서부터 휨에 대한 인장연단 및 압축연단까지의 거리(mm)

y'_t, y'_c : 각각 약축에서부터 휨에 대한 인장연단 및 압축연단까지의 거리(mm)

A'_{fg}, A'_{fn} : 각각 검사하려는 약축에 대한 플랜지의 순단면적 및 총단면적(mm²)

f_{ta} : 기본허용인장응력(MPa)

f_{cao} : 「KR C-08030, 8」<표 2>에 나타낸 l/r ≒ 0일때의 허용압축응력(MPa). 다만, 최대폭-두께비를 완화한 경우에는 <표 3>에 나타낸 보의 압축플랜지의 허용압축응력(MPa). 다만, 단서는 고려하지 않는다.

P_{ca} : 강축 또는 약축에 관한 허용좌굴응력(N) 중에서 작은 쪽의 값인 $A_g \cdot f_{ca}$ 로 계산한다. 이 경우 f_{ca} 는 「KR C-09030, 8」<표 2>에 나타낸 l/r 에 따라 변화하는 허용축방향압축응력(MPa)으로 한다. 다만, 최대폭-두께비를 완화한 경우에는 <표 3>에 나타낸 기둥의 허용압축응력(MPa)으로 한다.

횡좌굴을 고려한 강축에 대한 허용휨모멘트(N·mm)로서 $f_{ca} \cdot I_x / y_c$ 로 계산한다. 이 경우 f_{ca} 는 「KR C-08030 피로」<표 2>에 나타낸

M_{xa} : $(l/r)_e$ 에 따라 변화하는 허용압축응력(MPa)으로 한다. 다만, 최대폭-두께비를 완화하는 경우에는 <표 3>에 나타낸 보의 압축플랜지의 허용압축응력(MPa)으로 한다.

M_{yao} : 약축에 대한 허용휨모멘트(N·mm)로서 $f_{ca} \cdot I_y / y'_c$ 로 계산한다. 이 경우 f_{ca} 는 「KR C-08030 피로」<표 2>에 나타낸 $(l/r)_e \approx 0$ 일때의 허용휨압축응력(MPa)으로 한다.

축방향 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재의 좌굴은 <식 (8)>로 검산한다. 지금까지는 1방향 휨과 축방향 압축력을 동시에 받는 경우 휨모멘트가 작용하는 면외와 면내에 대해 각각의 검산식을 사용하여 왔지만 여기에서는 2방향의 휨모멘트를 고려하도록 검산식을 정리한 것이다.

<식 (8)>을 <식 (9)>와 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa} \left(1 - \frac{sP}{P_{Ex}} \right)} + \frac{M_y}{M_{ya} \left(1 - \frac{sP}{P_{Ey}} \right)} \leq 1 \quad (9)$$



여기서, P_{ca} 는 휨에 대한 강축(x 축)과 약축(y 축)에 관한 각각의 허용좌굴하중 중 작은 쪽의 값으로서 좌굴길이에 따라서는 강축에 관한 쪽이 약축에 관한 쪽에 비해 작게 되는 경우가 있으므로 주의를 요한다. M_{xa} 는 횡좌굴에 대한 허용휨모멘트이므로 <식 (9)>는 좌굴을 고려하지 않은 <식 (7)>과는 별개의 것이라고 보아야 한다. 식<식 (7)>은 <식 (9)>에 있어서 $sP/P_E \ll 1$ 로 가정해서 얻어진 것이므로 P 가 P_E 보다 그다지 작지 않은 특수한 경우와 I형 단면의 경우에는 <식 (9)>에 의해 검산해야 한다.

축방향 인장력이 작용하고 있는 경우에도 축방향 인장력이 작고 휨모멘트가 크면 휨에 의한 횡좌굴이 발생할 수 있다. 일반적으로 인장응력이 발생하면 횡좌굴응력이 상승하지만 안전을 위해 그 효과는 무시하고, <식 (8)>에서 $P=0$ 으로 검산한다.

① 변단면의 경우

균일단면이 아닌 경우 P_{ca} , M_{xa} 및 M_{ya} 를 구하기 위해 어떠한 단면을 이용해야 하는가를 결정하는 것은 어려운 문제이고 따라서 계산식도 변경하여야 한다. 그러나 라멘의 기둥 부재에는 길이의 중앙부근 단면으로 대표하여 <식 (8)>을 적용하여 간략하게 계산할 수 있다.

② 휨모멘트가 일정하지 않은 경우

휨모멘트가 일정한 경우에 대해서 식을 유도하였지만 일정하지 않은 경우에는 이것을 일정한 휨모멘트(M_{eq})로 환산한다.

즉, $M_{eq} = 0.6M_1 + 0.4M_2$ 이고, 이때, $M_{eq} \geq 0.4M_1$ 이어야 한다. 이것은 부재의 한쪽 끝에서부터 다른 쪽 끝까지 M_1 에서 M_2 까지 직선적으로 변화하는 것을 전제로 한다. 또한, 이 경우 $M_1 \geq M_2$ 이다.

라멘이나 아치부재에서는 일반적으로 휨모멘트가 직선적으로 변화하는 경우가 많지만 휨모멘트가 직선적으로 변하지 않는 경우에는 이 방법으로 환산하는 것은 적절하지 않다.

③ 좌굴길이 선택

허용좌굴하중을 구하는 경우 좌굴길이를 정하는 방법에 대해서는 허용응력에서 언급하였지만 특히, 라멘의 경우 그 지지조건이나 좌굴을 생각하는 방향에 따라 특별히 정해져 있으므로 주의를 요한다.

아울러 본 조문은 부재 전체의 안정을 취급하고 있으므로 부재를 구성하는 판의 폭-두께비는 당연히 국부좌굴을 일으키지 않도록 3항에 의해 검산되어야 한다.

(4) 피로검토

피로에 대해서는 「KR-C 08030 피로」의 규정에 따라 검산한다. 이때, f_{max} 및 f_{min} 은 휨응력과 축방향력이 동시에 작용하는 경우에 대해 합산한 계산 작용응력의 대수적 최대치 및 최소치로 한다. 또 허용피로응력 범위의 산출에 이용하는 영향선의 길이는 작용하는 응력범위 중 축방향력에 의한 것과 휨에 의한 것 중 큰 쪽에 대한 영향선의 같은 부호의 기선길이를 한다.

축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재에 대해서도 인장과 압축응력만 발생되므로 「7.4」와 같이 검사하도록 하였다. 또, 축방향력과 휨모멘트에 의한 응력은 같은 위치에 대해서도 열차의 위치에 따라 다르다. 피로의 검산은 합산응력의 최대치와 최소치로부터 응력범위를 계산하도록 하였지만 축방향력에 의한 응력, 휨모멘트에 의한 응력도 그 최대치를 사용하는 경우에는 안전측의 검산이 된다.

2.4 부재의 전단응력

2.4.1 평균전단응력

플레이트거더 및 이것과 유사한 구조물의 복부판의 평균 전단응력은 <식 (10)>으로 계산한다.

$$v_m = \frac{S}{A_w} \quad (10)$$

여기서, v_m : 복부판에 작용하는 평균 전단응력(MPa)

S : 계산 단면에 작용하는 전단력(N)

A_w : 복부판의 총단면적(mm²)

<식 (10)>에서 복부판의 평균 전단응력은 전단력이 복부판에 균일하게 작용하는 것으로 가정한 약산식으로 복부판의 전단응력에 의한 좌굴 검토 또는 허용전단응력을 비교하는 경우에 사용하여야 한다. 다만, 플랜지와 복부판을 연결하는 필릿용접부에 작용하는 전단응력을 계산하는 「KR C-09080 3.1.4항」을 적용한다.

2.4.2 비틀림에 의한 전단응력

박스거더의 비틀림모멘트에 의한 전단응력은 <식 (11)>로 계산한다.

$$v_t = \frac{M_t}{2At} \quad (11)$$

여기서, v_t : 비틀림모멘트에 의한 전단응력(MPa)

M_t : 전단 중심에서의 비틀림모멘트(N · mm)

A : 복부판 및 플랜지의 중심선으로 둘러싸인 면적(mm²)

t : 복부판 또는 플랜지의 두께(mm)

일반적으로 철도교에 이용되는 박스거더의 경우 <식 (11)>로 전단력을 계산해도 실용상 정밀도를 갖는다. 박스거더의 비틀림모멘트에 의한 전단응력(v_t)은 직선부재에서도 원심력 차량횡하중 또는 차량횡압하중, 곡선의 편심 및 열차재하시의 풍하중과 지진의 영향과 같은 횡력에 의해 발생되므로, 이 비틀림모멘트에 의한 전단응력(v_t)을 평균전단응력에 가산하여야 한다. 또, 비틀림에 의해 연직응력도 발생되지만 직선의 철도교 박스거더의 경우, 그 값은 1MPa 이하이므로 무시해도 좋다.

I형단면의 플레이트거더에서도 상하 플랜지에 브레이싱이 있으면 브레이싱이 없거나 상부에만 브레이싱이 있는 경우 보다 비틀림모멘트에 대한 저항성이 크지만, 큰 비틀



림모멘트가 작용하는 경우에는 박스형 단면을 사용하여야 한다. 특히 단독의 I형단면, II형단면, U형단면과 같은 열린단면은 비틀림모멘트에 대한 저항이 매우 작으므로 주의하여야 한다.

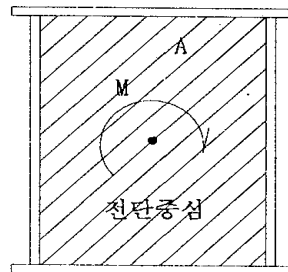


그림 4. 전단중심 및 비틀림모멘트

2.5 휨모멘트와 전단력과의 합성응력의 계산

2.5.1 합성응력의 검토

- (1) 플레이트거더 및 이와 유사한 구조물에 휨응력 및 전단응력이 동시에 작용하는 경우에는 <식 (12)>로 검토해야 한다.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leq 1.1 \quad (12)$$

다만, f 및 v 는 각각 f_a 및 v_a 이하이어야 한다.

여기서, f : <식 (1)>에 의해 산출한 휨응력(MPa)

v : <식 (11)>에 의해 산출한 전단응력(MPa)

f_a : 「KR C-09030 피로」<표 1>의 ①, ④, ⑥, ⑧에 의해 증가된 경우를 포함)

v_a : 「KR C-08030, 8」에서 <표 1>의 ②, ⑤, ⑦, ⑧에 의해 증가된 경우를 포함)

- (2) 플레이트거더의 복부판과 플랜지를 연결하는 필릿용접, I형강 또는 H형강의 목부분에서 전단력이 상대적으로 큰 경우에는 휨모멘트와 전단력에 의한 합성응력의 검토가 필요하다(<그림 5> 참조). 다만 복부판과 플랜지를 연결하는 필릿용접부의 목두께의 합계가 복부판 두께보다 크게 되어 복부판에 대한 검토가 된 경우에는 용접부를 특별히 검토할 필요는 없다. 그러나 두꺼운 복부판이 이용되거나 복부판에 작용하는 전단응력이 작을 경우 필릿용접치수가 상대적으로 작게 적용될 수 있는데, 이 경우에는 목두께면에 대하여 합성응력을 검토해야 한다.

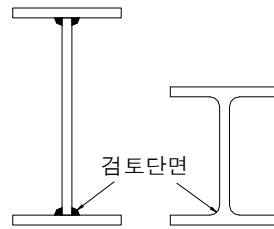


그림 5. 검토단면

- ③ 연속 플레이트거더나 캔틸레버 거더의 중간지점 부근, 하로플레이트거더나 트러스의 가로보 및 라멘 모서리부 부근은 휨응력(f)과 전단응력(v)이 동시에 크게 되므로 주의를 요한다. 또, 단순거더에서도 거더 끝에 가깝고, 전단력이 큰 위치에서 작은 플랜지 단면을 사용한 경우에는, 합성응력이 크게 되는 경우가 있으므로 이를 검토해야 한다.

2.5.2 피로 검토

- (1) 피로 검토는 「(3)항」에 의한다. 즉, 수직응력과 전단응력의 각각에 대해 「(3)항」에 따라서 피로 검토를 한 경우에는 합성응력에 대한 피로 검토를 하지 않아도 된다. 다만, 받침보와 가로보, 수직응력과 전단응력이 동시에 최대가 될 수도 있는 부재에 대해서는 합성응력에 대한 피로 검토를 하여야 한다. 그 경우 피로 검토는 <식 (13)>, <식 (14)> 및 <식 (15)>에 의해 산출한 합성응력의 응력범위(Δf_p)와 「(3)항」에 규정한 허용피로응력범위를 이용해 검토하면 된다.

$$f_{pmax} = \frac{1}{2}(f_{max} + \sqrt{f_{max}^2 + 4v_{max}^2}) \quad (13)$$

$$f_{pmin} = \frac{1}{2}(f_{min} + \sqrt{f_{min}^2 + 4v_{min}^2}) \quad (14)$$

$$\Delta f_p = f_{pmax} - f_{pmin} \quad (15)$$

여기서, f_{max} : 최대휨응력(MPa)

f_{min} : 최소휨응력(MPa)

v_{max} : 최대전단응력(MPa)

v_{min} : 최소전단응력(MPa)

f_{pmax} : 최대주응력(MPa)

f_{pmin} : 최소주응력(MPa)

Δf_p : 응력범위(MPa)

2.6 부재의 유효단면적

2.6.1 인장부재의 유효단면적

- (1) 인장부재의 유효단면적은 순단면적을 적용한다.
- (2) 피로 검토를 하는 경우 인장부재의 유효단면적은 고장력볼트 마찰이음에 대해서는 총단면적을 적용한다.



2.6.2 인장 L형강의 유효단면적

1개 또는 2개의 L형강으로 구성된 인장 부재가 연결판의 한쪽 면에만 연결되어 편심에 의한 휨모멘트가 발생하는 경우에는 <그림 6(a), (b)>와 같이 연결판에 연결시킨 다리의 순단면적과 연결되지 않은 다리의 1/2 높이까지의 단면적을 합한 면적을 유효 단면적으로 한다. <그림 6(c)>와 같이 전체 인장 부재의 중심축이 연결판 면내에 위치하는 편심 연결의 경우와 <그림 6(d), (e)>와 같이 전체 인장 부재의 중심축이 연결판의 중심축과 일치하여 연결부의 편심에 의한 휨모멘트가 발생하지 않는 경우에는 연결판에 연결되지 않은 다리의 전체 단면적을 포함한 인장 부재의 순단면적이 유효 단면적이다.

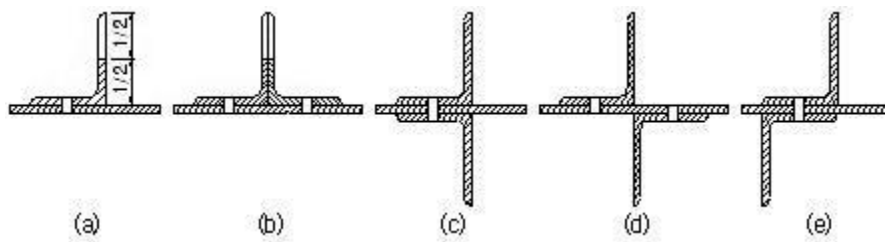


그림 6. 편심의 영향을 고려한 인장 L형강의 유효단면적

2.6.3 압축부재의 유효단면적

압축부재의 유효단면적은 총단면적으로 하여야 한다. 단지, 일반볼트의 구멍과 핀을 위한 구멍은 공제하는 것으로 한다.

2.6.4 부정정력을 계산하는 경우의 유효단면적

휨과 부정정력을 계산하는 경우의 유효단면적은 총단면적을 적용한다.

3. 판요소의 폭-두께비와 보강재

3.1 일반내용

- (1) 이 지침은 강교 및 강합성교 판요소의 폭-두께비와 보강재에 관한 일반적인 사항을 규정하였다.
- (2) 보강재의 강종은 보강되는 판의 강종과 동등 이상의 강도를 가지는 재료를 사용해야 한다.
- (3) 기호
 - b = 판의 폭(mm)
 - $(b/t)_o$ = 판의 최대폭-두께비
 - $(b/t)_s$ = 실제 설계에 이용하는 폭-두께비
 - D = 복부판의 높이(mm)

d	= 중간수직보강재의 간격(mm)
d_s	= 실제 설계에서 정한 보강재 간격(mm)
f	= 복부판의 연단압축응력(MPa)
f_1, f_2	= 축방향 압축력과 휨모멘트에 의해 양단에서 발생하는 합응력(MPa)
f_{avg}	= l/r 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)
f_{c0}	= $l/r = 0$ 의 경우의 허용압축응력(MPa)
I	= 수평보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm ⁴)
l	= 부재의 좌굴길이(mm)
n	= 보강재에 의해 나뉘어지는 수
r	= 고려하는 축에 대한 총단면의 단면2차반지름(mm)
t	= 판의 두께(mm)
α	= 판의 길이(a)와 판의 폭(b)과의 비(a/b)
γ	= 강성비
δ	= 보강재 1개의 단면적(A_s)과 보강판의 단면적($b \cdot t$)과의 비
ψ	= 판요소의 양단에서 발생하는 응력의 비($-1.0 \leq \psi \leq 1.0$)
v	= 전단응력(보강재 사이의 평균치)(MPa)

3.2 축방향 압축력을 받는 판요소

3.2.1 최대폭-두께비

- (1) 이 항목은 부재를 구성하는 판이 전 폭에 걸쳐 등분포된 압축력을 받을 경우, 판의 좌굴에 대해서 안전을 확보하기 위해 규정한 것이다. 기둥처럼 축방향 압축력을 받는 부재의 각 판요소뿐만 아니고, 휨을 받는 플레이트거더의 압축플랜지처럼 일정한 압축응력을 받는 판요소에 대해서도 적용한다. (『KR C-09080』 참조)
- (2) 부재의 축방향으로 압축력을 받는 판의 최대폭-두께비는, 판 끝의 지지조건에 따라서 <표 1>을 적용한다.
- (3) 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재 및 가설 시에 일시적인 압축응력을 받는 부재에 대해서, <표 1>의 판의 최대폭-두께비에 <표 2>의 계수를 곱해서 완화할 수 있다. 이 경우의 허용압축응력은 <표 3>에 의해 계산한다.



표 1. 판의 최대폭-두께비($(b/t)_o$)

강종 \ 판 끝의 지지조건	자유 돌출판	양연 지지판	양연 지지되고 판 폭의 n등분선 상에 각각 보강재가 있는 판 (보강된 판)
SS400, SM400 SMA400	12.5	40	28n
SM490 SM490C-TMC	11	34	24n
SM490Y SM520 SMA490 SM520C-TMC	10	32	22n
SM570 SMA570 SM570C-TMC	9	28	20n
HSB500	10	31	21n
HSB600	9	28	20n
적용예			
	①	②	③

표 2. 판의 최대폭-두께비 완화계수 및 상한치

부재명	판의 종류	상시	가설시	
		계수	계수	폭-두께비 상한치
기둥	자유 돌출판	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$	16
	양연 지지판			60
	보강판	$3 - \frac{2f}{f_{cag}}$ 단, 1.7 이하	$3 - \frac{2f}{f_{cag}}$	60n
거더의 압축플랜지	자유 돌출판	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$	16
	양연 지지판			60
	보강판	$3 - \frac{2f}{f_{cao}}$ 단, 1.7 이하	$3 - \frac{2f}{f_{cao}}$	60n

표 3. 최대폭-두께비 완화에 따른 허용압축응력

부재명	판의 종류	허용압축응력
기둥	자유 돌출판	$f_{ca} = f_{cag} \cdot \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$
	양연 지지판	
	보강판	$f_{ca} = f_{cag} \cdot \left\{ 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \right\}$
거더의 압축플랜지	자유 돌출판	$f_{ca} = f_{cao} \cdot \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$, 단 f_{bag} 이하
	양연 지지판	
	보강판	$f_{ca} = f_{cao} \cdot \left\{ 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \right\}$, 단 f_{bag} 이하

여기서, $(b/t)_o$: <표 1>에서 정하는 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제 설계에 이용하는 폭-두께비

n : 보강재에 의해 나누어지는 수

b : 보강된 판의 폭(mm)(<표 1>의 적용예를 참조)

t : 보강된 판의 두께(mm)(<표 1>의 적용예를 참조)

f : 최대작용압축응력(MPa) 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합이 되는 경우에는 「KR C-08020 하중」<표 12>의 계수로 나눈 값이다.

f_{cag} : 「KR C-09030」 <표 2(a)>에서 l/r 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

f_{cao} : 「KR C-09030」 <표 2(a)>에서 $l/r=0$ 의 경우의 허용압축응력(MPa)

f_{bag} : 「KR C-09030」 <표 2(b)>에서 $(l/r)_e=0$ 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

3.2.2 보강재의 소요강도

- (1) 양쪽에서 지지되고 있는 판에서, 판 폭의 n 등분선상에 각각 보강재가 있는 경우 (<표 1>의 ③)의 종방향 보강재 하나의 소요단면 2차모멘트(I)는 <식 (16)>에 의해 산출한 값 이상이어야 한다.



$$I = \frac{1}{11} b t^3 \gamma \quad (16)$$

여기서, b : <표 1>의 ③에 보이는 판의 폭(mm)

γ : <식 (2)>~<식 (5)>에 의해서 산출된 강성비

또한, 각 보강재의 최대폭-두께비는 <표 1>의 ①에 의한다. 다른 단면형태의 보강재를 이용하는 경우에는 이에 해당되지 않는다.

$$\textcircled{1} \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}} \text{의 경우}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq 1 : \gamma = 4\alpha^2 n \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \quad (17)$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = 4\alpha^2 n (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} \quad (18)$$

$$\textcircled{2} \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}} \text{의 경우}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq 1 : \gamma = \frac{1}{n} \left\{ \left[2n^2 \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - 1 \right]^2 - 1 \right\} \quad (19)$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = \frac{1}{n} \left\{ [2n^2(1+n\delta) - 1]^2 - 1 \right\} \quad (20)$$

여기서, $(b/t)_s$: 실제의 설계에 이용하는 폭-두께비

$(b/t)_o$: <표 1>의 ③에서 정하는 최대폭-두께비

α : <그림 7>에 보인 판의 길이(a)와 판의 폭(b)과의 비(a/b)

I : 보강재 총단면의 단면2차모멘트(mm⁴)로, <그림 8>의 X 축에 관한 것

δ : 보강재 1개의 단면적(A_s)과 보강판의 단면적($b \cdot t$)과의 비($\frac{A_s}{b \cdot t}$)

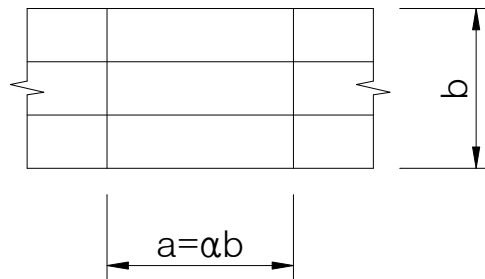


그림 7. 판의 길이와 폭

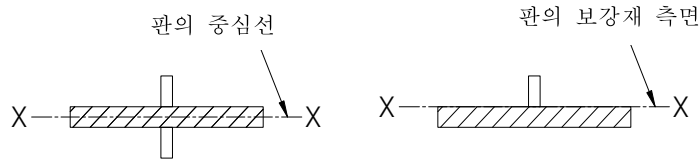


그림 8. 판의 중심선 및 측면 보강재

3.3 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 판요소

- (1) 이 항에서는 축방향압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재의 판요소가 국부좌굴을 일으키지 않도록 판두께를 규정한다.
- (2) 부재 전체의 면외 및 면내좌굴에 대한 안정에 관해서는 「2.3항」의 규정을 따른다.
- (3) 콘크리트 바닥판 등에 의해서 판의 국부좌굴이 충분히 방지된 경우에는 이 조항에 의하지 않는다.
- (4) 최대폭-두께비

- ① 축방향의 압축력과 휨모멘트를 받는 판의 최대폭-두께비는 판의 양단이 지지되어 있는 경우, 판의 보강재 개수를 고려한 <표 4>의 값을 적용한다. 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재 및 가설시 일시적인 압축응력을 받는 부재에 대해서는 <표 4>의 판의 최대폭-두께비에 <표 5>의 계수를 곱하여 완화할 수 있다. 이 경우의 허용압축응력은 <표 3>의 기둥에 대한 규정을 적용한다.

표 4. 판의 최대폭-두께비

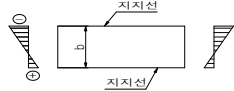
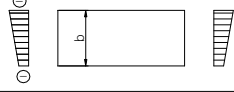
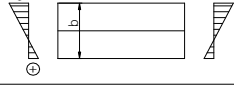
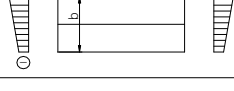
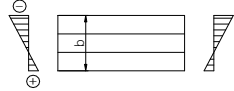
보강재 배치 및 수	Ψ 의 범위	판의 최대폭-두께비 (b/t) _o	적용	
보강재가 없는 경우	$-1.0 \leq \Psi \leq 0.25$	$\frac{710 - 1020\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		①
	$0.25 < \Psi \leq 1.0$	$\frac{455}{\sqrt{f_{cao}}}$		
판 폭의 중앙 부근에 1개의 보강재가 있는 경우	$-1.0 \leq \Psi \leq 0$	$\frac{940 - 285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		②
	$0 < \Psi \leq 1.0$	$\frac{940 - 285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		
2개 이상의 보강재가 같은 간격으로 있는 경우	$-1.0 \leq \Psi \leq 1.0$	$\frac{325n + (1 - \Psi)(345 - 11n)}{\sqrt{f_{cao}}}$		



표 5. 판의 최대폭-두께비 완화계수 및 상한치

판의 종류	상시	가설시	
	계수	계수	폭-두께비 상한치
양면 지지판	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$	60
보 강 판	$3 - \frac{2f_1}{f_{cag}}$ 단, 1.7 이하	$3 - \frac{2f_1}{f_{cag}}$	$60n$

여기서, $(b/t)_o$: <표 4>에 규정된 최대폭-두께비(「3.3의 (3)」과 동일)

n : 보강재에 의한 분할수

t : 판의 두께(mm)

b : 판의 폭(mm)

$\Psi = f_2/f_1$: 판요소의 양단에서 발생하는 응력의 비. 다만, $-1.0 \leq \Psi \leq 1.0$

f_1, f_2 : 축방향 압축력과 휨모멘트에 의해 양단에서 발생하는 합응력(MPa)

다만, 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중조합이 되는 경우에는 「KR C-08020 하중」 <표 12>의 계수로 나눈 값이다.

f_{cao} : 「KR C-09030 피로」<표 2>에서 $l/r \approx 0$ 인 경우의 허용압축응력(MPa)

f_{cag} : 「KR C-09030 피로」<표 2>에서 l/r 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

(5) 보강재의 소요강도

- ① <표 4>의 「②항」에 표시한 판의 각 보강재의 소요 단면2차모멘트(I)는 <식 21>에 의해서 산출한 값 이상이어야 한다.

$$I = \frac{1}{11} b t^3 \gamma \quad (22)$$

여기서, b : <표 4>의 ②에 표시된 판의 폭(mm)

t : 실제의 설계에 사용하는 판두께(mm)

γ : <식 (22)>에 의해서 산출한 강성비

그리고 각 보강재의 최대폭-두께비는 <표 1>의 ①에 의해야 한다. 다만 다른 단면 형태의 보강재를 이용하는 경우에는 이에 해당되지 않는다.

$$\gamma = \frac{1}{k_{req} - k_o} \left\{ k_{req} \frac{(b/t)_s^2}{(b/t)_o^2} - k_o \right\} m \gamma^* \quad (22)$$

$$m = 1 - \frac{\alpha}{2(1+\alpha)} (1 - \Psi) \quad (23)$$

γ^* : <식 9.6.9>로 계산한다.

$\alpha \leq \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$ 의 경우

$$\gamma^* = \frac{1}{n} \{4n^2(1+n\delta)\alpha^2 - (1+\alpha^2)^2\} \quad (24)$$

$\alpha > \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$ 의 경우

$$\gamma^* = 4n(1+n\delta)\{(n-1)(n+1)+n^3\delta\} \quad (25)$$

k_o : <식 (26)>~<식 (27)>로 계산해야 한다.

$0 \leq \Psi \leq 1$ 의 경우

$$k_o = \frac{8.4}{\Psi+1.1} \quad (26)$$

$-1 \leq \Psi \leq 0$ 의 경우

$$k_o = 10\Psi^2 - 6.27\Psi + 7.63 \quad (27)$$

k_{req} : <식 (28)>으로 계산한다.

$$k_{req} = \frac{8.4n^3}{2.1n-1+\Psi} \quad (28)$$

$(b/t)_o$: <표 4>의 ②로 정해진 보강판의 전 폭에서의 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제의 설계에 사용하는 보강판의 전 폭에서의 폭-두께비 α , δ 및 I 의 계산에 있어서의 축의 방향은 <그림 7>과 「3.3의 (5) 보강재의 소요강도」에 의한다.

3.4 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판

(1) I형 단면과 박스형단면의 플레이트거더를 휨에 대해서 경제적으로 설계하기 위해서는 복부판을 될 수 있는 대로 얇게 하고 플랜지의 단면적을 크게 하는 것이 바람직하지만 복부판을 너무 얇게 하면 좌굴변형 또는 붕괴를 일으켜 플레이트거더 전체의 붕괴를 유발할 위험이 있으므로 이 조항으로 복부판의 최소두께를 규정하고 있다. 다만 판의 국부좌굴이 충분히 방지되어 있는 경우에는 이 조항을 적용하지 않아도 된다.

(2) 중간수직보강재가 있는 복부판의 최대폭-두께비

- ① 중간수직보강재가 있는 경우의 복부판의 최대폭-두께비는 사용재료별로 <표 6>을 따른다. 수평보강재가 없는 경우에 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재에서는 <표 6>의 판의 최대폭-두께비를 $\sqrt{f_{cao}/f}$ 배 증가시킬 수 있다. 다만 1.2배를 초과할 수 없다.



표 6. 복부판의 최대폭-두께비($(D/t)_0$)

재료	수평보강재가 없는 경우		수평보강재가 1단인 경우	
	동일강종 단면	하이브리드 단면	동일강종 단면	하이브리드 단면
SM400, SMA400	150	120	250	200
SM490, SM490C-TMC	130	100	250	170
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	120	90	250	160
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	110	80	250	140

여기서, $(D/t)_0$: <표 6>에서 정한 최대폭-두께비

t : 복부판의 두께(mm)(「3.3, 3.4, 3.5, 3.6항」에서도 동일한 의미를 나타낸다.)

D : 복부판의 높이(mm)(「3.3, 3.4, 3.5, 3.6항」에서도 동일한 의미를 나타낸다.)

f : 최대작용압축응력. 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합인 경우에는 이 설계기준 「KR C-08020 하중」<표 12>에 주어진 허용응력증가계수로 나눈 값을 취한다.

f_{cao} : 「KR C-08030 피로」<표 2>에서 세장비가 $l/r \approx 0$ 일 때의 허용압축응력 (MPa)

(3) 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비

- ① 중간수직보강재를 설치할 필요가 없는 복부판의 최대폭-두께비는 열차하중의 재하 조건과 사용재료별로 <표 19>의 값을 적용한다.

표 19. 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비($(D/t)_0$)

재료	플랜지에 직접 재하하는 부재의 복부판	플랜지에 직접 재하하지 않는 부재의 복부판
SM400, SMA400	70	$630/\sqrt{v}$ 단, 110 이하
SM490, SM490C-TMC	60	
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	55	
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	50	$630/\sqrt{v}$ 단, 100 이하

여기서, v 는 「2.4항 부재의 전단응력」에서 규정한 전단응력(MPa). 다만, 허용응력을 증가시키도 좋은 하중조합인 경우에는 「KR C-08020 하중」<표 12>에서의 허용응력증가계수로 나눈 값을 취한다.

(4) 중간수직보강재의 간격

- ① 중간수직보강재를 설치할 경우 중간수직보강재의 간격(d)는 수평보강재의 유무에 따라서 다음의 각 호의 식에 의해 산출한 값으로 해야 한다. 다만 $2D$ 를 넘어서는 안 된다.

가. 수평보강재가 없는 경우

$$d \leq 980 \frac{t}{\sqrt{v}} \quad (29)$$

다만 복부판 연단의 휨압축응력(f)가 <표 8>의 값을 넘을 경우 <식 (30)>~<식 (31)>에 의해서 중간수직보강재의 간격을 검토해야 한다.

$d/D \leq 1$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{325} \right)^2 + \left[\frac{v}{54 + 72 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (30)$$

$1 < d/D \leq 2$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{325} \right)^2 + \left[\frac{v}{72 + 54 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (31)$$

표 8. 복부판 연단의 휨압축응력(수평보강재가 없는 경우)

재료	f (MPa)
SS400, SM400, SMA400	85
SM490, SM490C-TMC	120
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	125
HSB500	140
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	170

나. 수평보강재를 압축 플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 1단으로 배치할 경우

$$d \leq 870 \frac{t}{\sqrt{v}} \quad (32)$$

다만 복부판 연단의 휨압축응력(f)가 <표 9>의 값을 넘을 경우에는 <식 (33)>~<식 (34)>에 의해서 중간수직보강재의 간격을 검토해야 한다.

$d/D \leq 0.8$ 경우



$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{1750}\right)^2 + \left[\frac{v}{85 + 72\left(\frac{D}{d}\right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (33)$$

0.8 < d/D ≤ 2 경우

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{1750}\right)^2 + \left[\frac{v}{113 + 54\left(\frac{D}{d}\right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (34)$$

표 9. 복부판 연단의 휨압축응력(수평보강재가 있는 경우)

재료	f(MPa)
SS400, SM400, SMA400	155
SM490, SM490C-TMC	140
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	130
HSB500	125
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	120

여기서, d : 중간수직보강재의 간격(mm)으로서, 그 값은 보강재가 용접되어 있는 경우에는 보강재 중심간격, 볼트로 연결되어 있는 경우에는 볼트 선 간격으로 결정한다.

v : 전단응력(MPa)으로 보강재 사이의 평균값을 적용한다.

f : 복부판 연단의 휨압축응력(MPa)으로 보강재 사이의 평균값을 적용한다.

또한 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합인 경우에는, v 및 f 는 「KR C-08020 하중」<표 12>에서의 허용응력증가계수로 나눈 값을 취한다.

(5) 수평보강재

- ① 수평보강재를 1단으로 사용하는 경우 그 위치는 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 배치하는 것으로 하고 수평보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 (35)>에 의해 산출한 값 이상이 되어야 한다.

$$I = 5dt^3 \quad \text{단, } d/D \leq 2 \quad (35)$$

- ② 또한 수평보강재의 최대폭-두께비는 <표 13>의 ①에 의하지만, 다른 단면형태의 수직보강재를 사용하는 경우에는 이를 적용하지 않아도 된다.
- ③ 여기서, I : 수평보강재의 종단면의 단면2차모멘트(mm^4)로 I 값 계산시의 기준축은 <그림 2>를 따른다.
- ④ 수평보강재를 2단 이상 배치할 경우에는 <표 6>의 값을 따르지 않는다.

(6) 중간수직보강재

- ① 중간수직보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 (36)>에 의해 산출된 값 이상이어야 한다.

$$I = \frac{5}{22} d_s t^3 \gamma \quad (36)$$

여기서, d_s : 실제 설계에서 정한 보강재 간격(mm)

I : 중간수직보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)로서, I 값 계산시의 기준축은 <그림 8>을 따른다.

γ : <식 (37)>에 의해서 산출한 강성비

- ② 또한, 중간수직보강재의 최대폭-두께비는 16 이하로 하지만 다른 단면형태의 보강재를 사용할 경우에는 이를 따르지 않는다.

$$\gamma = 25 \left(\frac{D}{d} \right)^2 - 20 \quad (37)$$

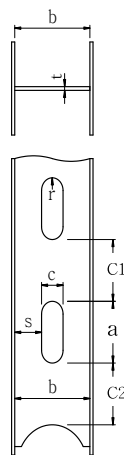
다만, $\gamma \geq 5$ 로 해야 한다.

(7) 구멍 뚫린 판을 가진 부재

- ① 이 규정은 힘을 받는 거더에 대한 것이 아니며, 구멍 뚫린 판의 최소 두께는 <표 10>의 값으로 한다.

구멍 뚫린 판의 치수간의 관계는 다음과 같다.

$$a \leq 2c, \quad c_1 \geq b, \quad c_2 \geq 1.25b, \quad r \geq 40 \text{ mm}$$



여기서, b : 안쪽 용접선간의 거리(mm)

t : 구멍 뚫린 판의 두께(mm)

s : 안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대폭(mm)

a : 응력방향에서 잰 구멍의 길이(mm)

c : 구멍의 폭(mm)



c_1 : 구멍과 구멍 사이의 판의 길이(mm)

c_2 : 단부 구멍의 끝과 구멍 뚫린 판 끝과의 응력방향에서 켜 최단거리(mm)

r : 구멍 끝의 곡률반경(mm)

구멍의 형상은 원, 타원 또는 원과 직선을 조합한 활과 같은 형상으로 구멍 끝의 곡률반경은 최소 40mm 이상으로 한다.

- ② 구멍 뚫린 판을 가진 부재의 단면2차반경 및 유효단면적은 구멍의 폭이 최대인 단면에 대해서 계산하는 것으로 한다. 또한 2개 이상의 구멍이 뚫린 판을 사용하고 구멍의 위치가 상호 엇갈리는 경우에도 같은 단면에 구멍이 있는 것으로 고려하여 계산하는 것으로 한다.

표 10. 구멍 뚫린 판

강종	최소 판두께(t)(mm)	안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대폭(s)(mm)
SS400 SM400 SMA400	b/50	13t
SM490, SM490Y SM490C-TMC SM520 SM520C-TMC SMA490, HSB500	b/40	11t
SM570 SM570-TMC SMA570, HSB600	b/35	10t

4. 인성요구조건

이 지침은 강교 및 강합성교에 적용되는 강재에 적용한다.

- (1) 지역별 온도구역은 <표 11>에 따르며, 인장 또는 교변응력을 받는 주부재의 사용 강재는 <표 12>에 따라서 샤르피 흡수에너지로 나타내는 저온인성 규격을 만족해야 한다.
- (2) 인장 또는 교변응력을 받는 주부재의 최대 허용 판두께는 교량이 건설되는 지역의 온도구역에 따라 <표 13>에 규정한 값으로 한다.
- (3) 인장 또는 교변응력을 받는 주부재는 도면과 공사시방서 등에 명시해야 한다.

표 11. 지역별 최저 공용온도에 따른 온도구역 구분

구분	최저 공용온도 ²⁾ (T)	대상지역 ¹⁾
온도구역 I	$-15^{\circ}\text{C} \leq T$	부산, 울산, 광주 전체 지역 전라남도 전체 지역 경상남도 전체 지역 경상북도 전체지역(온도구역II 지역 제외) 제주도 전체 지역
온도구역 II	$-25^{\circ}\text{C} \leq T < -15^{\circ}\text{C}$	서울, 인천, 대구, 대전 전체 지역 경기도 동부를 제외한 지역 충청남도 전체 지역 전라북도 전체 지역 경상북도 내륙 지역 강원도 해안 지역 함경도 해안 지역 황해남도 전체 지역 평안남도 해안 지역 황해북도 전체 지역(온도구역 III 지역 제외)
온도구역 III	$-35^{\circ}\text{C} \leq T < -25^{\circ}\text{C}$	경기도 동부지역(동두천, 이천, 양평 등) 강원도 내륙 지역 충청북도 전체 지역 함경북도 내륙 지역 평안남도 내륙 지역 자강도 북부를 제외한 지역 평안북도 전체 지역 황해북도 내륙지역(신계 등)
온도구역 IV	$T < -35^{\circ}\text{C}$	양강도 전체 지역 함경남도 내륙 지역 자강도 북부지역(중강 등)

주) 1) 교량이 건설되는 지역의 온도구역 구분이 명확하지 않은 경우에는, 대상 지역의 기상청 관측자료를 기준으로 최근 30년 내 최저온도에 따라 온도구역을 구분한다.

2) 최저 공용온도(T)는 교량이 건설되는 지역의 최근 30년 내 최저기온(100년 재현주기 최저기온과 유사)을 말한다.



표 12. 인장 또는 교변응력을 받는 주부재의
강종별 인성규격과 온도구역별 최대 허용판두께

온 도 구 역				온도구역 I (-15℃) ¹⁾	온도구역 II (-25℃) ¹⁾	온도구역 III (-35℃) ¹⁾
강종		충격시험 ³⁾		최대 허용 판두께 ²⁾ (mm)		
구분	기호	시험 온도	샤르피 흡수에너지			
용접 구조용 압연 강재	SM400B	0℃	27J이상	40	40	40
	SM400C	0℃	47J이상	100	100	95
	SM490B	0℃	27J이상	40	40	40
	SM490C	0℃	47J이상	95	80	70
	SM490C-TMC	0℃	47J이상	95	80	70
	SM490YB	0℃	27J이상	40	40	40
	SM520B	0℃	27J이상	40	40	40
	SM520C	0℃	47J이상	85	70	60
	SM520C-TMC	0℃	47J이상	85	70	60
	SM570	-5℃	47J이상	70	60	50
	SM570-TMC	-5℃	47J이상	70	60	50
용접 구조용 내후성 열간 압연 강재	SMA400B	0℃	27J이상	40	40	40
	SMA400C	0℃	47J이상	100	100	95
	SMA490B	0℃	27J이상	40	40	40
	SMA490C	0℃	47J이상	85	70	60
	SMA570	-5℃	47J이상	70	60	50
교량 구조용 압연 강재	HSB500	-5℃	47J이상	85	70	60
	HSB500W	-5℃	47J이상	85	70	60
	HSB500L	-20℃	47J이상	100	95	80
	HSB600	-5℃	47J이상	70	60	50
	HSB600W	-5℃	47J이상	70	60	50
	HSB600L	-20℃	47J이상	95	80	65

주) 1) 선형 보간법에 따라 최대 허용 판두께를 산정할 때 사용되는 각 구역별 기준 공용온도

2) 교량이 건설되는 지역의 최근 30년 내 최저기온(T)을 알고 있는 경우, 주 1의 기준 공용온도에 따른 선형 보간법을 적용하여 최대 허용 판두께를 산정한다. 예를 들어 SM520C의 경우, 어느 지역의 최저기온(T)이 -20℃라면 구역 I의 -15℃와 구역 II의 -25℃를 기준으로 하여 최대 허용 판두께는 77.5mm(≒78mm)로 된다. 단, 최저기온의 범위가 $-35℃ \leq T \leq -15℃$ 일 때만 선형 보간을 적용할 수 있다.

3) KS B 0810 “금속 재료 충격 시험 방법”에 따라 측정하며 강재의 인성을 충격에 대한 에너지 흡수능력으로 표현하는 값임

4) 현재 온도구역 IV에서 강종별 최대 허용 판두께에 대한 연구가 수행되지 않았으므로 설계단계에서 강재의 저온인성을 충분히 검증 후 적용하여야 한다.

해설 1. 판요소의 폭-두께비와 보강재 해설

1. 축방향 압축력을 받는 판요소

1.1 최대폭-두께비

- (1) 이 항목은 부재를 구성하는 판이 전 폭에 걸쳐 등분포된 압축력을 받을 경우, 판의 좌굴에 대해서 안전을 확보하기 위해 규정한 것이다. 기둥처럼 축방향 압축력을 받는 부재의 각 판요소 뿐만 아니고, 힘을 받는 플레이트거더의 압축플랜지처럼 일정한 압축응력을 받는 판요소에 대해서도 적용한다
- (2) 부재의 축방향으로 압축력을 받는 판의 최대폭-두께비는 판 끝의 지지조건에 따라서 <표 13>을 적용한다.
- (3) 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재 및 가설 시에 일시적인 압축응력을 받는 부재에 대해서, <표 13>의 판의 최대폭-두께비에 <표 14>의 계수를 곱해서 완화할 수 있다. 이 경우의 허용압축응력은 <표 15>에 의해 계산한다.

표 13. 판의 최대폭-두께비($(b/t)_o$)

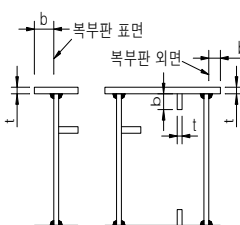
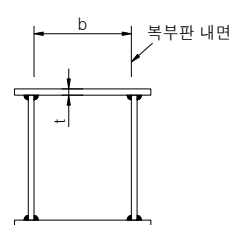
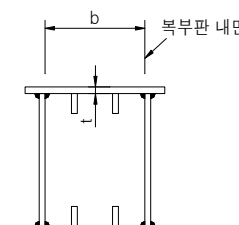
강종 \ 판 끝의 지지조건	자유 돌출판	양연 지지판	양연 지지되고 판 폭의 n등분선 상에 각각 보강재가 있는 판 (보강된 판)
SS400, SM400 SMA400	12.5	40	28n
SM490 SM490C-TMC	11	34	24n
SM490Y SM520 SMA490 SM520C-TMC	10	32	22n
SM570 SMA570 SM570C-TMC	9	28	20n
HSB500	10	31	21n
HSB600	9	28	20n
적용예			
	①	②	③



표 14. 판의 최대폭-두께비 완화계수 및 상한치

부재명	판의 종류	상시	가설시	
		계수	계수	폭-두께비 상한치
기둥	자유 돌출판	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f}}$	16
	양연 지지판			60
	보강판	$3 - \frac{2f}{f_{cag}}$ 단, 1.7 이하	$3 - \frac{2f}{f_{cag}}$	60n
거더의 압축플랜지	자유 돌출판	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cao}}{f}}$	16
	양연 지지판			60
	보강판	$3 - \frac{2f}{f_{cao}}$ 단, 1.7 이하	$3 - \frac{2f}{f_{cao}}$	60n

표 15. 최대폭-두께비 완화에 따른 허용압축응력

부재명	판의 종류	허용압축응력
기둥	자유 돌출판	$f_{ca} = f_{cag} \cdot \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$
	양연 지지판	
	보강판	$f_{ca} = f_{cag} \cdot \left\{ 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \right\}$
거더의 압축플랜지	자유 돌출판	$f_{ca} = f_{cao} \cdot \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2}$, 단 f_{bag} 이하
	양연 지지판	
	보강판	$f_{ca} = f_{cao} \cdot \left\{ 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \right\}$, 단 f_{bag} 이하

여기서, $(b/t)_o$: <표 13>에서 정하는 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제 설계에 이용하는 폭-두께비

n : 보강재에 의해 나누어지는 수

b : 보강된 판의 폭(mm)(<표 13>의 적용예를 참조)

t : 보강된 판의 두께(mm)(<표 13>의 적용예를 참조)

f : 최대작용압축응력(MPa), 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합이 되는 경우에는<표 14>의 계수로 나눈 값이다.

f_{cag} : KR C-09030<표 2(a)>에서 l/r 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

f_{cao} : KR C-09030<표 2(a)>에서 $l/r = 0$ 인 경우의 허용압축응력(MPa)

f_{bag} : KR C-09030<표 2(b)>에서 $(l/r)_e = 0$ 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

이 항목은 부재를 구성하는 판이 그 전폭에 걸쳐 등분포 압축력을 받는 경우에 판의 좌굴에 대한 안전을 확보하기 위해 마련한 것이다. 기둥처럼 축방향으로 압축력

을 받는 부재의 각 판요소뿐만 아니고 휨을 받는 플레이트거더의 플랜지처럼 일정한 압축응력을 받는 판요소에 대해서도 적용할 수 있다.

일반적으로 일정한 압축력을 받는 부재의 허용응력에서 규정하였다. 부재 전체의 좌굴에 대해서는 안전해도 이것을 구성하는 각 판요소의 두께가 얇아 국부적으로 좌굴할 염려가 있는 압축부재에 대해서는 「②항」의 규정을 적용한다. <표 13>의 최대 폭-두께비(b/t)_o는 허용압축응력의 최대치가 작용할 경우를 고려해서 규정한 것이지만, 작은 교변응력을 받는 부재나 작은 압축응력을 받는 부재에서는 <표 14>의 계수를 <표 15>의 최대폭-두께비에 곱하여 완화할 수 있다. 그러나, 부재가 매우 얇게 되는 것을 막기 위해 한쪽 지지판 및 양쪽 지지판에서는 1.2배를, 보강판에 대해서는 1.7배를 최대로 한다. 또 가설시에만 일반적으로 압축응력을 받는 부재도 똑같이 <표 14>의 계수를 <표 13>의 폭-두께비에 곱해서 완화할 수 있다. 이는 완성시에는 인장력을 받는 부재가 가설시에는 작은 압축력을 받는 경우 <표 13>에 제시한 값에 의해 비경제적인 단면이 되는 것을 피하기 위해 규정한 것이다.

판요소의 좌굴에 대한 강도는 판의 지지조건에 의해서 변하지만, 여기서는 용접으로 고정되어 있는 쪽도 그 고정작용을 생각하지 않고, 비교적 불리한 경계조건인 단순지지라고 생각하여 안전율을 「KR C-09030, 4.2」와 같이 1.7로 하였다. 콘크리트 상판에 의해서 판의 국부좌굴이 방지될 수 있는 경우에는 본 조항에 따르지 않아도 된다.

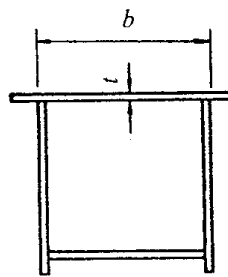


그림 9. 보강된 판의 폭

① 판폭(b)의 결정

판폭(b)는 <표 13>의 적용예에 표시한 것처럼 일반적으로 판을 용접으로 고정하고 있는 판의 표면간 거리를 뜻한다. <그림 9>처럼 외면에만 용접한 경우에는 외면사이의 거리를 취한다.

② 최대폭-두께비(b/t)

판의 좌굴응력(f_{cr})을 강판의 항복응력(f_y)으로 나누어 무차원화한 값을 종축으로 취하고 좌굴변수를 횡축으로 하여 판의 기준내하력을 다음과 같이 구할 수 있다.



가. 한쪽 지지판 및 양쪽 지지판인 경우

$$\begin{aligned} f_{cr}/f_y &= 1.0 (R \leq 0.7) \\ f_{cr}/f_y &= 0.5/R^2 (R > 0.7) \end{aligned} \quad (38)$$

나. 보강판인 경우

$$\begin{aligned} f_{cr}/f_y &= 1.0 (R \leq 0.5) \\ f_{cr}/f_y &= 1.5 - R (0.5 < R \leq 1.0) \\ f_{cr}/f_y &= 0.5/R^2 (1.0 < R) \end{aligned} \quad (39)$$

여기서, $R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}$ 이다.

임계좌굴변수 R_{cr} 은 항복응력에 가까운 응력상태에서 판의 좌굴을 막는 데 필요한 환산 폭-두께비이며, 동시에 항복응력에 가까운 응력에서 좌굴을 방지하는데 필요한 폭-두께비와 탄성좌굴이론으로부터 구하는 폭-두께비와의 비라고 볼 수 있다. 본 해설에서는 항복응력에 가까운 응력상태에서 판이 국부좌굴하지 않는 폭-두께비를 최대폭-두께비로서 설계하고, 작용응력이 작은 경우는 「다.」에 의해 완화시킬 수 있다. 따라서, 최대폭-두께비는 <식 (40)>으로 구할 수 있다.

$$(b/t)_o = R_{cr} \sqrt{\frac{\pi^2 k}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{E}{f_y}} \quad (40)$$

여기서, R_{cr} : 임계좌굴변수, 한쪽 지지판 및 양쪽 지지판의 경우 0.7, 보강판의 경우 0.5

k : 좌굴계수, 여기에서는 한쪽 지지판, 양쪽 지지판 및 보강판이 축방향으로 압축력을 받는 경우의 값을 취한다. 즉, 한쪽 지지판의 경우 0.426, 양쪽 지지판의 경우 4.0 및 보강판의 경우 $4.0n^2$ (n : 보강재에 의한 분할 수)

E : 탄성계수, 2.05×10^5 (MPa)

ν : 포아송비, 0.3

f_y : 항복응력 (MPa)

<표 13>의 수치는 <식 (40)>에 의해 구한 값이다.

다. 최대폭-두께비의 완화

<표 13>에서 최대폭-두께비 $(b/t)_o$ 는 항복응력까지 국부좌굴이 생기지 않는 폭-두께비를 규정한 것이다. 그러나 작은 교변응력을 받는 부재와 가설시에만 일시적으로 작은 압축력을 받는 부재에 대해서도 이 값을 취하는 것은 두꺼운 판을 규정하는 것이 되어 비경제적인 설계가 된다. 이와 같은 부재에 대해서는 <표 14>에 규정한 계수를 곱해 완화한 폭-두께비를 이용하여야 한다.

최대폭-두께비를 완화하는 경우에 <표 14>의 계수 및 <표 15>의 허용압축응력은 <식 (41)>과 <식 (42)>로 구할 수 있다.

$$R = (b/t)_s \sqrt{\frac{f_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (41)$$

$$R_{cr} = (b/t)_o \sqrt{\frac{f_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (42)$$

여기서, $(b/t)_o$: <표 14>에 의해 정해지는 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제의 설계에 이용하는 폭-두께비

<식 (41)>과 <식 (42)>로부터 <식 (43)>을 얻을 수 있다.

$$R = R_{cr} \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \quad (43)$$

한쪽 및 양쪽 지지판의 경우, $R_{cr} = 0.7$ 인 <식 (43)>을 <식 (38)>에 대입하면, $R > 0.7$ 에 있어서는 <식 (44)>와 같다.

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = \frac{0.5}{R^2} = \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2} \quad (44)$$

보강판의 경우 $R_{cr} = 0.5$ 인 <식 (43)>을 <식 (39)>에 대입하면 $0.5 < R \leq 1.0$ 의 경우 <식 (45)>와 같다.

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = 1.5 - R = 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \quad (45)$$

여기서, 안전율을 s , 항복으로부터 정하는 허용압축응력을 f_{cao} 라고 하고, 최대작용응력(f)에서 국부좌굴을 일으킨다고 하면 <식 (44)> 및 <식 (45)>은 <식 (46)>과 <식 (47)>로 나타낼 수 있다.

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = \frac{s f}{s f_{cao}} = \frac{f}{f_{cao}} = \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2} \quad (46)$$

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = \frac{s f}{s f_{cao}} = \frac{f}{f_{cao}} = 1.5 - \frac{(b/t)_o}{2(b/t)_s} \quad (47)$$

이때, 국부좌굴을 일으키지 않는 $(b/t)_s$ 은 <식 (48)>과 <식 (49)>로 나타낼 수 있다.

$$(b/t)_s \leq (b/t)_o \sqrt{\frac{f_{cao}}{f}} \quad (48)$$

$$(b/t)_s \leq (b/t)_o \left\{ 3 - \frac{2f}{f_{cao}} \right\} \quad (49)$$

$(b/t)_o$ 를 완화한 판은 항복점 이하에서 국부좌굴을 일으키는 판요소이고, 이것이 기둥의 단면에 포함되어 있으면 그 부분의 평균응력은 항복점에 도달할 수 없고 기둥 전체의 강도를 저하시킨다.



이 영향은 <식 (48)> 및 <식 (49)>의 f_{cao} 에 f_{cag}/f_{cao} (f_{cag} : 「KR C-09030」 <표 4>에 제시한 l/r 에 의해 변화하는 전체좌굴을 고려한 허용축방향압축응력)을 곱해서 고려한다.

따라서 <식 (48)> 및 <식 (49)>는 <식 (50)>과 <식 (51)>로 나타낼 수 있고, <표 15>에 있는 기둥인 경우의 계수를 얻을 수 있다.

$$(b/t)_s \leq (b/t)_o \sqrt{\frac{f_{cao}(f_{cag}/f_{cao})}{f}} = (b/t)_o \leq \sqrt{\frac{f_{cag}}{f}} \quad (50)$$

$$(b/t)_s \leq (b/t)_o \left\{ 3 - \frac{2f}{f_{cao}(f_{cag}/f_{cao})} \right\} = (b/t)_o \left\{ 3 - \frac{2f}{f_{cag}} \right\} \quad (51)$$

보의 압축플랜지는 기둥과 달리 <식 (50)>과 <식 (51)>의 영향이 작기 때문에 f_{cao} 를 낮추지 않고, <식 (48)> 및 <식 (49)>에 있는 계수를 사용한다.

보강판에 있어서 $R > 1.0$ 의 경우에는 판의 좌굴응력선은 한쪽 및 양쪽 지지판과 같으므로 곱하는 계수도 한쪽 및 양쪽 지지판과 같게 되지만, 안전과 설계의 간편성을 생각하여 $0.5 < R \leq 1.0$ 인 경우의 계수를 이용하는 것으로 한다.

또, 최대폭-두께비를 완화한 경우의 허용압축응력(f_{ca})은 기둥의 경우 <식 (46)> 및 <식 (47)>에 있는 f 에 f_{cag}/f_{cao} 를 곱해서 구한다. 따라서 <식 (46)> 및 <식 (47)>로부터, f_{ca} 는 <식 (52)>와 <식 (53)>으로 나타낼 수 있고, <표 16>에 나타낸 기둥의 허용압축응력을 얻을 수 있다.

$$f_{ca} = f \frac{f_{cag}}{f_{cao}} = \frac{f_{cao}(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2} \frac{f_{cag}}{f_{cao}} = f_{cag} \frac{(b/t)_o^2}{(b/t)_s^2} \quad (52)$$

$$f_{ca} = f \frac{f_{cag}}{f_{cao}} = f_{cao} \left\{ 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \right\} \frac{f_{cag}}{f_{cao}} = f_{cag} \left\{ 1.5 - \frac{(b/t)_s}{2(b/t)_o} \right\} \quad (53)$$

보의 압축플랜지의 f_{ca} 는 f 를 낮출 필요는 없지만, 보의 전체 좌굴로부터 정한 f_{cag} 를 초과할 수는 없다.

1.2 보강재의 소요강도

- (1) 양쪽에서 지지되고 있는 판에서, 판 폭의 n 등분선상에 각각 보강재가 있는 경우(<표 14>의 ③)의 종방향 보강재 하나의 소요단면2차모멘트(I)는 $bt^3\gamma/11$ 의 값 이상이어야 한다.

또한, 각 보강재의 최대폭-두께비는 <표 14>의 ①을 따라야 한다. 다른 단면형태의 보강재를 이용하는 경우에는 이에 해당되지 않는다.

여기서, b : <표 14>의 ③에 보이는 판의 폭(mm)

γ : 다음 식에 의해서 산출된 강성비

$$\textcircled{1} \quad \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}} \text{의 경우}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq 1 : \gamma = 4\alpha^2 n \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = 4\alpha^2 n(1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n}$$

② $\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$ 의 경우

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq 1 : \gamma = \frac{1}{n} \left\{ \left[2n^2 \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - 1 \right]^2 - 1 \right\}$$

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} > 1 : \gamma = \frac{1}{n} \{ [2n^2(1+n\delta) - 1]^2 - 1 \}$$

여기서, $(b/t)_s$: 실제의 설계에 이용하는 폭-두께비

$(b/t)_o$: <표 14>의 ③에서 정하는 최대폭-두께비

α : <그림 10>에 보인 판의 길이(a)와 판의 폭(b)과의 비(a/b)

I : 보강재 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)로, <그림 11>의 x 축에 관한 것

δ : 보강재 1개의 단면적(A_s)과 보강판의 단면적(bt)과의 비(A_s/bt)

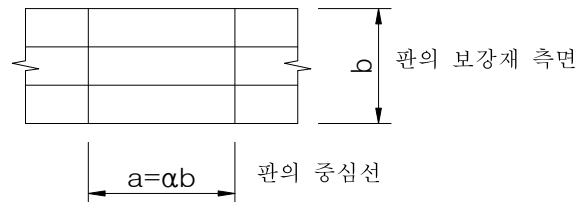


그림 10. 판의 길이와 폭

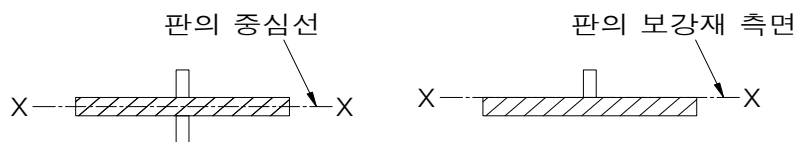


그림 11. 판의 중심선 및 측면 보강재

(1)의 ②에서는 <표 14>의 ③을 양쪽으로 지지시키고, 판폭의 n 등분선상 부근에 각각 1개의 보강재가 있는 경우에 각 보강재 1개의 소요단면 2차모멘트를 규정한 것이다.

실제의 설계에 이용하는 보강판의 폭-두께비(b/t)_s는 <식 (40)>에서와 같이 <식 (54)>로 나타낼 수 있다.

$$(b/t)_s \leq R_{cr} \sqrt{\frac{\pi^2 k_s}{12(1-\nu^2)}} \cdot \frac{E}{f_y} \quad (54)$$



<식 (54)>에서 보강판의 폭-두께비를 $(b/t)_o$ 로 다시 쓰면 <식 (55)>로 나타낼 수 있다.

$$(b/t)_o \leq R_{cr} \sqrt{\frac{\pi^2 k_o}{12(1-\nu^2)}} \cdot \frac{E}{f_y} \quad (55)$$

<식 (54)>와 <식 (55)>의 비를 취하면, 보강재가 있는 판이 가져야 하는 좌굴계수 (k_s)는 식(5.6)로 나타낼 수 있다.

$$k_s \geq k_o \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 \quad (56)$$

여기서, $(b/t)_s$: 실제의 설계에 이용하는 폭-두께비이고, <표 14>의 ③에서 정해지는 최대폭-두께비 보다 작아야 한다.

$(b/t)_o$: <표 14>의 ③에서 정해지는 최대폭-두께비에서 판폭(b)은 $(b/t)_s$ 에서의 판두께와 같은 값을 취한다.

k_s : 보강재가 있는 판이 가져야 하는 좌굴계수

보강재가 있는 판의 좌굴계수의 근사치는 <식 (7)>과 같이 나타낸다.

$$\alpha < {}^4\sqrt{1+n\gamma} \text{의 경우 } k_s = \frac{(1+\alpha^2)^2 + n\gamma}{\alpha^2(1+n\delta)} \quad (57)$$

$$\alpha \geq {}^4\sqrt{1+n\gamma} \text{의 경우 } k_s = \frac{2(1+\sqrt{1+n\gamma})}{1+n\delta}$$

여기서, k_s : $(b/t)_o$ 를 이용할 수 있는 좌굴계수, 즉 $4.0n^2$

α : <그림 8>에 보인 판의 길이(a)와 판의 폭(b)과의 비(a/b)

n : 보강재에 의한 분할수

δ : 보강재 1개당 단면적(A_s)과 판의 단면적(bt)과의 비 (A_s/bt)

γ : 보강재와 판과의 강비 : $12(1-\nu^3)I/bt^3$

ν : 포아송비

I : 보강재 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)

k_s 에 관한 <식 (57)> 및 k_o 의 값 $4.0n^2$ 을 <식 (56)>에 대입해서 강성비(γ)에 대해 정리하면, <식 (58)>에 의해서 최소강성비가 구할 수 있다.

$\alpha < {}^4\sqrt{1+n\gamma}$ 의 경우

$$\gamma = 4\alpha^2 n \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n}$$

$\alpha \geq {}^4\sqrt{1+n\gamma}$ 의 경우

$$\gamma = \frac{1}{n} \left[2n^2 \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 (1+n\delta) - 1 \right]^2 - \frac{1}{n} \quad (58)$$

<식 (58)>에서 α 값으로서 $\alpha = \sqrt[4]{1+n\gamma}$ 을 이용하면, 식 중에 γ 가 포함되어지고, 필요한 강성비를 산출하는데 처음에 γ 를 가정해야 하기 때문에 불편하다.

그래서 k_s 에 관한 <식 (57)>에 $n\gamma = \alpha^4 - 1$, $k_s = k_o \left\{ (b/t)_s / (b/t)_o \right\}^2$ 및 $k_o = 4.0n^2$ 를 대입하면, k_s 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_s = k_o \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 = 4n^2 \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \right\}^2 = \frac{(1+\alpha^2)^2 + n\gamma}{\alpha^2(1+n\delta)} = \frac{2(1+\alpha^2)}{1+n\delta}$$

즉, $\alpha < \sqrt[4]{1+n\gamma}$ 의 경우

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$$

$\alpha \geq \sqrt[4]{1+n\gamma}$ 의 경우

$$\frac{(b/t)_s}{(b/t)_o} \leq \sqrt{\frac{1+\alpha^2}{2n^2(1+n\delta)}}$$

보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 보강재와 판의 강성비(γ)에 관한 식 $\gamma = \frac{12(1-\nu^2)}{bt^3} I$

에 $\nu = 0.3$ 을 대입하여 구해졌다. 이때, $I = bt^3\gamma/11$ 이다.

1.3 보강재의 강종

(1)의 ②의 보강재는 보강되는 판과 동등 이상의 강도를 가지는 재료를 사용해야 한다.

2. 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 판요소

2.1 최대폭-두께비

부재의 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 판의 최대폭-두께비는 판의 양단이 지지되어 있는 경우, 판의 보강재 개수에 따라 <표 16>의 값을 갖는다.

작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재 및 가설시에 일시적인 압축응력을 받는 부재에 대해서는 <표 16>의 판의 최대폭-두께비에 <표 17>의 계수를 곱하여 완화시킬 수 있다. 이 경우의 허용압축응력은 <표 15>의 기둥에 의해 계산한다.



표 16. 판의 최대폭-두께비

보강재 배치 및 수	Ψ 의 범위	판의 최대폭-두께비 (b/t) _o	적 용	
보강재가 없는 경우	$-1.0 \leq \Psi \leq 0.25$	$\frac{710 - 1020\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		①
	$0.25 < \Psi \leq 1.0$	$\frac{455}{\sqrt{f_{cao}}}$		
판 폭의 중앙 부근에 1개의 보강재가 있는 경우	$-1.0 \leq \Psi \leq 0$	$\frac{940 - 285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		②
	$0 < \Psi \leq 1.0$	$\frac{940 - 285\Psi}{\sqrt{f_{cao}}}$		
2개 이상의 보강재가 같은 간격으로 있는 경우	$-1.0 \leq \Psi \leq 1.0$	$\frac{325n + (1 - \Psi)(345 - 11n)}{\sqrt{f_{cao}}}$		

표 17. 판의 최대폭-두께비 완화계수 및 상한치

판의 종류	상 시	가 설 시	
	계 수	계 수	폭-두께비 상한치
양면 지지판	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$ 단, 1.2 이하	$\sqrt{\frac{f_{cag}}{f_1}}$	60
보 강 판	$3 - \frac{2f_1}{f_{cag}}$ 단, 1.7 이하	$3 - \frac{2f_1}{f_{cag}}$	60n

여기서, (b/t)_o : <표 16>에 규정된 최대폭-두께비

n : 보강재에 의한 분할수

t : 판의 두께(mm)

b : 판의 폭(mm)

$\Psi = f_2/f_1$: 판요소의 양단에서 발생하는 응력의 비, 다만, $-1.0 \leq \Psi \leq 1.0$

f_1, f_2 : 축방향 압축력과 휨모멘트에 의해 양단에서 발생하는 합응력 (MPa) 다만, 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중조합이 되는 경우에는 「KR C-08020」<표14>의 강교편 KR C-08020<표12>에 표시한 계수로 나눈 값이다.

f_{cao} : KR C-09030<표 2>에서 $l/r \approx 0$ 인 경우의 허용압축응력(MPa)

f_{cag} : KR C-09030<표 2>에서 l/r 에 의해 변화하는 허용압축응력(MPa)

「해설1의 1.2 보강재의 소요강도」는 축방향 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재의 판요소가 국부좌굴을 일으키지 않도록 판두께를 정하는 것이다. 부재 전체의 면외 및 면내좌굴에 대한 안정에 관해서는 「해설1의 1.2 보강재의 소요강도」를 따른다. 콘크리트에 의해서 판의 국부좌굴이 방지된 경우에는 본 절을 따르지 않아도 된다.

Ψ 는 판요소의 양단에서의 응력비이고, Ψ 를 정하는 방법은 <그림 12>를 따른다.

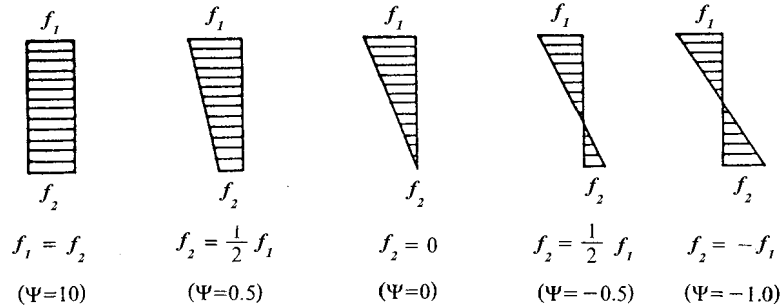


그림 12. f 의 분포와 Ψ 의 관계

2.2 보강재의 소요강도

- (1) <표 16>의 ②에 표시한 판의 각 보강재의 소요 단면2차모멘트(I)는 <식 (59)>에 의해서 산출한 값 이상이어야 한다.

$$I = \frac{1}{11} b t^3 \gamma \quad (59)$$

그리고 각 보강재의 최대폭-두께비는 <표 16>의 ①을 따라야 한다. 다만, 다른 단면형태의 보강재를 이용하는 경우에는 이에 해당되지 않는다.

여기서, b : <표 16>의 ②에 표시된 판의 폭(mm)

t : 실제의 설계에 사용하는 판 두께(mm)

γ : <식 (60)>에 의해서 산출한 강성비

$$\gamma = \frac{1}{k_{req} - k_o} \left\{ k_{req} \frac{(b/t)_s^2}{(b/t)_o^2} - k_o \right\} m \gamma^* \quad (60)$$

$$m = 1 - \frac{\alpha}{2(1+\alpha)} (1 - \Psi) \quad (61)$$

여기서, γ^* : <식 (62)>로 계산한다.

$\alpha \leq \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$ 의 경우

$$\gamma^* = \frac{1}{n} \{ 4n^2(1+n\delta)\alpha^2 - (1+\alpha^2)^2 \} \quad (62)$$

$\alpha > \sqrt{2n^2(1+n\delta)-1}$ 의 경우

$$\gamma^* = 4n(1+n\delta) \{ (n-1)(n+1) + n^3\delta \} \quad (63)$$



여기서, k_o : <식 (64)> 및 <식 (65)>로 계산하여야 한다.

$0 \leq \Psi \leq 1$ 의 경우

$$k_o = \frac{8.4}{\Psi + 1.1} \quad (64)$$

$-1 \leq \Psi \leq 0$ 의 경우

$$k_o = 10\Psi^2 - 6.27\Psi + 7.63 \quad (65)$$

k_{req} : <식 (66)>으로 계산한다.

$$k_{req} = \frac{8.4n^3}{2.1n - 1 + \Psi} \quad (66)$$

$(b/t)_o$: <표 13>의 ②로 정해진 보강판의 전 폭에서의 최대폭-두께비

$(b/t)_s$: 실제의 설계에 사용하는 보강판의 전 폭에서의 폭-두께비

α , δ 및 I 의 계산에 있어서의 축의 방향은 <그림 10>과 「해설1의 1.2 보강재의 소요강도」를 따른다.

2.3 보강재의 강종

보강재의 소요강도에서 보강재는 보강되는 판과 동등 이상의 강도를 가지는 재료를 사용해야 한다.

3. 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판

3.1 전단력과 휨모멘트를 받는 부재의 복부판 최소두께 규정

I형 단면과 박스형 단면의 플레이트거더를 휨에 대해서 경제적으로 설계하기 위해서는 복부판을 될 수 있는 대로 얇게 하고 플랜지의 단면적을 크게 하는 것이 바람직하지만 복부판을 너무 얇게 하면 좌굴변형 또는 붕괴를 일으켜 플레이트거더 전체의 붕괴를 유발할 위험이 있으므로 이 조항으로 복부판의 최소두께를 규정하고 있다. 다만 판의 국부좌굴이 방지되어 있는 경우에는 이 조항을 적용하지 않아도 된다.

3.2 중간수직보강재가 있는 복부판의 최대폭-두께비

중간수직보강재가 있는 경우의 복부판의 최대폭-두께비는 사용재료별로 <표 18>을 따라야 한다. 수평보강재가 없는 경우에 작용응력이 허용응력에 비해서 작은 부재에서는 <표 18>의 판의 최대폭-두께비를 $\sqrt{f_{cao}/f}$ 배 증가시킬 수 있다. 다만 1.2배를 초과할 수 없다.

표 18. 복부판의 최대폭-두께비 $(D/t)_0$

재 료	수평보강재가 없는 경우		수평보강재가 1단인 경우	
	동일강종 단면	하이브리드 단면	동일강종 단면	하이브리드 단면
SM400, SMA400	150	120	250	200
SM490, SM490C-TMC	130	100	250	170
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	120	90	250	160
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	110	80	250	140

여기서, $(D/t)_0$: <표 18>에서 정한 최대폭-두께비

t : 복부판의 두께(mm)(「3.3, 3.4, 3.5, 3.6」에서도 동일한 의미를 나타낸다.)

D : 복부판의 높이(mm)(「3.3, 3.4, 3.5, 3.6」에서도 동일한 의미를 나타낸다.)

f : 최대작용압축응력. 다만 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합인 경우에는 KR C-08020<표12>에 표시한 계수로 나눈 값이다.

f_{cao} : KR C-09030<표 2>에서 세장비가 $l/r \approx 0$ 일 때의 허용압축응력(MPa)

플레이트거더의 내하력에 대해서는 많은 연구가 발표되었지만 규정으로서 채택하기에는 아직 적절하지 않다. 이 항의 규정은 기본적으로 전단력과 휨모멘트의 작용으로부터 복부판이 좌굴에 대해 일정한 값 이상의 안전율을 갖도록 정한 것이다.

플레이트거더의 복부판은 상하 양단에서 회전에 대한 구속은 있으나 그 지지조건은 구조형식에 의해서 달라진다. 박스형과 합성형에서는 고정지지 조건에 가깝다고 생각되지만 하로 플레이트거더와 개상식의 상로 플레이트거더에서는 그 구속이 작으므로 안전측으로 보아 단순지지라고 볼 수 있다. 이 조항에서는 규정을 간단화하기 위하여 각각의 경우에 대해 개별로 규정하지 않고 좌굴에 대해서 비교적 불리한 경제조건인 4변 단순지지의 판으로 보고 안전율로서 전단력만 작용하는 경우 및 휨모멘트만 작용할 경우 1.5, 또는 전단력과 휨모멘트가 동시에 작용하는 경우는 1.4를 확보하는 것으로 한다. 안전율이 순압축을 받는 기둥의 경우에 비해서 낮은 복부판에는 어느 정도의 좌굴후의 내력이 있고, 실제의 구조물에서는 주변의 지지에서의 고정작용이 어느 정도 기대될 수 있다고 볼 수 있기 때문이다.

상하 양 플랜지에 의한 고정점간 거리로서 용접구조에서 <그림 13>에서와 같이 상하 플랜지의 순간격을 복부판의 높이로 취한다.

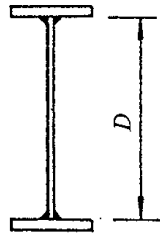


그림 13. 복부판의 높이

3.3 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비

중간수직보강재를 설치할 필요가 없는 복부판의 최대폭-두께비는 열차하중의 재하조건 사용재료별로 <표 19>의 값을 적용한다.

표 19. 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비($(D/t)_0$)

재 료	플랜지에 직접 재하하는 부재의 복부판	플랜지에 직접 재하하지 않는 부재의 복부판
SM400, SMA400	70	$630/\sqrt{v}$ 단, 110 이하
SM490, SM490C-TMC	60	
SM490Y, SM520, SMA490 SM520C-TMC, HSB500	55	
SM570, SMA570 SM570-TMC, HSB600	50	$630/\sqrt{v}$ 단, 100 이하

여기서, v 는 「2.4」에서 규정한 전단응력(MPa), 다만, 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중조합인 경우에는 「KR C-08020 하중」<표 14>의 강교편 「KR C-08020 하중」<표 12>에 표시한 계수로 나눈 값이다.

중간 보강재를 설치하지 않아도 좋은 복부판의 최대폭-두께비는 일반적으로 좌굴에 대해 비교적 불리한 조건인 주변이 단순지지된 무한판에 전단력과 휨모멘트가 동시에 작용한다고 가정해서 구한다. 이 경우의 검산식은 <식 (67)>과 같다.

$$\left(\frac{f}{f_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_{cr}}\right)^2 \leq \frac{1}{s^2} \quad (67)$$

여기서, s : 안전율(=1.4)

f : 작용 휨압축응력

v : 작용 전단응력

$f_{cr} = 23.9 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{D}\right)^2$: 양단이 단순지지된 무한판에 휨응력이 단독으로
작할 때의 좌굴응력

$v_{cr} = 5.34 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{D} \right)^2$: 양단이 단순지지된 무한판에 전단응력이 단독으로 작용할때의 좌굴응력

t : 복부판 두께

D : 복부판 높이

이로부터 <식 (67)>은 <식(68)>과 같이 표현된다.

$$s^2 \left[\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 E} \right]^2 \left(\frac{D}{t} \right)^4 \left[\left(\frac{f}{2.39} \right)^2 + \left(\frac{v}{0.534} \right)^2 \right] = \left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left[\left(\frac{f}{325} \right)^2 + \left(\frac{v}{72.4} \right)^2 \right] \leq 1 \quad (68)$$

한편, 전단응력하에서 작용할 수 있는 최대휨응력(f)는 <식 (69)>에 의해서 제약을 받는다.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{v}{v_a} \right)^2} \leq 1.1 \quad (69)$$

<식 (69)>에서 전단응력에 대하여 허용할 수 있는 휨응력이 최대로 발생한 것으로 하여 <식 (68)>에 대입하여 강재의 종류에 따라 좌굴곡선을 계산하면 <그림 14>와 같이 된다.

<표 19>의 플랜지에 재하되지 않는 부재의 복부판에 대한 최대폭-두께비의 규정치는 <식 (70)>과 같다.

$$\frac{D}{t} \leq \frac{630}{\sqrt{v}} \quad (70)$$

단, 최대폭-두께비는 인장강도가 580MPa 이상인 강재에서는 100이하이고, 580MPa 이하인 강재에서는 110이하로 한다.

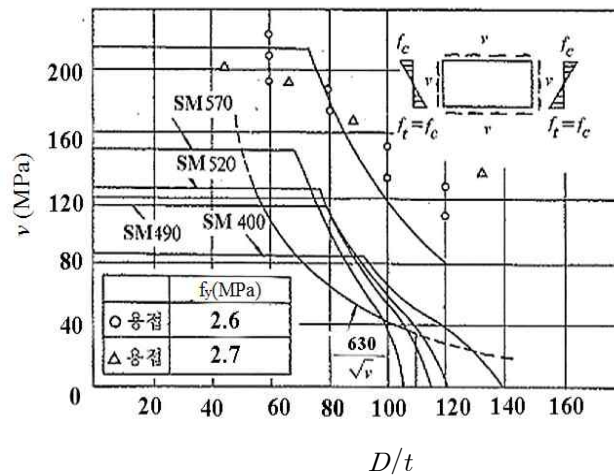


그림 14. 전단응력과 휨응력이 동시에 작용하는 판의 좌굴곡선
(4변 단순지지, 안전율 1.4)



<그림 14>는 각 강재의 좌굴곡선을 감안해서 정해진 것이다. 이식은 AASHTO의 식과 같으나 AASHTO에서는 D/t 의 상한치를 150으로 하고 있다. <그림 14>에는 보강되지 않은 복부판에 대한 보의 좌굴실험 결과도 도시되어 있다. 일반적으로 내하력은 이론좌굴곡선을 상회하는 것으로 보고되어 있다.

교침목 직결궤도 및 강직결궤도의 세로보와 같이 침목을 플랜지에 직접 설치한 부재의 복부판은 그 침목 바로 밑의 상부플랜지와 복부판과의 접합부 부근에 상당히 큰 국부응력이 생기거나 복부판에 복부의 찌그러짐과 이상 진동이 생길 우려가 있다. 그러므로 가로보나 드워프 보와 같이 그 플랜지에 침목이 직접 재하되지 않는 부재의 복부판과 같게 최소두께를 정하는 것은 불합리하다고 생각된다.

따라서 플랜지에 열차하중이 직접 재하되는 부재의 복부판의 최대폭-두께비는 안전을 고려하여 강재의 종류에 따라 제한을 두었다. 즉, $630/\sqrt{v}$ 에 각 강재의 허용전단응력을 대입하여 간단한 수치로 구한 것이다. 물론 플랜지에 열차하중이 직접 재하되지 않는 부재의 복부판의 경우에도 상기의 값 이하의 D/t 를 취하면 <식 (70)>에 의한 좌굴을 검산하지 않아도 된다.

3.4 중간수직보강재의 간격

중간수직보강재를 설치할 경우 중간수직보강재의 간격(d)는 수평보강재의 유무에 따라서 다음의 각 호의 식에 의해 산출한 값으로 하여야 한다. 다만, $2D$ 를 넘어서는 안 된다.

(1) 수평보강재가 없는 경우

$$d \leq 980 \frac{t}{\sqrt{v}} \quad (71)$$

다만, 복부판 연단의 휨 압축응력(f)가 <표 20>의 값을 넘을 경우 <식 (72)>와 <식 (73)>에 의해서 중간수직보강재의 간격을 검토해야 한다.

$d/D \leq 1$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{325} \right)^2 + \left[\frac{v}{54 + 72 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (72)$$

$1 < d/D \leq 2$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{325} \right)^2 + \left[\frac{v}{72 + 54 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (73)$$

표 20. 복부판 연단의 휨 압축응력(수평보강재가 없는 경우)

재 료	$f(\text{MPa})$
SS400, SM400, SMA400	85
SM490, SM490C-TMC	120
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	125
HSB500	140
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	170

(2) 수평보강재를 압축 플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 1단으로 배치할 경우

$$d \leq 870 \frac{t}{\sqrt{v}} \quad (74)$$

다만, 복부판 연단의 휨 압축응력(f)가 <표 21>의 값을 넘을 경우에는 <식 (75)>과 <식 (76)>에 의해서 중간수직보강재의 간격을 검토해야 한다.

$d/D \leq 0.8$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{1750} \right)^2 + \left[\frac{v}{85 + 72 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (75)$$

$0.8 < d/D \leq 2$ 경우

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{1750} \right)^2 + \left[\frac{v}{113 + 54 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1 \quad (76)$$

표 21. 복부판 연단의 휨 압축응력(수평보강재가 있는 경우)

재 료	$f(\text{MPa})$
SS400, SM400, SMA400	155
SM490, SM490C-TMC	140
SM490Y, SM520, SMA490, SM530C-TMC	130
HSB500	125
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	120

여기서, d : 중간수직보강재의 간격(mm)으로, 그 값은 보강재가 용접되어 있는 경우에는 보강재 중심간격, 볼트로 연결되어 있는 경우에는 볼트선 간격으로 결정한다.(「3.3 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비」, 「3.5 수평보강재」, 「3.6 중간수직보강재」에 있어서도 동일한 의미를 나타낸다.)

v : 「2.4」에 규정한 전단응력(MPa)으로 보강재 사이의 평균값을 적용한다.

f : 복부판 연단의 휨 압축응력(MPa)으로 보강재 사이의 평균값을 적용한다.



또한 허용응력을 증가시켜도 좋은 하중의 조합인 경우에는, v 및 f 는 「KR C-08020 8. 허용응력설계법에 따른 하중조합」의 강교편 「KR C-08020 하중」 <표 12>에 표시한 계수로 나눈 값이다.

(3) 휨응력과 전단응력이 동시에 작용할 경우의 중간보강재의 간격

휨응력과 전단응력이 동시에 작용할 경우의 좌굴의 검산식은 <식 (67)>로 나타낼 수 있다. <식 (67)>에서 f_{cr} 및 v_{cr} 은 4변 단순지지 판에 휨응력 및 전단응력이 각각 작용한 경우의 좌굴응력으로서 <식 (77)>과 <식 (78)>로 나타낼 수 있다.

$$v_{cr} = k_s \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^2 \quad (77)$$

$$f_{cr} = k_b \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^2 \quad (78)$$

여기서, k_s 는 DIN 4114의 규정을 준용하면 수평보강재가 없는 경우 <식 (79)>로 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{D} \leq 1 \quad k_s = 4.0 + \frac{5.34}{(d/D)^2} \quad (79)$$

$$\frac{d}{D} > 1 \quad k_s = 5.34 + \frac{4.0}{(d/D)^2}$$

또 <그림 15>처럼 수평보강재가 있는 경우, 패널 전체의 좌굴응력을 보강재에 의해서 분할된 부패널이 단순지지되어 있다고 생각할 때의 좌굴응력까지 높이기 위해서 필요한 보강재 강비는 「3.4」에 규정한 강성비보다 매우 작다.

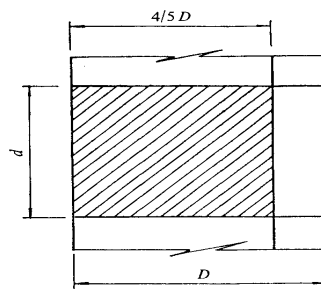


그림 15. 수평보강재가 있는 경우

따라서, 전단좌굴응력의 근사치로서 <그림 15>의 부패널이 단순지지되어 있다고 생각한 경우의 좌굴응력을 채용하는 것이 가능하므로 수평보강재가 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 1단으로 있는 경우에는 <식 (80)>로 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{D} \leq 0.8 \quad k_s = 6.25 + \frac{5.34}{(d/D)^2} \quad (80)$$

$$\frac{d}{D} > 0.8 \quad k_s = 8.34 + \frac{4.0}{(d/D)^2}$$

또, f 가 단순히 작용한 경우의 좌굴계수(k_b)는 수평보강재가 없는 경우에는 23.9, 수평보강재가 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 1단으로 있는 경우에는 수평보강재에서 <식 (80)>에 의해 정한 강도를 갖는 한, $d/D \leq 2$ 에서 $k_b \geq 129$ 가 되지만 안전측으로 $k_b = 129$ 로 한다. 안전율(s)는 합성의 경우에서 1.4를 취하고 <식(77)> 및 <식 (78)>을 <식 (67)>에 대입하여 정리하면 검산식으로서 <식 (81)>을 얻을 수 있다.
즉, 수평보강재가 없는 경우

$\frac{d}{D} \leq 1$ 의 경우,

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left(\frac{f}{325} \right)^2 + \left[\frac{v}{54 + 72 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \leq 1 \quad (81)$$

$1 < \frac{d}{D} \leq 2$ 의 경우,

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left(\frac{\sigma}{325} \right)^2 + \left[\frac{\tau}{72 + 54 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \leq 1$$

수평보강재를 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 1단 배치할 경우

$\frac{d}{D} \leq 0.8$ 의 경우,

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left(\frac{f}{1,750} \right)^2 + \left[\frac{v}{85 + 72 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \leq 1 \quad (82)$$

$0.8 < \frac{d}{D} \leq 2$ 경우,

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left(\frac{f}{1,750} \right)^2 + \left[\frac{v}{113 + 54 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \leq 1$$

가 된다.

수평보강재가 없는 경우에도 $d/D \leq 2$ 라 한 것은 보강재 간격이 너무 크면 플랜지에 열차하중이 직접 재하되는 부재의 복부판에서 복부의 찌그러짐이나 이상 진동이 생길 염려가 있기 때문이다. <식 (78)> 및 <식 (79)>에 있어서 복부판에 작용하는 전단응력(v) 및 복부판의 연단압축응력(f)의 비율은 일반적으로 단면의 위치와 재하 상태에 따라서 다르지만 검산의 번잡을 피하기 위해서 각각이 최대가 될 때의 값으로 하여 보강재 사이에서 f 와 v 의 값이 변화하는 때에는 각각 보강재 사이의 평균치를 취한다. 또, v 는 「2, 2.4」에서 규정한 평균전단응력으로 산출한다.



(4) 휨응력과 전단응력이 동시에 작용하지만 휨응력이 작은 경우의 중간보강재 간격 <식 (81)> 및 <식 (82)>로 f 및 v 가 합성된 경우 안전율을 1.4라고 하고 있으나 휨응력 또는 전단응력의 각각에 대해서는 안전율이 1.5가 되어야 한다. 따라서 여기에서는 휨응력이 작은 경우 v 와 t 에 의해 수직보강재의 간격을 정하는 식에 대해서 설명한다. 또 이 식은 안전율의 차이나 수치를 간단히 하였기 때문에 어느 정도 f 가 있어도 적용할 수 있지만 여기에서 그 한계에 대해서도 서술한다.

<식 (67)>에서 f 항을 무시하면, <식 (83)>이 된다.

$$\frac{v}{v_{cr}} \leq \frac{1}{s} \quad (83)$$

이 된다. 이때 v_{cr} 은 <식 (77)> 및 <식 (78)>(수평보강재가 없는 경우), <식 (80)>(수평보강재가 있는 경우)에 의해 얻을 수 있고, 안전율(s)은 전단력만이 작용할 경우를 생각하여 전술한바와 같이 안전율을 1.5로 한다. 따라서 <식 (83)>은 <식 (85)>와 같이 나타낼 수 있다.

수평보강재가 없는 경우(단, $d/D \leq 1$)

$$\begin{aligned} s \frac{v}{v_{cr}} &= \frac{sv}{k_s \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}} \cdot \left(\frac{D}{t} \right)^2 \\ &= \frac{1.5v(D/t)^2}{1.85 \times 10^5 \times \{4.0 + 5.34/(d/D)^2\}} \\ &= \frac{v(D/100t)^2}{50.7 + 67.6/(d/D)^2} \leq 1 \end{aligned} \quad (84)$$

수평보강재가 있는 경우(단, $d/D \leq 0.8$)

$$s \frac{v}{v_{cr}} = \frac{1.5v(D/t)^2}{1.85 \times 10^5 \times \{6.25 + 5.34/(d/D)^2\}} = \frac{v(D/100t)^2}{79.2 + 67.6/(d/D)^2} \leq 1 \quad (85)$$

<식 (84)> 및 <식 (85)>에서 v 는 「KR C-09030 4.1 기본허용응력」에 규정된 기본허용응력이 최대로 작용하는 것으로 보고 D/t 에 <표 18>의 값을 대입하면 <표 22>의 값을 얻는다.

표 22. 강도에 따른 d/D

재료	v (MPa)	수평보강재가 없는 경우		수평보강재가 있는 경우	
		D/t	d/D	D/t	d/D
SM400, SMA400	85	145	0.73	250	0.39
SM490, SM490C-TMC	115	125	0.72	250	0.33
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	125	120	0.72	250	0.31
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	150	105	0.77	250	0.28

<식 (84)> 및 <식 (85)>를 고쳐 쓰고 거기에 $d/D > 1$ 의 경우를 추가하면,

수평보강재가 없는 경우

$d/D \leq 1$ 에 대해

$$d \leq \frac{316t \sqrt{5.07(d/D)^2 + 6.76}}{\sqrt{v}} \quad (86)$$

$d/D > 1$ 에 대해

$$d \leq \frac{316t \sqrt{6.76(d/D)^2 + 5.07}}{\sqrt{v}}$$

수평보강재가 있는 경우

$d/D \leq 0.8$ 에 대해

$$d \leq \frac{316t \sqrt{7.92(d/D)^2 + 6.76}}{\sqrt{v}} \quad (87)$$

$d/D > 0.8$ 에 대해

$$d \leq \frac{316t \sqrt{6.76(d/D)^2 + 7.92}}{\sqrt{v}}$$

가 된다. 즉 d 는 v 와 d/D 와의 관계로 되지만, 안전측으로 간단하게 하기 위해 <표 22>로부터 d/D 를 필요 최소한의 값(이 값보다 작은 값에 대해서는 v 또는 D/t 의 값이 허용치를 넘기 때문에 고려하지 않아도 된다)으로 하고 수평보강재가 없는 경우 0.7, 수평보강재가 있는 경우 0.25로 하여 <식 (86)>의 $d/D \leq 1$ 인 경우의 식 및 <식 (87)> $d/D \leq 0.8$ 의 경우의 식에 각각 대입하고 수치를 반올림하면, <식 (88)>과 <식 (89)>를 얻을 수 있다.

수평보강재가 없는 경우

$$d \leq \frac{940t}{\sqrt{v}} \quad (88)$$



수평보강재가 있는 경우

$$d \leq \frac{850t}{\sqrt{v}} \quad (89)$$

<식 (88)> 및 <식 (89)>는 해설1, 1, 3.3에서 적용한 중간보강재의 간격이다. <식 (88)> 및 <식 (89)>에서 각각 $d/D \leq 1$ 및 $d/D \leq 0.8$ 의 적용식에 의해 설명하였지만, $d/D > 1$ 및 $d/D > 0.8$ 의 경우에 적용해도 안전측이다. 이식들을 유도하는데 안전율로 1.5를 사용하였기 때문에 어느정도 크기의 f 가 동시에 작용하는 경우에도 적용할 수 있다. 이때 f 의 한계를 구하기 위해서는 <식 (81)>의 $d/D \leq 1$ 의 경우의 식과 <식 (82)>의 $d/D \leq 0.8$ 의 경우의 식에 <식 (88)>과 <식 (89)>를 각각 대입하고 v 및 D/t 를 <표 22>의 값 즉, 허용치의 최대값을 취해서 계산하면 <표 21> 및 <표 22>를 얻는다. 상기의 식을 적용하는데 있어서 수평보강재 및 중간보강재의 강도 규정에 따른다. 또 수평보강재는 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근의 위치에 1단 배치되어 있는 것으로 한다.

3.5 수평보강재

수평보강재를 1단으로 사용하는 경우 그 위치는 압축플랜지로부터 $0.2D$ 부근에 배치하는 것으로 하고 수평보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 (90)>에 의해 산출한 값 이상이 되어야 한다. 또한, 수평보강재의 최대폭-두께비는 「3.3 중간수직보강재가 없는 복부판의 최대폭-두께비」에서 <표 13>의 ①에 의하지만, 이형의 수평보강재를 사용하는 경우에는 이를 따르지 않아도 된다.

$$I = 5d \cdot t^3 \quad \text{단, } d/D \leq 2 \quad (90)$$

여기서, I 는 수평보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm^4)로 I 값 계산시의 기준축은 그림에서의 x 축으로 한다.

수평보강재를 2단 이상 배치할 경우에는 <표 18>의 값을 따르지 않아도 된다.

수평보강재로는 복부판과 동등 이상의 강도를 가지는 재료를 사용해야 한다.

3.5.1 수평보강재가 없는 경우의 최대폭-두께비

순수휨을 받아 상하 양단에서 절대치가 같은 응력(f)인 경우는 좌굴을 방지하기 위하여 필요한 두께(t)는 <식 (91)>과 같다.

$$t \geq \frac{D}{R_{cr}} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)sf}{\pi^2 k E}} \quad (91)$$

여기서, R_{cr} (좌굴매개변수) : 연단응력이 항복응력에 도달하였을 때 좌굴을 방지하기 위해 필요한 폭-두께비와 탄성좌굴이론으로부터 구해진 폭-두께비와의 비, 즉, 감소율이지만 여기에서는 1.0을 취한다.

t : 복부판의 두께(mm)

D : 복부판의 높이(mm). <그림 13> 참조

f : 복부판의 연단압축응력(MPa)

ν : 포아송비, (0.3)

s : 안전율(=1.5)

E : 탄성계수(2.05×10^5 MPa)

k : 좌굴계수로서 생각하고 있는 판의 변장비(α), 지지조건, 응력의 종류에 의해 정해진다. 주변단순지지의 판이 휨모멘트에 의해 좌굴을 일으킬 경우, k 는 최소치인 $k=23.9$ 가된다.

복부판에 존재하는 잔류응력은 일반적으로 <그림 16>에 표시된 것 같은 분포를 보이며 복부판에 작용하는 휨모멘트에 의한 응력과 합성해서 결과적으로 복부판 내의 응력은 그림의 횡선부의 형이 되어 잔류응력이 복부판의 휨 좌굴에 미치는 영향은 비교적 작다고 생각된다. 이로부터 휨에 의한 복부판좌굴을 방지하기 위해 필요한 폭-두께비는 탄성좌굴이론으로부터 구한 값을 그대로 사용하여 비탄성거동에 의한 폭-두께비를 줄이지 않고 좌굴매개변수 R_{cr} 의 값으로서 10을 사용한다.

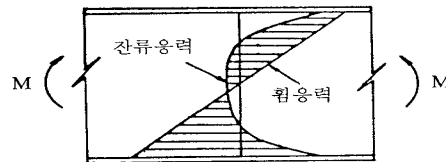


그림 16. 복부판의 휨응력의 잔류응력

<식 (91)>에 제수치를 대입하여 정리하면 <식 (92)>와 같다.

$$t \geq \frac{D\sqrt{f}}{1,740} \quad (92)$$

플레이트거더에서는 휨모멘트에 대해서 적절히 플랜지 단면을 바꾸어 허용응력에 가까운 응력이 발생하도록 설계하는 것이 보통이기 때문에 설계의 편리를 위해 수평보강재가 없는 경우, 각종 강재에 대해서 기준이 되는 D/t 의 최대치를 규정하였다. 또한 복부판의 응력이 작은 경우에는 계수를 곱함으로써 복부판의 두께를 감소시킬 수 있도록 하였다.

3.5.2 수평보강재가 있는 경우의 최대폭-두께비

복부판을 휨모멘트에 대해서 설계할 경우 수평보강재를 배치함으로써 좌굴하중을 높일 수 있다. 압축플랜지로부터 $0.2D$ 의 위치에 수평보강재가 있는 복부판의 좌굴계수(k)의 값은 그 강도에 따라 23.9부터 129까지 변화한다. $k=129$ 의 경우의 D/t 의 값은 <표 23>과 같다.

수평보강재를 1단 배치한 경우에 대해서는 41kg급부터 58kg급의 모든 강종에 따른 폭-두께비의 상한값은 좌굴에 대한 제한이 아니고 용접변형, 조립운반의 작업성 및



판의 면외진동을 고려하여 $(D/t)_o = 250$ 으로 한다.

표 23. 강도에 따른 d/D

재료	D/t
SM400, SMA400	341
SM490, SM490C-TMC	293
SM490Y, SM520, SMA490, SM520C-TMC, HSB500	279
SM570, SMA570, SM570-TMC, HSB600	251

주) 수평보강재 1단, $k = 129$ 인 경우

3.5.3 수평보강재의 소요강도

선형좌굴이론에 의하면 수평보강재의 강도와 변장비의 관계는 <그림 17>과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 수평보강재의 강도가 $I = 4dt^3$ (단 $d/D \leq 2$)이면 $0.2D$ 부근에 수평보강재가 배치된 힘을 받는 복부판의 좌굴계수 $k = 129$ 는 확보되고, 전향의 최대 폭-두께비를 만족한다. 그러나 실제 교량에 있어서는 용접에 의한 초기변형, 잔류응력의 영향 때문에 좌굴내력은 이론적인 값보다 저하하는 경향이 있다. 따라서 여기서는 용접에 의한 잔류응력, 초기변형, 편측보강재에 의한 편심, 열차주행에 의한 진동의 영향을 고려함과 동시에 설계시공상의 문제가 없고 경제성도 상실되지 않는 범위에서 수평보강재의 소요강도를 확보하도록 하였다.

수평보강재를 배치한 플레이트거더의 경우에 폭-두께비 250정도의 복부판에 탄성좌굴이론에 의한 최소강성비(γ^*)의 보강재를 설치한 경우 좌굴모멘트는 플랜지의 항복모멘트(M_y)를 상회한다. 이러한 현상은 플랜지, 수평보강재의 비틀림강성을 고려한 복부판의 좌굴해석결과를 <그림 18>로부터 이해할 수 있다. 즉, 비틀림강성에 의해 좌굴계수가 증가하는 것을 알 수 있다. 이 수치 자체는 플레이트거더의 단면치수에 의해 달라진 결과를 주기 때문에 반드시 확정적인 것은 아니지만 주변단순지지한 경우보다 좌굴계수가 증가한 것은 정상적이라고 말할 수 있다.

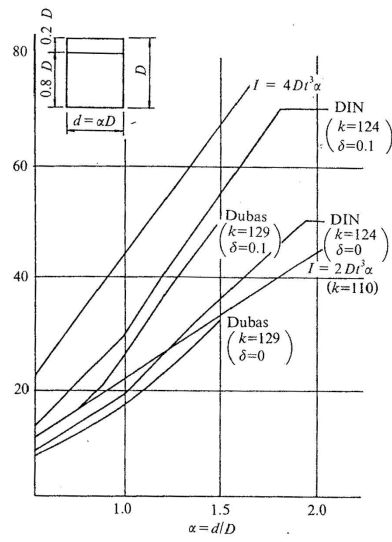
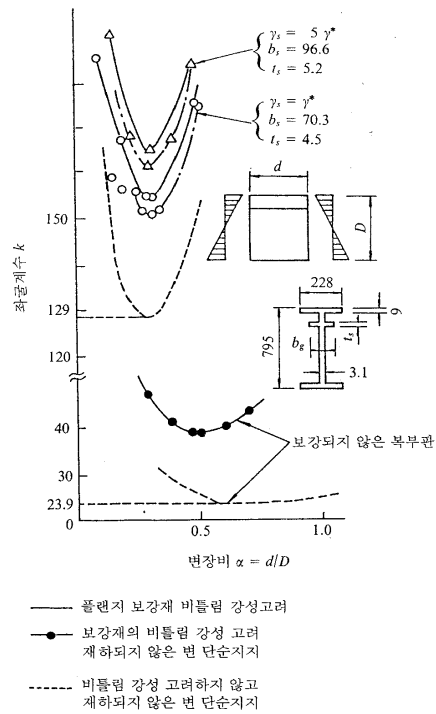


그림 17. 수평보강재의 소요강도 γ 와 α 의 관계



- 플랜지 보강재 비틀림 강성 고려
- 보강재의 비틀림 강성 고려
제하되지 않은 변 단순지지
- 비틀림 강성 고려하지 않고
제하되지 않은 변 단순지지

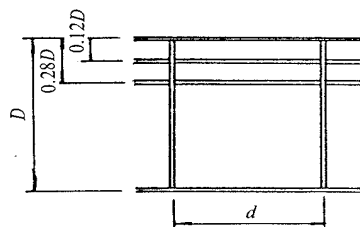


그림 18. 플랜지와 보강재의 강성이 복부판의 좌굴내력에 미치는 영향



3.5.4 2단 이상 수평보강재를 배치하는 경우

<표 18>은 수평보강재가 없는 경우와 1단으로 배치한 경우에 대해서 최대폭-두께비를 규정한 것이지만 수평보강재가 2단 이상의 경우에는 당연히 큰 값을 취할 수 있다. 그러나 복부판이 너무 얇으면 (2)에서 서술한 것과 같은 문제가 있으므로 최대폭-두께비에는 한도가 있다. 철도교 플레이트거더의 경우 실용상 수평보강재를 3단 이상 사용하는 경우는 거의 없다고 생각되기 때문에 여기서는 2단 배치의 경우에 대해서 참고로 설명한다. 수평보강재는 보강재축이 절선이 되는 좌굴형상에 대하여 보강판의 좌굴계수를 최대로 하는 위치에 배치한 것이다. 즉, <그림 18>에서 보인 바와 같이 압축플랜지로부터 $0.12D$ 및 $0.28D$ 에 배치한다.

최대폭-두께비는 275(하단의 패널에 대해서 수평보강재가 1단의 경우의 250에 상당)정도를 목표로 하고, 이 경우의 중간보강재의 간격은 <식 (93)>으로 계산한다.

$$\frac{d}{D} \leq 0.72 \text{의 경우}$$

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{2,100} \right)^2 + \left[\frac{v}{103 + 72 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1.0 \quad (93)$$

$$0.72 \leq \frac{d}{D} < 2 \text{의 경우}$$

$$\left(\frac{D}{100t} \right)^4 \left\{ \left(\frac{f}{2,100} \right)^2 + \left[\frac{v}{72 + 103 \left(\frac{D}{d} \right)^2} \right]^2 \right\} \leq 1.0$$

식(7.2.86)은 $k = 155$ (SM570의 $D/t = 275$ 에 대하여 필요한 좌굴계수), $s = 1.4$ 로써 구한 것이다.

3.6 중간수직보강재

- (1) 중간수직보강재의 소요단면2차모멘트(I)는 <식 (94)>에 의해 산출된 값 이상이어야 한다. 또한, 중간수직보강재의 최대폭-두께비는 16 이하로 하지만 이형의 보강재를 사용할 경우에는 이를 따르지 않아도 된다.

$$I = \frac{5}{22} d_s \cdot t^3 \cdot \gamma \quad (94)$$

여기서, d_s : 실제 설계시 정한 보강재 간격(mm)

I : 중간수직보강재의 총단면의 단면2차모멘트(mm⁴)로서 I 값 계산시의 기준축은 <그림 11>에서의 x 축으로 한다.

γ : <식 (95)>에 의해서 산출한 강성비

$$\gamma = 25 \left(\frac{D}{d} \right)^2 - 20 \quad (95)$$

단, $\gamma \geq 5$ 로 한다.

- (2) 중간수직보강재는 복부판과 동등 이상의 강도를 가지는 재료를 사용해야 한다.
- (3) 중간수직보강재는 수평보강재 및 압축보강판과는 달리 복부판이 전단좌굴하기까지는 거의 응력을 받지 않고 탄성상태에 있기 때문에 보강재의 용접잔류응력이 복부판의 전단좌굴내력에 주는 영향이 작다. 또 복부판의 좌굴후에는 인장장작용(tension field action)에 의해 복부판을 사재, 중간수직보강재를 수직재, 플랜지를 현재로 하는 트러스와 같이 거동한다. 따라서 중간수직보강재는 기둥으로 작용하게 되고 그 강성과 단면적의 양자가 서로 플레이트거더의 전단내력에 기여하는 것이 된다. 중간수직보강재가 기둥으로 작용하면 용접잔류응력의 영향도 고려하여야 한다. 따라서, 중간수직보강재에 대해서는 강도와 단면적의 양자에 대해서 규정하는 것을 생각할 수 있으나 설계계산상 번잡해지므로 강도를 조금 크게 취함으로써 결과적으로 단면적도 증가하도록 해서 복부좌굴후의 내하력을 증가시킬 수 있도록 한다.

3.7 구멍 뚫린 판을 가진 부재

- (1) 이 규정은 힘을 받는 거더에 대한 것이 아니며, 구멍 뚫린 판의 최소 두께는 <표 24>의 값으로 한다.

구멍 뚫린 판의 치수간의 관계는 다음과 같다.

$$a \leq 2c, c_1 \geq b, c_2 \geq 1.25b, r \geq 40\text{mm}$$

여기서, b : 안쪽 용접선간의 거리(mm)

t : 구멍 뚫린 판의 두께(mm)

s : 안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대폭(mm)

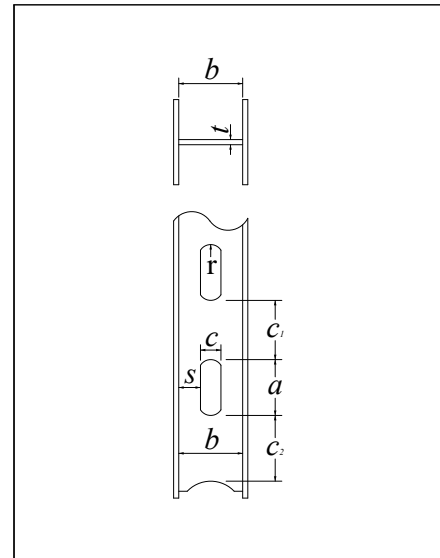
a : 응력방향에서 잰 구멍의 길이(mm)

c : 구멍의 폭(mm)

c_1 : 구멍과 구멍 사이의 판의 길이(mm)

c_2 : 단부 구멍의 끝과 구멍 뚫린 판 끝과의 응력방향에서 잰 최단거리(mm)

r : 구멍 끝의 곡률반경(mm)



구멍의 형상은 원, 타원 또는 원과 직선을 조합한 활과 같은 형상으로 구멍 끝의 곡률반경은 최소 40mm 이상으로 한다.

- (2) 구멍 뚫린 판을 가진 부재의 단면2차반경 및 유효단면적은 구멍의 폭이 최대인 단면에 대해서 계산하는 것으로 한다. 또한 2개 이상의 구멍이 뚫린 판을 사용하고 구멍의 위치가 상호 엇갈리는 경우에도 같은 단면에 구멍이 있는 것으로 고려하여 계산하는 것으로 한다.



표 24. 구멍 뚫린 판

강 종	최소 판두께(t)(mm)	안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대폭(s)(mm)
SS400 SM400 SMA400	b/50	13t
SM490, SM490Y SM490C-TMC SM520 SM520C-TMC SMA490, HSB500	b/40	11t
SM570 SM570-TMC SMA570, HSB600	b/35	10t

RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둔.

Rev.1('22.12.12) 북한 지역에서 강교 계획시 강종 및 판두께를 결정할 수 있도록 온도구역별 지역 명시(기준심사처-4755, '22.12.12)