

KIBSE 한국교량및구조공학회

2014년도 총회 및 기술컨퍼런스

하중저항계수법에 의한 강구조설계기준

Korean Steel Structure Design Code –
Load and Resistant Factored Design

한양대학교 건설환경공학과

최 동 호

국내 및 미국의 설계기준 변천사

국내/미국 강구조설계기준				국내/미국 도로교설계기준	
출판년도	강구조설계기준	건축구조기준 -KBC (제7장)	AISC	도로교설계기준	AASHTO
2004					LRFD(2004, 3rd)
2005		KBC2005	2005(13th)	2005	
2006					
2007					LRFD(2007, 4th)
2008				해설(2008)	
2009	하중저항계수설계법(2009)	KBC2009			
2010			2010(14th)	2010	LRFD(2010, 5th)
2011	하중저항계수설계법해설(2011)				
2012				한계상태설계법(2012)	LRFD(2012, 6th)
2013		KBC2013			
2014	하중저항계수설계법(2014)			한계상태설계법해설(2014)	LRFD(2014, 7th)

강구조설계기준 하중저항계수설계법(2014): AISC 2010(14th) + AASHTO LRFD(2012, 6th) (6장 휨부재의 플레이트거더와 박스거더)









하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준(2014)의 목차 및 주요 내용

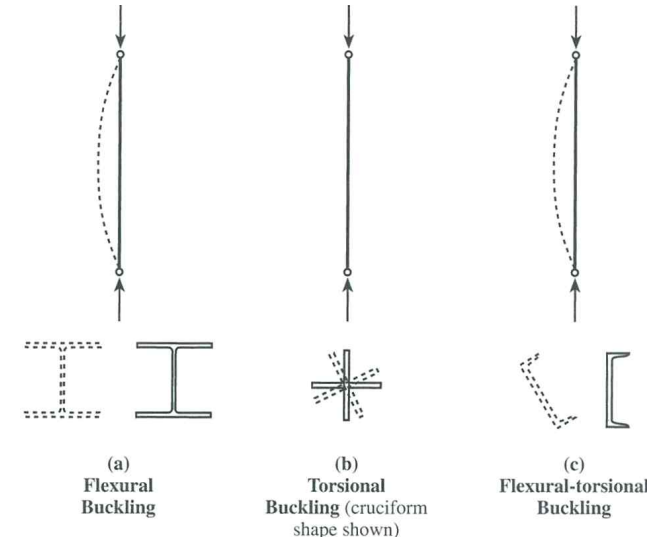
장	제목	주요 내용
1	총칙	적용범위, 용어, 주요기호, 설계원칙, 하중 및 하중조합
2	사용재료	사용강재, 접합재료, 재료의 강도, 기타 강재
3	골조의 안정성	직접해석법과 대체 해석법에 대한 안정 요구조건, 소요강도 및 설계강도
4	인장부재	중심축에 인장력을 받는 부재의 단면적 및 인장강도
5	압축부재	중심축에 압축력을 받는 부재의 한계상태와 압축강도, 합성부재
6	휨부재	비틀림이 발생하지 않는 형강 및 조립부재의 휨강도, 전단강도 및 보강재 플레이트거더 또는 박스거더의 휨강도, 전단강도 및 보강재, 기타 휨부재
7	조합력과 비틀림부재	축력과 1축 또는 2축휨의 조합상태에 비틀림응력이 작용하거나 작용하지 않는 부재 비틀림 또는 비틀림, 휨, 전단력 또는/과 축력등을 동시에 받는 부재
8	기타 부재	기둥과 보의 가새, 교량의 다이아프램, 수직가새 및 수평가새, 말뚝, 파형강판
9	연결	용접 및 볼트, 접합부재의 설계강도, 거더이음, 강관구조 접합
10	피로 및 파단	하중유발피로와 변형유발피로, 피로한계, 피로강도, 인성한계
11	물고임 및 내화설계	물고임에 대한 개략 설계 및 개선된 설계, 품질시험에 의한 내화성능평가 및 구조해석에 의한 내화성능평가
12	건축물 내진설계	하중, 하중조합 및 공칭강도, 재료, 강구조의 내진설계, 합성구조의 내진설계
	부록	조밀 또는 비조밀 웹을 갖는 부모멘트부 합성 및 비합성 직선 I-거더의 휨저항강도, 휨부재의 특성계산, 건축물 내진설계

압축부재 단면의 분류

단면 구분	폭두께비 λ	저감계수 Q	국부좌굴(LB)
비세장판단면	단면의 모든 압축판요소에 대하여 $\lambda \leq \lambda_r$	사용하지 않음	고려안함
세장판단면	단면의 압축판요소 $\lambda > \lambda_r$	$Q = Q_s Q_a < 1$	고려

단면의 좌굴 한계상태

단면	비세장판단면 ($Q = 1$)	세장판단면 ($Q = Q_s Q_a < 1$)
	한계상태	한계상태
 2축대칭단면	힘좌굴(FB) 비틀림좌굴(TB)	국부좌굴(LB) 힘좌굴(FB) 비틀림좌굴(TB)
 1축대칭단면	힘좌굴(FB) 힘-비틀림좌굴(FTB)	국부좌굴(LB) 힘좌굴(FB) 힘비틀림좌굴(FTB)
 각형강관(HSS) 및 박스형부재의 단면	힘좌굴(FB)	국부좌굴(LB) 힘좌굴(FB)
 원형강관(HSS)	힘좌굴(FB)	국부좌굴(LB) 힘좌굴(FB)
 T형강	힘좌굴(FB) 힘-비틀림좌굴(FTB)	국부좌굴(LB) 힘좌굴(FB) 힘비틀림좌굴(FTB)
 쌍 γ 형강	힘좌굴(FB) 힘-비틀림좌굴(FTB)	국부좌굴 힘좌굴(FB) 힘비틀림좌굴(FTB)
 단일 γ 형강 ($b/t \leq 20$)	힘좌굴(FB)	국부좌굴(LB) 힘좌굴(FB)
 각형 또는 원형강봉	힘좌굴(FB)	해당없음
단일 γ 형강($b/t > 20$) 및 비대칭 단면	힘-비틀림좌굴(FTB)	국부좌굴 힘비틀림좌굴(FTB)



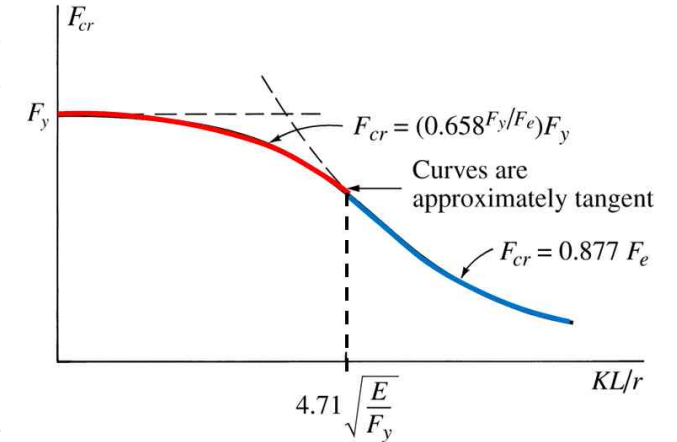
압축부재 설계식 $P_u \leq \phi_c P_n$ ($\phi_c = 0.9$)

공칭압축강도 $P_n = F_{cr} A_g$

좌굴응력 $F_{cr} = \min \{ \text{휨좌굴응력, 비틀림좌굴응력, 휨비틀림좌굴응력} \}$

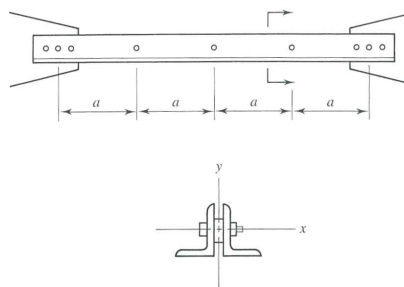
압축부재의 좌굴응력 F_{cr} (쌍꺾형강 및 T형강이 아닌 부재)

좌굴분류	압축부재의 좌굴응력 F_{cr} (쌍꺾형강 및 T형강이 아닌 부재)	
	비세장판단면 ($Q = 1$)	세장판단면 ($Q = Q_s, Q_a < 1$)
휨좌굴(FB) 비틀림좌굴(TB) 휨비틀림좌굴(FTB)	① $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 또는 $\frac{F_y}{F_c} \leq 2.25$ $F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_c} \right] F_y$	① $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ 또는 $\frac{QF_y}{F_c} \leq 2.25$ $F_{cr} = Q \left[0.658 \frac{QF_y}{F_c} \right] F_y$
	② $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 또는 $\frac{F_y}{F_c} > 2.25$ $F_{cr} = 0.877 F_e$	② $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ 또는 $\frac{QF_y}{F_c} > 2.25$ $F_{cr} = 0.877 F_e$



좌굴 분류	탄성좌굴응력 F_e	비고
휨좌굴(FB)	$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$	
비틀림좌굴(TB)	2축대칭부재 $F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$	$C_w = 0$ 사용
	2축대칭이 아닌 부재 $F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x^s + I_y^s}$	$I_x^s + I_y^s = A_g \bar{r}_o^2$
휨비틀림좌굴(FTB)	y축에 대칭인 1축대칭인 부재 $F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$	$F_{ey} = y$ 축에 대한 탄성휨좌굴응력 $= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L_y}{r_y}\right)^2}$
	비대칭부재 및 단일 꺾형강 ($b/t > 20$) 다음 3차 방정식의 해 중 가장 작은 해를 F_e 로 사용 $(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey})\left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ex})\left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 = 0$	$F_{ez} =$ 탄성비틀림좌굴응력 $= \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x^s + I_y^s}$

압축부재의 좌굴응력 F_{cr} (쌍꺾형강 및 T형강 부재)

좌굴 분류	압축부재의 좌굴응력 F_{cr} (쌍꺾형강 및 T형강 부재)		비고
	비세장판단면 ($Q = 1$)	세장판단면 ($Q = Q_s Q_a < 1$)	
힘좌굴(FB)	<p>① $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 또는 $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$</p> $F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$ <p>② $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 또는 $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$</p> $F_{cr} = 0.877 F_e$	F_y 대신 QF_y 사용	<p>쌍꺾형강의 수정된 세장비: 힘비틀림좌굴(FTB)의 F_{cry} 식에서 $K_y L_y / r_y$ 계산시 사용</p> <p>① 1차조임(snug-tight)의 볼트로 접합된 경우</p> $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$ <p>① 용접이나 볼트(pre-tensioned)로 접합된 경우</p> <p>$\frac{a}{r_i} \leq 40$ 경우; $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r}\right)_0$</p> <p>$\frac{a}{r_i} > 40$ 경우; $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2}$</p> <p>$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ = 조립부재의 수정된 기동세장비</p> <p>$\left(\frac{KL}{r}\right)_0$ = 고려하는 좌굴방향으로 단일부재로 거동하는 조립부재의 세장비</p> <p>$K_i = 0.5$ 서로 맞닿은 꺾형강일 경우 $= 0.75$ 서로 맞닿은 ㄷ형강일 경우 $= 0.86$ 다른 모든 경우</p> <p>a = 접합재 사이의 길이 (mm) r_i = 개별부재의 최소단면2차반경 (mm)</p> 
힘비틀림좌굴(FTB)	$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$ <p>여기서,</p> $F_{crz} = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x^s + I_y^s} = F_{ez}$ <p>= 탄성비틀림좌굴응력 (with $C_w = 0$)</p> <p>F_{cry} = y축에 대한 힘좌굴응력 $\neq F_{ey}$ (쌍꺾형강의 경우 수정된 세장비 사용)</p> <p>① $\frac{K_y L_y}{r_y} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 또는 $\frac{F_y}{F_{ey}} \leq 2.25$</p> $F_{cry} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_{ey}} \right] F_{ey}$ <p>② $\frac{K_y L_y}{r_y} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ 또는 $\frac{F_y}{F_{ey}} > 2.25$</p> $F_{cry} = 0.877 F_{ey}$ <p>여기서, F_{ey}: y축에 대한 탄성힘좌굴응력 F_{ez}: 탄성비틀림좌굴응력</p>	F_{cry} 계산시 F_y 대신 QF_y 사용	

단일 ㄱ형강($b/t \leq 20$)의 휨좌굴(FB)시 탄성좌굴응력 F_e 계산할 때 사용되는 유효세장비

	단일 ㄱ형강의 유효 세장비	
	등변 ㄱ형강 또는 긴 다리로 접합된 부등변 ㄱ형강	짧은 다리로 접합된 부등면 ㄱ형강 ($b_l/b_s \leq 1.7$)
- 단일부재 - 평면트러스의 웨브재	$0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 80 ; \frac{KL}{r} = 72 + 0.75 \frac{L}{r_x}$ $\frac{L}{r_x} > 80 ; \frac{KL}{r} = 32 + 1.25 \frac{L}{r_x} \leq 200$	$0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 80 ; \frac{KL}{r} = 72 + 0.75 \frac{L}{r_x} + 4[(b_l/b_s)^2 - 1]$ $\frac{L}{r_x} > 80 ; \frac{KL}{r} = 32 + 1.25 \frac{L}{r_x} + 4[(b_l/b_s)^2 - 1] \leq 200$ $\frac{KL}{r} \geq 0.95 \frac{L}{r_z} \text{ 을 만족해야함}$
- 박스형단면의 웨브재 - 입체트러스의 웨브재	$0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 75 ; \frac{KL}{r} = 60 + 0.8 \frac{L}{r_x}$ $\frac{L}{r_x} > 75 ; \frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} \leq 200$	$0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 75 ; \frac{KL}{r} = 60 + 0.8 \frac{L}{r_x} + 6[(b_l/b_s)^2 - 1]$ $\frac{L}{r_x} > 75 ; \frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} + 6[(b_l/b_s)^2 - 1] \leq 200$ $\frac{KL}{r} \geq 0.82 \frac{L}{r_z} \text{ 을 만족해야함}$
비고	<p> L : 부재길이 b_l : ㄱ형강의 긴쪽다리의 길이 b_s : ㄱ형강의 짧은쪽다리의 길이 r_x : 접합된 다리와 평행한 축에 대한 단면2차반경 r_z : 약축에 대한 단면2차반경 </p>	

세장판 단면의 압축강도 산정시 사용되는 순저감계수 Q

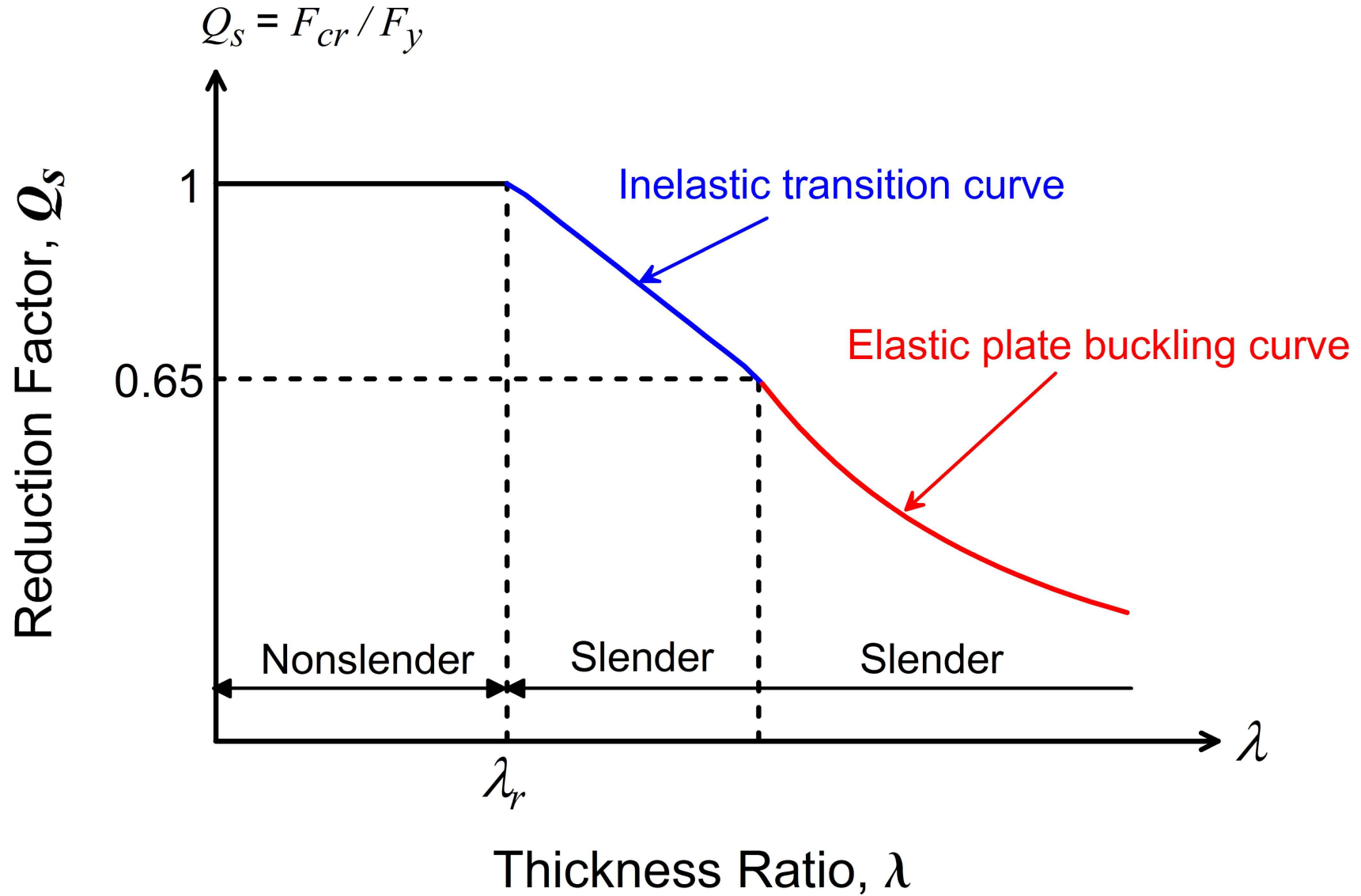
순저감계수 $Q = Q_s Q_a$

Q_s : 세장한 자유돌출판에 대한 저감계수

Q_a : 세장한 양연지지판에 대한 저감계수

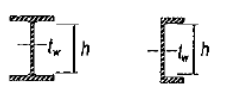
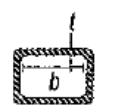
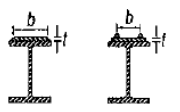
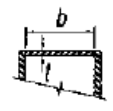
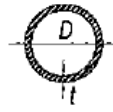
세장한 자유돌출판 저감계수 Q_s

단면	판요소에 대한 설명	예	폭두께비 λ	세장한 자유돌출판 저감계수 Q_s		
				비세장판요소 ($\lambda \leq \lambda_r$)	세장판요소 ($\lambda > \lambda_r$)	
자유돌출판	-압연H형강의 플랜지 -압연H형강으로부터 돌출된 플레이트 -서로 접한 쌍 Γ 형강의 돌출된 다리 - Γ 형강의 플랜지 -T형강의 플랜지		b/t	$b/t \leq 0.56 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = 1.0$	$0.56 \sqrt{E/F_y} < b/t < 1.03 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = 1.415 - 0.74 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$b/t \geq 1.03 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = \frac{0.69E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$
	-용접H형강의 플랜지 -용접H형강으로부터 돌출된 플레이트 또는 Γ 형강다리		b/t	$b/t \leq 0.64 \sqrt{Ek_c/F_y}$ $Q_s = 1.0$	$0.64 \sqrt{Ek_c/F_y} < b/t \leq 1.17 \sqrt{Ek_c/F_y}$ $Q_s = 1.415 - 0.65 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{Ek_c}}$	$b/t > 1.17 \sqrt{Ek_c/F_y}$ $Q_s = \frac{0.90Ek_c}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$
	- Γ 형강의 다리 -길관을 낀 쌍 Γ 형강의 다리 -그 외 모든 한쪽만 지지된 판 요소		b/t	$b/t \leq 0.45 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = 1.0$	$0.45 \sqrt{E/F_y} < b/t \leq 0.91 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = 1.34 - 0.76 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$b/t > 0.91 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = \frac{0.53E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$
	-T형강의 스템		d/t	$d/t \leq 0.75 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = 1.0$	$0.75 \sqrt{E/F_y} < d/t \leq 1.03 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = 1.908 - 1.22 \left(\frac{d}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$d/t > 1.03 \sqrt{E/F_y}$ $Q_s = \frac{0.69E}{F_y \left(\frac{d}{t}\right)^2}$

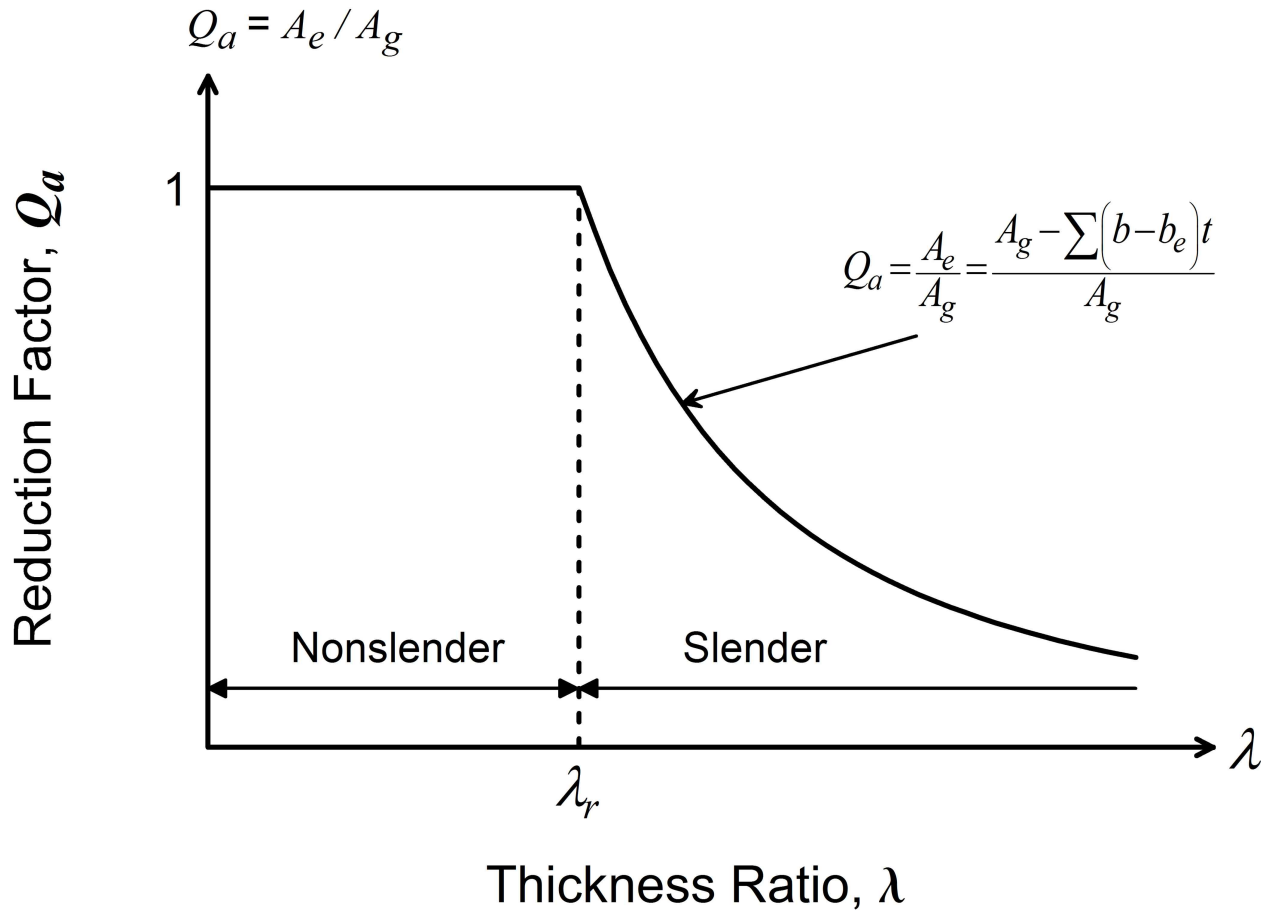


<세장한 자유돌출판의 폭두께비에 대한 저감계수 Q_s 곡선>

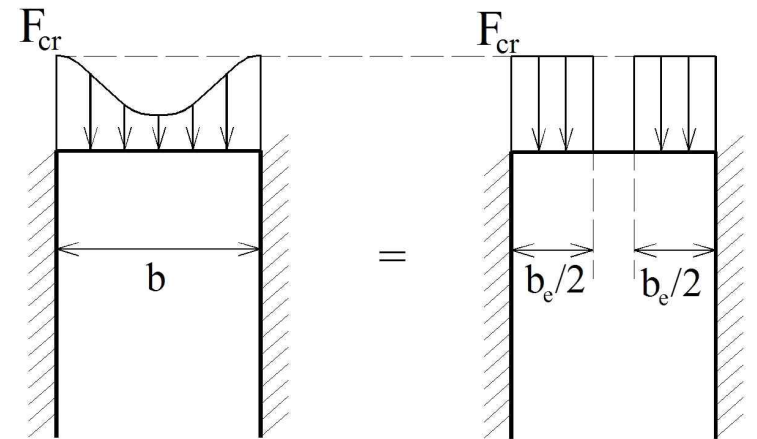
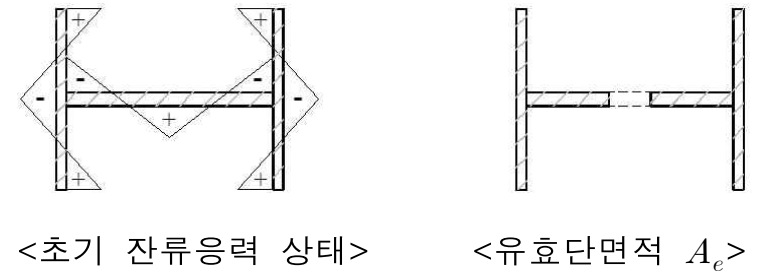
세장한 양연지지판의 저감계수 Q_a

단면	판요소에 대한 설명	예	폭두께비 λ	세장한 양연지지판 저감계수 Q_a	
				비세장판요소 ($\lambda \leq \lambda_r$)	세장판요소 ($\lambda > \lambda_r$)
양연지지판	-2축 대칭 H형강의 웨브와 C형강		h/t_w	$\frac{h}{t_w} < 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $Q_a = 1$	$\frac{h}{t_w} \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.34}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$ $Q_a = A_e/A_g$
	-균일한 두께를 갖는 각형강관과 박스의 벽		b/t	$\frac{b}{t} < 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $Q_a = 1$	$\frac{b}{t} \geq 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$ $Q_a = A_e/A_g$
	-플랜지커버플레이트 -연결재 또는 용접선 사이의 다이아프램플레이트		b/t	$\frac{b}{t} < 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $Q_a = 1$	$\frac{b}{t} \geq 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$ $Q_a = A_e/A_g$
	-그 외 모든 양쪽이 지지된 판요소		b/t	$\frac{b}{t} < 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $Q_a = 1$	$\frac{b}{t} \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.34}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$ $Q_a = A_e/A_g$
	-원형강관		D/t	$\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y}$ $Q_a = 1$	$0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y}$ $Q = Q_a = \frac{0.038E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3}$
비고	$Q_a = \frac{A_e}{A_g}$ 여기서, A_g : 부재의 총단면적 (mm^2) A_e : 감소된 유효폭 b_e 를 고려하여 산정한 유효단면적의 합 (mm^2) = $A_g - \sum(b - b_e)t$				

세장한 양연지지판의 저감계수 Q_a






<세장한 양연지지판의 폭두께비에 대한 저감계수 Q_s 곡선>

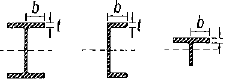
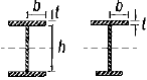
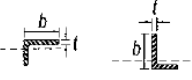
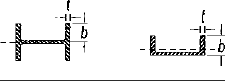

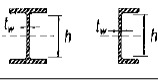
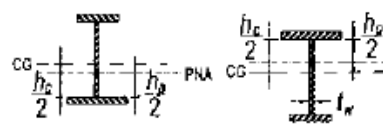

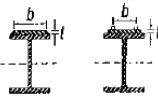




<세장한 양연지지판의 유효폭 b_e >

힘재 단면의 분류

단면의 형태	플랜지	웹	한계상태
 <p>2축대칭 H형강/ C형강</p>	조밀단면	조밀단면	항복(Y) 횡비틀림좌굴(LTB)
 <p>2축대칭 H형강</p>	비조밀단면 세장판단면	조밀단면	횡비틀림좌굴(LTB) 플랜지국부좌굴(FLB)
 <p>2축 및 1축대칭 H형강</p>	조밀단면 비조밀단면 세장판단면	조밀단면 비조밀단면	항복(Y) 횡비틀림좌굴(LTB) 플랜지국부좌굴(FLB) 인장플랜지항복(TFY)
 <p>2축 및 1축대칭 H형강</p>	조밀단면 비조밀단면 세장판단면	세장판단면	항복(Y) 횡비틀림좌굴(LTB) 플랜지국부좌굴(FLB) 인장플랜지항복(TFY)
 <p>약축힘을 받는 H형강 및 C형강</p>	조밀단면 비조밀단면 세장판단면	-	항복(Y) 플랜지국부좌굴(FLB)
 <p>각형강관</p>	조밀단면 비조밀단면 세장판단면	조밀단면 비조밀단면	항복(Y) 플랜지국부좌굴(FLB) 웹국부좌굴(WLB)
 <p>원형강관</p>	-	-	항복(Y) 국부좌굴(LB)
 <p>T형강 및 쌍 T형강</p>	조밀단면 비조밀단면 세장판단면	-	항복(Y) 횡비틀림좌굴(LTB) 플랜지국부좌굴(FLB)
 <p>단일 C형강</p>	-	-	항복(Y) 횡비틀림좌굴(LTB) 플랜지국부좌굴(FLB)
 <p>각형 또는 원형강봉</p>	-	-	항복(Y) 횡비틀림좌굴(LTB)
비대칭단면	-	-	모든 한계상태 포함

힘재 단면의 폭두께비 제한

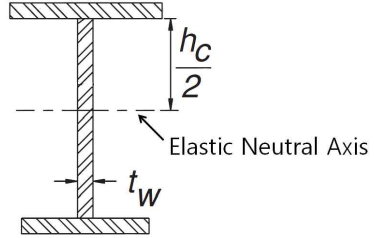
	관요소에 대한 설명	폭두께비	폭두께비 제한값		예
			λ_p (조밀/비조밀)	λ_r (비조밀/세장)	
자유단출판	① 압연H형강, C형강 및 T형강의 플랜지	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	② 2축 또는 1축 대칭인 용접H형강의 플랜지	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95\sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}^{1,2)}$	
	③ 단일 C형강의 다리	b/t	$0.54\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	④ 약축 힘을 받는 압연H형강, C형강의 플랜지	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	⑤ T형강의 플랜지	d/t	$0.84\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
압연지지판	① -2축 대칭H형강의 웨브 -C형강의 웨브	h/t_w	$3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	② 1축 대칭 H형강의 웨브	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54\frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_r$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	③ 균일한 두께를 갖는 각형강관과 박스의 플랜지	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	④ -플랜지 커버플레이트 -연결재 또는 용접선사양의 다이아프램 플레이트	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	⑤ 각형강관과 박스의 웨브	h/t	$2.42\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	⑥ 원형강관	D/t	$0.07\frac{E}{F_y}$	$0.31\frac{E}{F_y}$	

주1) $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$, 여기서 $0.35 \leq k_c \leq 0.76$

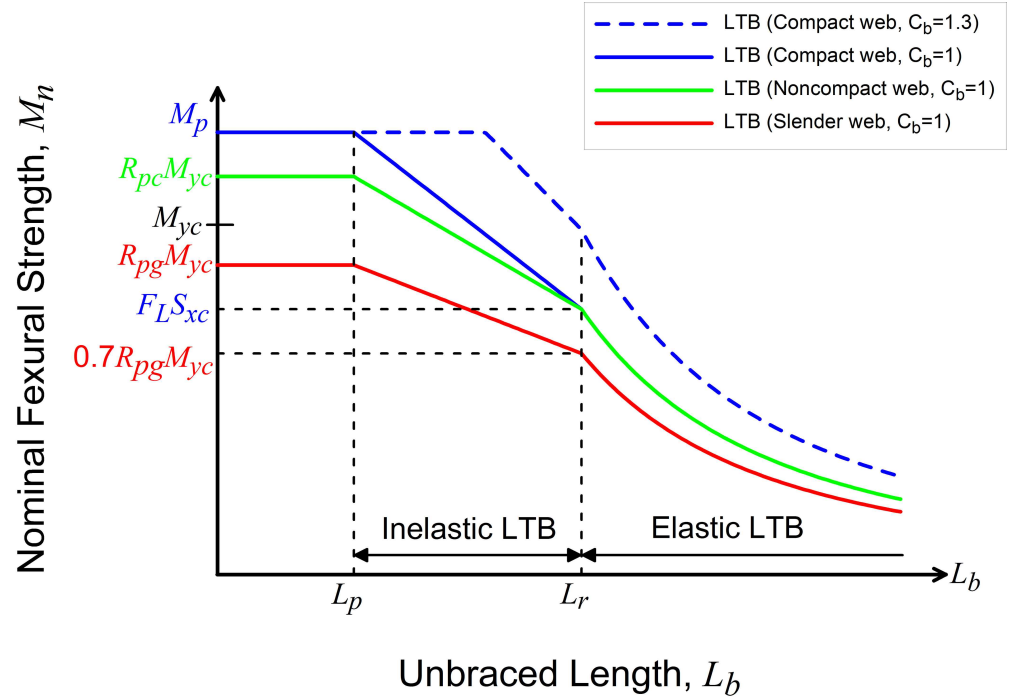
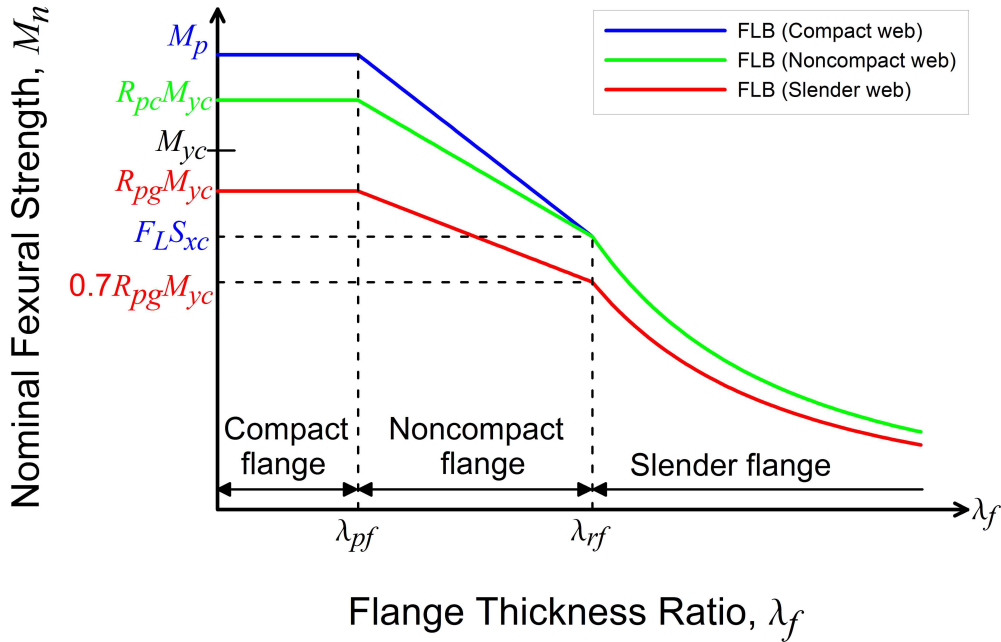
주2) $F_L = 0.7F_y$: 약축힘을 받는 경우, 웨브가 세장판단면인 용접H형강이 강축힘을 받는 경우, 그리고 조밀단면웨브 또는 비조밀단면웨브이고 $S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7$ 인 용접H형강이 강축힘을 받는 경우
 $F_L = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0.5F_y$: 조밀단면웨브 또는 비조밀단면웨브이고 $S_{xt}/S_{xc} < 0.7$ 인 용접H형강이 강축힘을 받는 경우

휨부재 설계식 $M_u \leq \phi_f M_n$ ($\phi_f = 0.9$)

H형강(강축힘을 받는)의 공칭휨강도 $M_n = \min \{\text{압축플랜지항복, 횡비틀림좌굴, 플랜지국부좌굴, 인장플랜지항복}\}$

한계상태	H형강(강축힘을 받는)의 공칭휨강도 M_n			
	$\lambda_w = h/t_w$ $\lambda_f = b_{fc}/2t_{fc}$ or L_b	$\lambda_w \leq \lambda_{pw}$	$\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rw}$	$\lambda_{rw} < \lambda_w \leq \lambda_{\max}$ (“AISC 플레이트거더“)
압축플랜지항복(Y)	$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$	$M_n = M_p$	$M_n = R_{pc} M_{yc} \leq M_p$	$M_n = R_{pg} M_{yc}$
플랜지국부좌굴(FLB)	$\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$	$M_n = \left[M_p - (M_p - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$	$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$	$M_n = R_{pg} \left[M_{yc} - (0.3 M_{yc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$
	$\lambda_f > \lambda_{rf}$	$M_n = \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda_f^2}$	$M_n = \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda_f^2}$	$M_n = R_{pg} \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda_f^2}$
횡비틀림좌굴(LTB)	$L_p < L_b \leq L_r$	$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - F_L S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$	$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc}$	$M_n = C_b R_{pg} \left[M_{yc} - (0.3 M_{yc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pg} M_{yc}$
	$L_b > L_r$	$M_n = F_{cr} S_{xc} \leq M_p$ 여기서, $F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2}$	$M_n = F_{cr} S_{xc} \leq R_{pc} M_{yc}$ 여기서, $F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2}$	$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$ 여기서, $F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \leq F_y$
인장플랜지항복(TFY)	$S_{xt} < S_{xc}$	$M_n = M_p$	$M_n = R_{pt} M_{yt} \leq M_p$	$M_n = M_{yt}$
비고				
	<p>- 2축대칭인 H형강 및 C형강의 $F_L S_{xc} = 0.7 F_y S_x$</p> <p>- 1축대칭인 H형강의 $F_L S_{xc} = \min \{0.7 F_y S_{xc}, F_y S_{xt}\}$</p> <p>- 1축대칭인 H형강 단면 치수 제한조건: $0.1 \leq I_{yc}/I_y \leq 0.9$, $A_w/A_{fc} \leq 10$</p> <p>- 압축플랜지 항복모멘트 $M_{yc} = F_{yc} S_{xc}$, 인장플랜지 항복모멘트 $M_{yt} = F_{yt} S_{xt}$</p>		<p>압축플랜지에 대한 웨브소성화계수</p> $R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{h_c/t_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}}$ <p>인장플랜지에 대한 웨브소성화계수</p> $R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{h_c/t_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}}$	
<p>휨강도 감소계수</p> $R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$ <p>보강재가 없는 경우: $\lambda_{\max} = 260$</p> <p>수직보강재가 있는 경우:</p> <p>① $a/h \leq 1.5$; $\lambda_{\max} = 12.0 \sqrt{E/F_y}$</p> <p>② $a/h > 1.5$; $\lambda_{\max} = 0.40 E/F_y$</p>				

H형강(강축힘을 받는)의 플랜지국부좌굴(FLB) 및 횡비틀림좌굴(LTB)에 대한 공칭휨강도 곡선



<H형강(강축힘을 받는)의 플랜지국부좌굴(FLB)에 대한 공칭휨강도 곡선>

<H형강(강축힘을 받는)의 횡비틀림좌굴(LTB)에 대한 공칭휨강도 곡선>

H형강 종류	웨브	L_p	L_r
1축 대칭 용접H형강	조밀 또는 비조밀 웨브	$L_p = 1.1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$L_r = 1.95r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc}h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E} \frac{S_{xc}h_o}{J} \right)^2}}$
	세장한 웨브		$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$
2축 대칭 용접H형강	비조밀 웨브	$L_p = 1.1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$L_r = 1.95r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc}h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E} \frac{S_{xc}h_o}{J} \right)^2}}$
	세장한 웨브		$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$
압연H형강	조밀 웨브	$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$L_r = 1.95r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E} \frac{S_x h_o}{J_c} \right)^2}}$

H형강 또는 ㄷ형강(약축힘을 받는), 각형강관, 원형강관의 공칭휨강도 $M_n = \min \{\text{항복, 플랜지국부좌굴, 웨브국부좌굴}\}$

한계상태	H형강 또는 ㄷ형강(약축힘을 받는), 각형강관, 원형강관의 공칭휨강도 M_n					
	약축힘을 받는 H형강 또는 ㄷ형강부재		각형강관		원형강관	
	폭두께비 조건	공칭휨강도 M_n	폭두께비 조건	공칭휨강도 M_n	폭두께비 조건	공칭휨강도 M_n
항복(Y)	$\lambda \leq \lambda_p$	$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$	$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$, $\lambda_w \leq \lambda_{pw}$	$M_n = M_p = F_y Z$	$\lambda \leq \lambda_p$	$M_n = M_p = F_y Z$
플랜지국부좌굴 (FLB)	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$	$\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$	$M_n = M_p - (M_p - F_y) \left(3.57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \leq M_p$	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	$M_n = \left(\frac{0.021 E}{\left(\frac{D}{t} \right) + F_y} \right) S$
	$\lambda > \lambda_r$	$M_n = \frac{0.69 E S_y}{\lambda^2}$	$\lambda_f > \lambda_{rf}$	$M_n = F_y S_{eff}$	$\lambda > \lambda_r$	$M_n = \frac{0.33 E}{\left(\frac{D}{t} \right)} S$
웨브국부좌굴 (WLB)	-	-	$\lambda_{pw} < \lambda_w \leq \lambda_{rw}$	$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) \left(0.305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p$	-	-
비고	- H형강: $\lambda = b_f / 2t_f$ - ㄷ형강: $\lambda = b / t_f$		- $\lambda_f = b / t_f$ - $\lambda_w = h / t$ - S_{eff} : 압축플랜지의 유효폭 b_e 에 대한 유효단면계수 $b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b$		- $D/t \leq \frac{0.45E}{F_y}$ - $\lambda = D/t$	

T형강 및 쌍꺾형강의 공칭휨강도 $M_n = \min \{\text{항복, 플랜지국부좌굴, 스템국부좌굴, 횡비틀림좌굴}\}$

한계상태	T형강 및 쌍꺾형강의 공칭휨강도 M_n	
	폭두께비 조건	공칭휨강도 M_n
항복(Y)	인장을 받는 스템	$M_n = M_p = F_y Z_x \leq 1.6 M_y$
	압축을 받는 스템	$M_n = M_p = F_y Z_x \leq M_y$
플랜지국부좌굴(FLB)	$\lambda_{pf} < b_f/2t_f \leq \lambda_{rf}$	$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq 1.6 M_y$
	$b_f/2t_f > \lambda_{rf}$	$M_n = \frac{0.7 E S_{xc}}{\lambda^2}$
스템국부좌굴(SLB)	$d/t_w \leq \lambda_{ps}$	$M_n = F_y S_x$
	$\lambda_{ps} < d/t_w \leq \lambda_{rs}$	$M_n = \left[2.25 - 1.84 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] F_y S_x$
	$d/t_w > \lambda_{rs}$	$F_{cr} = \frac{0.69 E}{\left(\frac{d}{t_w} \right)^2}$
횡비틀림좌굴(LTB)	-	$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y G J}}{L_b} [B + \sqrt{1 + B^2}]$
비고		$B = \pm 2.3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}}$

단일 ㄱ형강의 공칭휨강도 $M_n = \min$ {항복, 플랜지국부좌굴, 다리국부좌굴, 횡비틀림좌굴}

한계상태	단일 ㄱ형강의 공칭휨강도 M_n		탄성횡비틀림좌굴모멘트 M_e
	한계상태 조건	공칭휨강도 M_n	
항복(Y)	$b/t \leq \lambda_p$	$M_n = 1.5M_y$	① 횡비틀림지지 없는 등변 ㄱ형강의 경우 • 형강의 다리 끝부분이 최대압축을 받는 경우 $M_e = \frac{0.66Eb^4tC_b}{L^2} \left[\sqrt{1 + 0.78\left(\frac{L_b t}{b^2}\right)^2} - 1 \right]$ • 형강의 다리 끝부분이 최대인장을 받는 경우 $M_e = \frac{0.66Eb^4tC_b}{L^2} \left[\sqrt{1 + 0.78\left(\frac{L_b t}{b^2}\right)^2} + 1 \right]$ (M_y 는 계산된 항복모멘트에 0.8배를 곱한 값을 취함)
다리국부좌굴(FLB)	$\lambda_p < b/t \leq \lambda_r$	$M_n = F_y S_c \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right)$	
	$b/t > \lambda_r$	$M_n = \frac{0.71E}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} S_c$	② 최대모멘트가 발생한 위치에만 횡비틀림지지 되어 있는 경우 • 형강의 다리 끝부분이 최대압축을 받는 경우 $M_e = \frac{0.66Eb^4tC_b}{L^2} \left[\sqrt{1 + 0.78\left(\frac{L_b t}{b^2}\right)^2} - 1 \right] \times 1.25$ • 형강의 다리 끝부분이 최대인장을 받는 경우 $M_e = \frac{0.66Eb^4tC_b}{L^2} \left[\sqrt{1 + 0.78\left(\frac{L_b t}{b^2}\right)^2} + 1 \right] \times 1.25$
횡비틀림좌굴(LTB)	$M_e \leq M_y$	$M_n = \left(0.92 - \frac{0.17M_e}{M_y} \right) M_e$	
	$M_e > M_y$	$M_n = \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \right) M_y \leq 1.5M_y$	④ 부등변 ㄱ형강이 강축에 힘을 받는 경우 $M_e = \frac{4.9E I_z C_b}{L_b^2} \left[\sqrt{\beta_w^2 + 0.052 \left(\frac{L_b t}{r_z} \right)^2} + \beta_w \right]$

각형강봉 공칭휨강도 $M_n = \min \{\text{항복, 횡비틀림좌굴}\}$

한계상태	각형강봉 공칭휨강도 M_n	
	한계상태 조건	공칭휨강도 M_n
항복(Y)	강축힘, $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y}$	$M_n = M_p = F_y Z_x \leq 1.6M_y$
	약축힘	
횡비틀림좌굴(LTB)	강축힘, $\frac{0.08E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y}$	$M_n = C_b \left[1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p$
	강축힘, $\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y}$	$M_n = \frac{1.9E C_b}{\frac{L_b d}{t^2}} S_x \leq M_p$

원형강봉 공칭휨강도 M_n

한계상태	원형강봉 공칭휨강도 M_n
항복(Y)	$M_n = M_p = F_y Z_x \leq 1.6M_y$

전단 설계식 $V_u \leq \phi_v V_n$

공칭전단강도 V_n

강도저항계수 ϕ_v

구분	강도저항계수 ϕ_v
$h/t_w \leq 2.24 \sqrt{E/F_y}$ 인 압연H형강	$\phi_v = 1.0$
이 외의 모든 단면	$\phi_v = 0.9$

공칭전단강도 V_n (원형강관 제외)

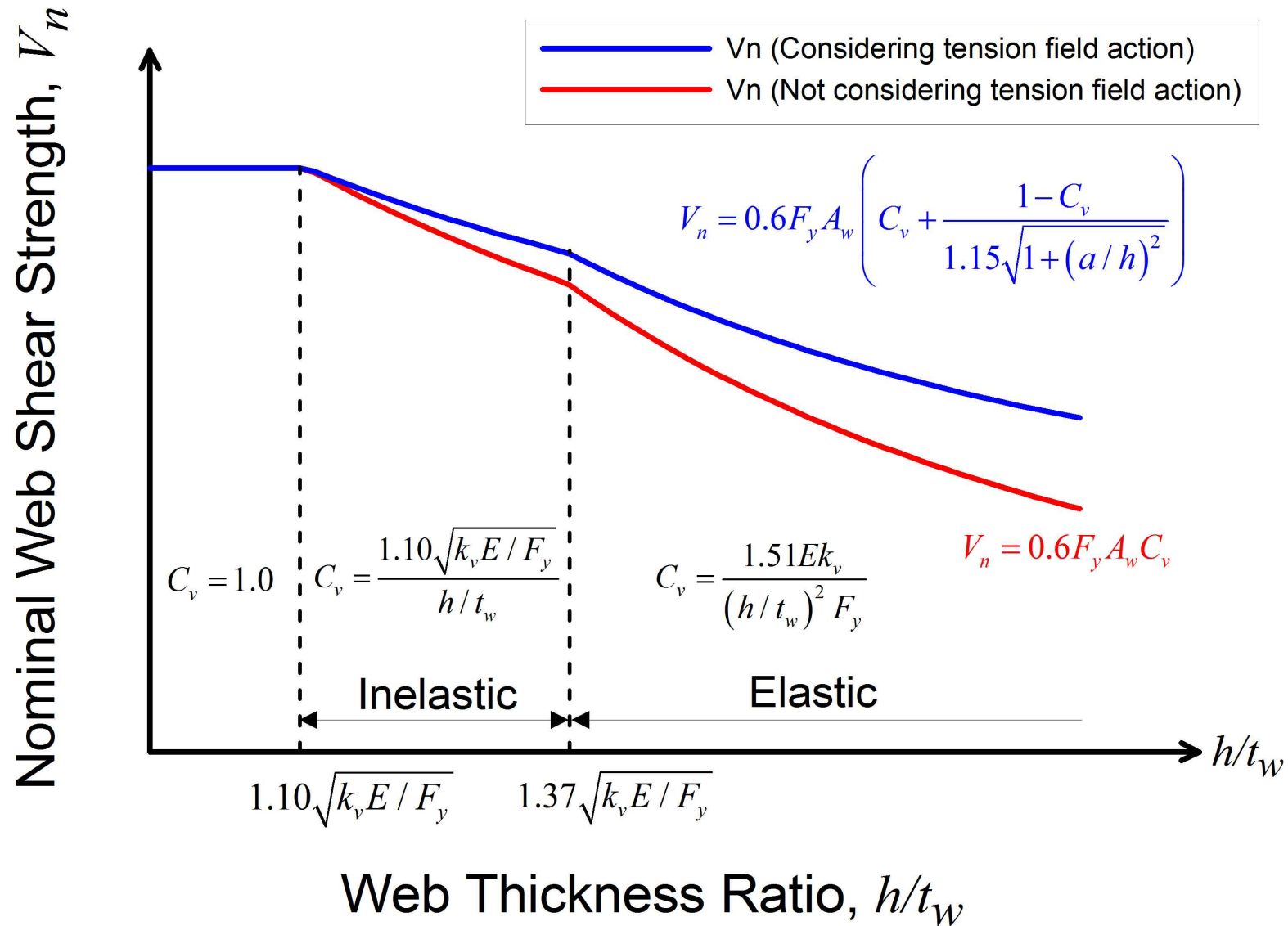
웨브의 폭두께비 제한조건	공칭전단강도 V_n		전단상수 C_v
	인장역작용을 미고려시	인장역작용을 고려시	
$h/t_w \leq 1.10 \sqrt{k_v E/F_y}$	$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$	$V_n = 0.6 F_y A_w$	$C_v = 1.0$
$1.10 \sqrt{k_v E/F_y} < h/t_w \leq 1.37 \sqrt{k_v E/F_y}$	$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$	$V_n = 0.6 F_y A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right)$	$C_v = \frac{1.10 \sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w}$
$h/t_w > 1.37 \sqrt{k_v E/F_y}$ ("AISC 플레이트거더")	$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$	$V_n = 0.6 F_y A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right)$	$C_v = \frac{1.51 E k_v}{(h/t_w)^2 F_y}$
웨브판좌굴계수 k_v	수직보강재가 없고 $h/t_w < 260$ 인 경우	T형강 스템, 단일 Γ 형강; $k_v = 1.2$ 이 외의 모든 단면의 웨브; $k_v = 5$	
	수직보강재가 있는 경우	$a/h > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$ 또는 $a/h > 3.0$ 경우; $k_v = 5$ 이외의 모든 단면의 웨브; $k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$	
비고	- 웨브의 단면적 $A_w = dt_w$: (부재의 총 깊이×웨브의 두께); 단일 Γ 형강의 경우 $A_w = bt$; 각형강관 및 상자형단면의 경우 $A_w = 2ht$ - 단일 Γ 형강의 폭두께비 b/t ; 각형강관 및 상자형단면의 폭두께비 h/t - 인장역작용 고려하기 위해 만족해야할 조건: ① $a/h \leq \min \left\{ \left(\frac{260}{h/t_w} \right), 3.0 \right\}$, ② $\frac{2A_w}{A_{fc} + A_{ft}} \leq 2.5$, ③ $h/b_f \leq 6.0$		

공칭전단강도 V_n (원형강관, Round HSS)

$$V_n = F_{cr} A_g / 2$$

$$F_{cr} = \min \left\{ \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^4}}, \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t} \right)^2} \right\} \leq 0.6 F_y$$

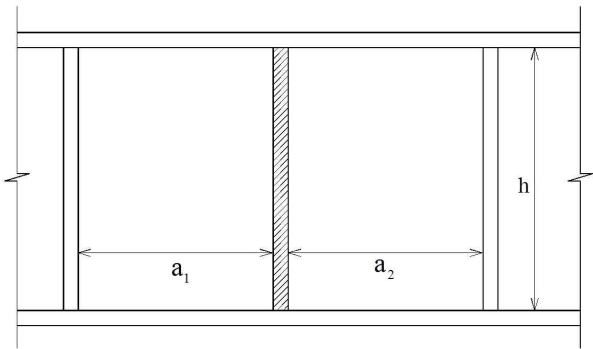
여기서, D : 원형강관의 외경, t : 원형강관의 두께



<웨브의 폭두께비에 따른 공칭전단강도 곡선>

수직보강재 요구조건

수직보강재 요구조건	
인장역작용 고려하지 않음	$I_{st} \geq bt_w^3 j$
인장역작용 고려	① $I_{st} \geq bt_w^3 j$ ② $(b/t)_{st} \leq 0.56 \sqrt{E/F_{yst}}$ ③ $I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_r - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right]$



<수직보강재가 설치된 플레이트거더 측면도>

- 수직보강재 단면2차모멘트 I_{st} : ① 단일판보강재 $I_{st} = \frac{b_{st}^3 t_{st}}{12}$, ② 양면보강재 $I_{st} = \frac{(2b_{st})^3 t_{st}}{12}$

- $b = \min\{a, h\}$

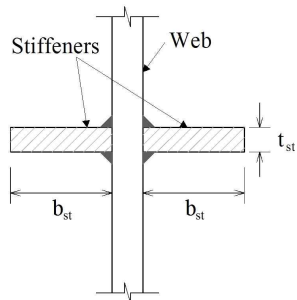
- $a = \min\{a_1, a_2\}$

- $j = \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0.5$

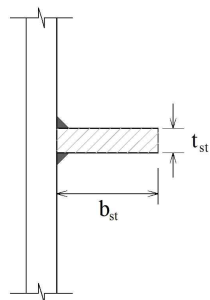
- $I_{st1} = bt_w^3 j$

- $I_{st2} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1.3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5}$

- $\rho_{st} = \max\{F_{yw}/F_{yst}, 1\}$



<양면 보강재>



<단일 판보강재>

- V_r : 수직보강재의 인접한 웹 패널에 작용하는 소요전단강도 중 큰 값

- V_{c1} : 수직보강재의 인접한 웹 패널들의 인장역작용을 고려하지 않은 설계전단강도($\phi_v V_n$) 중 작은 값

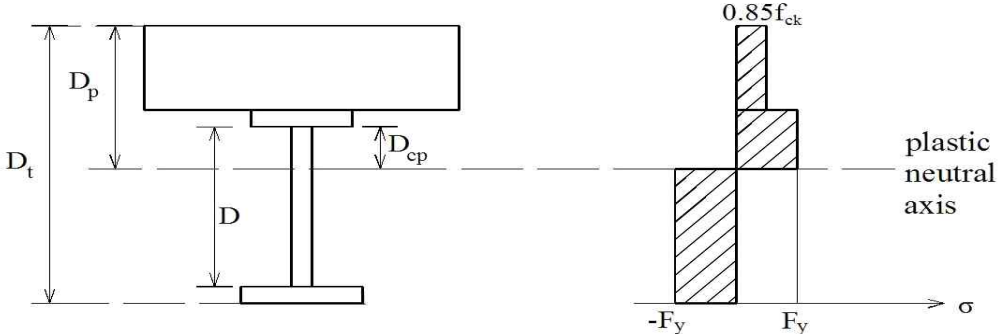
- V_{c2} : 수직보강재의 인접한 웹 패널들의 인장역작용을 고려한 설계전단강도($\phi_v V_n$) 중 작은 값

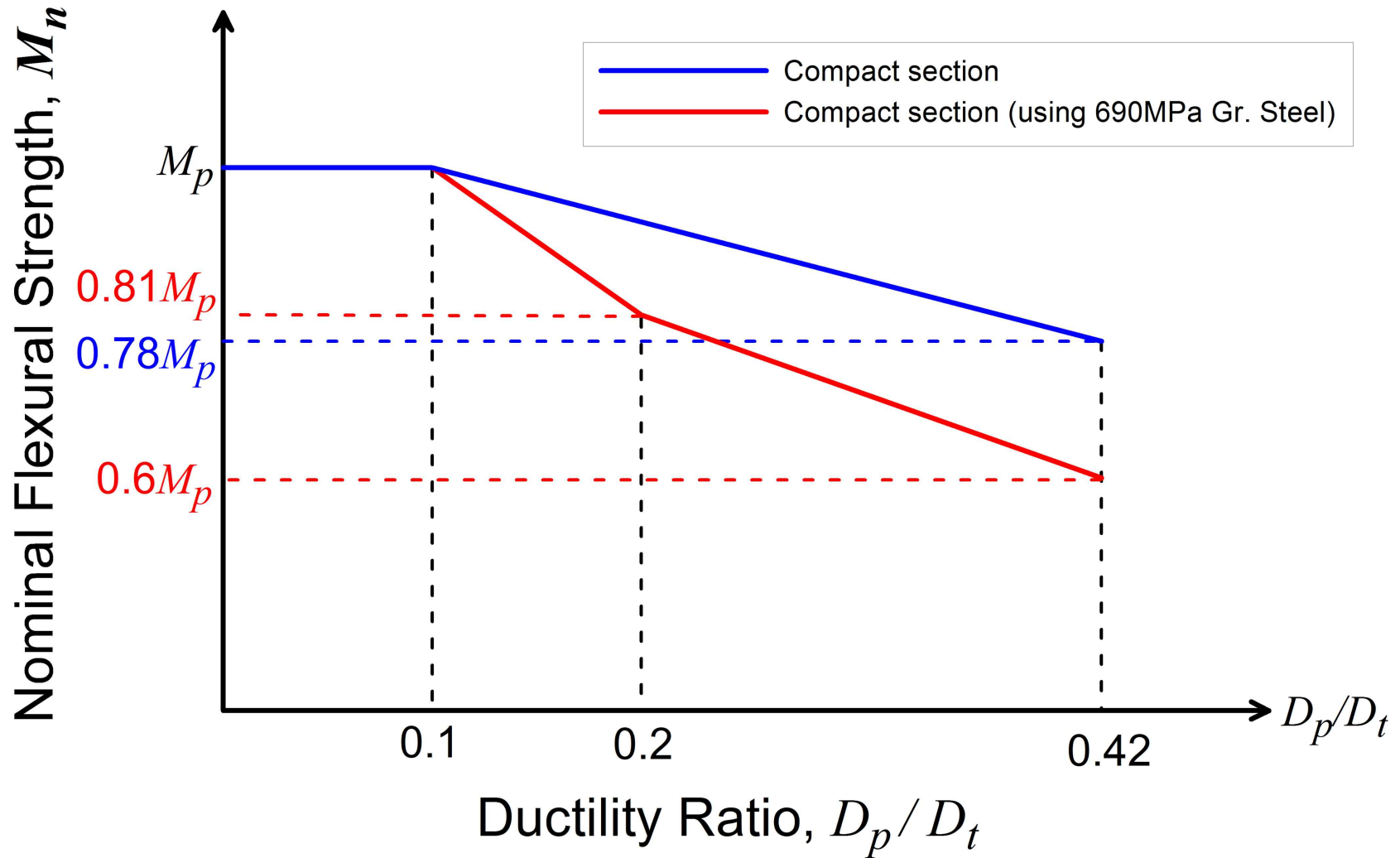
플레이트거더 정모멘트부 합성단면 설계식

- 조밀단면 설계식: $M_u + \frac{1}{3}f_l S_{xt} \leq \phi_f M_n$ ($\phi_f = 0.9$)
- 비조밀단면의 설계식: ① 압축플랜지; $f_{bu} \leq \phi_f F_{nc}$, ② 인장플랜지; $f_{bu} + \frac{1}{3}f_l \leq \phi_f F_{nt}$ ($\phi_f = 0.9$)

모멘트 단면	정모멘트부	부모멘트부
합성		
비합성		

플레이트거더(정모멘트부) 합성단면 공칭휨강도 M_n 또는 F_n

단면	플레이트거더(정모멘트부) 합성단면 공칭휨강도 M_n 또는 F_n	비고
조밀단면	① $\frac{D_p}{D_t} \leq 0.1$; $M_n = M_p$ ② $0.1 < \frac{D_p}{D_t} \leq 0.42$; $M_n = M_p(1.07 - 0.7\frac{D_p}{D_t})$ 연속교의 경우 $M_n \leq 1.3R_h M_y$	① 조밀단면이나 비조밀단면은 연성요구조건인 $D_p \leq 0.42D_t$ 를 만족해야함 ② 조밀단면 조건 • 플랜지의 최소항복강도 $F_{yf} \leq 455\text{MPa}$ (AASHTO 조건식) (“강구조설계기준(2014)”에서는 $F_{yw}/F_{yf} \geq 0.65$ 이면, $F_y = 690\text{MPa}$ 강재도 허용) • 수평보강재가 없는 웨브: $\frac{D}{t_w} \leq 150$ 수평보강재가 있는 웨브: $\frac{D}{t_w} \leq 300$ • 웨브세장비한계를 만족하는 단면: $\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$
조밀단면 ($F_y = 690\text{MPa}$ 강재)	① $\frac{D_p}{D_t} \leq 0.1$; $M_n = M_p$ ② $0.1 < \frac{D_p}{D_t} \leq 0.2$ $M_n = M_p(1.19 - 0.19\frac{D_p}{D_t})$ ③ $0.2 < \frac{D_p}{D_t} \leq 0.42$ $M_n = M_p(1.0 - 0.95\frac{D_p}{D_t})$ 연속교의 경우 $M_n \leq 1.3R_h M_y$	f_l : 인장플랜지 횡방향(lateral) 휨응력 f_{bu} : 플랜지의 횡방향(lateral) 휨응력을 고려하지 않고 계산한 플랜지 응력 F_{yc} , F_{yt} : 압축플랜지 항복응력, 인장플랜지 항복응력 S_{xt} : 인장플랜지의 강축에 대한 탄성단면계수 M_{yt}/F_{yt}
비조밀단면	압축플랜지 $F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$ 여기서, R_b : 플랜지 응력감소계수(웨브의 국부좌굴에 따른) = AISC 휨강도 감소계수 R_{pg} R_h : 플랜지 응력감소계수(하이브리드단면의) $= \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta}$	
	인장플랜지 $F_{nt} = R_h F_{yt}$	



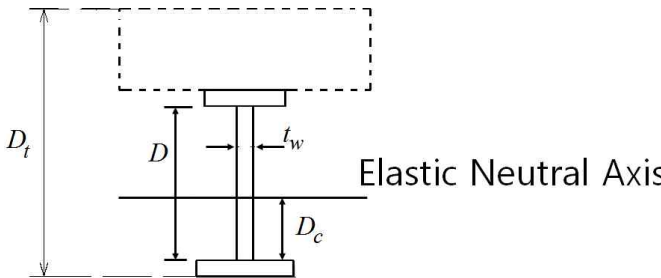
<플레이트거더(합성단면) 조밀단면 정모멘트부의 연성비에 대한 공칭휨강도 곡선>

플레이트거더(부모멘트부) 합성단면과 (정 또는 부모멘트부) 비합성단면 설계식

- 압축플랜지 설계식: ① 불연속 횡지지: $f_{bu} + \frac{1}{3}f_l \leq \phi_f F_{nc}$, ② 연속적인 횡지지: $f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yc}$ ($\phi_f = 0.9$)
- 인장플랜지 설계식: ① 불연속 횡지지: $f_{bu} + \frac{1}{3}f_l \leq \phi_f F_{nt}$, ② 연속적인 횡지지: $f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yt}$ ($\phi_f = 0.9$)

모멘트 단면	정모멘트부	부모멘트부
합성		
비합성		

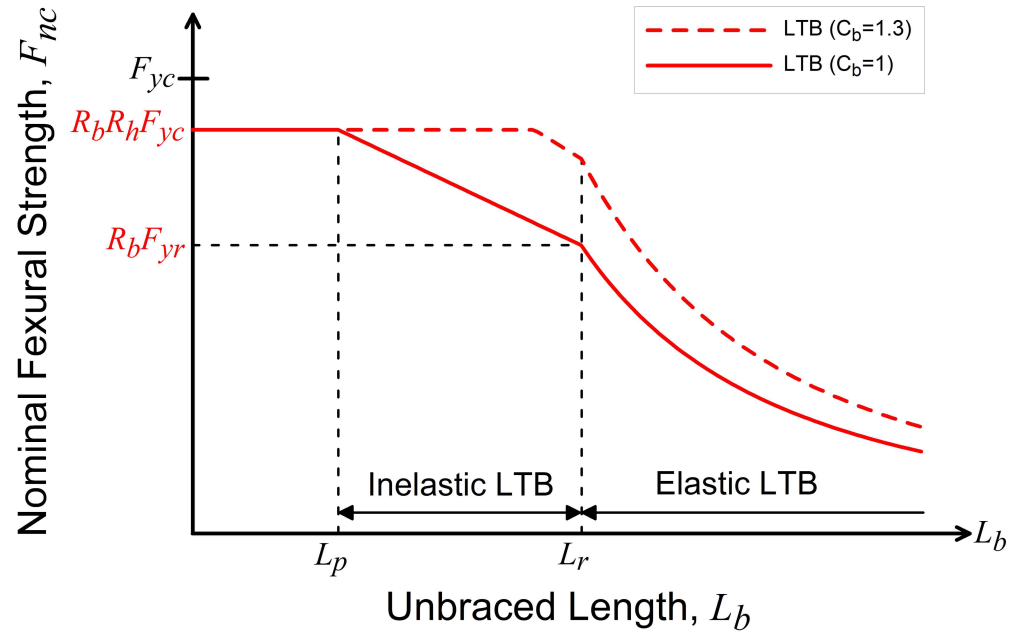
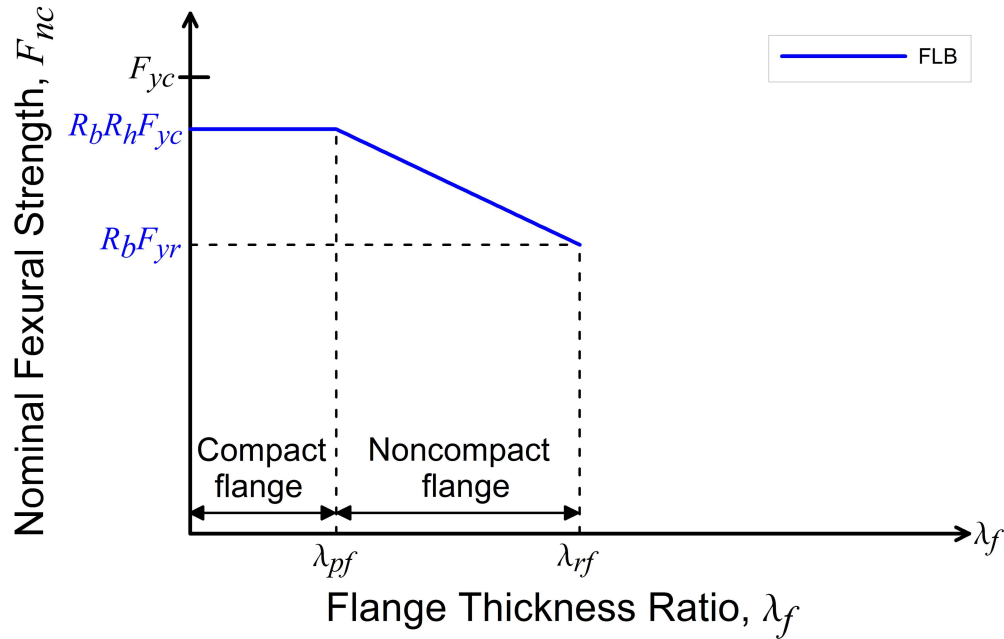
플레이트거더(부모멘트부) 합성단면과 비합성단면 공칭휨강도 F_n

플랜지	플레이트거더(부모멘트부) 합성단면과 (정 또는 부모멘트부) 비합성단면 공칭휨강도 F_n	비고
압축플랜지(F_{nc})	<p>압축플랜지 휨저항강도 $F_{nc} = \min\{\text{압축플랜지 국부좌굴, 횡비틀림좌굴}\}$</p> <p>① 압축플랜지 국부좌굴(FLB)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 조밀플랜지($\lambda_f \leq \lambda_{pf}$): $F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$ • 비조밀플랜지($\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$): $F_{nc} = [1 - (1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}})(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}})] R_b R_h F_{yc}$ <p>② 횡비틀림좌굴(LTB)</p> <ul style="list-style-type: none"> • $L_b \leq L_p$: $F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$ • $L_p < L_b \leq L_r$: $F_{nc} = C_b [1 - (1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}})(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p})] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$ • $L_b > L_r$: $F_{nc} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{(L_b/r_t)^2} \leq R_b R_h F_{yc}$ 	<p>공칭휨강도식을 적용하기 위한 조건</p> <ul style="list-style-type: none"> • 플랜지의 최소항복강도 $F_{yf} \leq 455\text{MPa}$ • 수평보강재가 없는 웨브: $\frac{D}{t_w} \leq 150$ • 수평보강재가 있는 웨브: $\frac{D}{t_w} \leq 300$ • 웨브세장비한계를 만족하는 단면, 즉 $\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$ • 플랜지는 $\frac{b_f}{2t_f} \leq 12.0$, $b_f \geq D/6$, $t_f \geq 1.1t_w$, $\frac{I_{yc}}{I_{yt}} \geq 0.3$
인장플랜지(F_{nt})	인장플랜지 휨저항강도 $F_{nt} = R_h F_{yt}$	

$$R_b: \text{플랜지 응력감소계수(웨브의 국부좌굴에 따른)} = \text{AISC 휨강도 감소계수 } R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{2D_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$R_h: \text{플랜지 응력감소계수(하이브리드단면의)} = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta}$$

압축플랜지 공칭휨강도 F_{nc} - 플레이트거더(부모멘트부) 합성단면과 (정 또는 부모멘트부) 비합성단면



<압축플랜지 국부좌굴(FLB)에 대한 폭두께비에 따른 공칭휨강도 곡선>

<횡비틀림좌굴(LTB)에 대한 비지지길이에 따른 공칭휨강도 곡선>

λ_f	λ_{pf}	λ_{rf}
$\frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$ 여기서 $F_{yr} = 0.7F_y$

- $F_{yc} \leq 620\text{MPa}$ 강재인 경우, $b_f/2t_f \leq 12.0$ 을 만족하면, 플레이트거더 플랜지는 비세장플랜지($\lambda_f \leq \lambda_{rf}$)임

- $F_{yc} = 690\text{MPa}$ 강재인 경우, $b_f/2t_f \leq 12.0$ 를 만족하고 세장플랜지($\lambda_f > \lambda_{rf}$)인 경우, 비조밀 압축플랜지($\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$)의 국부좌굴(FLB) 공칭휨강도식 사용

L_p	L_r	비고
$1.0r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$	$\pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$ 여기서, $F_{yr} = 0.7F_y$	$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}}$

AASHTO 플레이트거더 vs. **AISC** 플레이트거더

설계기준	비지지길이 한계		플랜지 폭두께비 한계		플랜지 국부좌굴계수	비고
	L_p	L_r	λ_{pf}	λ_{rf}	k_c	
AASHTO	$1.1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.6 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$	$k_c = 0.35$	플랜지 $b_f/2t_f \leq 12.0$ 를 만족해야함
AISC	$1.0r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ ($0.35 \leq k_c \leq 0.76$)	$F_L = F_{yr} = 0.7F_y$ $k_c = 0.35$ 이면, $0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}} \Rightarrow 5.6 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$

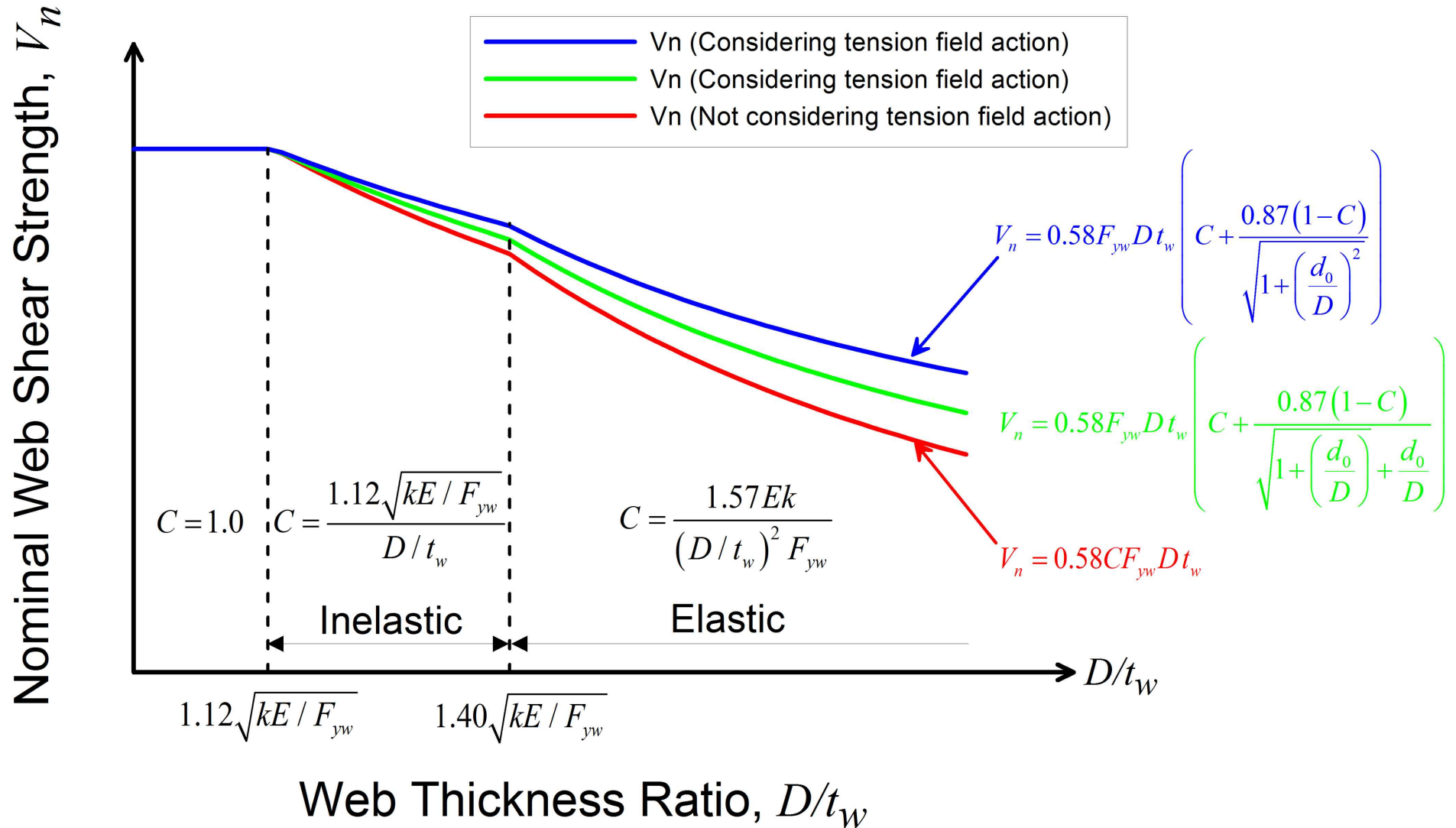
AASHTO 플레이트거더 합성단면(부모멘트부), 비합성단면 공칭휨강도 vs. **AISC** 플레이트거더 공칭휨강도

한계상태	λ_w $\lambda_f = b_{fc}/2t_{fc}$ or L_b	“AASHTO 플레이트거더” 비세장한(조밀 또는 비조밀) 웨브 ($2D_c/t_w < 5.7 \sqrt{E/F_{yw}}$, $D/t_w < \lambda_{max}$)	“AISC 플레이트거더” 세장한 웨브 ($\lambda_{rw} < h/t_w \leq \lambda_{max}$)
압축플랜지항복(Y)	$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$	$F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$ $M_{nc} = F_{nc} S_{xc} = R_b R_h M_{yc}$	$M_n = R_{pg} M_{yc}$
플랜지국부좌굴(FLB)	$\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$	$F_{nc} = [1 - (1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}})(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}})] R_b R_h F_{yc}$ $M_{nc} = F_{nc} S_{xc} = R_b [R_h M_{yc} - (R_h M_{yc} - 0.7 M_{yc})(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}})]$	$M_n = R_{pg} \left[M_{yc} - (0.3 M_{yc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$
	$\lambda_f > \lambda_{rf}$	해당없음	$M_n = R_{pg} \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda_f^2}$
횡비틀림좌굴(LTB)	$L_p < L_b \leq L_r$	$F_{nc} = C_b [1 - (1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}})(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p})] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$ $M_{nc} = F_{nc} S_{xc} = C_b R_b [R_h M_{yc} - (R_h M_{yc} - 0.7 M_{yc})(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p})] \leq R_b R_h M_{yc}$	$M_n = C_b R_{pg} \left[M_{yc} - (0.3 M_{yc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pg} M_{yc}$
	$L_b > L_r$	$F_{nc} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{(L_b/r_t)^2} \leq R_b R_h F_{yc}$ $M_{nc} = F_{nc} S_{xc} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{(L_b/r_t)^2} S_{xc} \leq R_b R_h M_{yc}$	$M_n = \frac{C_b R_{pg} \pi^2 E}{(L_b/r_t)^2} S_{xc} \leq R_{pg} M_{yc}$
인장플랜지항복(TFY)	$S_{xt} < S_{xc}$	$F_{nt} = R_h F_{yt}$ $M_{nt} = F_{nt} S_{xt} = R_h M_{yt}$	$M_n = M_{yt}$
비고	$R_b = R_{pg}$ 이므로, $R_h = 1.0$ 일 때 두 식은 동일함		
	① 수평보강재가 없는 경우: $\lambda_{max} = 150$ ② 수평보강재가 있는 경우: $\lambda_{max} = 300$	① 수직보강재가 없는 경우: $\lambda_{max} = 260$ ② 수직보강재가 있는 경우: • $a/h \leq 1.5$; $\lambda_{max} = 12.0 \sqrt{E/F_y}$ • $a/h > 1.5$; $\lambda_{max} = 0.40 E/F_y$	

플레이트거더 전단 설계식 $V_u \leq \phi_v V_n$ ($\phi_v = 0.9$)

플레이트거더 공칭전단강도 V_n

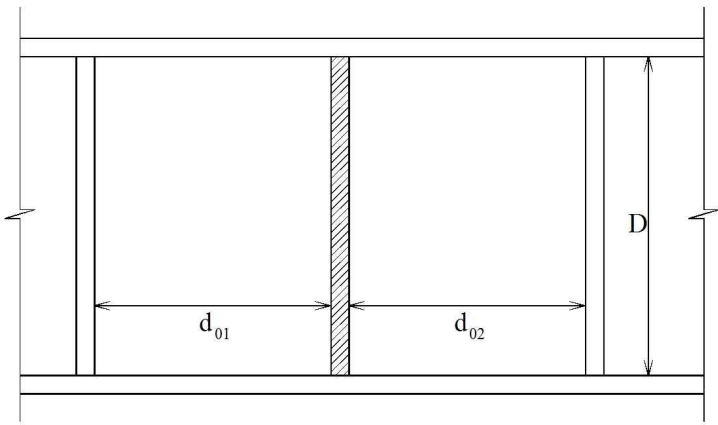
	플레이트거더 공칭전단강도 V_n	전단좌굴응력비 C
비보강 웹	$V_n = 0.58 C F_{yw} D t_w$	① $\frac{D}{t_w} < 1.12 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$; $C = 1.0$
보강웹 내측패널	<p>① $\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$;</p> $V_n = 0.58 F_{yw} D t_w \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right]$ <p>② $\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} > 2.5$;</p> $V_n = 0.58 F_{yw} D t_w \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2 + \frac{d_0}{D}}} \right]$	<p>② $1.12 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$; $C = \frac{1.12}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$</p> <p>③ $\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$; $C = \frac{1.57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{E k}{F_{yw}}\right)$</p> <p>전단좌굴계수 $k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2}$</p>
보강웹 단부패널	$V_n = 0.58 C F_{yw} D t_w$	



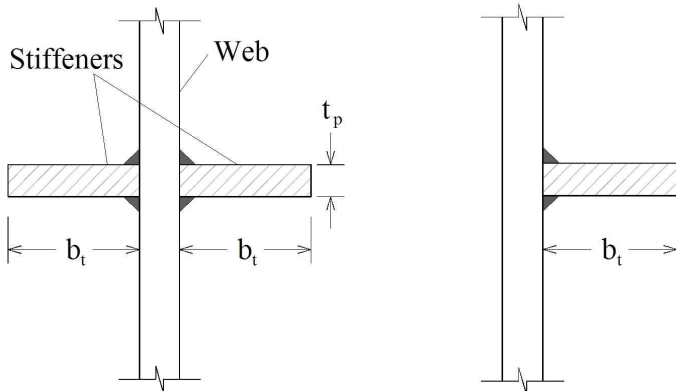
<웨브의 폭두께비에 따른 공칭전단강도 곡선>

플레이트거더 수직보강재 요구조건

		플레이트거더 수직보강재 요구조건
수직보강재 돌출폭 b_t		① $b_t \geq 50 + \frac{D}{30}$ (mm) ② $b_f/4 \leq b_t \leq 16t_p$
단면2차모멘트 I_t	인장역작용 고려하지 않는 경우	$I_t \geq \min\{I_{t1}, I_{t2}\}$
	인장역작용 고려하는 경우	① $I_{t2} \geq I_{t1}$ 인 경우; $I_t \geq I_{t1} + (I_{t2} - I_{t1}) \left(\frac{V_u - \phi_v V_{cr}}{\phi_v V_n - \phi_v V_{cr}} \right)$ ② 그 밖의 경우; $I_t \geq I_{t2}$



<수직보강재가 설치된 플레이트거더 측면도>



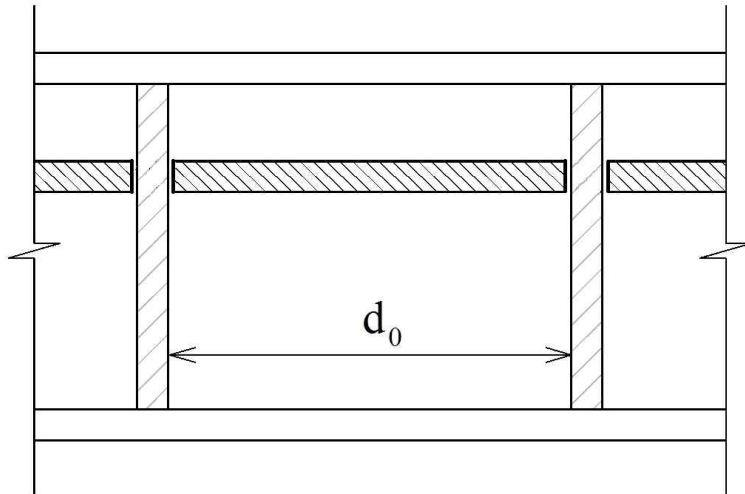
<양면보강재>

<단일판보강재>

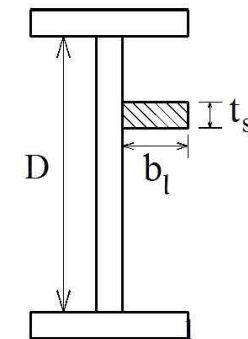
- 수직보강재의 단면2차모멘트 I_t : ① 단일판보강재; $I_t = b_t^3 t_p / 12$, ② 양면보강재; $I_t = (2b_t)^3 t_p / 12$
- $I_{t1} = b t_w^3 J$
- $I_{t2} = \frac{D^4 \rho_t^{1.3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5}$
- $b = \min\{d_0, D\}$
- $J = \frac{2.5}{(d_0/D)^2} - 2.0 \geq 0.5$
- $d_0 = \min\{d_{01}, d_{02}\}$
- $\rho_t = \max\{F_{yw}/F_{crs}, 1\}$
- $F_{crs} = \frac{0.31E}{(b_t/t_p)^2} \leq F_{ys}$
- F_{ys} : 보강재의 설계항복강도
- V_u : 수직보강재의 인접한 웹 패널에 작용하는 소요전단강도 중 큰 값
- $\phi_v V_n$: 수직보강재의 인접한 웹 패널들의 인장역작용을 고려한 설계전단강도 중 작은 값
- $\phi_v V_{cr}$: 수직보강재의 인접한 웹 패널들의 인장역작용을 고려하지 않은 설계전단강도 중 작은 값
- 수평보강재가 있는 경우, 추가적으로 $I_t \geq \left(\frac{b_t}{b_l}\right) \left(\frac{D}{3.0d_0}\right) I_l$ 만족해야 함
- b_l : 수평보강재의 돌출폭

플레이트거더 수평보강재 요구조건

플레이트거더 수평보강재 요구조건	
수평보강재의 힘응력 f_s	$f_s \leq \phi_f R_h F_{ys}$
수평보강재 돌출폭 b_l	$b_l \leq 0.48 t_s \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$
단면2차모멘트 I_l	$I_l \geq D t_w^3 \left[2.4 \left(\frac{d_0}{D} \right)^2 - 0.13 \right] \beta, \quad I_l = \frac{t_s b_l^3}{12}$
회전반경 r	$r \geq \frac{0.16 d_0 \sqrt{\frac{F_{ys}}{E}}}{\sqrt{1 - 0.6 \frac{F_{yc}}{R_h F_{ys}}}}$
비고	- 곡률보정계수 β : ① 수평보강재가 곡률중심의 반대편 웨브면에 설치된 경우; $\beta = \frac{Z}{6} + 1$ ② 수평보강재가 곡률중심 쪽 웨브면에 설치된 경우; $\beta = \frac{Z}{12} + 1$ - 곡률인자 $Z = \frac{0.95 d_0^2}{R t_w} \leq 10$, R : 판넬 내부의 거더의 최소반경



<수평보강재가 설치된 플레이트거더 측면도>



<수평보강재의 돌출된 폭과 두께>

박스거더(정모멘트부) 설계식

- 조밀단면 설계식: $M_u + \frac{1}{3}f_l S_{xt} \leq \phi_f M_n$ ($\phi_f = 0.9$)
- 비조밀단면의 설계식: ① 압축플랜지; $f_{bu} \leq \phi_f F_{nc}$, ② 인장플랜지; $f_{bu} \leq \phi_f F_{nt}$ ($\phi_f = 0.9$)

박스거더(정모멘트부) 공칭휨강도 M_n 또는 F_n

단면		박스거더(정모멘트부) 공칭휨강도 M_n 또는 F_n	비고
조밀단면		① $\frac{D_p}{D_t} \leq 0.1$; $M_n = M_p$ ② $0.1 < \frac{D_p}{D_t} \leq 0.42$; $M_n = M_p(1.07 - 0.7\frac{D_p}{D_t})$ 연속교의 경우 $M_n \leq 1.3R_h M_y$	① 조밀단면이나 비조밀단면은 연성요구조건인 $D_p \leq 0.42D_t$ 를 만족해야함 ② 조밀단면 조건 • 플랜지의 최소항복강도 $F_{yf} \leq 455(\text{MPa})$ • 수평보강재가 없는 웨브: $\frac{D}{t_w} \leq 150$ 수평보강재가 있는 웨브: $\frac{D}{t_w} \leq 300$ • 웨브세장비한계를 만족하는 단면, 즉, $\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$
비조밀단면	압축플랜지	① U형단면 박스; $F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$ ② 폐단면 박스; $F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \Delta$	$\Delta = \sqrt{1 - 3\left(\frac{f_v}{F_{yt}}\right)^2}$ $f_v =$ 계수하중에 의한 플랜지의 순수비틀림 전단응력 $= \frac{T}{2A_0 t_{fc}} \text{ 또는 } \frac{T}{2A_0 t_{ft}} \text{ (MPa)}$ A_0 : 박스거더단면의 폐합단면적 (mm^2) T : 계수하중에 의한 내부비틀림모멘트 ($\text{N}\cdot\text{mm}$)
	인장플랜지	폐단면 박스와 U형단면 박스; $F_{nt} = R_h F_{yt} \Delta$	

박스거더(부모멘트부) 설계식: ① 압축플랜지; $f_{bu} \leq \phi_f F_{nc}$ ② 인장플랜지; $f_{bu} \leq \phi_f F_{nt}$ ($\phi_f = 0.9$)

박스거더(부모멘트부) 공칭휨강도 F_n

플랜지	박스거더(부모멘트부) 공칭휨강도 F_n	비고
비보강 압축플랜지	$F_{nc} = F_{cb} \sqrt{1 - \left(\frac{f_v}{\phi_u F_{cv}} \right)^2}$ <p>① 공칭압축좌굴강도 F_{cb}</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\lambda_f \leq \lambda_p$; $F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \Delta$ • $\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r$; $F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \left[\Delta - \left(\Delta - \frac{\Delta - 0.3}{R_h} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$ • $\lambda_f > \lambda_r$; $F_{cb} = \frac{0.9 E R_b k}{\lambda_f^2}$ <p>② 전단만 작용할 때 플랜지의 공칭전단좌굴강도 F_{cv}</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\lambda_f \leq 1.12 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$; $F_{cv} = 0.58 F_{yc}$ • $1.12 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}} < \lambda_f \leq 1.40 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$; $F_{cv} = \frac{0.65 \sqrt{F_{yc} E k_s}}{\lambda_f}$ • $\lambda_f > 1.40 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$; $F_{cv} = \frac{0.9 E k_s}{\lambda_f^2}$ 	<p>$\lambda_f =$ 압축플랜지의 세장비 = $\frac{b_{fc}}{t_{fc}}$</p> <p>$\lambda_p = 0.57 \sqrt{\frac{E k}{F_{yc} \Delta}}$</p> <p>$\lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{E k}{F_{yr}}}$</p> <p>$F_{yr} =$ 잔류응력이 고려된 압축플랜지의 항복강도 또는 웨브의 최소항복강도 중 작은 값 (MPa)</p> <p>$= (\Delta - 0.3) F_{yc} \leq F_{yw}$</p> <p>$k =$ 균일분포 압축응력에 대한 판의 좌굴계수 = 4.0</p> <p>$k_s =$ 전단응력에 대한 판의 좌굴계수 = 5.34</p> <p>b_{fc}: 웨브 사이의 압축플랜지 폭 (mm)</p> <p>A_0: 박스거더 단면의 폐합단면적 (mm²)</p> <p>T: 계수하중에 의한 내부 비틀림모멘트 (N·mm)</p>
종방향보강재로 보강된 압축플랜지	<p>비보강 압축플랜지의 공칭휨강도와 동일한 과정으로 계산되나, 비고의 판좌굴계수 k 및 k_s를 사용함</p>	<p>k: ① $n=1$ 인 경우; $k = \left(\frac{8 I_s}{w t_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}}$ ② $n=2$ 인 경우; $k = \left(\frac{0.894 I_s}{w t_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}}$</p> <p>$k_s = \frac{5.34 + 2.84 \left(\frac{I_s}{w t_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}}}{(n+1)^2} \leq 5.34$</p> <p>$I_s$: 플랜지와 평행한 축에 대한 보강재 하단에서의 종방향보강재 1개의 단면 2차모멘트 (mm⁴)</p> <p>n: 등간격인 종방향보강재의 수</p> <p>w: 압축플랜지의 종방향보강재 사이 폭 또는 웨브로부터 가장 가까운 종방향보강재까지의 거리 중 큰 값 (mm)</p>
연속적으로 횡지된 인장플랜지	<p>① U형단면 박스; $F_{nt} = R_h F_{yt}$, ② 폐단면 박스; $F_{nt} = R_h F_{yt} \Delta$</p>	

박스거더 전단 설계식 $V_{ui} \leq \phi_v V_n$ ($\phi_v = 0.9$)

$$V_{ui} = \frac{V_u}{\cos\theta}$$

V_u : 경사진 웹 1개에 작용하는 계수하중에 의한 전단력 (N)

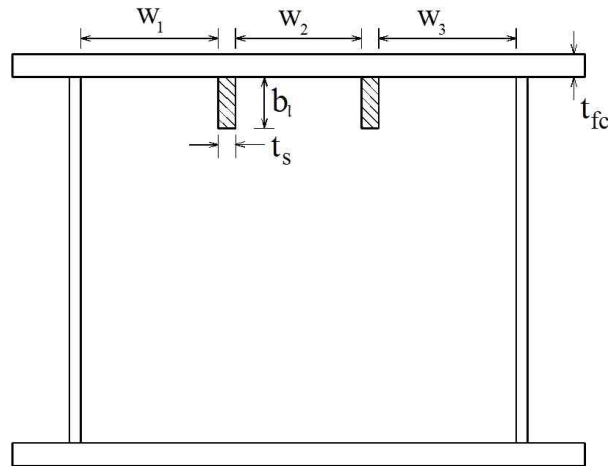
θ : 연직축에 대한 웹의 경사각 (°)

박스거더 공칭전단강도 V_n (플레이트거더와 동일한 과정으로 산정됨)

	박스거더 공칭전단강도 V_n	전단좌굴응력비 C
비보강 웹	$V_n = 0.58 C F_{yw} D t_w$	① $\frac{D}{t_w} < 1.12 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} ; C = 1.0$
보강웹 내측패널	① $\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5 ;$ $V_n = 0.58 F_{yw} D t_w \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right]$ ② $\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} > 2.5 ;$ $V_n = 0.58 F_{yw} D t_w \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2 + \frac{d_0}{D}}} \right]$	② $1.12 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} ; C = \frac{1.12}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$ ③ $\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} ; C = \frac{1.57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{E k}{F_{yw}}\right)$
보강웹 단부패널	$V_n = 0.58 C F_{yw} D t_w$	전단좌굴계수 $k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2}$ D : 웹의 경사를 따라 측정된 높이 t_f : 박스플랜지의 두께 b_f : 웹 사이의 유효플랜지폭의 1/2

박스거더 보강재 요구조건

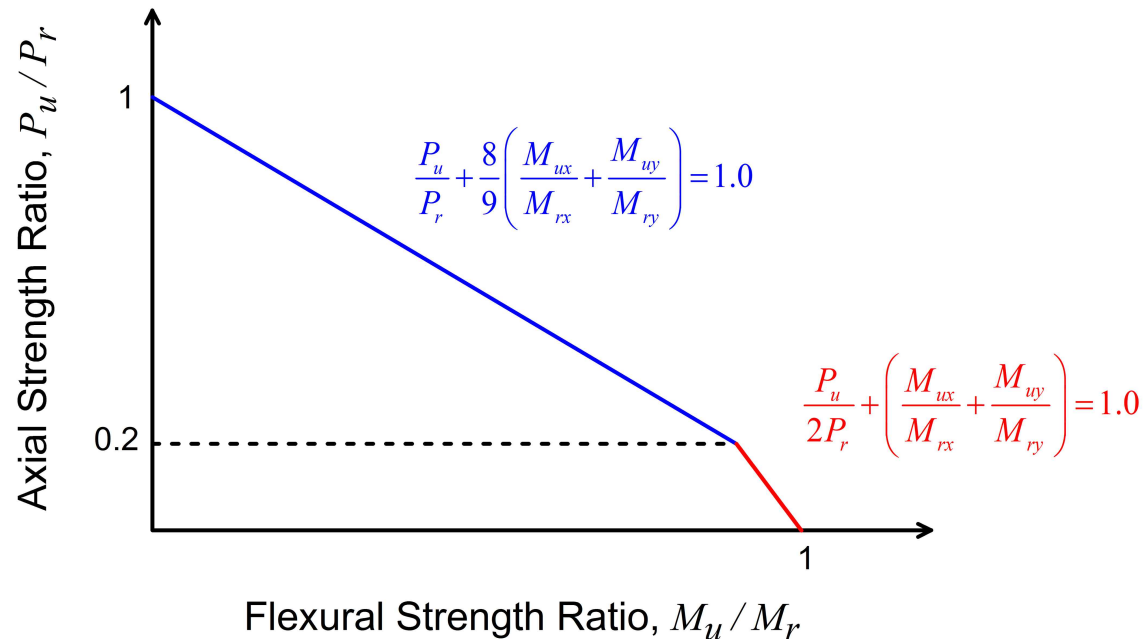
보강재		보강재 요구조건	비고
웹 수직보강재		플레이트거더와 동일	-
웹 수평보강재		플레이트거더와 동일	-
압축플랜지 종방향보강재	돌출폭 b_l	$b_l \leq 0.48t_s \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$	t_s : 종방향보강재 돌출요소의 두께
	단면2차모멘트 I_l	$I_l \geq \psi w t_{fc}^3$	$\psi = 0.125k^3$ ($n=1$ 인 경우) $= 1.120k^3$ ($n=2$ 인 경우) $k =$ 등분포 수직응력에 대한 판의 좌굴계수 $= 1.0 \leq k \leq 4.0$ n : 등간격인 플랜지 종방향보강재의 수 $w = \max\{w_1, w_2, w_3\}$: 종방향보강재 사이의 플랜지폭과 웹에서 가장 가까운 종방향보강재까지의 거리 중 큰 값



<박스거더의 압축플랜지 종방향보강재>

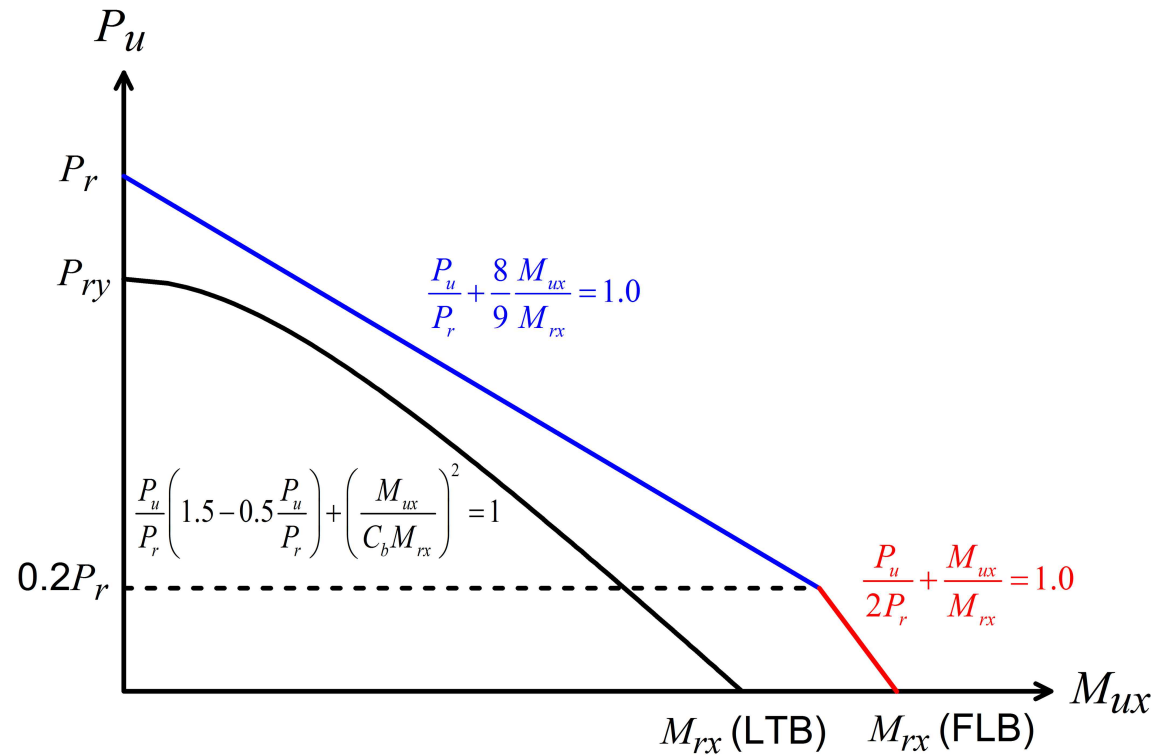
조합력을 받는 부재

적용단면	하중 조건	상관관계식	비고
2축대칭단면 1축대칭단면	1축 또는 2축 힘과 압축	① $\frac{P_u}{P_r} \geq 0.2 ; \frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0$	$M_{ux}/M_{rx} < 0.05; M_{ux}/M_{rx} = 0$ $M_{uy}/M_{ry} < 0.05; M_{uy}/M_{ry} = 0$ P_r : 한계상태를 고려한 설계압축강도 ($\phi_c P_n$) M_r : 한계상태를 고려한 설계휨강도 ($\phi_f M_n$)
	1축 또는 2축 힘과 인장	② $\frac{P_u}{P_r} < 0.2 ; \frac{P_u}{2P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0$	P_r : 설계인장강도 ($\phi_t P_n$) M_r : 한계상태를 고려한 설계휨강도 ($\phi_f M_n$) - 2축대칭단면을 가진 부재에서 힘과 인장을 받는 부재의 경우 C_b 값은 $\sqrt{1 + \frac{P_u}{P_{ey}}}$ 를 곱하여 증가시킬 수 있음. 여기서, $P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_b^2}$



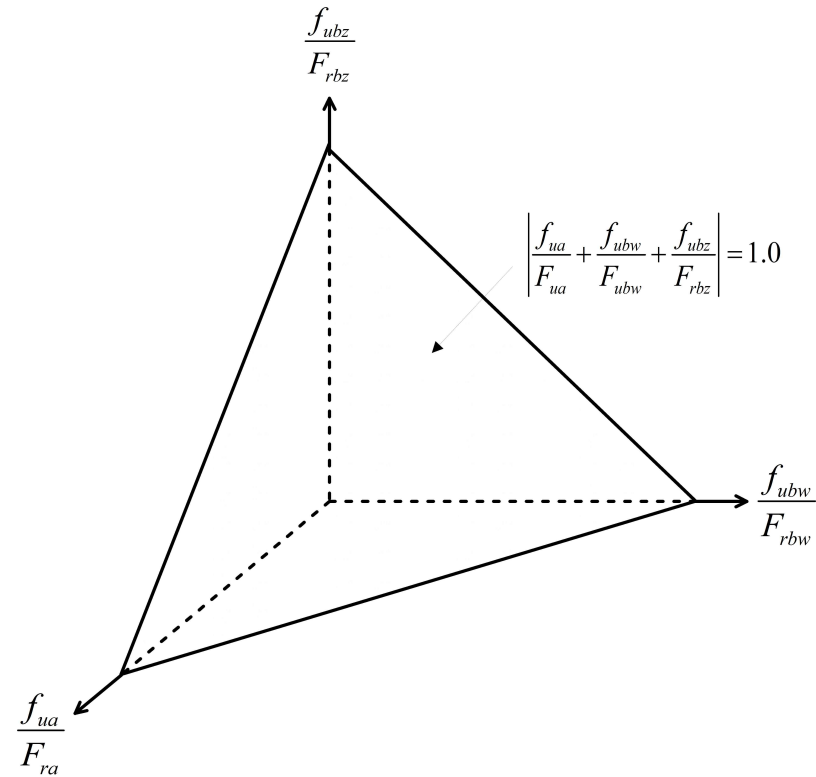
<2축대칭단면 또는 1축대칭단면에 작용하는 1축 또는 2축 힘과 축력의 상관관계 곡선>

적용단면	하중 조건	상관관계식	비고
2축대칭 조밀단면 압연형강 (KL) _z ≤ (KL) _y	1축(강축) 휨과 압축 (M _{uy} /M _{ry} < 0.05)	면내불안정한계상태 ① $\frac{P_u}{P_r} \geq 0.2$ 인 경우; $\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} \right) \leq 1.0$ ② $\frac{P_u}{P_r} < 0.2$ 인 경우; $\frac{P_u}{2P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} \right) \leq 1.0$	서로 독립적인 두 한계상태인 면내불안정 한계상태와 면외좌굴(또는 횡비틀림좌굴) 한계상태에 대하여 개별적으로 고려 P _r : 강축에 대한 설계압축강도 (φ _c P _{nx}) M _{rx} : 강축힘에 대한 플랜지국부좌굴(FLB)를 고려한 설계휨강도 (φ _f M _{nx})
		면외좌굴(또는 횡비틀림좌굴)의 한계상태 $\frac{P_u}{P_{ry}} \left(1.5 - 0.5 \frac{P_u}{P_{ry}} \right) + \left(\frac{M_{ux}}{C_b M_{rx}} \right)^2 \leq 1.0$	P _{ry} : 면외힘을 고려한 약축에 대한 설계압축강도 (φ _c P _{ny}) M _{rx} : 강축힘에 대한 횡비틀림좌굴(LTB) 설계휨강도 (φ _f M _{nx}) (M _{rx} 계산시 C _b = 1 사용함)



<2축대칭 조밀단면 압연형강에 작용하는 1축(강축) 휨과 압축력의 상관관계 곡선>

적용단면	하중 조건	상관관계식	비고
비대칭단면부재 및 기타부재	2축 힘과 압축 또는 인장	<p>단면의 가장 불리한 부분에 적용</p> $\left \frac{f_{ua}}{F_{ra}} + \frac{f_{ubw}}{F_{rbw}} + \frac{f_{ubz}}{F_{rbz}} \right \leq 1.0$	<p>f_{ua}: 부재단면의 특정위치에서 하중조합으로 구한 소요축방향응력(MPa) F_{ra}: 설계축방향응력(= $\phi_c F_{cr}$ 또는 = $\phi_t F_{cr}$) (MPa) f_{ubw}, f_{ubz}: 부재단면의 특정위치에서 하중조합으로 구한 소요힘응력(MPa) F_{rbw}, F_{rbz}: 설계힘응력(= $\frac{\phi_b M_n}{S}$)(MPa) w: 강주축힘을 나타내는 아래첨자 z: 약주축힘을 나타내는 아래첨자 ϕ_c: 압축에 대한 강도저항계수(=0.90) ϕ_t: 인장에 대한 강도저항계수 ϕ_f: 힘에 대한 강도저항계수(=0.90)</p>



<비대칭단면부재 및 기타부재에 작용하는 2축 힘과 압축 또는 인장응력의 상관관계 곡선>

적용단면	하중 조건	상관관계식	비고
원형강관	비틀림, 전단, 힘, 축력	<p>① $T_u/T_r \leq 0.2$인 경우; 비틀림효과 무시</p> <p>② $T_u/T_r > 0.2$인 경우; $\left(\frac{P_u}{P_r} + \frac{M_u}{M_r}\right) + \left(\frac{V_u}{V_r} + \frac{T_u}{T_r}\right)^2 \leq 1.0$</p> <p>$T_u$: 하중조합으로 구한 소요비틀림강도 (N·mm) T_r: 설계비틀림강도 (N·mm)</p>	<p>설계비틀림강도 $\phi_T T_n$ ($\phi_T = 0.9$) 공칭비틀림강도 $T_n = F_{cr} C$</p> <p>원형강관에 대한 $F_{cr} = \max\left\{\frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D}\left(\frac{D}{t}\right)^4}}, \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2}\right\}$</p> <p>비틀림전단상수 $C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$</p> <p>$L$: 부재의 길이 (mm) D: 외경 (mm)</p>

적용단면	하중 조건	상관관계식	비고
각형강관	비틀림, 전단, 힘, 축력	<p>① $T_u/T_r \leq 0.2$인 경우; 비틀림효과 무시</p> <p>② $T_u/T_r > 0.2$인 경우; $\left(\frac{P_u}{P_r} + \frac{M_u}{M_r}\right) + \left(\frac{V_u}{V_r} + \frac{T_u}{T_r}\right)^2 \leq 1.0$</p> <p>$T_u$: 하중조합으로 구한 소요비틀림강도 (N·mm) T_r: 설계비틀림강도 (N·mm)</p>	<p>설계비틀림강도 $\phi_T T_n$ ($\phi_T = 0.9$) 공칭비틀림강도 $T_n = F_{cr} C$</p> <p>각형강관에 대한 F_{cr}</p> <p>① $h/t \leq 2.45\sqrt{E/F_y}$; $F_{cr} = 0.6F_y$</p> <p>② $2.45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3.07\sqrt{E/F_y}$; $F_{cr} = \frac{0.6F_y(2.45\sqrt{E/F_y})}{\left(\frac{h}{t}\right)}$</p> <p>③ $3.07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260$; $F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2}$</p> <p>비틀림전단상수 $C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3$</p> <p>$h$: 내측 모서리반경을 감한 플랜지 사이의 순간격 (mm) t: 설계벽두께</p>