



1. 개요

세장한 보가 강축힘을 받을 경우, 충분한 횡지지가 존재하지 않고 외력이 특정 한계값 이상이 되면 면외방향의 약축힘과 더불어 단면의 비틀림이 발생하여 휨내력이 크게 저하될 수 있습니다. 이러한 횡비틀림좌굴하중(Lateral Torsional Buckling Load)의 크기는 여러 가지 요인에 의해 영향을 받지만 단면형상, 횡지지거리, 지점조건, 하중형태 및 하중작용 위치 등이 중요한 요인에 속합니다. 박판으로 이루어진 H형강, C형강, Z형강과 같은 개방형 단면(Open Section)의 경우 비틀림강성이 매우 낮기 때문에 횡비틀림 좌굴에 특히 취약합니다.

횡비틀림좌굴을 방지하기 위해서는 압축플랜지를 직교보나 슬래브 등에 의해 적절히 횡지지해야 합니다. 횡방향 지지점 사이의 길이를 보의 비지지길이(Unbraced Length) L_b 라고 합니다.

비지지 길이 산정 이유

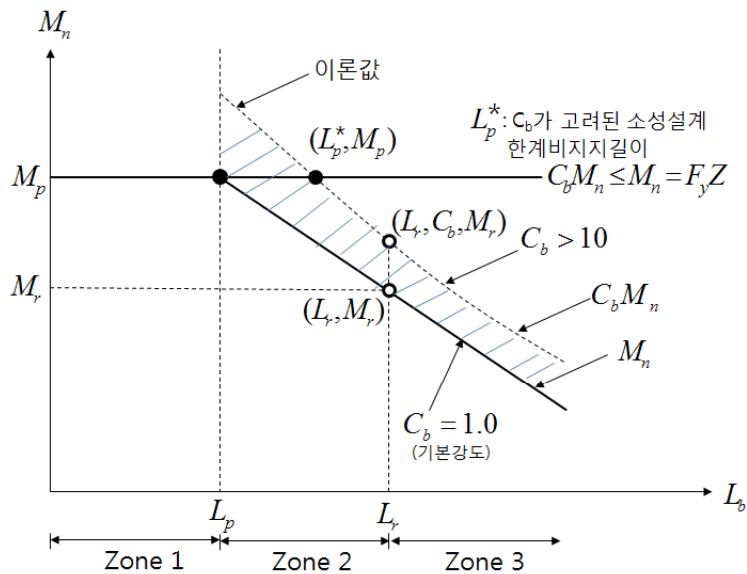
아래 그림은 단순보의 약축세장비(L_b/r_y)에 따른 휨거동을 보여줍니다. 이는 강축에 작용하는 모멘트와 단부회전각에 대한 상관관계를 설명해주고 있습니다. 이때 보는 콤팩트단면이고, 단부는 단순지지이다. 보의 축에 직각 방향인 횡지지는 보의 단부에만 지지되어 있습니다. 따라서 비지지길이 L_b 는 보의 길이와 동일하게 됩니다. 보의 비지지 길이 L_b 에 따라서 최대 소성모멘트, M_p 에 도달하느냐 안하느냐가 결정됩니다.

일반적으로 매우 짧은 보라면, 횡비틀림좌굴에 영향을 받지 않고 아래그림의 (Zone 1)에 도달하겠지만, 매우 긴보라면 하중을 받게 되면, 매우 큰 횡변형으로 인해 (Zone 3)에 근접한 좌굴 거동을 보일 것입니다.

균일 모멘트를 받는 H형강 보는 L_p 및 L_r 의 두 개의 한계비지지 길이에 대해 영향을 받습니다. L_p 가 압축플랜지의 횡변위를 방지하기 위한 횡지지 사이의 거리 혹은, 단면의 비틀림을 방지하기 위한 두 점 사이의 거리라고 하면, L_b 가 L_p 와 L_r 사이의 관계값 일 때, 아래 그림의 Zone1~3을 구분하여 공칭휨강도를 달리합니다.

NOTE

- L_b : 부재의 횡지지 길이
- L_r : 균일 모멘트를 받는 보의 탄성 횡좌굴에 대한 한계비지지길이
- L_p : 균일 모멘트를 받는 일정한 보의 완전소성휨성능에 대한 한계 비지지길이
- C_b : 횡좌굴 모멘트 수정계수



L_b ≤ L_p인 경우 (Zone 1)

보의 압축 플랜지가 횡방향으로 매우 좁은 간격으로 지지되어 보가 소성모멘트를 발휘할 수 있는 경우입니다. 따라서 공칭휨강도는 소성모멘트가 되며 이 구간은 횡비틀림좌굴이 발생하지 않는 구간으로 이해하면 됩니다.

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

L_p ≤ L_b ≤ L_r인 경우 (Zone 2)

보의 압축 플랜지가 횡지지 간격이 충분치 않아서 비탄성거동을 보이면서 황좌굴이 발생하는 경우입니다. 세장비에 따라 반비례적으로 공칭휨강도가 감소하며, 공칭휨강도는 아래 식과 같이 소성모멘트와 탄성황좌굴모멘트를 횡지지세장비에 따라 직선보간하여 산정합니다.

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left\{ \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right\} \right] \leq M_p$$

L_b > L_r인 경우 (Zone 2)

보의 압축 플랜지가 횡지지 간격이 너무 넓어서 단면의 어느 부분도 항복하지 않고 조기에 황좌굴이 발생하는 경우입니다. 이 때의 공칭휨강도는 탄성좌굴강도 M_{cr}과 같으며, 강축휨을 받는 H형강의 경우 탄성좌굴강도 M_{cr}은 아래 식과 같습니다.

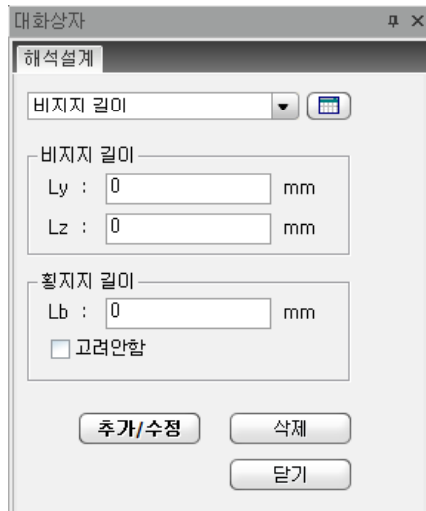
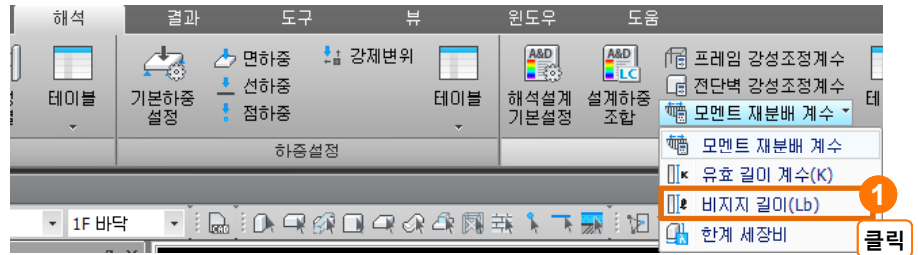
$$M_n = M_{cr} = F_{cr} S_x \leq M_p$$

 **NOTE**

- midas eGen에서는 보 부재의 경우 L_b값을 0으로 보고 있습니다. 이는 건물이 완공 후 데크슬래브나 공장건물의 경우 중도리(Purlin)에 의해 횡지지 될 것이라는 가정하에 이루어진 값입니다. 만약 횡지지가 안될 경우 직접 L_b값을 사용자가 입력해야 합니다.
- 기둥부재의 경우 횡하중에 대한 L_b값은 무조건 부재 전체 길이로 보고 있습니다. 만약 중간에 띠장(Girt)이나 좌굴방지용 사재가 들어간 경우 이에 해당하는 길이를 직접 입력해야 합니다.
- midas eGen에서는 부재길이에 따라 자동적으로 오른쪽 수식을 계산하여 그에 맞는 식을 적용합니다.

2. 부재별로 설정하기

부재마다 개별적으로 비지지길이를 설정하실 수 있습니다. 부재의 강축(y-Axis) 및 약축(z-Axis)에 대한 비지지길이(Unbraced Length) 및 부재강축에 대한 휨모멘트 작용시 압축축 플랜지의 횡지지길이(Laterally Unbraced Length)를 입력합니다.



NOTE

- Ly 및 Lz값이 입력되지 않은 부재에 대해서는 프로그램 내부에서 자동으로 계산된 부재길이(Ly, Lz)를 적용합니다.
- Lb 값이 입력되지 않은 부재에 대해서는 Lz값을 Lb값으로 적용합니다.
- 동일한 부재에 Ly, Lz, Lb값이 중복입력된 경우는 해당 부재에 대하여 최종 입력된 값을 적용하게 됩니다.

비지지길이

부재의 강축 및 약축에 대한 비지지길이를 입력합니다.

Ly : 부재강축에 대한 비지지길이

Lz : 부재약축에 대한 비지지길이

여기서, Ly, Lz는 축력에 의한 세장비 계산시 이용됩니다.

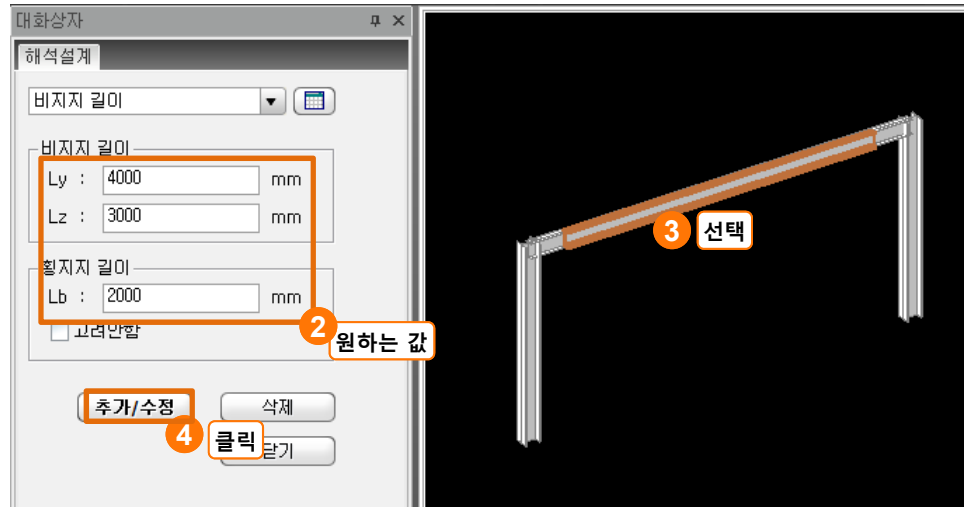
횡지지길이

횡지지길이를 입력합니다.

Lb : 횡지지 길이

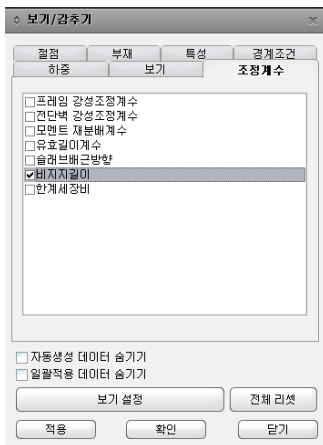
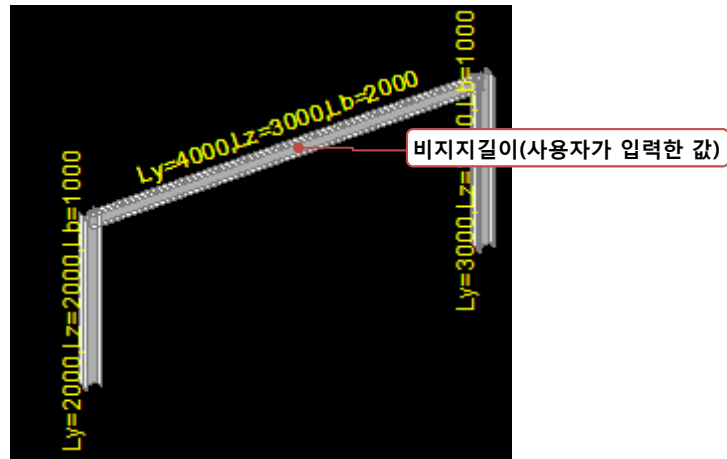
고려안함 : 이 항목이 선택되면 부재강축에 대한 허용 휨응력 산정시 횡지지길이를 고려한 허용응력 산정과정을 무시합니다.

여기서, Lb는 휨모멘트 검토시 적용됩니다.



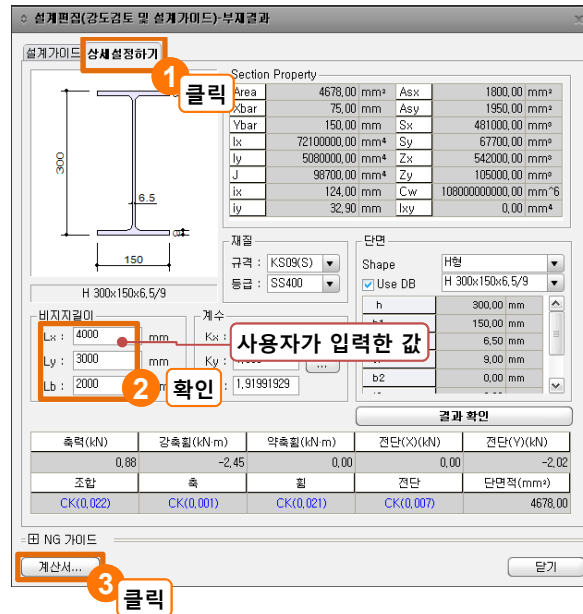
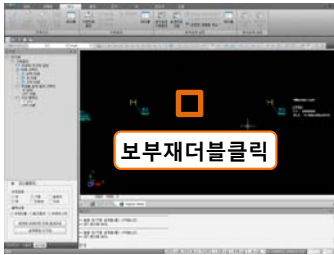
NOTE

- 이 때, 모델보기창에 비지지길이가 나타나지 않는데, 보기/감추기에서 조정계수>비지지길이를 체크 온하시면 우측 이미지와 같이 해당 부재의 비지지길이가 나타나게 됩니다.



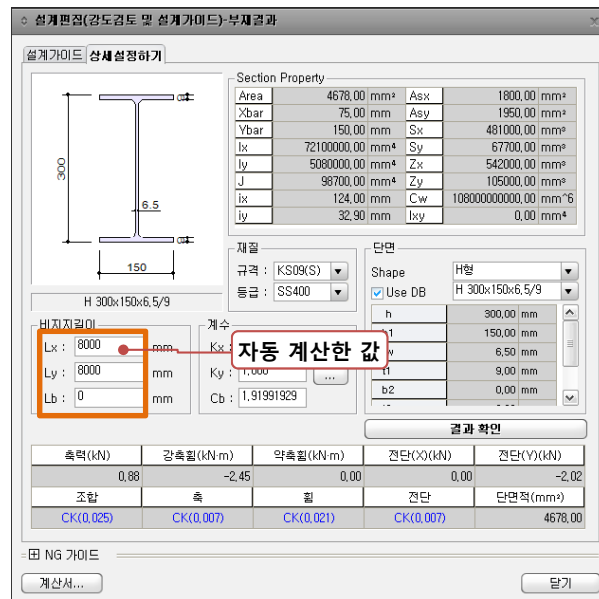
3. 결과 확인하기

비지지길이를 자동으로 계산된 값과 사용자가 입력한 결과 차이를 비교해 보도록 하겠습니다. 비지지길이와 횡지지길이는 앞에서 언급했듯이 각각 축력에 의한 세장비 계산과 휨모멘트 계산시 적용 됩니다. 2D 기본으로 들어가셔서 해당 철골부재를 더블 클릭하여 설계결과를 확인합니다.



NOTE

- 사용자가 비지지길이에 대해 아무 것도 지정하지 않으면 보부재의 경우 전구간에 횡지지되어있다고 가정하고 Lb값이 0으로 나옴을 확인하실 수 있습니다.



자동계산된 값

L_y : 8000mm
 L_z : 8000mm
 L_b : 0mm

사용자가 입력한 값

L_y : 4000mm
 L_z : 3000mm
 L_b : 2000mm

계산서에 들어가 보시면 비지지길이에 따라 공칭휨모멘트 계산하는 수식이 달라짐을 확인하실 수 있습니다.

Report 150% Word Detail Summary 자동 계산된 값

7. Check Flexural Strength About Major Axis (X) 클릭

(1) Elastic section modulus referred to tension and compression flanges

- $S_{xt} = 480667\text{mm}^3$
- $S_{xc} = 480667\text{mm}^3$

(2) Calculate limiting width-thickness ratio of flange for flexure

- $\lambda_p = 0.38 \sqrt{E_s / F_y} = 11.22$
- $\lambda_r = 1.00 \sqrt{E_s / F_y} = 29.54$

(3) Calculate limiting width-thickness ratio of web for flexure

- $\lambda_p = 3.76 \sqrt{E_s / F_y} = 111$
- $\lambda_r = 5.70 \sqrt{E_s / F_y} = 168$

(4) Check width-thickness ratio of flange (BTR)

- BTR = 8.333 < $\lambda_p = 11.22 \rightarrow$ Compact

(5) Check width-thickness ratio of web (DTR)

- BTR = 39.38 < $\lambda_p = 111 \rightarrow$ Compact

(6) Calculate nominal flexural strength for Yielding (Y)

- $M_n = M_p = F_y Z_x = 127\text{kN}\cdot\text{m}$

(7) Calculate flexural strength about major axis (ϕM_{nx})

- $M_{nx} = M_{n1} = 127\text{kN}\cdot\text{m}$
- Resistance factor for flexure : $\phi = 0.900$
- $\phi M_{nx} = 115\text{kN}\cdot\text{m}$
- $M_u / \phi M_{nx} = 0.0214 < 1.000 \rightarrow$ O.K

$L_b \leq L_p$ 인 경우

Report 120% Word Detail Summary 사용자가 입력한 값

7. Check Flexural Strength About Major Axis (X)

(1) Elastic section modulus referred to tension and compression flanges

- $S_{xt} = 480667\text{mm}^3$
- $S_{xc} = 480667\text{mm}^3$

(2) Calculate limiting width-thickness ratio of flange for flexure

- $\lambda_p = 0.38 \sqrt{E_s / F_y} = 11.22$
- $\lambda_r = 1.00 \sqrt{E_s / F_y} = 29.54$

(3) Calculate limiting width-thickness ratio of web for flexure

- $\lambda_p = 3.76 \sqrt{E_s / F_y} = 111$
- $\lambda_r = 5.70 \sqrt{E_s / F_y} = 168$

(4) Check width-thickness ratio of flange (BTR)

- BTR = 8.333 < $\lambda_p = 11.22 \rightarrow$ Compact

(5) Check width-thickness ratio of web (DTR)

- BTR = 39.38 < $\lambda_p = 111 \rightarrow$ Compact

(6) Calculate nominal flexural strength for Yielding (Y)

- $M_n = M_p = F_y Z_x = 127\text{kN}\cdot\text{m}$

(7) Calculate limiting laterally unbraced length for the limit state of yielding (L_y)

- $L_y = 1.76 r_y \sqrt{E_s / F_y} = 1710\text{mm}$

(8) Calculate laterally unbraced length for the limit state of inelastic lateral-torsional buckling (L_r)

- $(r_{ts})^2 = \sqrt{I_y C_w} / S_x = 1364$
- $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{I_y / C_w} = 1.000$
- $h_o = H - 0.5 (t_1 + t_2) = 291\text{mm}$ (distance between the flange centroid)
- $X_1 = \frac{E_s}{0.7 F_y} \sqrt{J c / (S_x h_o)} = 33.09$
- $X_2 = 1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E_s} \frac{S_x h_o}{J c} \right)^2 = 9.754$
- $L_r = 1.95 r_{ts} X_1 \sqrt{1 + (X_2)^{0.27}} = 5137\text{mm}$

(9) Calculate nominal flexural strength for Lateral-torsional buckling (LTB)

- $L_y < L_p < L_r$
- $M_n = C_b (M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right)) = 237\text{kN}\cdot\text{m}$
- $M_{n2} = \min(M_n, M_p) = 127\text{kN}\cdot\text{m}$

(10) Calculate flexural strength about major axis (ϕM_{nx})

- $M_{nx} = \min(M_{n1}, M_{n2}) = 127\text{kN}\cdot\text{m}$
- Resistance factor for flexure : $\phi = 0.900$
- $\phi M_{nx} = 115\text{kN}\cdot\text{m}$
- $M_u / \phi M_{nx} = 0.0213 < 1.000 \rightarrow$ O.K

$L_p \leq L_b \leq L_r$ 인 경우