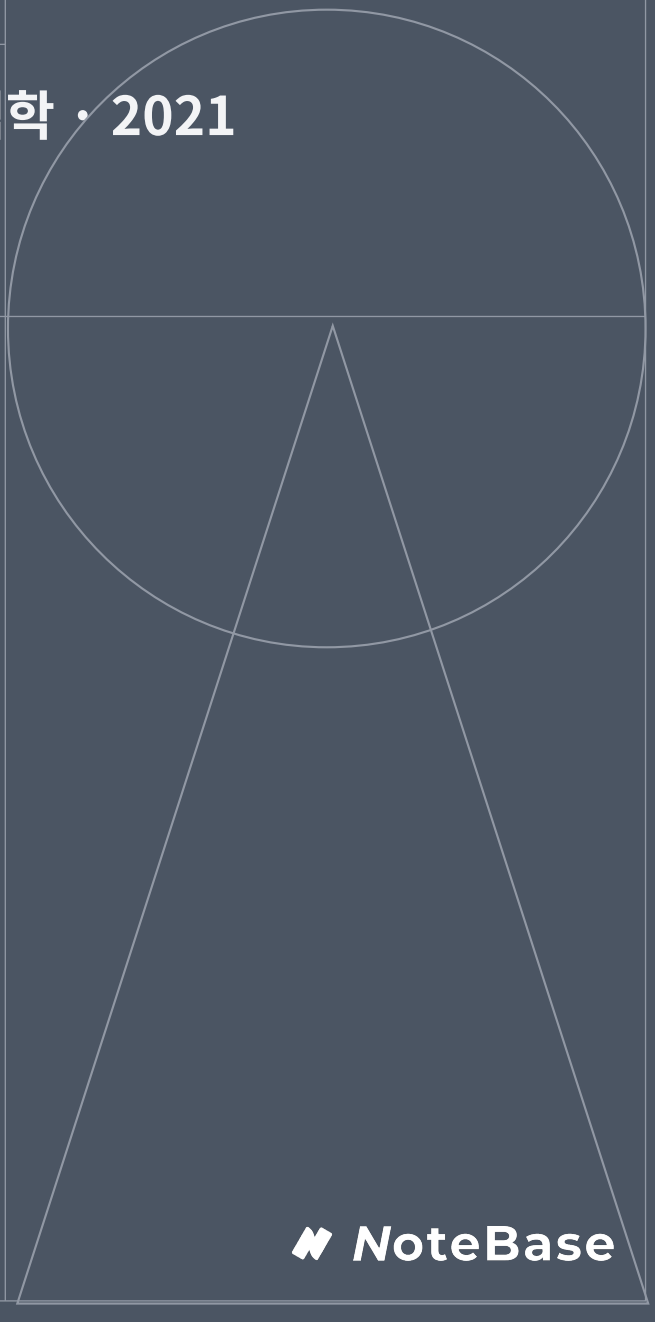
기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 응용역학 · 2021



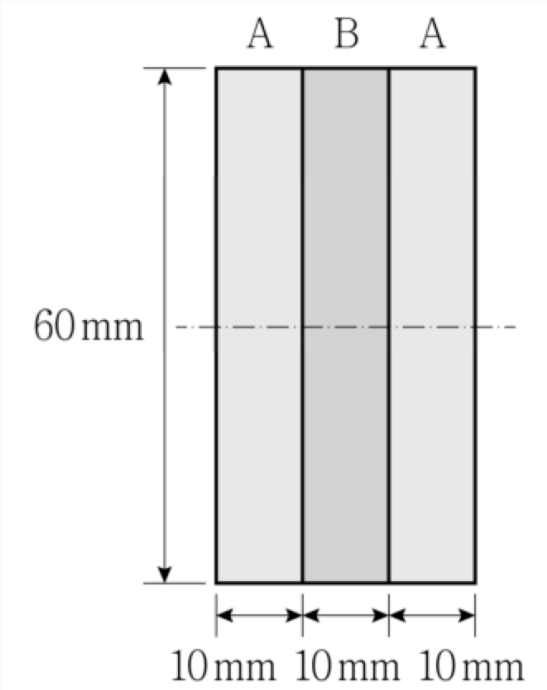
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 응용역학 · 2021

공무원/지방직/7급 · 응용역학 · 2021

문 1. 그림과 같이 두 개의 다른 재료 A, B로 구성된 합성단면에 6kN · m의 휨모멘트가 수평 도심축에 작용할 때, 발생하는 최대 휨응력의 크기[MPa]는? (단, 재료 B의 탄성계수는 재료 A의 2배이고 재료 A, B는 완전하게 결합되어 휨 거동을 할 때 접촉면에서 미끄러짐이 발생하지 않는다)



① 250

② 300

③ 500

④ 600

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 완전 결합된 복합단면의 공통 곡률 조건을 이용하여 재료별 최대 휨응력을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

단면은 높이 60mm, 폭 10mm인 세 직사각형으로 이루어지며, 양쪽은 재료 A, 가운데는 재료 B이다. 재료 B의 탄성계수는 $E_B = 2E_A$이다. 수평 도심축에 대한 굽힘이므로 각 재료의 최외곽섬유까지 거리는 $y_{max} = 30\text{mm}$이다. 작용 휨모멘트는 $M = 6\text{kN}\cdot\text{m} = 6.0 \times 10^6\text{N}\cdot\text{mm}$이다.

사용할 공식

완전 결합되어 미끄러짐이 없으면 모든 재료의 곡률 κ는 같다. 따라서 $M = \kappa\sum(E_i I_i)$, $\sigma_i = E_i \kappa y$를 사용한다. 재료별 탄성계수가 다르므로 단면2차모멘트만 더하는 것이 아니라 EI를 가중하여 합산해야 한다.

계산 과정

각 세로 띠의 수평 도심축에 대한 단면2차모멘트는 $I_0 = bh^3/12 = 10 \times 60^3/12 = 180{,}000\text{mm}^4$이다.
전체 굽힘강성은 $\sum(E_i I_i) = 2E_A I_0 + E_B I_0 = 2E_A I_0 + 2E_A I_0 = 4E_A I_0$이다.
재료 B의 최외곽섬유 응력은 $\sigma_{B,\,max} = E_B \kappa y_{max} = E_B M y_{max} / \sum(E_i I_i)$이다.
따라서 $\sigma_{B,\,max} = 2E_A \times 6.0 \times 10^6 \times 30 / (4E_A \times 180{,}000) = 500\text{N/mm}^2 = 500\text{MPa}$이다. 재료 A의 최대응력은 이의 절반인 250MPa이므로 전체 최대 휨응력은 재료 B에서 발생한다.

선지 판단

① X. 250MPa는 재료 A의 최대 휨응력이다. '최대 휨응력'의 값은 500MPa로 고쳐야 한다.
② X. 300MPa는 공통 곡률 조건과 $E_B = 2E_A$를 적용한 계산 결과와 일치하지 않는다. '300 MPa'를 500MPa로 고쳐야 한다.
③ O. 재료 B는 재료 A보다 탄성계수가 2배이므로 같은 위치의 변형률에 대해 응력도 2배이며, 계산값 500MPa가 최대이다.
④ X. 600MPa는 EI 가중합을 올바르게 적용한 결과보다 크다. '600 MPa'를 500MPa로 고쳐야 한다.

오답 포인트

세 재료 띠의 기하학적 단면2차모멘트를 단순 합산하면 재료 B의 큰 탄성계수를 반영하지 못한다. 또한 250MPa는 재료 A의 응력이지 전체 최대응력이 아니다.

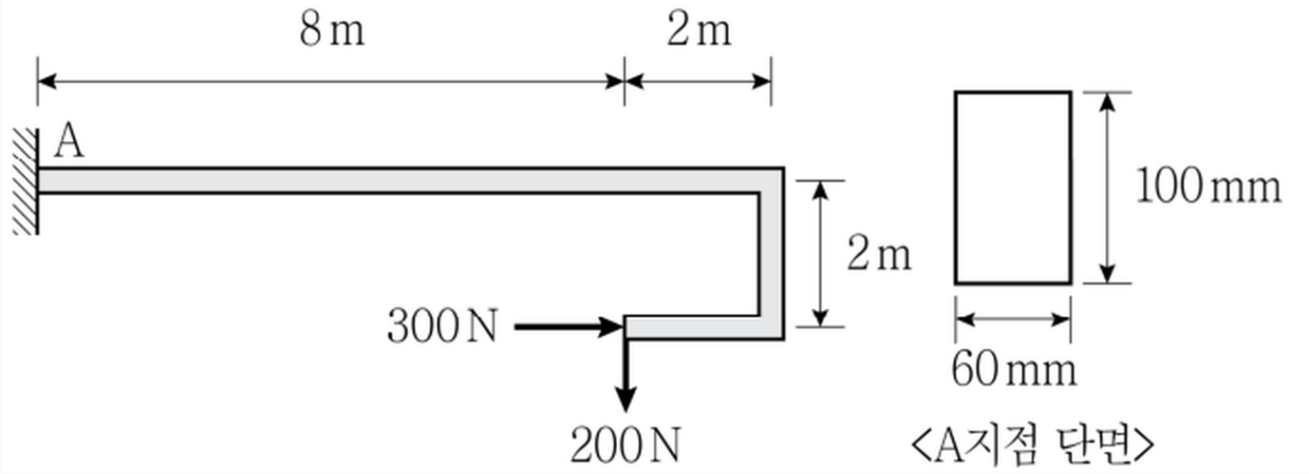
다시 나오면 이렇게 판단

복합단면 휨문제에서는 먼저 완전 결합 여부를 확인하고, $\sum(E_i I_i)$로 공통 곡률을 구한 뒤 각 재료에 $\sigma_i = E_i \kappa y$를 적용하여 최외곽섬유 응력을 비교한다.

암기 포인트

완전 결합 복합보는 '변형률은 같고, 응력은 E에 비례한다'로 정리된다.

문 2. 그림과 같은 직사각형 단면의 구조물에서 A지점 단면의 최대 인장응력의 크기[MPa]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 9.90

② 9.95

③ 10.00

④ 10.05

정답 4번

출제 포인트

축력과 굽힘모멘트를 동시에 받는 직사각형 단면에서 최대 인장응력을 합성응력식으로 구하는 문제이다.

조건 정리

수평력에 의한 축력의 크기는 $N = 300N$이다. A점에 대한 외력모멘트는
$M_A = 300N \times 2m - 200N \times 8m = -1{,}000N \cdot m$이므로, 크기는 $|M| = 1{,}000N \cdot m$이다.
단면적은 $A = 60mm \times 100mm = 6{,}000mm^2$이고, 중립축에서 최외단까지 거리는 $c = 50mm$이다.

사용할 공식

축응력과 휨응력은 같은 단면의 한 점에서 더해지거나 서로 상쇄된다. 최대 인장응력은 두 응력이 같은 방향이 되는 최외단에서 $\sigma_{t,\max} = \frac{N}{A} + \frac{|M|c}{I}$로 구한다.
직사각형 단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트는 $I = \frac{bh^3}{12}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 단면2차모멘트는 $I = \frac{60 \times 100^3}{12} = 5{,}000{,}000 mm^4$이다.
2. 축응력은 $\sigma_N = \frac{300}{6{,}000} = 0.05 MPa$이다.
3. 모멘트를 $N \cdot mm$로 바꾸면 $|M| = 1{,}000 \times 1{,}000 = 1{,}000{,}000 N \cdot mm$이고, 휨응력은 $\sigma_b = \frac{1{,}000{,}000 \times 50}{5{,}000{,}000} = 10.00 MPa$이다.
4. 인장측 최외단에서는 두 응력이 더해지므로 $\sigma_{t,\max} = 0.05 + 10.00 = 10.05 MPa$이다.

선지 판단

① X: 최대 인장응력은 $9.90 MPa$가 아니다. 최외단에서는 $10.00 MPa$의 휨응력에 $0.05 MPa$의 축인장응력이 더해지며, 올바른 값은 $10.05 MPa$이다.

② X: $9.95 MPa$는 $10.00 - 0.05$처럼 축응력을 빼서 얻는 값이다. 이는 반대쪽 최외단의 응력 크기에 해당하며, 최대 인장응력은 $10.05 MPa$이다.

③ X: $10.00 MPa$는 휨응력만 계산한 값이다. 축응력 $0.05 MPa$를 합성해야 하므로 올바르게는 $10.05 MPa$이다.

④ O: 휨응력 $10.00 MPa$와 축인장응력 $0.05 MPa$가 같은 쪽 최외단에서 더해져 $10.05 MPa$가 된다.

오답 포인트

③처럼 휨응력만 구하고 축응력을 누락하기 쉽다. 또한 ②처럼 한쪽 단면에서 응력이 상쇄되는 값을 최대 인장응력으로 잘못 선택하지 않도록, 두 최외단의 부호를 비교한다.

다시 나오면 이렇게 판단

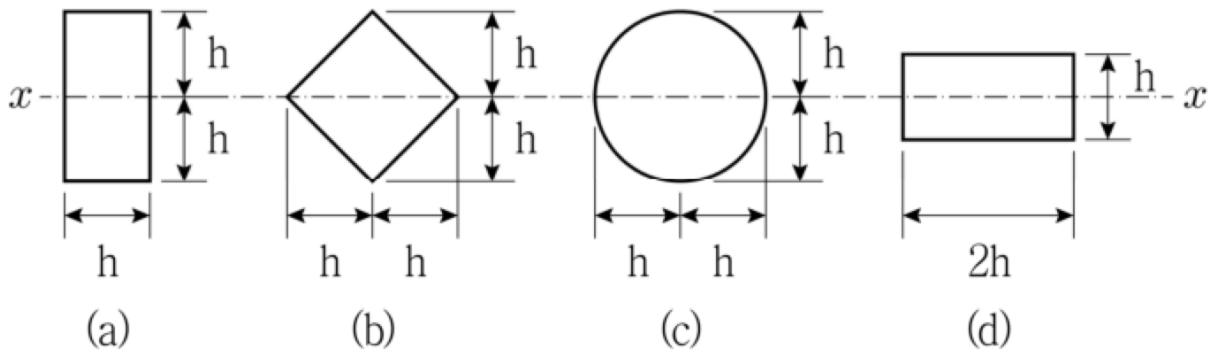
편심하중 또는 축력과 모멘트가 함께 주어지면 먼저 N, M, A, I, c를 정리하고 $\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{Mc}{I}$로 양쪽 최외단 응력을 계산한다. 그중 인장값이 가장 큰 값을 선택한다.

암기 포인트

합성응력은 '축응력 ± 휨응력'이며, 최대 인장은 두 응력이 더해지는 쪽에서 발생한다.

NoteBase

문 3. 다음 네 가지 다른 단면에서 도심을 지나는 $x-x$축에 대한 단면특성에 관한 설명으로 옳지 않은 것은?



① (a)단면과 (b)단면의 단면2차모멘트의 비 $\frac{(a)}{(b)}$는 2이다.

② (a)단면과 (d)단면의 단면2차모멘트의 비 $\frac{(a)}{(d)}$는 4이다.

③ (b)단면과 (c)단면의 단면계수의 비 $\frac{(b)}{(c)}$는 $\frac{4}{3\pi}$이다.

④ (b)단면과 (d)단면의 단면계수의 비 $\frac{(b)}{(d)}$는 2이다.

정답 4번

출제 포인트

도심을 지나는 수평축에 대한 단면2차모멘트 I_x와 단면계수 $Z_x = I_x/c$를 각 단면의 높이와 최외곽거리 c로 비교하는 문제이다.

조건 정리

(a)는 폭 h, 높이 $2h$인 직사각형이다.
(b)는 수평·수직 대각선이 각각 $2h$인 마름모이다.
(c)는 반지름 h인 원형 단면이다.
(d)는 폭 $2h$, 높이 h인 직사각형이다.
모든 단면에서 $x-x$축은 도심을 지난다. (a), (b), (c)의 최외곽거리 c는 h이고, (d)의 c는 $h/2$이다.

사용할 공식

직사각형은 $I_x = bH^3/12$, 원은 $I_x = \pi r^4/4$이다. 단면계수는 $Z_x = I_x/c$이다.
마름모는 수평 띠의 폭이 $2(h-|y|)$이므로 적분하여 I_x를 구한다. 단면2차모멘트는 축에서 멀리 떨어진 면적일수록 크게 반영되므로, 폭뿐 아니라 높이의 세제곱을 함께 고려한다.

NoteBase

계산 과정

$(a):\ I_a = \frac{h(2h)^3}{12} = \frac{2h^4}{3}$
$(b):\ I_b = \int_{-h}^{h} y^2 \cdot 2(h-|y|)dy = \frac{h^4}{3}$
$(c):\ I_c = \frac{\pi h^4}{4}$
$(d):\ I_d = \frac{(2h)h^3}{12} = \frac{h^4}{6}$
따라서 $Z_b = I_b/h = h^3/3, Z_c = I_c/h = \pi h^3/4, Z_d = I_d/(h/2) = h^3/3$이다.

선지 판단

① O. $I_a/I_b = (2h^4/3)/(h^4/3) = 2$이므로 옳다.
② O. $I_a/I_d = (2h^4/3)/(h^4/6) = 4$이므로 옳다.
③ O. $Z_b/Z_c = (h^3/3)/(\pi h^3/4) = 4/(3\pi)$이므로 옳다.
④ X. $Z_b/Z_d = (h^3/3)/(h^3/3) = 1$이다. 틀린 표현은 $Z_b/Z_d = 2$이며, 올바르게는 $Z_b/Z_d = 1$이다. (b)와 (d)는 단면계수가 같다.

오답 포인트

④에서 (d)의 전체 높이 h를 도심에서 최외곽까지의 거리라고 잘못 보면 $c = h$로 두어 $Z_d = h^3/6$이 되고, 비율 2라는 오답이 나온다. (d)의 도심축에서 위·아래 끝까지의 거리는 전체 높이의 절반인 $h/2$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

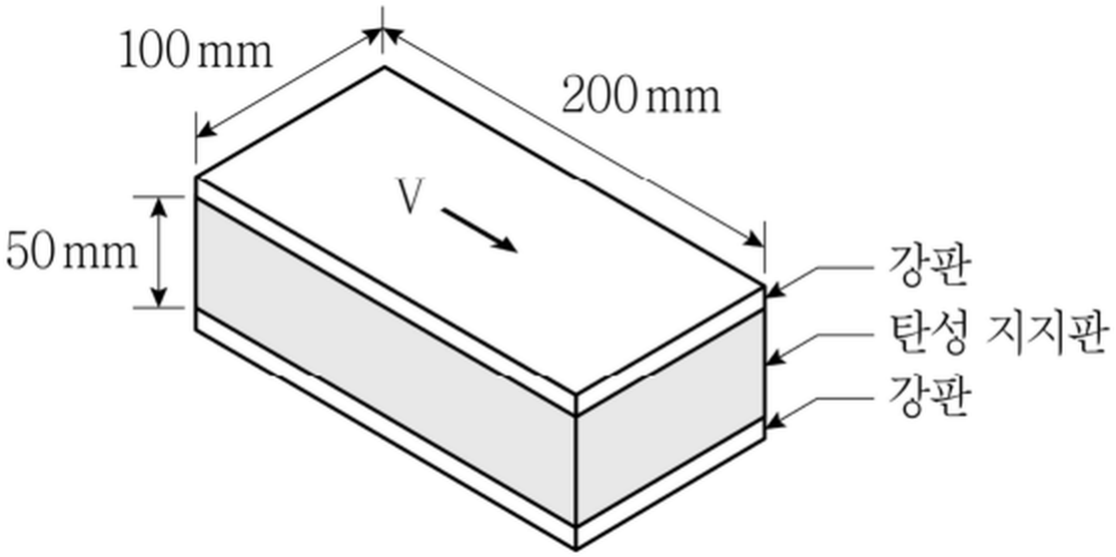
먼저 각 단면의 I_x를 높이 방향 치수로 계산하고, 단면계수 비교에서는 반드시 $Z_x = I_x/c$로 최외곽거리 c를 다시 나눈다. 특히 도심축에서 실제 상·하단까지의 거리를 그림에서 확인한다.

암기 포인트

단면계수는 $Z = I/c$이다. 같은 I라도 c가 작을수록 Z가 커진다.

NoteBase

문 4. 그림과 같이 두 개의 강판 사이에 두께 50mm의 탄성 지지판이 부착되어 있다. 수평전단력 $V = 10\text{kN}$이 상부 강판에 작용할 때, 상부 강판과 하부 강판의 상대 수평변위가 0.5mm 발생되었다. 탄성 지지판의 탄성계수(E)의 크기[MPa]는? (단, 하부 강판은 고정되어 있고, 탄성 지지판의 포아송비 $\nu = 0.25$이며, 강판의 변형과 모든 재료의 자중은 무시한다)



① 125

② 100

③ 50

④ 25

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 탄성 지지판의 전단변형으로 전단탄성계수 G를 구한 뒤, $E = 2G(1 + \nu)$ 관계로 탄성계수 E를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전단력은 $V = 10kN$, 지지판의 전단면적은 $A = 100mm \times 200mm$, 두께는 $t = 50mm$, 상대 수평변위는 $\delta = 0.5mm$, 포아송비는 $\nu = 0.25$이다. 하부 강판은 고정되고 강판의 변형은 무시하므로, $0.5mm$는 지지판 두께 방향의 전단변위이다.

NoteBase

사용할 공식

전단응력과 전단변형률은 각각 $\tau = V/A$, $\gamma = \delta/t$이다. 따라서 $G = \tau/\gamma$이고, 등방성 탄성체에서는 $E = 2G(1 + \nu)$가 성립한다. 수평력에 의한 상대 미끄럼 변위를 주었으므로 인장변형이 아니라 전단변형 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 전단면적은 $A = 100mm \times 200mm = 20{,}000mm^2$이다.
2. 전단응력은 $\tau = 10{,}000N/20{,}000mm^2 = 0.5N/mm^2 = 0.5MPa$이다.
3. 전단변형률은 $\gamma = 0.5mm/50mm = 0.01$이다.
4. $G = 0.5MPa/0.01 = 50MPa$이다.
5. $E = 2 \times 50MPa \times (1 + 0.25) = 125MPa$이다.

선지 판단

① O — 계산 결과 $E = 125MPa$이므로 옳다.
② X — '$100MPa$'가 틀린 표현이다. 올바르게는 $125MPa$이다. $E = 2G(1 + \nu)$에서 $(1 + \nu)$를 빠뜨리거나 잘못 적용하면 이 값이 나온다.
③ X — '$50MPa$'가 틀린 표현이다. 올바르게는 $125MPa$이다. $50MPa$는 탄성계수 E가 아니라 계산 중 얻는 전단탄성계수 G이다.
④ X — '$25MPa$'가 틀린 표현이다. 올바르게는 $125MPa$이다. 이는 전단변형률 $\gamma = 0.01$을 적용하는 과정에서 전단면적 또는 두께를 잘못 사용한 값이다.

오답 포인트

수평변위 $0.5mm$를 지지판 두께 $50mm$로 나누어 γ를 구해야 한다. 또한 $50MPa$는 G이므로, 이를 그대로 E로 선택하지 않고 $E = 2G(1 + \nu)$를 한 번 더 적용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

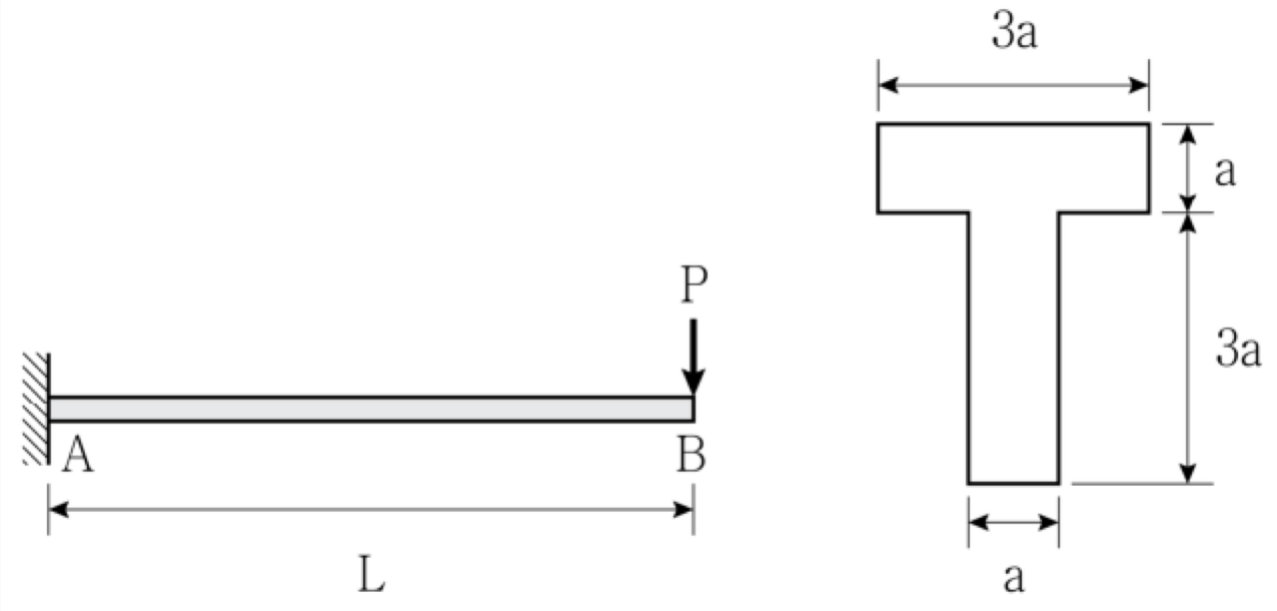
두 판 사이의 상대 수평변위가 주어지면 먼저 $\gamma = \delta/t$, $\tau = V/A$, $G = \tau/\gamma$ 순서로 계산한다. 포아송비가 함께 주어지면 마지막에 $E = 2G(1 + \nu)$로 E와 G를 구분한다.

암기 포인트

상대 미끄럼은 전단이다. $\tau = G\gamma$, $E = 2G(1 + \nu)$를 연결하면 된다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 단면의 캔틸레버보에 집중하중 P가 작용하여, A점 단면에 소성모멘트(M_P)가 발생했을 때, 집중하중 P의 크기는? (단, 캔틸레버보는 항복응력이 σ_y인 완전탄소성 거동을 하며, 자중은 무시한다)



① $\frac{6\sigma_y a^3}{L}$
② $\frac{12\sigma_y a^3}{L}$
③ $\frac{18\sigma_y a^3}{L}$
④ $\frac{24\sigma_y a^3}{L}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 완전탄소성 상태의 T형 단면에서 소성중립축을 정하고 소성단면계수 Z_p로 소성모멘트 M_p를 구한 뒤, 캔틸레버의 고정단 모멘트 PL와 같게 두는 문제이다.

조건 정리

플랜지의 면적은 $3a \times a = 3a^2$이고, 웨브의 면적은 $a \times 3a = 3a^2$이다. 전체 면적은 $6a^2$이므로 소성중립축은 압축측과 인장측 면적을 각각 $3a^2$로 나눈다. 따라서 소성중립축은 플랜지와 웨브의 경계에 위치한다.

사용할 공식

완전탄소성 단면의 소성모멘트는 $M_p = \sigma_y Z_p = \sigma_y(\sum A_i y_i)$이다. 여기서 y_i는 각 압축·인장 블록 도심에서 소성중립축까지의 거리이다. 끝단 집중하중을 받는 캔틸레버의 고정단 최대모멘트는 $M = PL$이므로, 소성모멘트 발생 조건에서 $PL = M_p$를 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 자유단 B에 하방하중을 받는 캔틸레버의 고정단 A에서는 상부 섬유가 인장, 하부 섬유가 압축이 된다. 이 T형 단면은 플랜지가 위, 웨브가 아래에 있으므로 플랜지는 인장 블록, 웨브는 압축 블록이 된다. 두 블록의 면적은 각각 $3a^2$로 같다.
2. 플랜지 도심은 소성중립축에서 $a/2$, 웨브 도심은 $3a/2$ 떨어져 있다.
3. 소성단면계수는 압축·인장 라벨과 무관하게 각 블록의 면적과 도심거리의 곱을 더한 값이므로 $Z_p = (3a^2)(a/2) + (3a^2)(3a/2) = 6a^3$이고, $M_p = 6\sigma_y a^3$이다.
4. $PL = M_p$이므로 $P = \frac{M_p}{L} = \frac{6\sigma_y a^3}{L}$이다.

선지 판단

① O. $P = 6\sigma_y a^3/L$로 계산 결과와 일치한다.
② X. $12\sigma_y a^3/L$는 소성단면계수를 실제 $6a^3$의 두 배로 계산한 값이다. 틀린 표현 $12\sigma_y a^3/L$ → 올바르게는 $6\sigma_y a^3/L$이다.
③ X. $18\sigma_y a^3/L$는 압축·인장 블록의 도심거리 또는 면적을 중복 계산하여 과대평가한 값이다. 틀린 표현 $18\sigma_y a^3/L$ → 올바르게는 $6\sigma_y a^3/L$이다.
④ X. $24\sigma_y a^3/L$는 소성단면계수를 실제 값의 네 배로 잘못 계산한 값이다. 틀린 표현 $24\sigma_y a^3/L$ → 올바르게는 $6\sigma_y a^3/L$이다.

오답 포인트

단면의 도심축과 소성중립축을 혼동하기 쉽다. 이 단면에서는 플랜지와 웨브의 면적이 같으므로 소성중립축이 두 부분의 경계에 오며, 각 부분의 도심거리 $a/2$, $3a/2$를 각각 곱해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

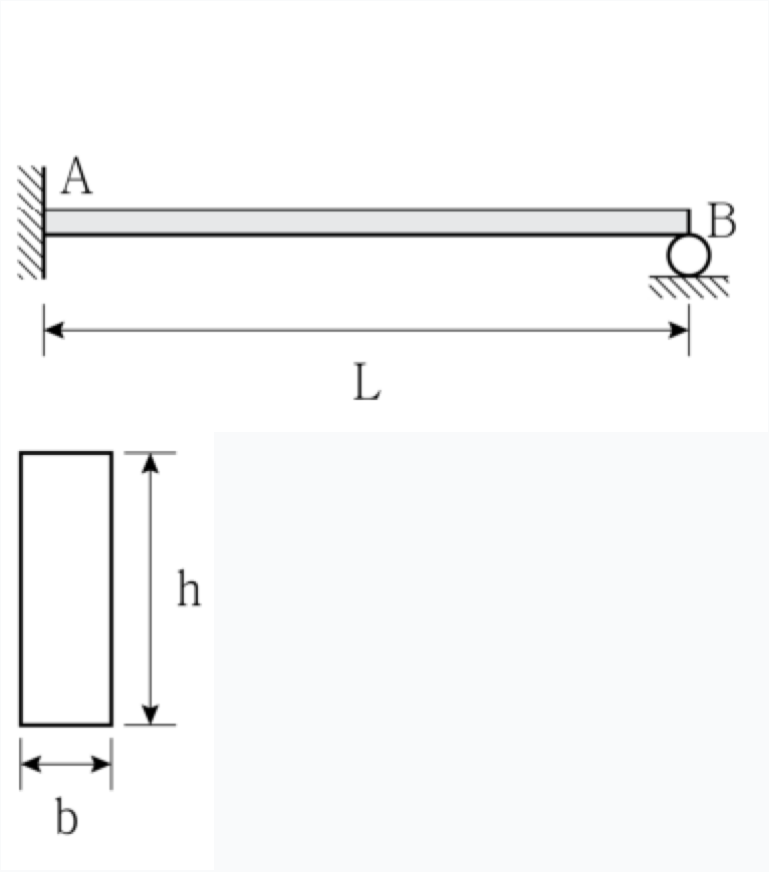
소성휨 문제에서는 먼저 전체 단면적의 절반이 되는 위치로 소성중립축을 정한 뒤, 압축측과 인장측의 $A \times y$를 모두 더해 Z_p를 구한다. 그다음 구조물의 최대모멘트 식에 M_p를 대입해 하중을 구한다.

암기 포인트

완전탄소성 휨은 $M_p = \sigma_y Z_p$, 캔틸레버 끝단하중은 $M_{max} = PL$이다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 직사각형 단면의 길이가 L인 캔틸레버보가 있다. 보의 윗면과 아랫면의 온도차가 ΔT이고 단면의 높이에 따라 선형으로 변할 때, B점에서의 수직반력의 크기는? (단, 보의 열팽창계수는 α이고 휨강성은 EI로 일정하다. 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{\alpha\Delta TEI}{2hL}$
② $\frac{\alpha\Delta TEI}{hL}$
③ $\frac{3\alpha\Delta TEI}{2hL}$
④ $\frac{2\alpha\Delta TEI}{hL}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단면 높이 방향의 선형 온도차로 생기는 열곡률과, B점의 수직변위가 0이어야 한다는 적합조건을 이용하여 수직반력을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값은 보의 길이 L, 단면 높이 h, 열팽창계수 α, 위·아래 면의 온도차 ΔT, 휨강성 EI이다.
구해야 할 값은 B점 수직반력의 크기이다.
온도는 높이에 따라 선형으로 변하므로 자유 열곡률의 크기는 $\kappa_T = \alpha\Delta T/h$이다.

사용할 공식

자유단 B의 열변형 처짐은 $\delta_T = \kappa_T L^2/2$이고, 외팔보 자유단에 작용하는 집중하중 R_B에 의한 처짐의 크기는 $\delta_R = R_B L^3/(3EI)$이다.
B점은 롤러 지점이므로 수직변위가 0이어야 한다. 따라서 열변형에 의한 처짐과 반력에 의한 처짐의 크기가 서로 같아야 한다.

계산 과정

1. 선형 온도구배에 의한 열곡률은 $\kappa_T = \alpha\Delta T/h$이다.
2. 이 곡률로 인한 B점의 자유 처짐 크기는 $\delta_T = \frac{\kappa_T L^2}{2} = \frac{\alpha\Delta T L^2}{2h}$ 이다.
3. B점 반력이 만드는 처짐 크기 $R_B L^3/(3EI)$가 이를 상쇄하므로 $\frac{R_B L^3}{3EI} = \frac{\alpha\Delta T L^2}{2h}$ 이다.
4. 따라서 $R_B = \frac{3\alpha\Delta T EI}{2hL}$ 이다.

선지 판단

① X. $\alpha\Delta TEI/(2hL)$는 필요한 반력의 3분의 1이다. 틀린 표현 $\alpha\Delta TEI/(2hL)$ → 올바르게는 $3\alpha\Delta TEI/(2hL)$ 이다. 외팔보 자유단 집중하중 처짐식의 계수 1/3을 반력 계산에서 반영하지 않은 값이다.
② X. $\alpha\Delta TEI/(hL)$는 정답의 3분의 2이다. 틀린 표현 $\alpha\Delta TEI/(hL)$ → 올바르게는 $3\alpha\Delta TEI/(2hL)$이다. 열곡률에 의한 자유단 처짐의 계수 1/2와 반력 처짐의 계수 1/3의 비를 잘못 처리한 값이다.
③ O. 적합조건으로부터 $R_B = 3\alpha\Delta TEI/(2hL)$가 되어 계산 결과와 일치한다.
④ X. $2\alpha\Delta TEI/(hL)$는 정답보다 4분의 3만큼 큰 값이다. 틀린 표현 $2\alpha\Delta TEI/(hL)$ → 올바르게는 $3\alpha\Delta TEI/(2hL)$이다. 열처짐과 하중 처짐의 계수를 혼동하여 반력을 과대평가한 값이다.

오답 포인트

온도차 ΔT 자체를 등분포하중처럼 취급하면 안 된다. 이 문제의 핵심은 $\alpha\Delta T/h$라는 열곡률과, 자유단 처짐식의 1/2, 1/3 계수를 함께 적용하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

온도구배가 주어진 부정정보는 먼저 $\kappa_T = \alpha\Delta T/h$로 열곡률을 구한 뒤, 그 열곡률의 자유 처짐과 미지 반력이 만드는 처짐을 등치하여 지점변위 조건을 만족시키는 반력을 구한다.

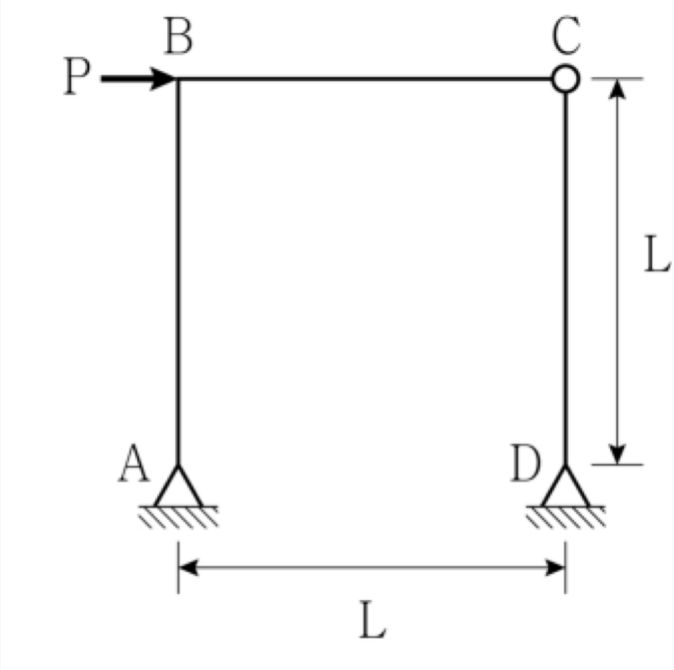
NoteBase

암기 포인트

선형 온도차의 열곡률은 $\alpha\Delta T/h$, 외팔보 자유단의 곡률 처짐은 $\kappa L^2/2$, 집중하중 처짐은 $PL^3/(3EI)$이다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 C점에 힌지가 있는 라멘구조가 있다. B점에서 수평하중 P를 받을 때, C점에서의 수평변위의 크기는? (단, 모든 부재의 휨강성은 EI로 일정하고 축방향 변형, 전단 변형, 자중은 무시한다)



① $\frac{PL^3}{3EI}$
② $\frac{2PL^3}{3EI}$
③ $\frac{PL^3}{EI}$
④ $\frac{4PL^3}{3EI}$

정답 2번

출제 포인트

힌지와 강절점이 있는 라멘에서 축방향·전단변형을 무시하고 수평변위를 구하는 문제이다. C점은 힌지이지만 보 BC가 B절점의 회전을 구속하므로, 기둥 AB의 단순 외팔보 변위만으로 계산하면 안 된다.

조건 정리

각 부재의 길이는 L, 휨강성은 EI이다. 축방향 변형을 무시하므로 BC는 수평방향으로 신장하지 않아 $u_B = u_C = \Delta$이다. C와 D는 힌지이므로 기둥 CD는 이 수평변위에 대한 휨저항을 전달하지 않는다.

사용할 공식

절점변위법의 부재 강성식을 사용한다. AB 하단 A가 힌지인 조건과 BC 우단 C가 힌지인 조건을 적용해 각 힌지 회전을 소거하면, B절점의 수평강성은 $k = 3EI/(2L^3)$가 된다. 따라서 $P = k\Delta$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 수평변위를 Δ, B절점 회전을 θ_B로 둔다.
2. A와 C의 힌지모멘트가 0인 조건을 적용하면 B절점의 모멘트평형으로 $\theta_B = \Delta/(2L)$를 얻는다.
3. 이 회전을 AB의 수평력-변위식에 대입하면 $P = (3EI/(2L^3))\Delta$이다.
4. 따라서 $\Delta_C = \Delta = 2PL^3/(3EI)$이다.

선지 판단

① X: $PL^3/(3EI)$는 계산된 변위의 절반이다. 틀린 표현 → 올바르게는 $2PL^3/(3EI)$이다.
② O: $\Delta_C = 2PL^3/(3EI)$로 계산 결과와 일치한다.
③ X: PL^3/EI는 계산값보다 3/2배 크다. 틀린 표현 → 올바르게는 $2PL^3/(3EI)$이다.
④ X: $4PL^3/(3EI)$는 계산값의 2배이다. 틀린 표현 → 올바르게는 $2PL^3/(3EI)$이다.

오답 포인트

C점의 힌지만 보고 BC의 회전구속 효과까지 없다고 처리하면 오답이 된다. C에서는 모멘트가 전달되지 않지만, BC는 B절점 회전과 연결되어 AB의 수평강성을 변화시킨다.

다시 나오면 이렇게 판단

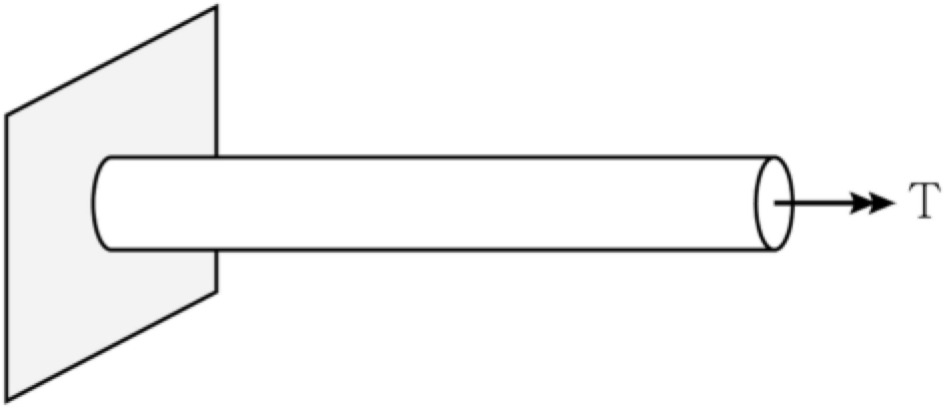
라멘의 수평변위 문제에서는 먼저 축변형 무시 조건으로 같은 수평변위를 갖는 절점을 정하고, 각 힌지에서 모멘트 0 조건을 적용한 뒤 절점 평형으로 회전을 소거한다.

암기 포인트

이 구조의 수평강성은 $3EI/(2L^3)$, 따라서 C점 수평변위는 $2PL^3/(3EI)$이다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 지름 $d = 100\text{mm}$인 원형단면 봉의 한쪽을 벽에 고정하고, 다른 쪽에 비틀림모멘트 T를 가하였다. 이 봉의 허용인장응력 $\sigma_{ta} = 80\text{MPa}$, 허용압축응력 $\sigma_{ca} = 100\text{MPa}$, 허용전단응력 $\tau_a = 100\text{MPa}$이다. 허용응력을 넘지 않고 가할 수 있는 비틀림모멘트의 최대 크기[$\text{kN} \cdot \text{m}$]는? (단, 원형단면의 극관성모멘트 $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$이고, 봉의 자중은 무시한다)



① 2π

② 3π

③ 4π

④ 5π

정답 4번

출제 포인트

원형단면 봉의 순수 비틀림에서 표면 전단응력과 주응력을 함께 허용응력과 비교하여 허용 비틀림모멘트를 구하는 문제이다.

조건 정리

지름은 $d = 100\text{mm}$, 반지름은 $r = 50\text{mm}$이다.
극관성모멘트는 $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$이다.
허용 인장응력은 80MPa, 허용 압축응력은 100MPa, 허용 전단응력은 100MPa이다.
순수 비틀림의 표면에서는 주응력이 $\sigma_1 = +\tau$, $\sigma_2 = -\tau$이므로 인장·압축·전단 조건을 모두 확인한다.

사용할 공식

표면 전단응력은 $\tau = \frac{Tr}{I_p}$이므로 $T = \frac{\tau I_p}{r}$이다.
순수 전단 상태에서는 최대 주인장응력과 최대 주압축응력의 크기가 모두 τ와 같으므로, 허용 전단응력뿐 아니라 허용 인장·압축응력도 전단응력 τ와 비교한다.

NoteBase

계산 과정

허용 전단응력은 τ≤100 MPa이다. 주인장응력 조건은 τ≤80 MPa, 주압축응력 조건은 τ≤100 MPa이다. 따라서 지배하는 허용 전단응력은 $\tau = 80\text{MPa} = 80\text{N/mm}^2$이다.

$I_p = \frac{\pi(100)^4}{32}\text{mm}^4$

$T = \frac{80 \cdot (\pi(100)^4/32)}{50} = 5{,}000{,}000\pi\text{N} \cdot \text{mm} = 5\pi\text{kN} \cdot \text{m}$

선지 판단

① X: $2\pi\text{kN} \cdot \text{m}$는 허용응력을 모두 사용한 최대값이 아니다. 틀린 표현 '$2\pi\text{kN} \cdot \text{m}$' → 올바르게는 $5\pi\text{kN} \cdot \text{m}$이다.

② X: $3\pi\text{kN} \cdot \text{m}$는 허용응력을 모두 사용한 최대값이 아니다. 틀린 표현 '$3\pi\text{kN} \cdot \text{m}$' → 올바르게는 $5\pi\text{kN} \cdot \text{m}$이다.

③ X: $4\pi\text{kN} \cdot \text{m}$는 허용응력을 모두 사용한 최대값이 아니다. 틀린 표현 '$4\pi\text{kN} \cdot \text{m}$' → 올바르게는 $5\pi\text{kN} \cdot \text{m}$이다.

④ O: 지배 허용응력 80MPa를 대입한 계산값이 $5\pi\text{kN} \cdot \text{m}$이므로 옳다.

오답 포인트

허용 전단응력 100MPa만 적용하면 인장허용응력 조건을 놓치게 된다. 순수 전단에서는 주인장응력이 $+\tau$가 되므로, 더 작은 허용 인장응력 80MPa가 최대 모멘트를 결정한다.

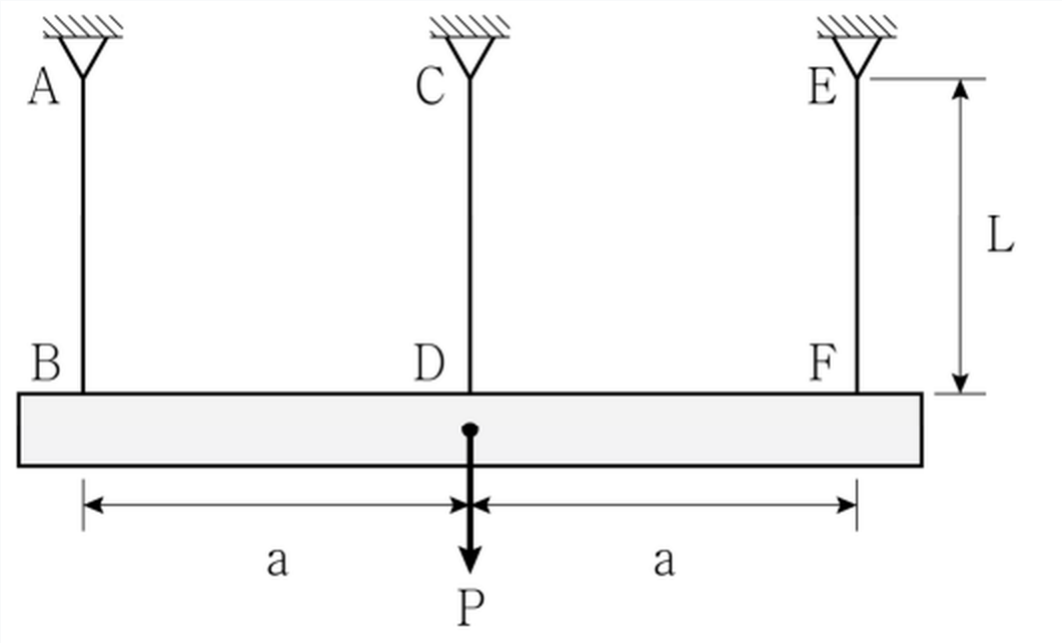
다시 나오면 이렇게 판단

비틀림 문제에서는 먼저 $\tau = Tr/I_p$를 세운 뒤, 순수 전단의 주응력 $\pm\tau$를 이용하여 인장·압축·전단 허용응력 중 가장 작은 값을 τ로 정한다. 그 후 $T = \tau I_p/r$에 대입하고 $\text{N} \cdot \text{mm}$를 $\text{kN} \cdot \text{m}$로 환산한다.

암기 포인트

순수 비틀림에서는 $\sigma_1 = +\tau, \sigma_2 = -\tau$이므로 '허용 τ = 인장·압축·전단 허용치의 최솟값'으로 정리한다.

문 9. 그림과 같이 좌우 대칭인 강체 막대를 선형탄성거동을 하는 케이블 AB, EF와 완전탄소성거동을 하는 케이블 CD가 지지하고 있다. 하중 $P = 90\text{kN}$이 강체 막대의 중앙에 작용할 때, 케이블 AB에 걸리는 인장력의 크기[kN]는? (단, 모든 케이블의 단면적은 100mm^2, 탄성계수는 200GPa이고 케이블 CD의 항복응력은 200MPa이다. 자중은 모두 무시한다)



① 25

② 30

③ 35

④ 40

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 좌우 대칭인 강체 막대의 동일 변위 조건과 완전탄소성 케이블의 항복 후 일정 인장력을 이용하여 케이블 AB의 인장력을 구하는 문제이다.

조건 정리

강체 막대와 하중이 좌우 대칭이므로 막대는 회전하지 않고 B, D, F점의 수직변위는 같다. 세 케이블은 길이 L, 단면적 $100mm^2$, 탄성계수 $200GPa$가 같으므로 항복 전에는 세 케이블의 인장력이 같다. CD는 완전탄소성이므로 항복 뒤에도 항복인장력을 유지한다.
CD의 항복인장력은 $T_y = \sigma_y A = (200MPa)(100mm^2) = 20kN$이다.

NoteBase

사용할 공식

수직평형식은 $2T_{AB} + T_{CD} = P$이다. 좌우 케이블 AB, EF는 대칭이므로 $T_{AB} = T_{EF}$이다.
이 식을 쓰는 이유는 항복 후 CD의 인장력이 $20kN$으로 더 증가하지 않아, 전체 하중에서 CD가 부담하는 부분을 제외한 하중을 AB와 EF가 균등하게 부담하기 때문이다.

계산 과정

1. 세 케이블이 모두 탄성이라면 각 케이블의 인장력은 $90/3 = 30kN$이다. 이때 CD의 응력은 $30kN/100mm^2 = 300MPa$로 항복응력 $200MPa$를 넘는다. 따라서 CD는 항복한다.
2. CD가 부담하는 인장력은 항복 후 $T_{CD} = 20kN$으로 일정하다.
3. 따라서 $2T_{AB} + 20 = 90$이고, $T_{AB} = 35kN$이다.

선지 판단

① X: AB의 인장력은 $25kN$이 아니다. $25kN$이면 전체 지지력은 $25 + 20 + 25 = 70kN$에 불과하다. 틀린 값 $25kN \rightarrow$ 올바르게는 $35kN$이다.
② X: AB의 인장력은 $30kN$이 아니다. 이는 세 케이블이 항복 전까지 같은 힘을 분담한다고만 본 값이다. CD는 $20kN$에서 이미 항복한다. 틀린 값 $30kN \rightarrow$ 올바르게는 $35kN$이다.
③ O: CD가 $20kN$을 부담한 뒤 남은 $70kN$을 AB와 EF가 대칭으로 나누므로, AB의 인장력은 $70/2 = 35kN$이다.
④ X: AB의 인장력은 $40kN$이 아니다. $40kN$이면 전체 지지력은 $40 + 20 + 40 = 100kN$이 된다. 틀린 값 $40kN \rightarrow$ 올바르게는 $35kN$이다.

오답 포인트

②의 $30kN$은 세 케이블에 $P/3$을 그대로 적용하여 CD의 완전탄소성 항복을 무시할 때 나온다. CD가 항복한 뒤에는 그 케이블의 힘이 $20kN$에서 고정된다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

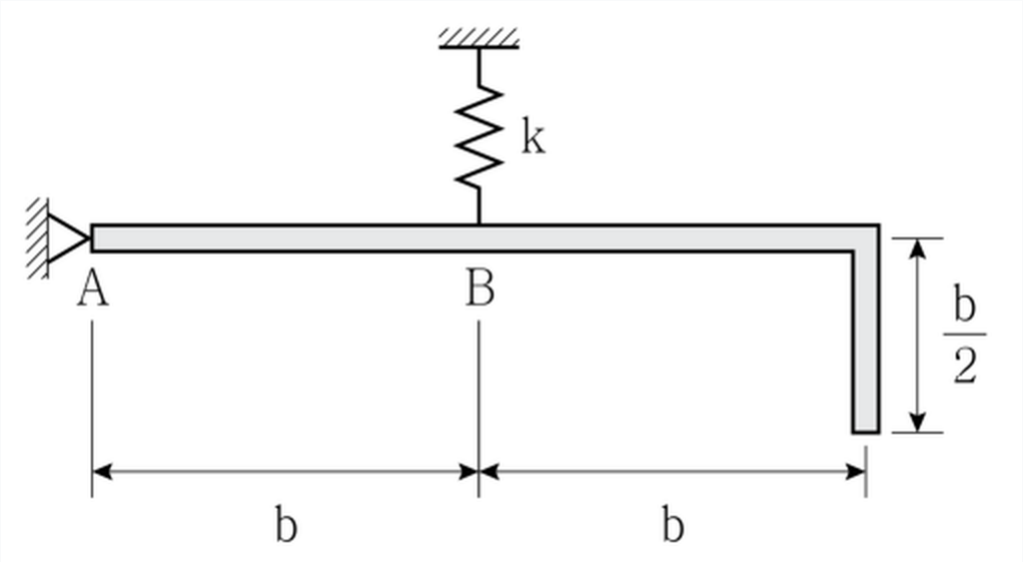
대칭 강체 막대 문제에서는 먼저 각 지점의 변위 관계를 확인하고, 탄소성 부재의 항복력 $\sigma_y A$를 구한다. 탄성 해석으로 구한 힘이 항복력을 넘으면 해당 부재의 힘을 항복력으로 고정한 뒤 평형식을 다시 적용한다.

암기 포인트

완전탄소성 케이블은 항복 후 늘어나도 힘은 $T_y = \sigma_y A$로 유지되고, 추가 하중은 아직 탄성인 케이블이 분담한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 L 형상의 강체보가 지점 A에서 힌지로 지지되어 있고, B점은 스프링으로 지지되어 있다. 보의 무게 때문에 발생되는 스프링의 신장량은? (단, 보의 단위 길이당 무게는 일정하고, 보 전체의 무게는 W이며, 수직 방향 스프링 강성은 k이다)



① $\frac{5W}{6k}$
② $\frac{6W}{5k}$
③ $\frac{3W}{5k}$
④ $\frac{5W}{3k}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 균일한 L형 강체보의 무게중심을 구한 뒤, A점에 대한 모멘트 평형으로 스프링력을 구하는 문제이다.

조건 정리

수평부의 길이는 $2b$, 수직부의 길이는 $b/2$이므로 전체 길이는 $5b/2$이다. 단위 길이당 무게가 일정하므로 각 부분의 무게는 길이에 비례한다. 스프링은 A점에서 b 떨어진 B점에 수직으로 작용하며, 전체 무게는 W이다.

사용할 공식

균일한 가는 보의 무게중심 위치는 각 부분 무게의 모멘트 합을 전체 무게로 나누어 구한다. 이어서 A점에 대해 $\sum M_A = 0$을 적용한다. A점 반력은 A점을 지나므로 A점에 대한 모멘트에는 나타나지 않는다.

NoteBase

계산 과정

수평부의 길이는 $2b$, 도심의 수평거리는 b이므로 길이모멘트는 $2b \cdot b = 2b^2$이다.
수직부의 길이는 $b/2$, 전체가 A점에서 수평거리 $2b$에 있으므로 길이모멘트는 $(b/2) \cdot 2b = b^2$이다.
따라서 전체 무게의 작용선은 A점에서 $x_G = \frac{2b^2 + b^2}{2b + b/2} = \frac{6b}{5}$ 떨어진다.
스프링의 상향력 F_s에 대하여 A점 모멘트 평형을 쓰면 $F_s b = W\left(\frac{6b}{5}\right)$이므로 $F_s = \frac{6W}{5}$이다.
스프링 신장량 δ는 훅의 법칙 $F_s = k\delta$에서 $\delta = \frac{F_s}{k} = \frac{6W}{5k}$이다.

선지 판단

① X: $\frac{5W}{6k}$는 계산 결과 $\frac{6W}{5k}$와 다르다. 틀린 표현은 신장량을 $\frac{5W}{6k}$로 둔 부분이며, 올바르게는 $\frac{6W}{5k}$이다. 이는 스프링력과 스프링강성의 비를 뒤바꾸거나 무게중심 거리를 잘못 처리한 값이다.
② O: A점에 대한 모멘트 평형에서 스프링력은 $\frac{6W}{5}$이고, 따라서 신장량은 $\frac{6W}{5k}$이다.
③ X: $\frac{3W}{5k}$는 계산 결과의 절반이다. 틀린 표현은 신장량을 $\frac{3W}{5k}$로 둔 부분이며, 올바르게는 $\frac{6W}{5k}$이다. 수평부와 수직부의 길이모멘트를 합산하지 않거나 전체 무게중심을 $\frac{3b}{5}$로 잘못 둔 경우에 생긴다.
④ X: $\frac{5W}{3k}$는 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 신장량을 $\frac{5W}{3k}$로 둔 부분이며, 올바르게는 $\frac{6W}{5k}$이다. 전체 보의 길이 $\frac{5b}{2}$로 나누는 무게중심 계산을 누락하면 이런 오차가 생긴다.

오답 포인트

수직부의 무게는 아래쪽에 있어도 A점에 대한 모멘트팔은 수평거리 $2b$이다. 수직 위치가 아니라 힘의 작용선과 A점 사이의 수직거리, 여기서는 수평거리를 사용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

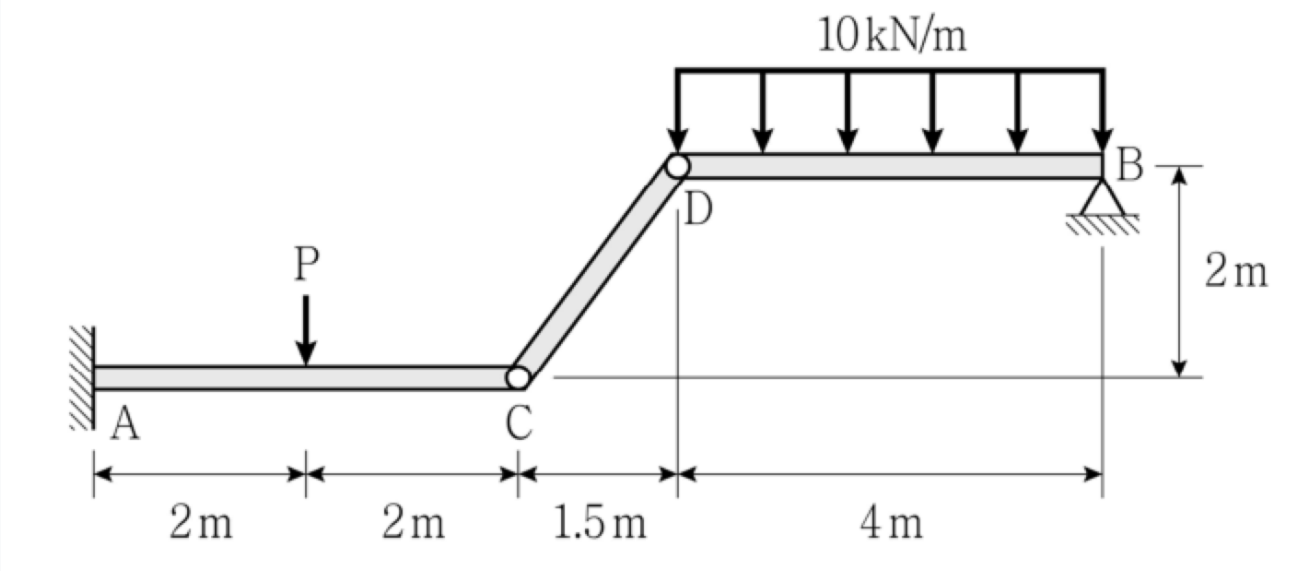
불규칙한 형상의 균일한 보는 직선 부분으로 나누어 각 부분의 길이에 비례한 무게와 도심 위치를 구한다. 이들 무게의 모멘트 합으로 전체 무게중심을 구한 뒤, 지점에 대한 모멘트 평형과 $F = k\delta$를 차례로 적용한다.

암기 포인트

균일 보의 무게중심은 길이 가중평균, 스프링 신장량은 $\delta = F/k$이다.

NoteBase

문 11. 그림과 같은 구조물의 C점과 D점이 힌지로 연결되어 있다. 지점 A의 수직반력이 지점 B의 수직반력의 2배가 되기 위한 집중하중 P의 크기 [kN]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 15

② 20

③ 25

④ 30

정답 2번

출제 포인트

힌지로 분리한 각 부재의 평형을 이용하여 지점 A와 B의 수직반력 관계를 구하는 문제이다.

조건 정리

상부 보 DB의 길이는 $4m$이고, 전 구간에 $10kN/m$의 등분포하중이 작용한다. 따라서 상부 보의 총하중은 $40kN$이다. C-D는 양 끝이 힌지인 부재이므로 축력만 전달하며, C점과 D점의 수직 전달력의 크기는 같다.

사용할 공식

등분포하중의 합력은 $W = wL$이다. 상부 보 DB는 D와 B에서 지지되는 단순보이므로 대칭 등분포하중에 대해 $R_D = R_B = W/2$가 된다. 이 공식을 쓰는 이유는 DB 보의 하중과 두 지점이 대칭이고, C-D 부재가 D점 반력을 C점으로 전달하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 상부 보의 등분포하중 합력은 $W = 10kN/m \times 4m = 40kN$이다.
2. DB 보의 수직반력은 $R_B = R_D = 40/2 = 20kN$이다. 따라서 $B_y = 20kN$이다.
3. D점에서 C-D 부재로 전달되는 수직력은 $20kN$이고, 그 반대 작용으로 AC 보의 C점에는 $20kN$의 아래 방향 힘이 작용한다.
4. AC 보의 수직평형에서 $A_y = P + 20kN$이다. 조건 $A_y = 2B_y$에 $B_y = 20kN$을 대입하면 $P + 20 = 2 \times 20$이므로 $P = 20kN$이다.

선지 판단

① X. $P = 15kN$이면 $A_y = 15 + 20 = 35kN$으로 $2B_y = 40kN$와 다르다. 틀린 값 $15kN$ → 올바르게는 $20kN$이다.
② O. $P = 20kN$이면 $A_y = 20 + 20 = 40kN$, $B_y = 20kN$이므로 $A_y = 2B_y$를 만족한다.
③ X. $P = 25kN$이면 $A_y = 45kN$이 되어 $2B_y = 40kN$보다 크다. 틀린 값 $25kN$ → 올바르게는 $20kN$이다.
④ X. $P = 30kN$이면 $A_y = 50kN$이 되어 $A_y = 2B_y$를 만족하지 않는다. 틀린 값 $30kN$ → 올바르게는 $20kN$이다.

오답 포인트

상부 보의 총하중 $40kN$을 곧바로 C점에 전달되는 힘으로 보는 실수가 흔하다. DB 보에서는 D점과 B점이 각각 $20kN$씩 분담하므로, C점으로 전달되는 수직력도 $20kN$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

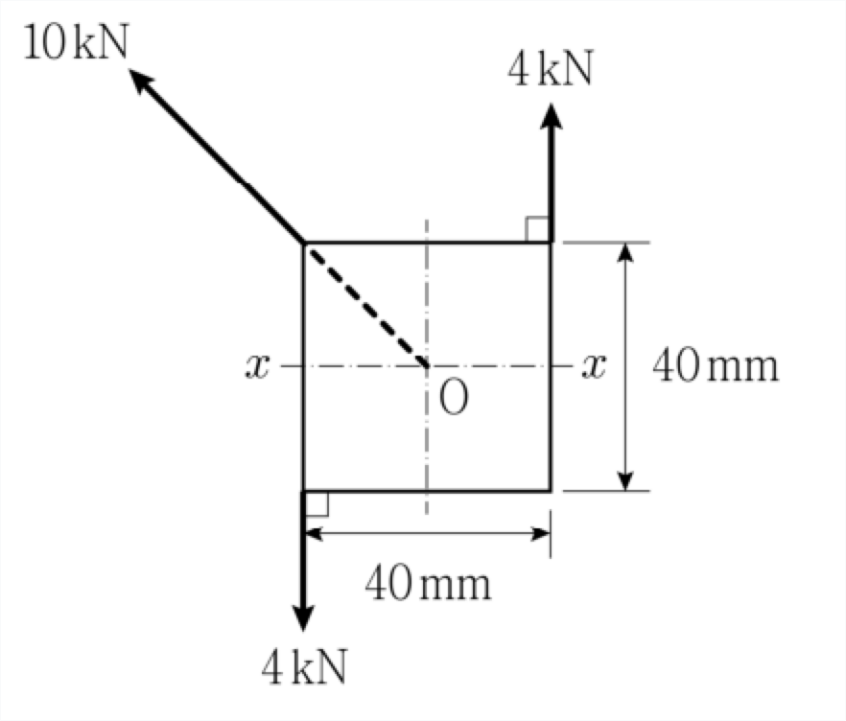
힌지에서 구조물을 나누어 하중이 직접 작용하는 보의 반력을 먼저 구한다. 이어서 힌지부 부재가 전달하는 작용·반작용을 인접 보에 적용하고, 마지막으로 요구된 지점반력 관계를 대입한다.

암기 포인트

대칭 단순보의 전 구간 등분포하중은 양 지점이 절반씩 부담하며, 힌지 연결부에서는 전달력의 크기는 같고 방향은 반대이다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 한 변이 40mm인 정사각형 단면에 세 힘이 작용하고 있다. 세 힘의 합력의 작용선이 $x-x$ 축과 교차하는 점에서부터 도심 O점까지의 거리[mm]는?



① $12\sqrt{2}$
② $14\sqrt{2}$
③ $16\sqrt{2}$
④ $18\sqrt{2}$

정답 3번

출제 포인트

평면력계의 합력과 합력선의 위치를 구하는 문제이다. 중심 O점에 대한 전체 모멘트를 합력의 모멘트와 같게 둔다.

조건 정리

정사각형의 한 변은 40mm이므로 각 꼭짓점은 O점에서 가로·세로로 20mm 떨어져 있다. 좌상단의 10kN 힘은 O점을 지나는 대각선 방향이므로 O점에 대한 모멘트는 0이다. 우상단의 위쪽 4kN과 좌하단의 아래쪽 4kN은 각각 O점에 대해 반시계방향 모멘트를 만든다.

NoteBase

사용할 공식

합력선이 x축과 만나는 점을 $P(x, 0)$라 하면, O점에 대한 모멘트는 $M_O = xR_y$이다. 모든 힘의 O점에 대한 모멘트의 합과 합력의 모멘트가 같아야 하므로 이 식을 사용한다.

계산 과정

1. 합력의 성분은 $R_x = -10/\sqrt{2} = -5\sqrt{2}\,\text{kN}$, $R_y = 10/\sqrt{2} + 4 - 4 = 5\sqrt{2}\,\text{kN}$이다.
2. O점에 대한 모멘트는 우상단 힘에서 $4 \times 20 = 80\text{kN}\cdot\text{mm}$, 좌하단 힘에서 $4 \times 20 = 80\text{kN}\cdot\text{mm}$이다. 따라서 $M_O = 160\text{kN}\cdot\text{mm}$이다.
3. $160 = x(5\sqrt{2})$이므로 $x = 16\sqrt{2}\,\text{mm}$이다. 따라서 x축과 합력선의 교점에서 O점까지의 거리는 $16\sqrt{2}\,\text{mm}$이다.

선지 판단

① X — 계산 결과와 다르다. 틀린 표현: 거리 $12\sqrt{2}\,\text{mm}$ → 올바르게는 $16\sqrt{2}\,\text{mm}$이다.
② X — 계산 결과와 다르다. 틀린 표현: 거리 $14\sqrt{2}\,\text{mm}$ → 올바르게는 $16\sqrt{2}\,\text{mm}$이다.
③ O — $M_O = xR_y$에 $M_O = 160\text{kN}\cdot\text{mm}$, $R_y = 5\sqrt{2}\,\text{kN}$을 대입하면 $x = 16\sqrt{2}\,\text{mm}$이다.
④ X — 계산 결과와 다르다. 틀린 표현: 거리 $18\sqrt{2}\,\text{mm}$ → 올바르게는 $16\sqrt{2}\,\text{mm}$이다.

오답 포인트

좌상단의 10kN 힘은 크기가 크지만 작용선이 O점을 지나므로 O점 모멘트가 0이다. 힘의 크기만 보고 이 힘의 모멘트를 더하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

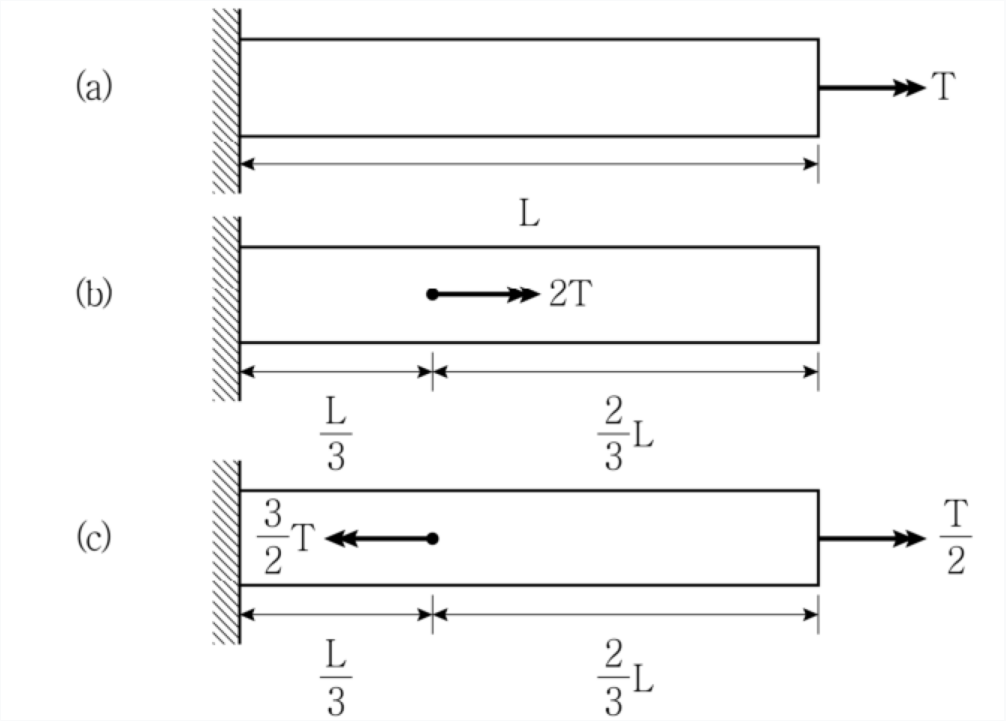
먼저 합력의 성분을 구하고, 기준점 O를 지나는 힘은 모멘트에서 제외한다. 그 뒤 $\sum M_O = xR_y$로 합력선의 x축 교점을 구한다.

암기 포인트

합력선 위치는 합모멘트=합력 성분×거리로 정한다. 기준점을 지나는 힘의 모멘트는 0이다.

NoteBase

문 13. 그림과 같이 서로 다른 비틀림모멘트가 작용하는 세 개의 봉 (a), (b), (c)에 저장된 탄성 변형에너지의 비 $U_a : U_b : U_c$는? (단, 세 봉의 비틀림강성 GJ는 동일하다)



① 6 : 8 : 3

② 6 : 8 : 11

③ 6 : 16 : 3

④ 6 : 16 : 11

정답 1번

출제 포인트

비틀림모멘트가 구간마다 다를 때 비틀림 탄성변형에너지를 구간별로 합산하는 문제이다.

조건 정리

세 봉의 GJ와 전체 길이는 같다. (a)는 자유단에 T가 작용한다. (b)는 고정단에서 $L/3$ 떨어진 지점에 $2T$가 작용한다. (c)는 $L/3$ 지점에 $\frac{3}{2}T$가 왼쪽 방향으로, 자유단에 $T/2$가 오른쪽 방향으로 작용한다. 각 구간의 내부 비틀림모멘트는 아래 계산 과정에서 자유물체도 평형으로 구한다.

NoteBase

사용할 공식

$U = \int_0^L \frac{T(x)^2}{2GJ} dx$
비틀림 탄성변형에너지는 비틀림모멘트의 제곱에 비례하므로, 모멘트가 바뀌는 지점에서 구간을 나누어 계산한다. 각 구간의 내부 토크는 임의 단면을 자른 뒤 한쪽(여기서는 자유단 쪽)에 작용하는 외부 토크의 합으로 구한다.

계산 과정

(a) 자유단에 T만 작용하므로 전 구간의 내부 비틀림모멘트는 T로 일정하다.
$U_a = \frac{T^2 L}{2GJ}$
(b) 단면의 자유단 쪽 외부 토크를 합해 내부 토크를 구한다. $L/3$~L 구간은 오른쪽에 외력이 없어 내부 토크가 0이고, 고정단~$L/3$ 구간은 오른쪽의 $2T$와 평형을 이루어 내부 토크가 $2T$이다. 따라서 에너지가 저장되는 구간은 길이 $L/3$뿐이다.
$U_b = \frac{(2T)^2 (L/3)}{2GJ} = \frac{4}{3} U_a$
(c) 두 외력의 방향이 반대이므로 부호를 구분한다. 오른쪽 방향의 $T/2$를 (+), $L/3$ 지점의 $\frac{3}{2}T$를 (−)로 두면, $L/3$~L 구간의 내부 토크는 오른쪽에 $T/2$만 있으므로 크기가 $\frac{T}{2}$이고, 고정단~$L/3$ 구간은 오른쪽 두 토크의 합 $-\frac{3}{2}T + \frac{1}{2}T = -T$이므로 크기가 T이다.
$U_c = \frac{1}{2GJ}\left[T^2\left(\frac{L}{3}\right) + \left(\frac{T}{2}\right)^2\left(\frac{2L}{3}\right)\right] = \frac{1}{2} U_a$
따라서 $U_a : U_b : U_c = 1 : 4/3 : 1/2 = 6 : 8 : 3$이다.

선지 판단

① O. 계산한 비는 6 : 8 : 3이므로 옳다.
② X. U_c를 11로 둔 표현이 틀렸다. 올바르게는 6 : 8 : 3이다.
③ X. U_b를 16으로 둔 표현이 틀렸다. 올바르게는 6 : 8 : 3이다.
④ X. U_b와 U_c를 각각 16, 11로 둔 표현이 틀렸다. 올바르게는 6 : 8 : 3이다.

오답 포인트

(c)에서 두 모멘트의 방향이 반대이므로 부호를 붙여 합산해 내부 토크의 크기를 먼저 구해야 한다. 방향이 반대라도 변형에너지에는 내부 토크의 제곱이 들어가고, 각 구간 길이 $L/3$와 $2L/3$를 곱해 따로 더해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

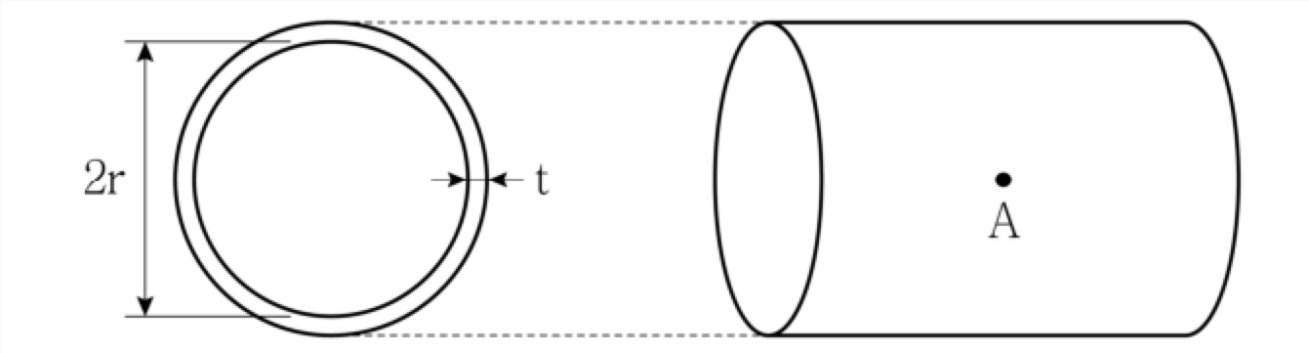
비틀림 에너지 문제는 먼저 각 구간의 내부 비틀림모멘트를 평형으로 구하고, 각 구간에 대해 $T^2 l/(2GJ)$를 계산한 뒤 합산한다.

암기 포인트

비틀림 에너지는 $T^2 \times l$에 비례한다. 모멘트가 2배이면 같은 길이에서 에너지는 4배가 된다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 얇은판으로 제작한 원통형 압력용기가 내부압력을 받고 있다. 용기의 내부 반지름 $r = 100\text{mm}$, 두께 $t = 1\text{mm}$, 탄성계수 $E = 180\text{GPa}$, 포아송비 $\nu = 0.2$이다. 원통의 바깥면 A점에서 허용인장변형률 $\varepsilon_a = 1 \times 10^{-4}$을 넘지 않는 최대 내부압력의 크기[MPa]와 가장 가까운 값은? (단, 재료는 등방성재료이다)



① 0.20

② 0.18

③ 0.15

④ 0.10

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 양끝이 막힌 얇은 원통형 압력용기에서 원주방향 응력과 축방향 응력을 함께 고려하여 A점의 원주방향 변형률을 제한하는 내부압력을 구하는 문제이다.

조건 정리

내부 반지름은 $r = 100\text{mm}$, 두께는 $t = 1\text{mm}$, 탄성계수는 $E = 180\text{GPa} = 180{,}000\text{MPa}$, 포아송비는 $\nu = 0.2$이다.
허용 원주방향 변형률은 $\varepsilon_\theta = 1 \times 10^{-4}$이다.
얇은 원통이고 양끝이 막혀 있으므로 원주방향 응력과 축방향 응력이 모두 발생한다.

사용할 공식

얇은 폐단 원통의 응력은 $\sigma_\theta = \frac{pr}{t}$, $\sigma_z = \frac{pr}{2t}$이다. 따라서 원주방향 변형률은 $\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \nu\sigma_z) = \frac{pr}{tE}\left(1 - \frac{\nu}{2}\right)$이다.
원주방향 변형률에는 축방향 응력에 의한 포아송 효과가 포함되므로, σ_θ/E만 사용하면 안 된다.

NoteBase

계산 과정

허용 변형률을 식에 대입하면 $p = \frac{\varepsilon_\theta E t}{r(1-\nu/2)}$이다.
$p = \frac{(1\times10^{-4})(180{,}000\text{MPa})(1\text{mm})}{(100\text{mm})(1-0.2/2)} = 0.20\text{MPa}$
따라서 허용 원주방향 변형률을 넘지 않는 최대 내부압력은 0.20MPa이다.

선지 판단

① 0.20MPa: O. 포아송 효과를 포함한 원주방향 변형률 식으로 계산한 최대 압력과 일치한다.
② 0.18MPa: X. 틀린 값 0.18MPa는 포아송 효과를 반대로 처리하거나 계수를 잘못 적용하여 얻을 수 있다. 올바르게는 0.20MPa이다.
③ 0.15MPa: X. 이 값은 주어진 E, r, t, ν를 변형률 식에 정확히 대입한 결과가 아니다. 올바르게는 0.20MPa이다.
④ 0.10MPa: X. 축방향 응력을 원주방향 응력과 같은 크기로 잘못 보거나 응력 관계의 계수를 혼동하면 과소평가될 수 있다. 올바르게는 0.20MPa이다.

오답 포인트

원주방향 응력은 pr/t이고 축방향 응력은 그 절반인 $pr/(2t)$이다. 원주방향 변형률을 구할 때 ②~④처럼 축방향 응력의 포아송 효과를 빼먹거나 계수를 혼동하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

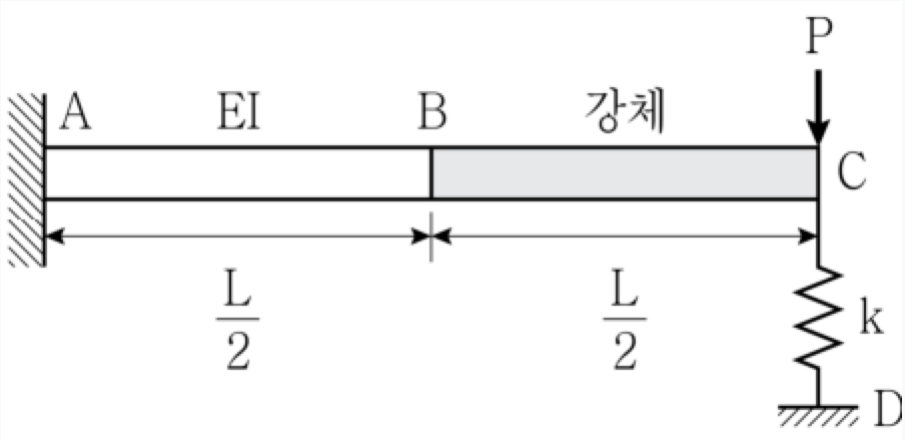
얇은 폐단 원통에서는 먼저 $\sigma_\theta = pr/t$, $\sigma_z = pr/(2t)$를 세운 뒤, 구하려는 방향의 변형률 식에 포아송비 항을 포함한다. 이어서 E의 단위를 MPa로 맞추어 압력을 계산한다.

암기 포인트

폐단 얇은 원통의 원주변형률은 $\varepsilon_\theta = \frac{pr}{tE}(1-\nu/2)$이다. 원주응력은 축응력의 2배이다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 구간 AB에서는 휨강성이 EI이고, 구간 BC에서는 강체인 캔틸레버보가 강성 $k = \frac{12EI}{7L^3}$를 가지는 스프링과 연결되어 있다. 수직하중 P가 C점에 가해졌을 때, 지점 A의 반력모멘트의 크기는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{PL}{4}$
② $\frac{3PL}{4}$
③ $\frac{PL}{3}$
④ $\frac{2PL}{3}$

정답 4번

출제 포인트

강체 구간 BC와 스프링이 연결된 캔틸레버에서 호환조건(스프링 변형량=점 C의 처짐)과 평형조건을 이용하여 A점의 반력모멘트 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

보의 전체 길이는 L이고, 휨변형은 AB 구간 $0 \le x \le L/2$에서만 발생한다. C점의 하향 처짐을 \delta, 스프링의 상향 반력을 R라 하면 보에 실제로 작용하는 순하중은 $Q = P - R$이다. BC는 강체이므로 그 구간에서는 휨에너지가 생기지 않지만, C점 하중의 모멘트팔 $L - x$는 AB의 처짐 계산에 반영된다.

사용할 공식

단위하중법으로 C점 처짐은 $\delta = \int_0^{L/2} \frac{Mm}{EI} dx = \frac{Q}{EI} \int_0^{L/2} (L-x)^2 dx = \frac{7QL^3}{24EI}$ 이다. 여기서 실제 휨모멘트는 $M = Q(L-x)$, C점에 단위하중을 가했을 때의 가상 휨모멘트는 $m = L - x$이다. 스프링력은 훅의 법칙 $R = k\delta$를 따른다.

NoteBase

계산 과정

1. 스프링 호환조건에 $k = \frac{12EI}{7L^3}$와 C점 처짐을 대입하면 $R = \frac{12EI}{7L^3} \cdot \frac{7QL^3}{24EI} = \frac{Q}{2}$ 이다.
2. 순하중의 평형식 $Q = P - R$에 대입하면 $Q = P - \frac{Q}{2}$, $\quad Q = \frac{2P}{3}$ 이다.
3. A점의 반력모멘트 크기는 A에서 순하중 Q가 거리 L에 작용하여 만드는 모멘트이므로 $|M_A| = QL = \frac{2PL}{3}$ 이다.

선지 판단

① X. A점 반력모멘트는 $PL/4$가 아니다. 스프링 반력을 호환조건까지 고려한 순하중은 $2P/3$이므로, 틀린 표현 $PL/4$ → 올바르게는 $2PL/3$이다.
② X. A점 반력모멘트는 $3PL/4$가 아니다. 스프링력은 $R = Q/2 = P/3$이고 순하중은 $2P/3$이므로, 틀린 표현 $3PL/4$ → 올바르게는 $2PL/3$이다.
③ X. A점 반력모멘트는 $PL/3$이 아니다. 처짐 적분에서 AB만 적분하되 모멘트팔 $L - x$를 써야 한다. 틀린 표현 $PL/3$ → 올바르게는 $2PL/3$이다.
④ O. 스프링의 반력을 포함한 순하중이 $Q = 2P/3$이므로 A점 반력모멘트의 크기는 $QL = 2PL/3$이다. 계산 결과 $2PL/3$이므로 정답은 4번이다.

오답 포인트

BC가 강체라는 이유로 C점 처짐을 AB 길이 $L/2$의 단순 외팔보 끝하중 처짐으로 계산하면 안 된다. C점 하중은 AB의 각 단면에 대해 $L - x$의 모멘트팔을 가지며, AB 끝에서의 회전도 C점 처짐에 포함된다.

다시 나오면 이렇게 판단

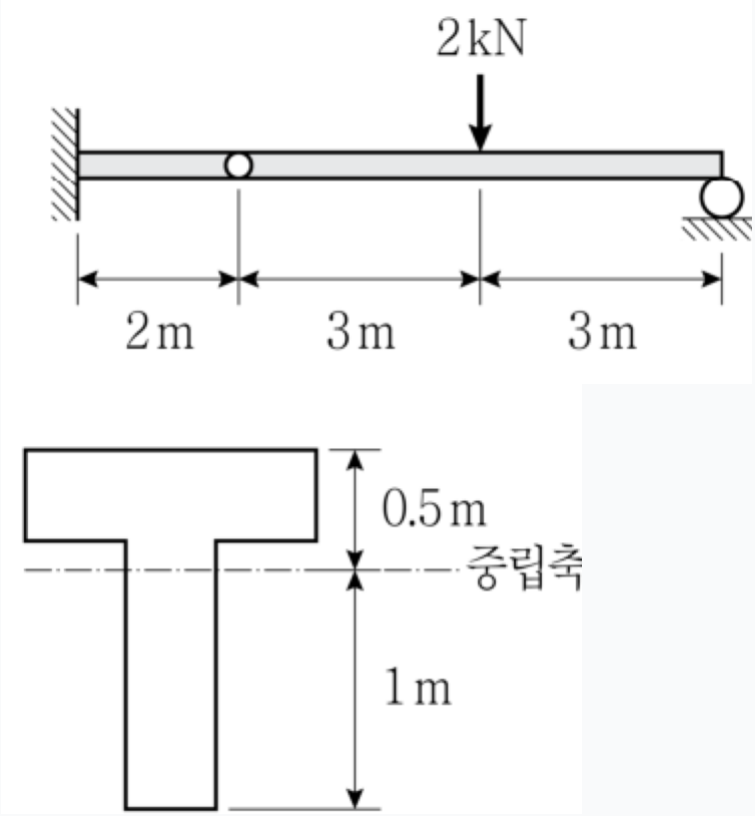
스프링이 있는 정정보 외 구조는 먼저 보에 작용하는 순하중을 $Q = P - R$로 둔다. 다음으로 스프링 위치의 처짐을 단위하중법으로 구해 $R = k\delta$와 연립하고, 마지막에 그 순하중으로 지점반력과 반력모멘트를 계산한다.

암기 포인트

강체 구간은 휨변형은 없지만 모멘트팔과 회전에 따른 끝점 처짐에는 영향을 준다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 단면이 T형인 게르버보에서 최대 휨압축응력의 크기 [MPa]는? (단, 보의 중립축에 대한 단면2차모멘트는 $2.0 \times 10^{-3}\mathrm{m}^4$이고, 자중은 무시한다)



① 0.75

② 1.00

③ 1.25

④ 1.50

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 보의 휨응력식 $\sigma = \frac{Mc}{I}$를 이용하여 최대 휨압축응력을 구하는 문제이다.

조건 정리

단면2차모멘트는 $I = 2.0 \times 10^{-3}m^4$이다. 중립축에서 압축측 최외단까지의 거리는 $c = 1.0m$이고, 지점부 최대휨모멘트의 크기는 $M = 2kN \cdot m$이다.

NoteBase

사용할 공식

휨응력은 $\sigma = \frac{Mc}{I}$이다. 휨모멘트가 작용하는 보에서 중립축으로부터 먼 최외단 섬유의 응력 크기가 가장 크므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

힌지의 전달력은 오른쪽 경간의 평형으로부터 $1kN$이고, 고정단 모멘트는 $M = 1kN \times 2m = 2kN \cdot m$이다.
$2kN \cdot m = 2.0 \times 10^3 N \cdot m$이므로,
$\sigma_{max} = \frac{(2.0 \times 10^3 N \cdot m)(1.0m)}{2.0 \times 10^{-3} m^4} = 1.0 \times 10^6 Pa = 1.00MPa$

선지 판단

① X: 계산값은 $0.75MPa$가 아니라 $1.00MPa$이다. 틀린 수치 $0.75MPa$ → 올바르게는 $1.00MPa$이다.
② O: $\sigma_{max} = 1.00MPa$이므로 옳다.
③ X: 계산값은 $1.25MPa$가 아니다. 틀린 수치 $1.25MPa$ → 올바르게는 $1.00MPa$이다.
④ X: 계산값은 $1.50MPa$가 아니다. 틀린 수치 $1.50MPa$ → 올바르게는 $1.00MPa$이다.

오답 포인트

휨응력 계산에서 M을 $kN \cdot m$ 상태로 바로 대입하면 안 된다. $N \cdot m$로 바꾸고, 중립축에서 가장 먼 압축측 거리 c를 사용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

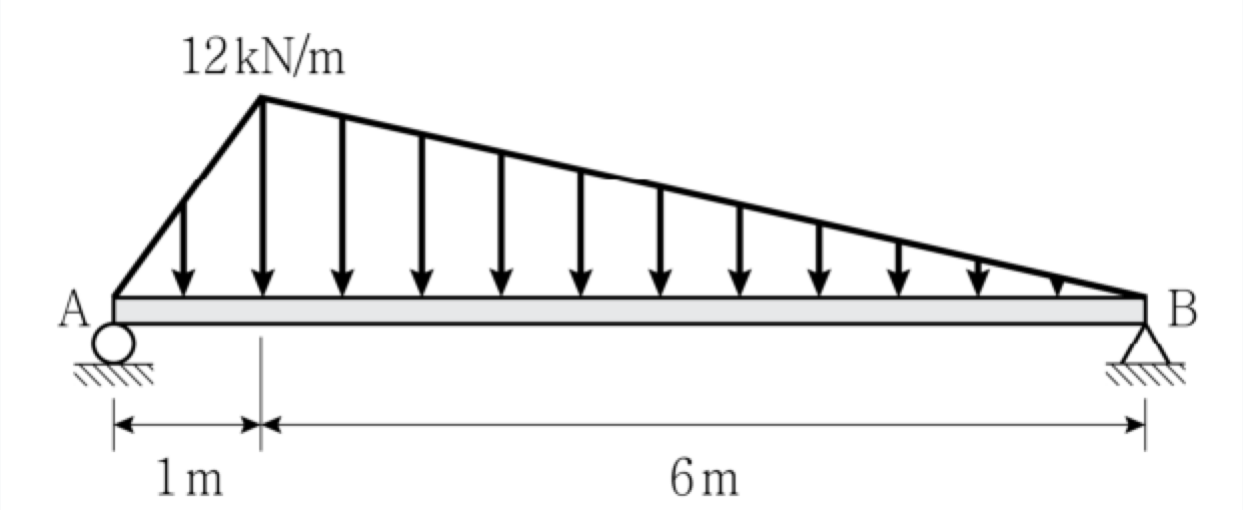
보의 반력과 최대휨모멘트를 먼저 구한 뒤, 압축측 최외단 거리 c를 정하여 $\sigma = Mc/I$에 SI 단위로 대입한다.

암기 포인트

휨응력은 M과 c에 비례하고 I에 반비례한다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 분포하중을 받는 단순보에서 지점 A로부터 최대 휨모멘트가 작용하는 위치까지의 거리[m]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 3번

출제 포인트

분포하중을 받는 단순보에서 전단력 V가 0이 되는 지점, 즉 최대 휨모멘트가 발생하는 위치를 구하는 문제이다.

조건 정리

보의 길이는 $7m$이고, A에서 $1m$ 떨어진 곳에서 하중강도는 $12kN/m$이다. A~$1m$ 구간과 그 이후 $6m$ 구간은 각각 삼각형 분포하중으로 나눈다.
왼쪽 삼각형 하중은 $6kN$, 작용점은 A로부터 $2/3m$이다. 오른쪽 삼각형 하중은 $36kN$, 작용점은 A로부터 $3m$이다.

사용할 공식

최대 휨모멘트는 전단력이 0인 곳에서 발생한다. 즉 $V(x) = 0$을 푼다.
삼각형 분포하중의 합력은 $W = \frac{1}{2}bh$이고, 합력의 작용점은 큰 쪽에서 밑변의 1/3 지점이다.
이 공식을 쓰는 이유는 분포하중을 합력으로 바꾸어 지점반력을 구한 뒤, 하중을 적분한 전단력으로 최대모멘트 위치를 판정하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

전체 하중은 $6+36=42kN$이다. A점에 대한 하중모멘트는 $6\times\frac{2}{3}+36\times3=112kN\cdot m$이다.
따라서 B점 반력은 $R_B=112/7=16kN$, A점 반력은 $R_A=42-16=26kN$이다.
A에서 xm 떨어진 곳이 $1<x<7$일 때 하중강도는 $w(x)=14-2x(kN/m)$이다. A부터 x까지의 누적하중은 $6+\int_1^x(14-2s)ds=14x-x^2-7$ 이다.
따라서 전단력은 $V(x)=26-(14x-x^2-7)=x^2-14x+33$ 이다. $V(x)=0$이면 $x=3, 11$이고, 보 구간 안의 값은 $x=3m$뿐이다.

선지 판단

① X: '$1m$'는 분포하중이 최대가 되는 위치일 뿐 최대 휨모멘트 위치는 아니다. 틀린 표현 '$1m$' → 올바르게는 '$3m$'이다.
② X: $x=2m$에서는 $V(2)=4-28+33=9kN$으로 0이 아니다. 틀린 표현 '$2m$' → 올바르게는 '$3m$'이다.
③ O: $x=3m$에서 $V(3)=9-42+33=0$이므로 휨모멘트가 최대가 된다.
④ X: $x=4m$에서는 $V(4)=16-56+33=-7kN$으로 이미 전단력이 음수이다. 틀린 표현 '$4m$' → 올바르게는 '$3m$'이다.

오답 포인트

하중강도가 가장 큰 $x=1m$ 지점과 휨모멘트가 최대인 지점을 혼동하기 쉽다. 최대 휨모멘트의 조건은 하중강도 최대가 아니라 전단력 $V=0$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

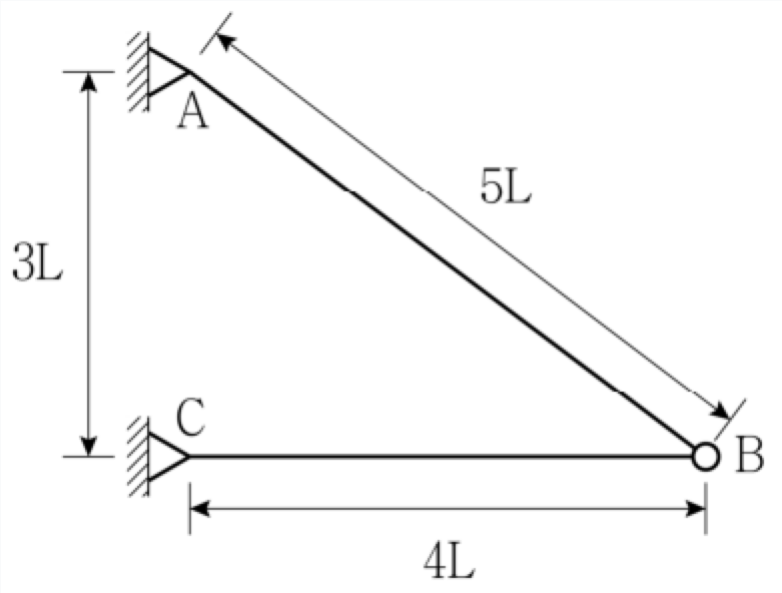
분포하중 보 문제는 분포하중을 합력으로 바꾸어 지점반력을 구한 뒤, 관심 구간의 전단력식을 세워 $V=0$인 위치를 찾는 순서로 판단한다. 구한 위치가 보의 범위 안에 있는지도 확인한다.

암기 포인트

휨모멘트의 극값 조건은 $V=0$이며, 하중강도 최대 위치와는 일반적으로 다르다.

NoteBase

문 18. 그림과 같은 트러스에서 모든 부재의 온도가 ΔT 상승하였을 때, B점의 수직처짐의 크기는? (단, 모든 부재의 열팽창계수는 α이고, 재료와 단면적은 동일하며 자중은 무시한다)



① $2\alpha\Delta TL$

② $3\alpha\Delta TL$

③ $4\alpha\Delta TL$

④ $5\alpha\Delta TL$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 핀 접합 트러스의 각 부재가 자유 열팽창한 뒤, 절점 B의 변위를 부재축 방향 변형으로 환산하는 문제이다.

조건 정리

수평 부재 CB의 길이는 $4L$, 대각 부재 AB의 길이는 $5L$이다. A와 C는 고정되어 있고, B의 변위를 오른쪽 u, 위쪽 v로 둔다. 모든 부재의 자유 열팽창량은 길이의 $\alpha\Delta T$배이다.

사용할 공식

부재축 방향 신장은 절점 변위의 부재축 방향 성분과 같으므로, $\delta = \Delta\mathbf{r}\cdot\mathbf{e}$를 사용한다. 열팽창에 의한 각 부재의 신장은 $\delta_T = \alpha\Delta Tl$이다. 부재는 핀으로 연결되어 축방향으로만 변형하므로 이 변형 적합조건을 적용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 수평 부재 CB의 열팽창량은 $\alpha\Delta T(4L)$이므로 $u = 4\alpha\Delta TL$이다.
2. AB의 A에서 B 방향 단위벡터는 ≤ft(45,-35)이다. 따라서 AB의 축방향 변형은 45u-35v이다.
3. AB의 자유 열팽창량은 $5\alpha\Delta TL$이므로 45(4αΔ TL)-35v=5αΔ TL이다. 이를 풀면 $v = -3\alpha\Delta TL$이다. 따라서 B점은 아래로 $3\alpha\Delta TL$만큼 처지고, 수직처짐의 크기는 $3\alpha\Delta TL$이다.

선지 판단

① X: $2\alpha\Delta TL$은 계산된 수직처짐 크기와 다르다. 틀린 표현 $2\alpha\Delta TL$ → 올바르게는 $3\alpha\Delta TL$이다.
② O: B점의 수직변위가 $-3\alpha\Delta TL$이므로, 수직처짐의 크기는 $3\alpha\Delta TL$이다.
③ X: $4\alpha\Delta TL$은 수평 부재 CB의 열팽창량으로, 수직처짐이 아니다. 틀린 표현 $4\alpha\Delta TL$ → 올바르게는 $3\alpha\Delta TL$이다.
④ X: $5\alpha\Delta TL$은 대각 부재 AB의 열팽창량으로, B점의 수직처짐이 아니다. 틀린 표현 $5\alpha\Delta TL$ → 올바르게는 $3\alpha\Delta TL$이다.

오답 포인트

③과 ④처럼 각 부재의 자유 열팽창량을 그대로 수직처짐으로 보는 오류가 핵심 함정이다. 부재의 열팽창량은 부재축 방향 값이므로, 대각 부재에서는 수평·수직 변위를 함께 투영하여야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

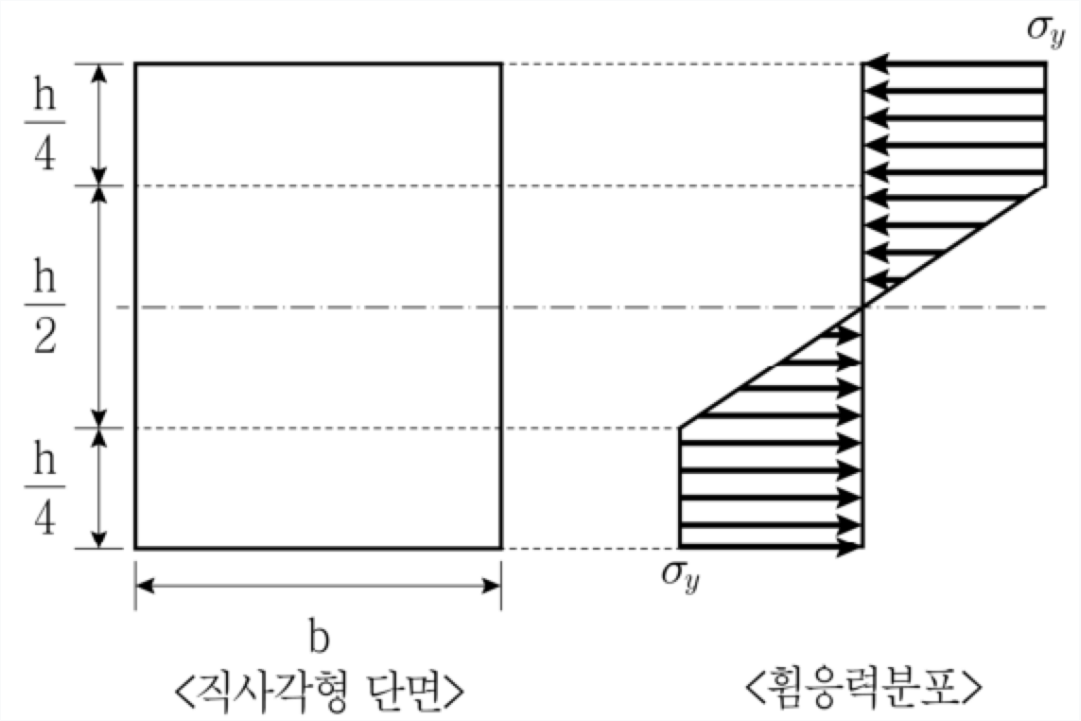
열팽창 트러스는 먼저 각 부재의 $\alpha\Delta Tl$을 구하고, 각 부재축 방향 단위벡터에 절점 변위를 투영한 식을 세워 연립한다. 마지막에 변위의 부호로 방향을, 절댓값으로 처짐의 크기를 판단한다.

암기 포인트

트러스 열팽창은 '부재축 방향 신장 = 절점변위의 축방향 투영'으로 정리한다.

NoteBase

문 19. 그림과 같은 직사각형 단면의 부재를 반지름이 R인 강체원통 구조물에 감았을 때, 부재의 단면에 그림과 같은 휨응력 상태가 나타나기 위한 반지름 R의 크기와 가장 가까운 값은? (단, 부재의 항복응력은 200MPa, 탄성계수는 200GPa이며 완전탄소성거동을 한다)



① 150h

② 250h

③ 350h

④ 450h

정답 2번

출제 포인트

완전탄소성 재료가 부분적으로 항복한 직사각형 단면에서, 탄성영역 경계의 휨응력과 곡률반지름의 관계를 이용하는 문제이다.

조건 정리

그림에서 상·하단의 $h/4$ 구간은 항복응력 σ_y가 일정한 소성영역이고, 중앙의 $h/2$ 구간은 응력이 직선으로 변하는 탄성영역이다. 따라서 탄성영역의 경계는 중립축에서 $y = h/4$인 위치이며, 그곳의 응력 크기는 $\sigma_y = 200MPa$이다. 탄성계수는 $E = 200GPa = 200{,}000MPa$이다.

NoteBase

사용할 공식

탄성영역에서는 휨응력이 $\sigma = E\frac{y}{R}$로 분포한다. 소성영역에서는 이 식이 그대로 적용되지 않으므로, 항복응력에 처음 도달하는 탄성영역 경계 $y = h/4$에 이 식을 적용한다.

계산 과정

탄성영역 경계에서 $\sigma = \sigma_y$이므로 $\sigma_y = E\frac{h/4}{R}$이다. 따라서 $R = \frac{Eh}{4\sigma_y} = \frac{200{,}000}{4 \times 200}h = 250h$가 된다.

선지 판단

① X — 계산값은 $250h$이므로 $150h$는 맞지 않는다. 틀린 표현 $R = 150h$ → 올바르게는 $R = 250h$이다.
② O — 탄성영역 경계 $y = h/4$에서 항복응력 $200MPa$를 대입하면 $R = 250h$가 된다.
③ X — $350h$는 계산값보다 크다. 틀린 표현 $R = 350h$ → 올바르게는 $R = 250h$이다.
④ X — $450h$는 계산값보다 크다. 틀린 표현 $R = 450h$ → 올바르게는 $R = 250h$이다.

오답 포인트

단면 최외단 $y = h/2$에 탄성 휨공식을 적용하면 안 된다. 최외단은 이미 항복하여 응력이 σ_y로 일정한 소성영역이므로, 직선 응력분포가 끝나는 $y = h/4$를 사용해야 한다. 또한 GPa와 MPa는 같은 단위로 맞춘다.

다시 나오면 이렇게 판단

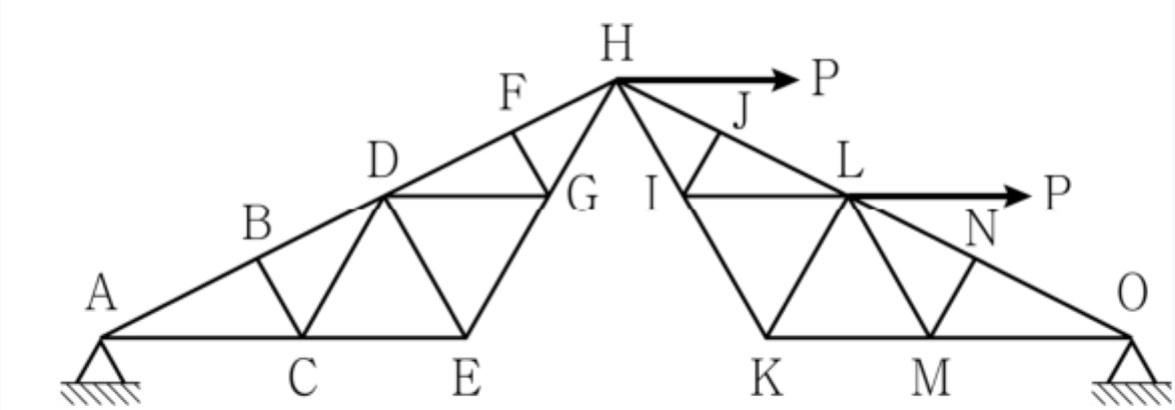
완전탄소성 휨응력도에서는 먼저 직선으로 변하는 탄성영역의 끝을 찾는다. 그 위치의 y와 σ_y를 $\sigma = Ey/R$에 대입해 R을 구한다.

암기 포인트

부분 항복 단면의 곡률반지름은 '탄성영역 경계에서 $\sigma = \sigma_y$'로 구한다. 이 문제에서는 $y = h/4$이므로 $R = 250h$이다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 두 개의 수평하중(P)을 받는 평면트러스 구조에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 트러스의 자중은 무시한다)



① 이 트러스는 부정정 구조이다.

② 부재 DE와 부재 KL의 부재력은 0이다.

③ 부재 AB와 부재 DF의 부재력은 같다.

④ 부재 IL의 부재력은 P이다.

정답 3번

출제 포인트

평면 트러스의 정정성 판정과 무력부재 조건, 그리고 절점 평형을 이용하여 각 부재력을 판단하는 문제이다.

조건 정리

절점 수는 15개, 부재 수는 27개, 지점반력 수는 3개이다. 평면 트러스는 $m + r = 2j$이면 정정 구조이다. 또한 외력이 없는 절점에서 세 부재 중 두 부재가 일직선이면 나머지 비공선 부재는 무력부재가 된다.

사용할 공식

정정성은 $m + r = 2j$로 판정하고, 각 절점에서는 $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$을 적용한다. 이 트러스는 절점에만 하중이 작용하는 핀 접합 구조이므로 절점 평형식을 적용할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. $m = 27$, $r = 3$, $j = 15$이므로 $m + r = 27 + 3 = 30 = 2 \times 15 = 2j$이다. 따라서 이 트러스는 정정 구조이다.
2. 왼쪽 반부에서 상현재 A-B-D-F-H는 일직선이고, 절점 B, D, F에는 외력이 작용하지 않는다. 절점 B에서는 상현재 AB와 BD가 일직선이므로 남은 사재 BC는 무력부재가 되어 $F_{BC} = 0$이다. 이 결과를 절점 C에 넣으면 하현재 AC와 CE가 일직선이고 $F_{BC} = 0$이므로 사재 CD도 0이 되고, 다시 절점 D에서 상현재 BD, DF가 일직선이므로 $F_{DE} = 0$이 된다. 이렇게 무력부재가 연쇄적으로 발생하여 왼쪽 반부의 사재는 모두 0이 되며, 부재 DE의 부재력은 0이다.
3. 사재가 모두 0이면 절점 B, D, F에서 $\Sigma F = 0$에 의해 상현재의 축력이 그대로 이어져 전달되므로 $F_{AB} = F_{BD} = F_{DF} = F_{FH}$가 성립한다. 즉 부재 AB와 부재 DF의 부재력은 서로 같다.
4. 오른쪽 반부에서는 절점 L에 수평하중 P가 직접 작용하므로 왼쪽과 같은 무력부재 연쇄가 절점 L에서 끊긴다. 절점 L의 평형식 $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$에는 하중 P가 포함되고, 이를 분담하기 위해 절점 L에 접속된 사재 KL의 축력이 필요하므로 $F_{KL} \neq 0$이다. 한편 절점 J에서는 상현재 HJ와 JL이 일직선이고 외력이 없어 $F_{IJ} = 0$이며, 절점 I에서 HI와 IK가 일직선이므로 부재 IL도 무력부재가 되어 $F_{IL} = 0$이다.

선지 판단

① X. "부정정 구조"가 틀린 표현이다. $m + r = 2j$를 만족하므로 올바르게는 "정정 구조"이다.
② X. 왼쪽 반부의 절점 연쇄 평형(절점 B에서 $F_{BC} = 0 \rightarrow$ 절점 C에서 $F_{CD} = 0 \rightarrow$ 절점 D에서 $F_{DE} = 0$)으로 DE는 무력부재가 맞다. 그러나 절점 L에는 수평하중 P가 작용하여 절점 평형식 $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$에 P가 포함되고, KL이 이를 분담하므로 $F_{KL} \neq 0$이다. "DE와 KL의 부재력이 모두 0"이라는 서술은 KL에서 틀렸으며, 올바르게는 "DE의 부재력은 0이고 KL의 부재력은 0이 아니다"이다.
③ O. 왼쪽 반부의 사재가 모두 무력부재이므로 절점 B, D, F에서 상현재 축력이 연속으로 전달되어 $F_{AB} = F_{BD} = F_{DF} = F_{FH}$가 된다. 따라서 부재 AB와 부재 DF의 부재력이 같다는 설명이 옳다.
④ X. "IL의 부재력은 P이다"가 틀린 표현이다. 절점 J에서 HJ와 JL이 일직선이고 외력이 없어 $F_{IJ} = 0$이며, 절점 I에서 HI와 IK가 일직선이므로 $F_{IL} = 0$이다. 올바르게는 "부재 IL의 부재력은 0이다"이다.

오답 포인트

②는 DE가 무력부재라는 사실을 KL까지 확대 적용하게 만들고, ④는 외력 P가 보인다는 이유만으로 IL이 P를 부담한다고 착각하게 만든다. 무력부재 여부는 하중의 크기가 아니라 해당 절점의 부재 배치와 외력 유무로 판단한다. 특히 하중이 걸린 절점(L)에서는 무력부재 연쇄가 끊어진다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $m + r = 2j$로 정정성을 판정한다. 그다음 외력이 없는 절점에서 두 부재의 공선 여부를 확인해 무력부재를 찾고, 연쇄적으로 인접 절점까지 확장한다. 하중이 작용하는 절점에서는 이 연쇄가 끊기므로, 남은 절점에 $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$을 차례로 적용해 부재력을 비교한다.

NoteBase

암기 포인트

평면 트러스는 $m + r = 2j$이면 정정, 외력 없는 3부재 절점에서 두 부재가 일직선이면 나머지 한 부재는 0이다. 무력부재가 연쇄되면 상현재 축력은 그대로 전달되어 같아지고, 하중이 걸린 절점에서는 연쇄가 끊긴다.

NoteBase