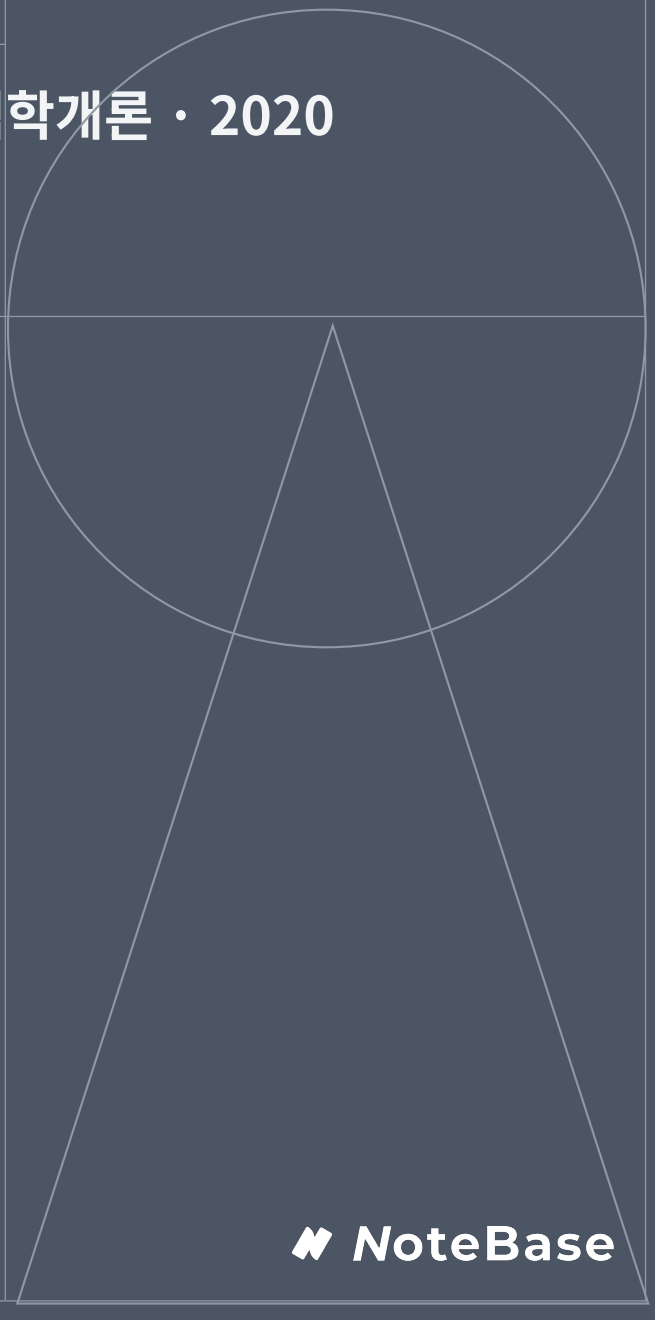
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2020



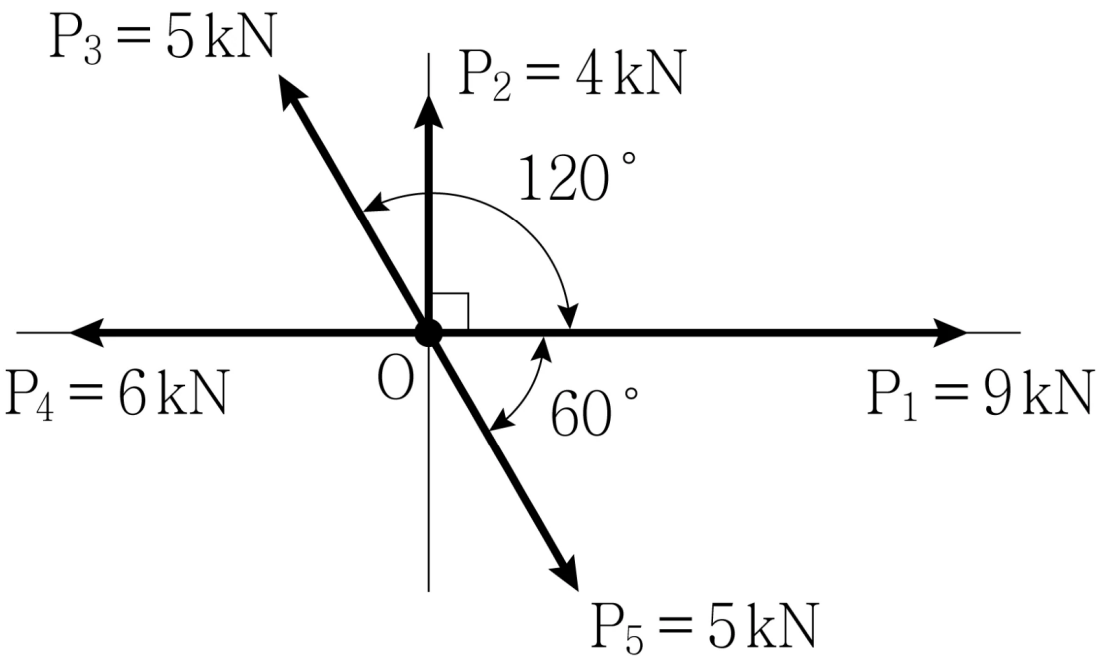
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2020

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2020

문 1. 그림과 같이 O점에 작용하는 힘의 합력의 크기[kN]는?



① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 4번

간단한 해설

비스듬한 두 힘은 크기가 각각 5 kN이고 방향이 정반대이므로 **서로 상쇄된다**. 남은 수평 합력 3 kN과 수직 합력 4 kN은 직각을 이루므로 전체 합력의 크기는 5 kN이다.

NoteBase

계산 과정

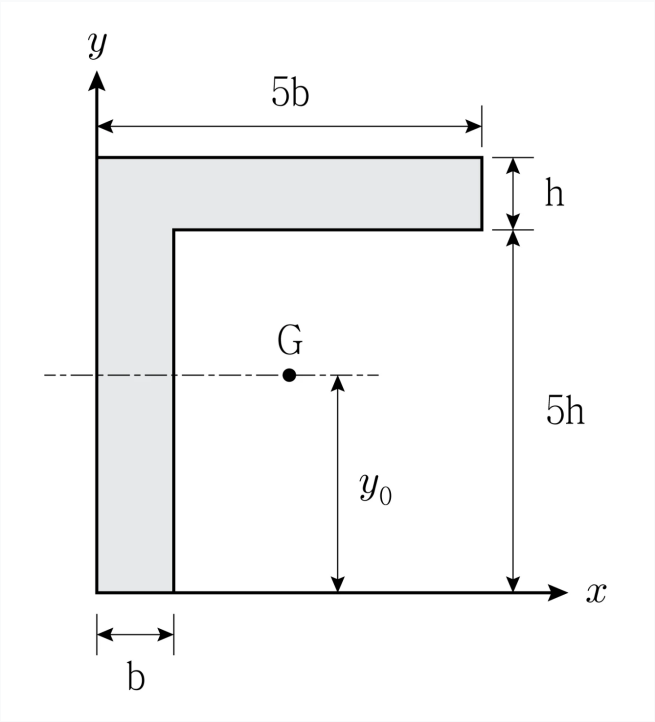
비스듬한 힘의 합성: P_3는 오른쪽 수평선에서 반시계방향으로 120°, P_5는 시계방향으로 60°를 이룬다. 두 방향의 각도 차이는 180°이고 크기도 각각 5 kN이므로, **같은 작용선에서 반대 방향인 두 힘**은 서로 상쇄된다.

수평·수직 합력: 오른쪽을 수평의 양의 방향, 위쪽을 수직의 양의 방향으로 잡는다. 수평방향에는 오른쪽의 P_1 = 9 kN과 왼쪽의 P_4 = 6 kN이 남으므로, 수평 합력은 9 − 6 = 3 kN으로 오른쪽을 향한다. 수직방향에는 위쪽의 P_2 = 4 kN이 남으므로, 수직 합력은 위쪽으로 4 kN이다.

합력의 크기: 수평 합력과 수직 합력은 **서로 직각인 성분**이므로, 합력의 크기 R은 두 성분을 직각변으로 하는 삼각형의 빗변 길이이다. 피타고라스 정리를 적용하면 $R = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5\text{kN}$이다. 이는 ④의 5 kN에 해당한다.

NoteBase

문 2. 그림과 같은 단면에서 x축으로부터 도심 G까지의 거리 y_0는?



① 3.6h

② 3.8h

③ 4.0h

④ 4.2h

정답 3번

간단한 해설

단면을 위쪽 가로 직사각형과 그 아래 세로 직사각형으로 나누면 **두 부분의 면적이 같다**. 따라서 전체 도심 높이는 각 부분의 도심 높이 5.5h와 2.5h의 평균인 4.0h이다.

NoteBase

계산 과정

도심 높이는 각 부분의 면적을 가중치로 한 도심 높이의 평균이다. 단면을 **겹치지 않는 두 직사각형**으로 나누고, 각 면적을 A_1, A_2, 각 도심의 x축으로부터의 높이를 y_1, y_2라 하면 $y_0 = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2}$이다. 분자는 각 부분의 x축에 대한 면적 1차 모멘트의 합이다.

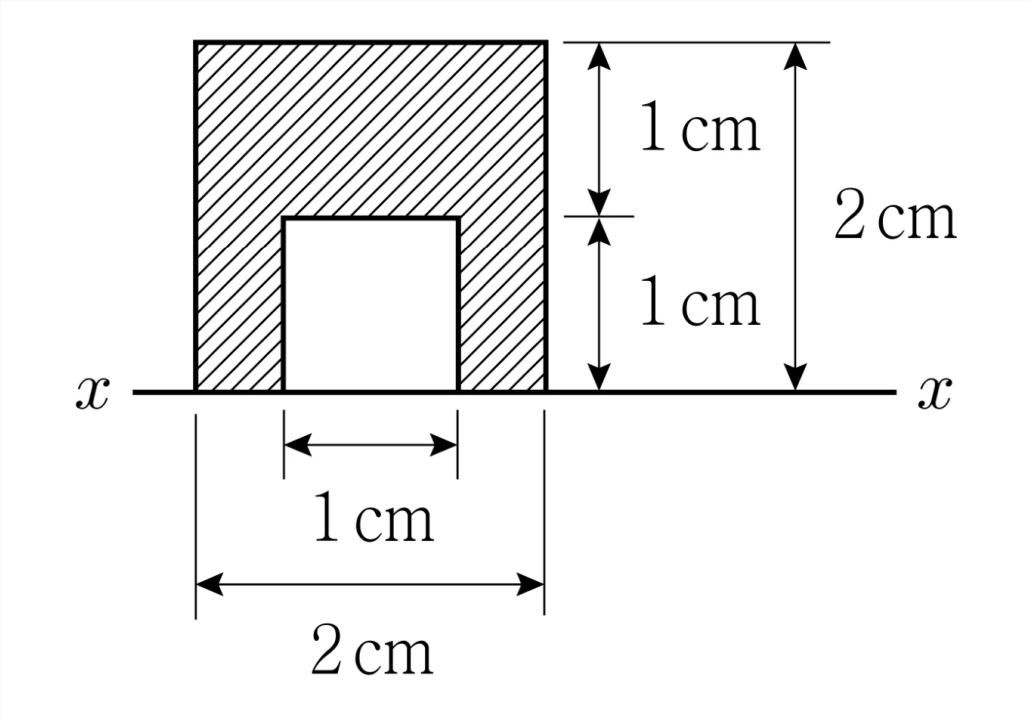
아래쪽 세로 직사각형: 폭은 b, 높이는 5h이므로 면적은 $A_1 = b \cdot 5h = 5bh$이다. 직사각형의 도심은 높이의 중앙에 있으므로 $y_1 = \frac{5h}{2} = 2.5h$이다.

위쪽 가로 직사각형: 폭은 5b, 두께는 h이므로 면적은 $A_2 = 5b \cdot h = 5bh$이다. 이 부분의 밑면이 x축보다 5h 위에 있으므로, 도심 높이는 **밑면 높이에 두께의 절반을 더한 값**인 $y_2 = 5h + \frac{h}{2} = 5.5h$이다.

전체 도심: 두 부분의 면적이 같으므로 면적 가중평균은 두 도심 높이의 단순평균이 된다. 따라서 $y_0 = \frac{2.5h + 5.5h}{2} = 4.0h$이며, 이는 선택지 ③의 4.0h에 해당한다.

NoteBase

문 3. 그림과 같이 빗금 친 도형의 $x-x$축에 대한 회전 반지름[cm]은?



① $\frac{2\sqrt{3}}{3}$
② $\frac{\sqrt{13}}{3}$
③ $\frac{\sqrt{14}}{3}$
④ $\frac{\sqrt{15}}{3}$

정답 4번

간단한 해설

회전 반지름은 **단면 2차 모멘트를 면적으로 나눈 값의 제곱근**이다. 바깥 정사각형에서 아래쪽의 빈 정사각형을 빼면 면적은 3 cm^2, 주어진 축에 대한 단면 2차 모멘트는 5 cm^4이므로 회전 반지름은 $\frac{\sqrt{15}}{3}$cm이다.

NoteBase

계산 과정

회전 반지름 k_x는 도형의 면적 A를 축에서 거리 k_x인 곳에 모았을 때 같은 단면 2차 모멘트가 되도록 정한 길이이다. 따라서 $I_x = Ak_x^2$에서 $k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$를 사용한다. 여기서 I_x는 주어진 $x-x$축에 대한 단면 2차 모멘트이다.

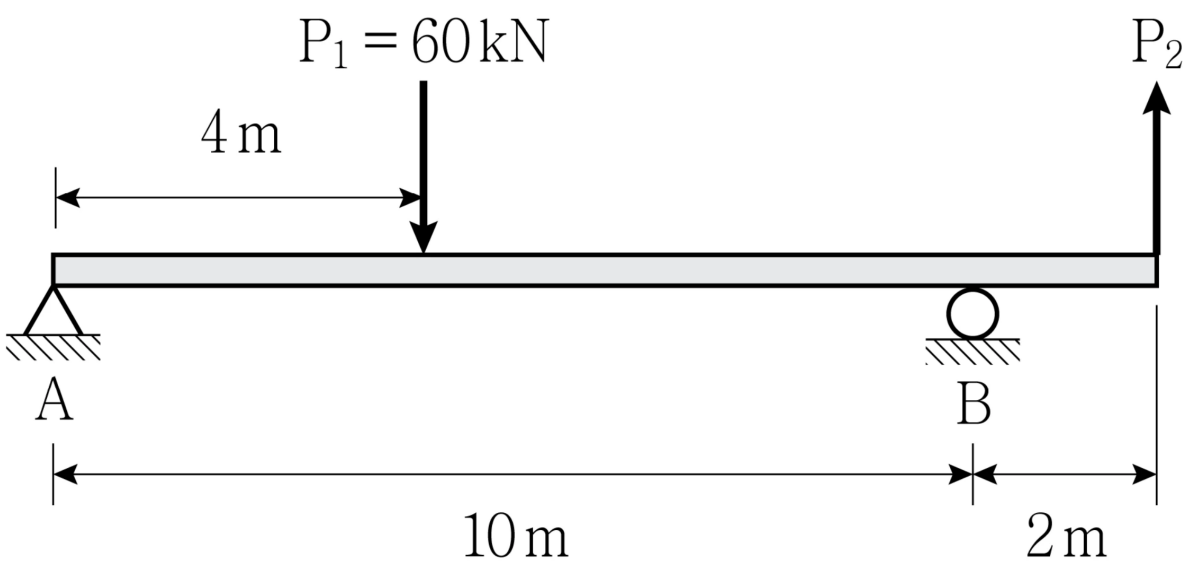
1. 면적: 그림의 빗금 친 부분은 가로·세로가 각각 2 cm인 바깥 정사각형에서 가로·세로가 각각 1 cm인 빈 정사각형을 뺀 도형이다. 따라서 면적은 $A = 2 \times 2 - 1 \times 1 = 3\,\mathrm{cm}^2$이다.

2. 단면 2차 모멘트: 두 정사각형 모두 **밑변이 주어진 축 위에 있으므로** 밑변축에 대한 직사각형 공식 $I = \frac{bh^3}{3}$을 적용한다. b는 축과 나란한 폭, h는 축에 수직인 높이이다. 바깥 정사각형은 I_외=(2·2^3)/(3)=(16)/(3) cm^4, 빈 정사각형은 I_빈=(1·1^3)/(3)=(1)/(3) cm^4이다. 빈 부분은 면적에 포함되지 않으므로 같은 축에 대한 값을 빼면 $I_x = \frac{16}{3} - \frac{1}{3} = 5\mathrm{cm}^4$이다.

3. 회전 반지름: 구한 면적과 단면 2차 모멘트를 대입하면 $k_x = \sqrt{\frac{5}{3}} = \frac{\sqrt{15}}{3}\mathrm{cm}$이다. 이는 ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. 그림과 같이 하중을 받는 내민보의 지점 B에서 수직반력의 크기가 0일 때, 하중 P_2의 크기[kN]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 20

② 25

③ 30

④ 35

정답 1번

간단한 해설

B의 수직반력이 0이면 A점에 대한 두 하중의 **모멘트가 서로 상쇄**되어야 한다. 60 kN 하중의 팔길이는 4 m, P_2의 팔길이는 12 m이므로 필요한 상향 하중은 20 kN이다.

NoteBase

계산 과정

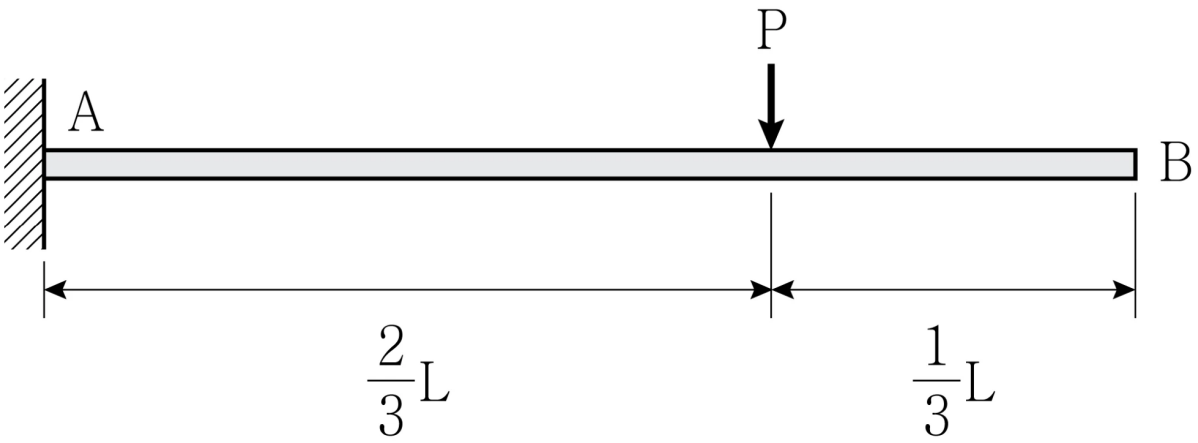
하중과 거리: 그림에서 60 kN의 하중은 A점 오른쪽 4 m에서 아래로 작용한다. P_2는 오른쪽 끝에서 위로 작용하며, A점으로부터의 거리는 **10 + 2 = 12 m**이다. 구조물의 자중은 무시한다.

모멘트 평형: 모멘트는 힘에 그 작용선까지의 수직거리를 곱한 값이다. A점을 기준으로 하면 A점의 반력은 팔길이가 0이므로 모멘트를 만들지 않고, B점의 수직반력도 주어진 조건에 따라 0이다. 따라서 두 하중의 모멘트만 고려한다. 반시계방향을 양으로 정하면, 60 kN 하중은 시계방향, P_2는 반시계방향으로 회전시키므로 $12P_2 - 60 \cdot 4 = 0$이다. 여기서 힘의 단위는 kN, 거리의 단위는 m이다.

하중 계산: 60 kN 하중의 모멘트 크기는 $60 \times 4 = 240$ kN·m이다. 이를 상쇄하려면 P_2가 12 m의 팔길이로 같은 크기의 모멘트를 만들어야 하므로, $P_2 = \frac{60 \cdot 4}{12} = 20$kN이다. 구한 값 20 kN은 ①의 20에 해당한다.

NoteBase

문 5. 그림과 같이 하중을 받는 캔틸레버보에서 B점의 수직변위의 크기는 $C_1\frac{PL^3}{EI}$이다. 상수 C_1은? (단, 휨강성 EI는 일정하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{14}{81}$
② $\frac{16}{81}$
③ $\frac{14}{27}$
④ $\frac{16}{27}$

정답 1번

간단한 해설

하중 작용점 오른쪽 구간은 휘어지지 않지만, **하중 작용점의 회전 때문에 B점에 추가 처짐**이 생긴다. 이를 하중 작용점의 처짐에 더하면 B점은 아래로 $\frac{14}{81}\frac{PL^3}{EI}$만큼 변위한다.

NoteBase

계산 과정

구간 설정: A는 고정단, B는 자유단이며 보의 전체 길이는 L이다. A에서 하중 P의 작용점까지를 $a = \frac{2L}{3}$, 그 지점에서 B까지를 $b = \frac{L}{3}$로 둔다. 휨강성 EI는 일정하고 자중은 무시하며, 아래쪽 처짐의 크기를 구한다.

하중 작용점의 처짐과 회전: 하중 작용점 오른쪽에는 하중이 없으므로, 왼쪽 길이 a의 구간은 끝에 집중하중 P를 받는 캔틸레버보와 같다. A에서 잰 거리를 x라 하면 이 구간의 휨모멘트 크기는 $P(a - x)$이다. 이를 EI로 나눈 곡률을 적분하고 **고정단의 처짐과 회전각이 모두 0**인 조건을 적용하면, 하중 작용점의 아래쪽 처짐과 시계방향 회전각의 크기는 각각 다음과 같다.

$\delta_a = \frac{Pa^3}{3EI} = \frac{8}{81}\frac{PL^3}{EI}$

$\theta_a = \frac{Pa^2}{2EI} = \frac{2}{9}\frac{PL^2}{EI}$

오른쪽 구간의 추가 처짐: 하중 작용점에서 B까지는 휨모멘트가 0이므로 곡률도 0이다. 따라서 이 구간은 **회전한 직선 상태**를 유지한다. 미소변형에서 B점은 하중 작용점보다 $b\theta_a$만큼 더 내려간다.

$b\theta_a = \frac{L}{3} \cdot \frac{2}{9}\frac{PL^2}{EI}$

$b\theta_a = \frac{6}{81}\frac{PL^3}{EI}$

B점의 수직변위: 하중 작용점 자체의 처짐과 오른쪽 구간의 회전에 따른 추가 처짐은 모두 아래 방향이므로 더한다.

$\delta_B = \delta_a + b\theta_a$

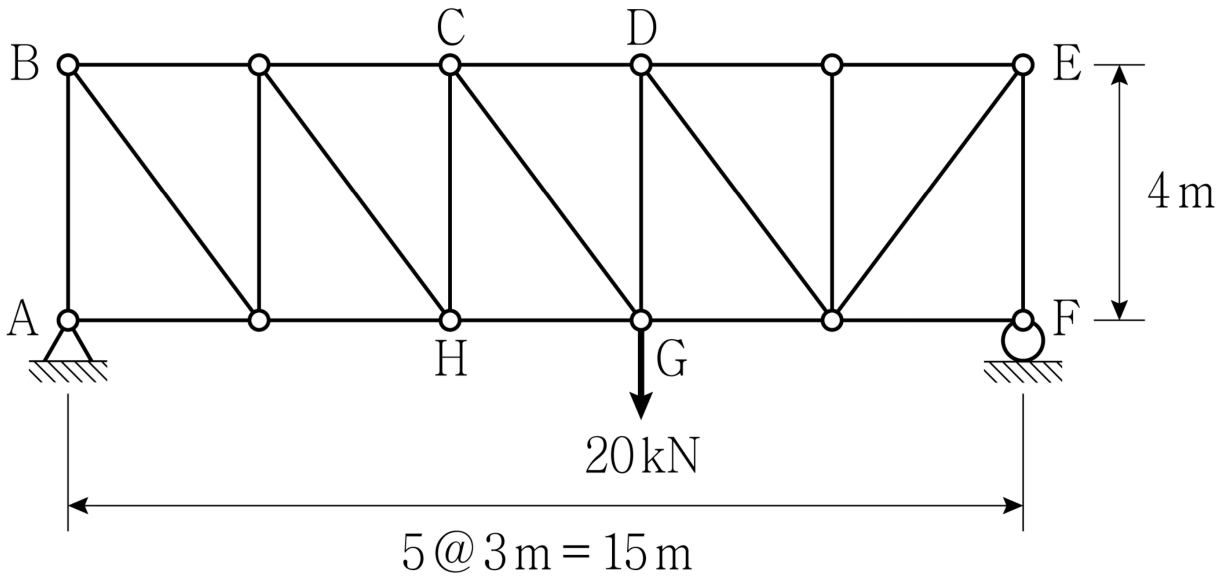
$\delta_B = \left(\frac{8}{81} + \frac{6}{81}\right)\frac{PL^3}{EI}$

$\delta_B = \frac{14}{81}\frac{PL^3}{EI}$

따라서 무차원 상수는 $C_1 = \frac{14}{81}$이며 ①에 해당한다. $\frac{PL^3}{EI}$는 길이의 차원을 가지므로 수직변위의 단위와도 일치한다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 하중을 받는 트러스 구조물에서 부재 CG의 부재력의 크기[kN]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 8

② 10

③ 12

④ 14

정답 2번

간단한 해설

CG의 수직성분은 **A점의 반력 8 kN**과 평형을 이룬다. CG는 수평거리 3 m, 높이 4 m, 길이 5 m인 대각부재이므로 부재력은 **10 kN의 인장력**이다.

NoteBase

계산 과정

지점반력: 자중을 무시하므로 외부 하중은 G점의 하향 하중 20 kN뿐이다. A는 힌지, F는 롤러 지점이며, 두 지점의 상향 반력을 각각 R_A, R_F라 한다. 지간은 15 m이고 G는 A에서 3개 구간, 즉 9 m 떨어져 있다. A점에 대한 모멘트 평형에서 $R_F \cdot 15 - 20 \cdot 9 = 0$이므로 $R_F = \frac{20 \cdot 9}{15} = 12\text{kN}$이다. 수직력 평형으로 $R_A = 20 - 12 = 8\text{kN}$을 얻는다.

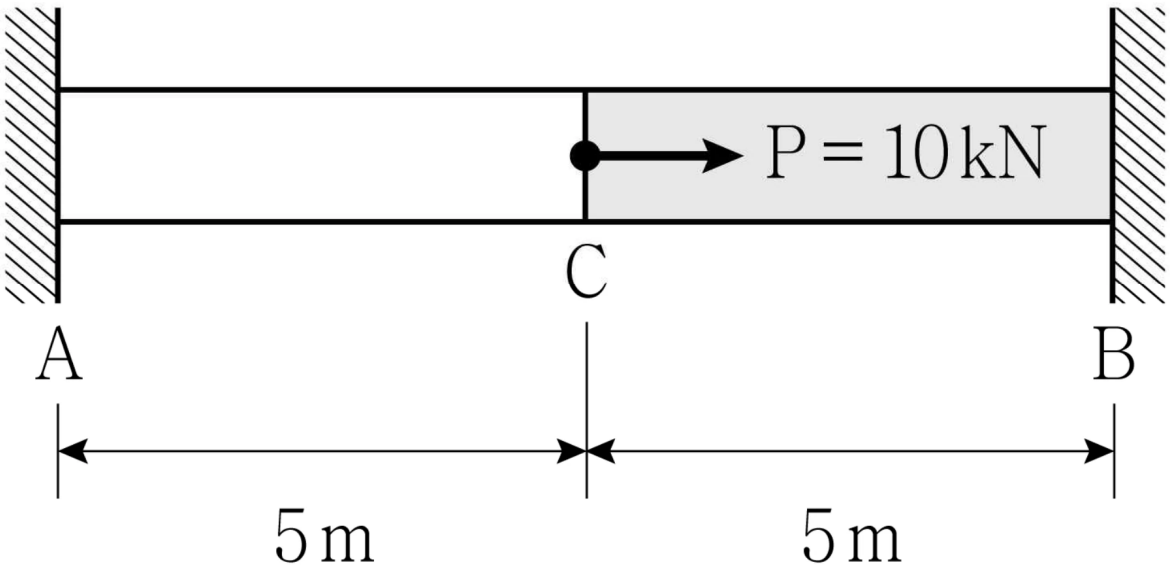
CG의 기울기: C는 H의 바로 위에 있고 HG의 길이는 3 m, CH의 높이는 4 m이다. 따라서 CG의 길이는 $\sqrt{3^2 + 4^2} = 5\text{m}$이다. CG가 수평선과 이루는 각을 θ라 하면 $\sin\theta = \frac{4}{5}$이므로, CG 부재력의 **수직성분은 부재력의 4/5**이다.

절단면의 평형: CD·CG·HG를 가로질러 절단하고 왼쪽 부분을 취한다. 트러스 부재력은 각 부재의 축 방향으로 작용하므로, 수평부재 CD와 HG의 부재력에는 수직성분이 없다. 따라서 왼쪽 부분에서는 **A점 반력과 CG 부재력의 수직성분만** 수직력 평형에 관여한다. CG의 부재력 N_{CG}를 인장으로 가정하면 절단된 왼쪽 부분에서 C로부터 G를 향해 오른쪽 아래로 작용한다.

부재력 계산: 위쪽을 양으로 두면 $8 - N_{CG} \cdot \frac{4}{5} = 0$이다. 따라서 $N_{CG} = 8 \cdot \frac{5}{4} = 10\text{kN}$이다. 양의 값이므로 가정한 인장 방향이 맞으며, CG의 부재력 크기 10 kN은 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 축방향 하중을 받는 합성 부재에서 C점의 수평변위의 크기[mm]는? (단, 부재에서 AC 구간과 BC 구간의 탄성계수는 각각 50 GPa와 200 GPa이고, 단면적은 500 mm^2으로 동일하며, 구조물의 좌굴 및 자중은 무시한다)



① 0.2

② 0.4

③ 0.5

④ 1.6

정답 2번

간단한 해설

C점이 오른쪽으로 이동하면 AC는 늘어나고 BC는 같은 크기만큼 줄어들어 **두 구간이 함께 하중에 저항**한다. 두 구간의 축강성 합은 25,000 N/mm이므로, 10,000 N에 의한 수평변위의 크기는 0.4 mm이다.

NoteBase

계산 과정

조건과 단위: 그림에서 A와 B는 고정되어 있고, C점에는 오른쪽으로 10 kN이 작용한다. AC와 BC의 길이는 각각 5 m = 5,000 mm이며 단면적은 모두 500 mm^2이다. N과 mm를 기준으로 계산하면 하중은 10,000 N, 탄성계수는 AC가 50,000 N/mm^2, BC가 200,000 N/mm^2이다. 좌굴과 자중은 무시한다.

변위와 저항력: C점의 오른쪽 변위를 u라 하면, A와 B가 움직이지 않으므로 **AC의 신장량과 BC의 수축량은 모두 u**이다. AC에는 인장력이, BC에는 압축력이 생기며, 두 구간이 C점에 가하는 힘은 모두 왼쪽을 향한다.

구간별 축강성: 축력의 크기를 N, 부재 길이를 L, 단면적을 A, 탄성계수를 E라 하면 탄성 축변형의 크기는 $\delta = \frac{NL}{EA}$이다. 따라서 단위 변위에 필요한 힘인 축강성은 $k = \frac{EA}{L}$이고, 각 구간의 축력 크기는 ku이다.

AC: $k_{AC} = \frac{50{,}000 \cdot 500}{5{,}000} = 5{,}000\text{N/mm}.$

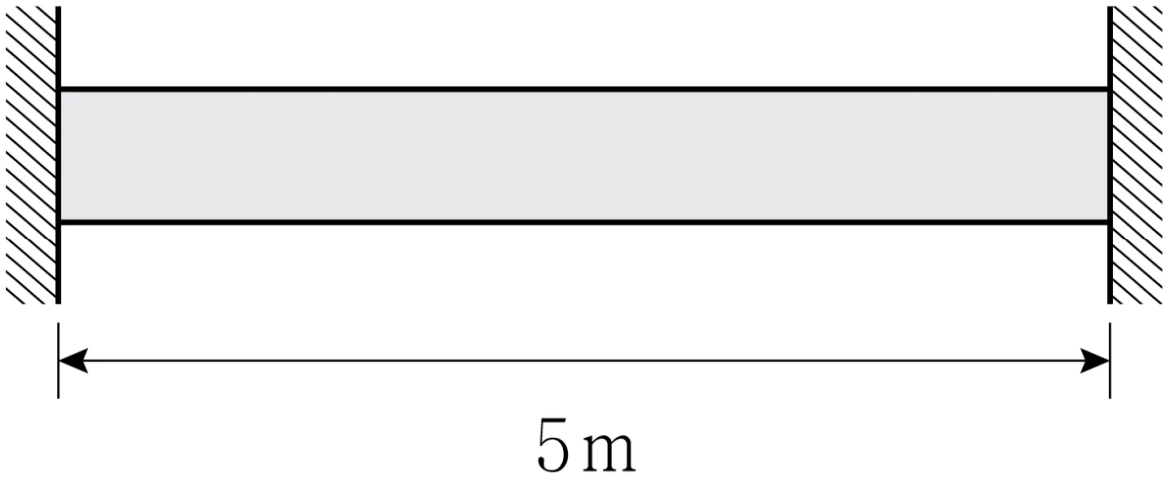
BC: $k_{BC} = \frac{200{,}000 \cdot 500}{5{,}000} = 20{,}000\text{N/mm}.$

C점의 평형: 두 구간의 저항력을 합하면 외력과 같으므로 $(k_{AC} + k_{BC})u = P$이다. 즉, **같은 변위에 대한 두 저항력이 더해지므로 축강성도 합한다**. 합성 축강성은 5,000 + 20,000 = 25,000 N/mm이다.
$u = \frac{10{,}000}{25{,}000} = 0.4\text{mm}.$

C점은 오른쪽으로 0.4 mm 이동하며, 구한 변위의 크기는 ②의 0.4 mm와 일치한다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 양단이 고정된 수평부재에서 부재의 온도가 ΔT만큼 상승하여 40 MPa의 축방향 압축응력이 발생하였다. 상승한 온도 ΔT[°C]는? (단, 부재의 열팽창계수 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$/°C, 탄성계수 E = 200 GPa이며, 구조물의 좌굴 및 자중은 무시한다)



① 5

② 10

③ 20

④ 30

정답 3번

간단한 해설

양단이 고정되어 **열팽창이 완전히 구속**되면 압축응력의 크기는 $\sigma_c = E\alpha\Delta T$이다. 주어진 부재는 온도가 1°C 오를 때마다 압축응력이 2 MPa씩 증가하므로, 40 MPa에 해당하는 온도 상승량은 20°C이다.

NoteBase

계산 과정

구속 조건: 그림의 길이 5 m인 부재는 양단이 고정되어 있으므로 **전체 길이 변화가 0**이다. 온도가 상승하면 부재는 늘어나려 하지만, 고정단이 이를 막아 축방향 압축응력이 발생한다. 문제에서 좌굴과 자중은 무시한다.

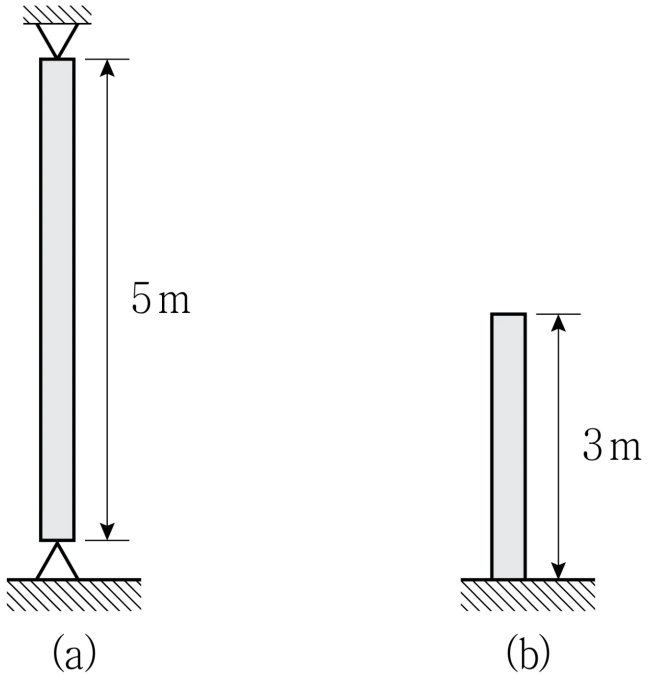
변형 관계: 부재 길이를 L, 압축응력의 크기를 σ_c라 하면 자유롭게 늘어나려는 양은 $\alpha L \Delta T$, 압축응력에 의한 탄성 수축량은 $\frac{\sigma_c L}{E}$이다. 두 양이 같아야 길이가 변하지 않으므로 $\alpha L \Delta T = \frac{\sigma_c L}{E}$이다. 양변에서 L을 소거하면 $\sigma_c = E\alpha\Delta T$를 얻는다. 따라서 길이 5 m는 최종 계산에서 소거된다.

단위와 중간값: 응력을 MPa로 계산하므로 **탄성계수의 단위를 MPa로 통일**한다. 200 GPa = 200,000 MPa이고, $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}/^\circ\mathrm{C}$이다. 따라서 $E\alpha = 200{,}000 \cdot 1.0 \times 10^{-5} = 2\mathrm{MPa}/^\circ\mathrm{C}$이다. 이는 완전히 구속된 이 부재에서 온도가 1°C 상승할 때 압축응력의 크기가 2 MPa 증가한다는 뜻이다.

온도 상승량: $\Delta T = \frac{\sigma_c}{E\alpha} = \frac{40}{2} = 20^\circ\mathrm{C}$이다. 구한 온도 상승량 20°C는 ③의 20에 해당한다.

NoteBase

문 9. 그림 (a)와 같이 양단 힌지로 지지된 길이 5m 기둥의 오일러 좌굴하중이 360 kN일 때, 그림 (b)와 같이 일단 고정 타단 자유인 길이 3m 기둥의 오일러 좌굴하중[kN]은? (단, 두 기둥의 단면은 동일하고, 탄성계수는 같으며, 구조물의 자중은 무시한다)



① 125
② 250
③ 500
④ 720

정답 2번

간단한 해설

양단 힌지 기둥의 유효길이는 5 m이고, 일단 고정·타단 자유 기둥의 유효길이는 실제 길이의 2배인 6 m이다. 같은 휨강성에서 오일러 좌굴하중은 **유효길이의 제곱에 반비례**하므로, 그림 (b)의 좌굴하중은 250 kN이다.

NoteBase

계산 과정

오일러 좌굴하중은 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$이다. 여기서 E는 탄성계수, I는 좌굴에 대한 단면2차모멘트, L은 실제 기둥 길이, K는 지지조건에 따른 유효길이계수이며, KL은 유효길이이다. 두 기둥은 탄성계수와 단면이 같으므로 **휨강성 EI가 동일**하여 유효길이만으로 좌굴하중을 비교할 수 있다.

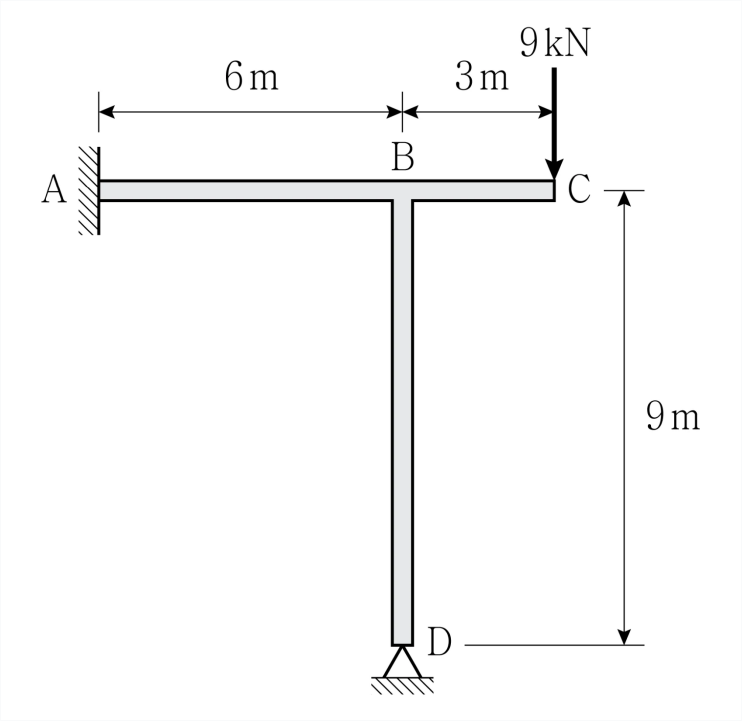
그림 (a): 양단 힌지 기둥은 K = 1이므로 유효길이는 $K_a L_a = 1 \cdot 5 = 5\text{m}$이다. 이 기둥의 좌굴하중은 360 kN으로 주어져 있다.

그림 (b): 일단 고정·타단 자유 기둥은 **유효길이가 실제 길이의 2배**이므로 K = 2를 적용한다. 따라서 유효길이는 $K_b L_b = 2 \cdot 3 = 6\text{m}$이다. 실제 길이는 (a)보다 짧지만, 지지조건 때문에 유효길이는 더 길다.

좌굴하중은 유효길이의 제곱에 반비례하므로 $P_{cr,\,b} = 360\left(\frac{5}{6}\right)^2 = 250\text{kN}$이다. 그림 (b)의 좌굴하중은 250 kN으로, ②의 값에 해당한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 하중을 받는 부정정 구조물의 지점 A에서 모멘트 반력의 크기[kN·m]는? (단, 휨강성 EI는 일정하고, 구조물의 자중 및 축방향 변형은 무시한다)



① 6

② 9

③ 12

④ 18

정답 2번

간단한 해설

축방향 변형을 무시하면 B의 수평·수직 이동이 구속된다. BC의 하중이 만드는 27 kN·m의 모멘트를 AB와 BD가 **회전강성비 2 : 1**로 나누어 부담하고, AB의 B단 모멘트 중 절반이 고정단 A에 전달되어 모멘트 반력의 크기는 9 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

1. B의 변위 조건: A는 고정지점이고 D는 힌지지점이다. 축방향 변형을 무시하므로 수평 부재 AB는 B의 수평 이동을, 수직 부재 BD는 B의 수직 이동을 막는다. 따라서 **B의 병진변위는 0이고 회전만 가능**하다. 부재 길이는 AB가 6 m, BC가 3 m, BD가 9 m이며 휨강성 EI는 모두 같다.

2. B에 작용하는 하중 효과: 자유단 C의 9 kN 하중은 BC를 통해 B에 수직력 9 kN과 시계방향 모멘트를 전달한다. 그 모멘트의 크기는 $9 \times 3 = 27\ \text{kN}\cdot\text{m}$이다. B의 수직 이동이 구속되어 있으므로 수직력은 그 위치의 처짐을 만들지 않으며, B의 회전은 이 27 kN·m에 대해 AB와 BD가 저항하는 조건으로 구한다.

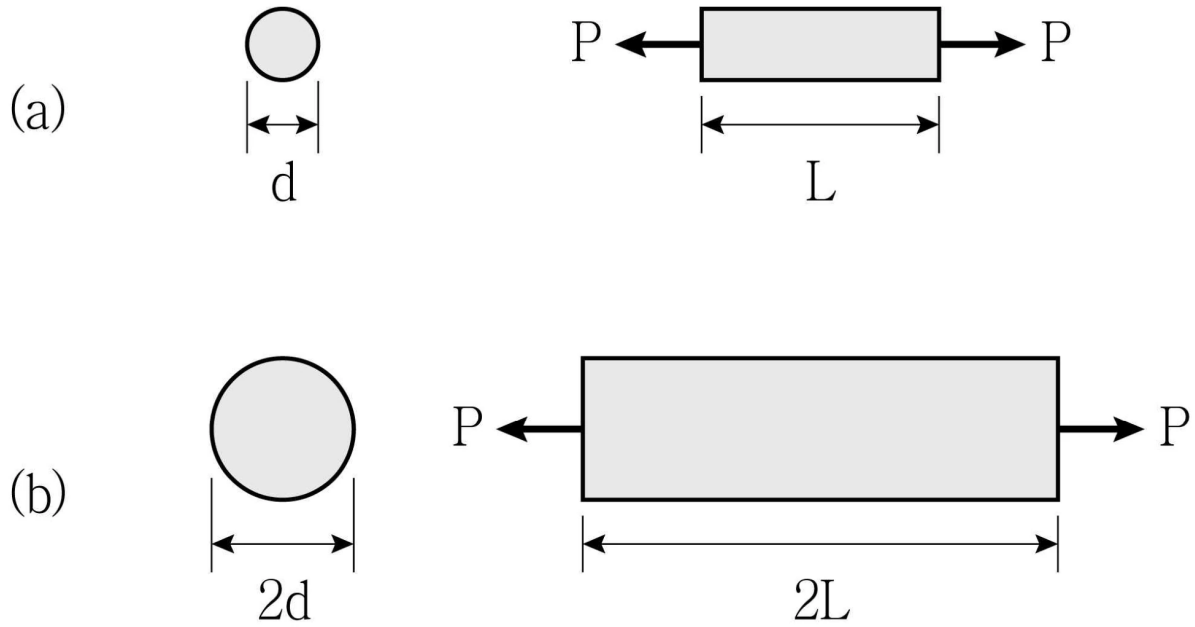
3. AB와 BD의 회전강성: 회전강성은 B를 단위 각도만큼 회전시키는 데 필요한 B단 모멘트이다. **반대쪽 끝이 고정된 AB**의 강성은 $K_{BA} = 4EI/L_{AB}$, **반대쪽 끝이 힌지인 BD**의 강성은 $K_{BD} = 3EI/L_{BD}$이다. 따라서 $K_{BA} : K_{BD} = \frac{4EI}{6} : \frac{3EI}{9} = 2 : 1$이다.

4. B단 모멘트 분담: 두 부재는 강접된 B에서 같은 각도만큼 회전하므로 저항 모멘트를 회전강성에 비례하여 나눈다. AB가 부담하는 B단 모멘트의 크기는 $27 \times \frac{2}{2+1} = 18\ \text{kN}\cdot\text{m}$이고, BD는 나머지 9 kN·m를 부담한다.

5. A의 모멘트 반력: AB에는 중간 하중과 지점의 병진변위가 없고 A의 회전은 구속되어 있다. 이 조건에서 **B단 모멘트의 1/2이 고정단 A에 전달**된다. 따라서 $|M_A| = \frac{18}{2} = 9\ \text{kN}\cdot\text{m}$이며, 선택지 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. 그림 (a), 그림 (b)와 같이 원형단면을 가지고 인장하중 P를 받는 부재의 인장변형률이 각각 ε_a와 ε_b일 때, 인장변형률 ε_a에 대한 인장변형률 ε_b의 비 $\varepsilon_b/\varepsilon_a$는? (단, 그림 (a) 부재와 그림 (b) 부재의 길이는 각각 L과 2L, 지름은 각각 d와 2d이고, 두 부재는 동일한 재료로 만들어졌으며, 구조물의 자중은 무시한다.)



① 0.25

② 0.5

③ 0.75

④ 1.0

정답 1번

간단한 해설

동일한 재료의 부재에 같은 인장하중이 작용하면 인장변형률은 **단면적에 반비례**한다. (b)는 지름이 2배여서 단면적이 4배이므로, 변형률의 비는 $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{1}{4} = 0.25$이다.

NoteBase

계산 과정

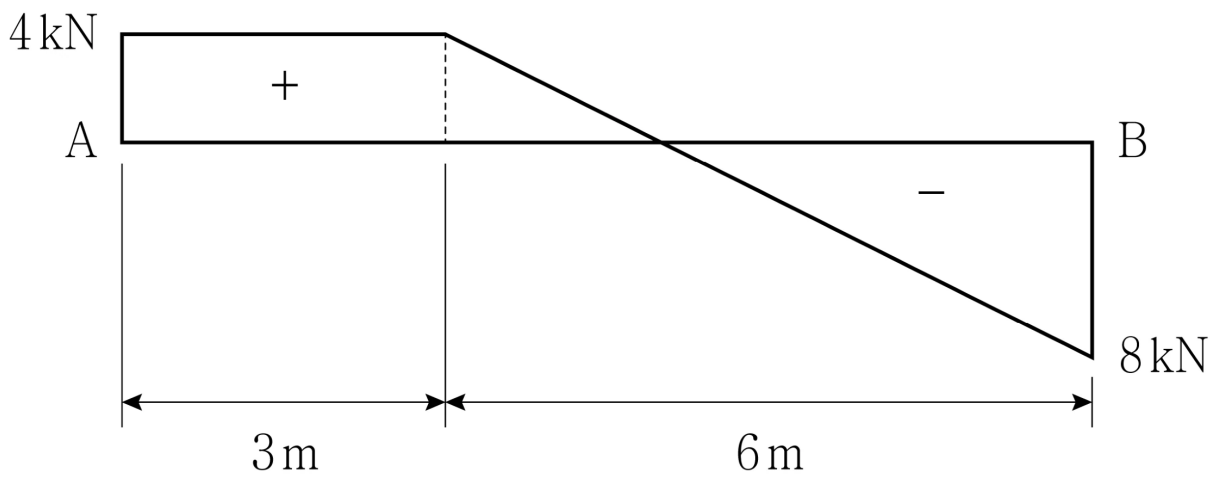
1. 인장변형률의 관계: 인장변형률은 늘어난 길이를 원래 길이로 나눈 값이다. 선형 탄성 범위에서는 훅의 법칙에 따라 $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{\sigma}{E}$이다. 여기서 ℓ은 원래 길이, $\Delta \ell$은 늘어난 길이, σ는 인장응력, E는 탄성계수이다. 그림에서 각 부재의 축력은 P이고, 단면적을 A라 하면 $\sigma = \frac{P}{A}$이므로 $\varepsilon = \frac{P}{AE}$이다. 따라서 **변형률에는 부재 길이가 직접 들어가지 않는다**. 두 부재는 동일한 재료이므로 E도 같다.

2. 단면적 비교: 원형단면의 넓이는 지름의 제곱에 비례한다. (a)의 단면적은 $A_a = \frac{\pi d^2}{4}$, (b)의 단면적은 $A_b = \frac{\pi (2d)^2}{4} = 4A_a$이다. 즉, **지름이 2배이면 단면적은 4배**가 된다.

3. 변형률의 비 계산: 하중 P와 탄성계수 E가 같으므로 $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{A_a}{A_b} = \frac{1}{4} = 0.25$이다. 이는 (b)의 인장변형률이 (a)의 1/4이라는 뜻이며, 변형률끼리의 비이므로 단위는 없다. 계산값 0.25는 ①에 해당한다.

NoteBase

문 12. 그림과 같은 전단력선도를 가지는 단순보 AB에서 최대 휨모멘트의 크기[kN · m]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 10
② 12
③ 14
④ 16

정답 4번

간단한 해설

휨모멘트의 변화량은 **전단력선도의 부호를 고려한 면적**이다. 전단력이 양에서 음으로 바뀌는 지점까지의 면적은 직사각형 12 kN · m와 삼각형 4 kN · m의 합이므로, 최대 휨모멘트의 크기는 16 kN · m이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전단력과 휨모멘트의 관계: A에서 오른쪽으로 잰 거리를 x, 전단력을 V, 휨모멘트를 M이라 하면 $\frac{dM}{dx} = V$이다. 따라서 전단력선도의 면적이 휨모멘트의 변화량을 나타낸다. 단순보의 양 끝 A, B에서는 휨모멘트가 0이며, **전단력이 양이면 휨모멘트가 증가하고 음이면 감소**한다.

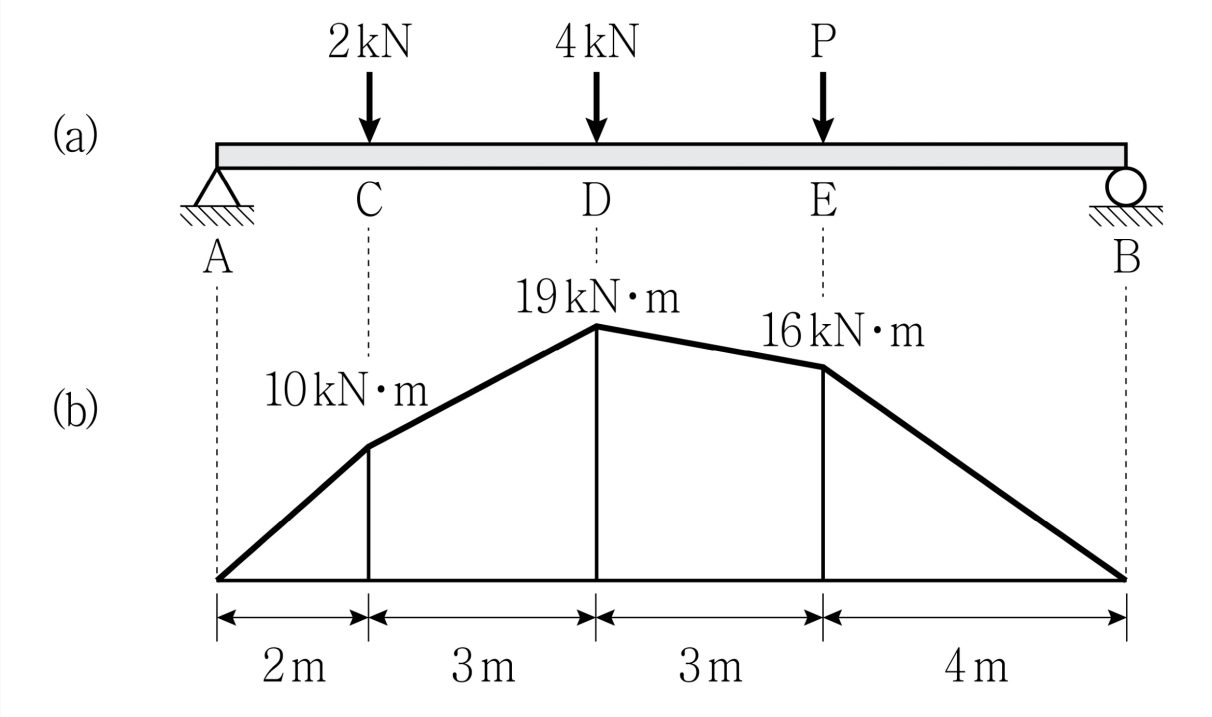
2. 최대 휨모멘트의 위치: 그림에서 A부터 3 m까지 전단력은 +4 kN이고, 이후 6 m 구간에서 +4 kN부터 −8 kN까지 직선적으로 감소한다. 이 구간에서 전단력이 0이 되는 지점까지의 거리를 a라 하면, 직선의 기울기가 일정하므로 $a = 6 \cdot \frac{4}{4+8} = 2$ m이다. 따라서 **A에서 5 m 떨어진 지점**에서 전단력이 양에서 음으로 바뀌며 휨모멘트가 최대가 된다.

3. 전단력선도의 면적 계산: A부터 3 m까지의 직사각형 면적은 $4 \times 3 = 12$ kN·m이다. 이는 A에서 3 m 떨어진 단면의 휨모멘트이다. 그 지점부터 전단력이 0이 되는 지점까지는 밑변 2 m, 높이 4 kN인 삼각형이므로 추가되는 면적은 $\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4 = 4$ kN·m이다.

4. 최대 크기: 두 양의 면적을 합하면 최대 휨모멘트는 12 + 4 = 16 kN·m이다. 이후에는 전단력이 음이므로 휨모멘트가 감소하여 B에서 0이 된다. 따라서 전체 구간에서 휨모멘트의 최대 크기는 16 kN·m이며, ④의 16에 해당한다.

NoteBase

문 13. 그림 (a)와 같이 하중을 받는 단순보의 휨모멘트선도가 그림 (b)와 같을 때, E점에 작용하는 하중 P의 크기[kN]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 2번

간단한 해설

휨모멘트선도의 기울기는 전단력이며, 아래로 작용하는 집중하중은 **전단력의 감소량**과 같다. E점 좌우의 전단력이 −1 kN과 −4 kN이므로 P는 3 kN이다.

NoteBase

계산 과정

휨모멘트선도의 **기울기는 전단력**이다. 왼쪽에서 오른쪽으로 좌표를 잡으면 $V = \frac{dM}{dx}$이고, 직선 구간에서는 $V = \frac{\Delta M}{\Delta x}$로 구한다. 자중을 무시하고 D–E 및 E–B 구간 내부에 분포하중이 없으므로 각 구간의 전단력은 일정하다.

D–E 구간: 휨모멘트는 D점의 19 kN·m에서 E점의 16 kN·m로 줄고, 구간 길이는 3 m이다. 따라서 E점 바로 왼쪽의 전단력은 $V_{DE} = \frac{16 - 19}{3} = -1\text{kN}$이다.

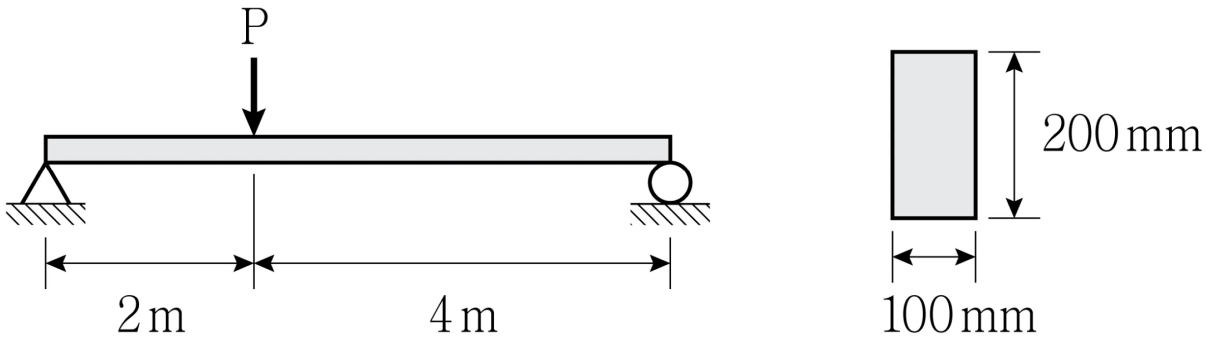
E–B 구간: 휨모멘트는 E점의 16 kN·m에서 단순지지점 B의 0으로 줄고, 구간 길이는 4 m이다. 따라서 E점 바로 오른쪽의 전단력은 $V_{EB} = \frac{0 - 16}{4} = -4\text{kN}$이다.

E점의 집중하중: 아래로 작용하는 하중 P를 지나면 전단력은 **P만큼 감소**하므로 $V_{EB} = V_{DE} - P$이다. 따라서 $P = V_{DE} - V_{EB} = -1 - (-4) = 3\text{kN}$이다.

E점에 작용하는 하중의 크기는 3 kN이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 폭 100mm, 높이가 200mm의 직사각형 단면을 갖는 단순보의 허용 휨응력이 6MPa이라면, 단순보에 작용시킬 수 있는 최대 집중하중 P의 크기[kN]는? (단, 휨강성 EI는 일정하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① 2.7

② 3.0

③ 4.5

④ 5.0

정답 2번

간단한 해설

이 보의 **최대 휨모멘트는 집중하중이 작용하는 단면**에서 발생한다. 직사각형 단면의 허용 휨모멘트는 4 kN·m이며, 이를 하중과의 관계에 대입하면 최대 집중하중은 **3.0 kN**이다.

NoteBase

계산 과정

지점반력: 왼쪽 지점을 A, 오른쪽 지점을 B라 하면, 그림에서 하중 P는 A에서 2 m, B에서 4 m 떨어져 있고 경간은 6 m이다. A점에 대한 모멘트 평형으로 $R_B \cdot 6\text{m} = P \cdot 2\text{m}$이므로 $R_B = \frac{P}{3}$이다. 수직력 평형으로 왼쪽 반력은 $R_A = P - R_B = \frac{2P}{3}$이다.

최대 휨모멘트: 하중 왼쪽의 전단력은 $\frac{2P}{3}$, 오른쪽의 전단력은 $-\frac{P}{3}$이다. 따라서 휨모멘트는 하중 위치까지 증가하고 그 뒤에는 감소하므로, **하중 작용 단면에서 최대**가 된다. 그 크기는 $M_{\max} = R_A \cdot 2\text{m} = \frac{4}{3}P \cdot \text{m}$이다.

허용 휨모멘트: 직사각형 단면의 폭은 b = 100 mm, 높이는 h = 200 mm이다. 단면계수는 $Z = \frac{I}{h/2} = \frac{bh^2}{6}$이므로 $Z = \frac{100 \cdot 200^2}{6}\text{mm}^3$이다. 휨응력 관계 $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z}$에서 **단면의 가장 바깥쪽 휨응력이 허용값에 도달할 때** 최대 하중이 정해진다. 허용 휨응력은 6 MPa = 6 N/mm^{2}이므로, 허용 휨모멘트는 $M_a = \sigma_a Z = 4000000\text{N} \cdot \text{mm}$, 즉 4 kN·m이다.

최대 집중하중: $M_{\max} \le M_a$를 만족해야 하므로 한계 상태에서 $P_{\max} = \frac{3M_a}{4\text{m}} = 3.0\text{kN}$이다. 따라서 허용 가능한 최대 집중하중은 3.0 kN으로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 15. 균질한 등방성 탄성체에서 탄성계수는 240 GPa, 포아송비는 0.2일 때, 전단탄성계수[GPa]는?

① 100

② 200

③ 280

④ 320

정답 1번

간단한 해설

균질한 등방성 탄성체에서는 탄성계수와 전단탄성계수가 $E = 2G(1 + \nu)$의 관계를 이룬다. 주어진 값을 대입하면 **전단탄성계수는 100 GPa**이다.

계산 과정

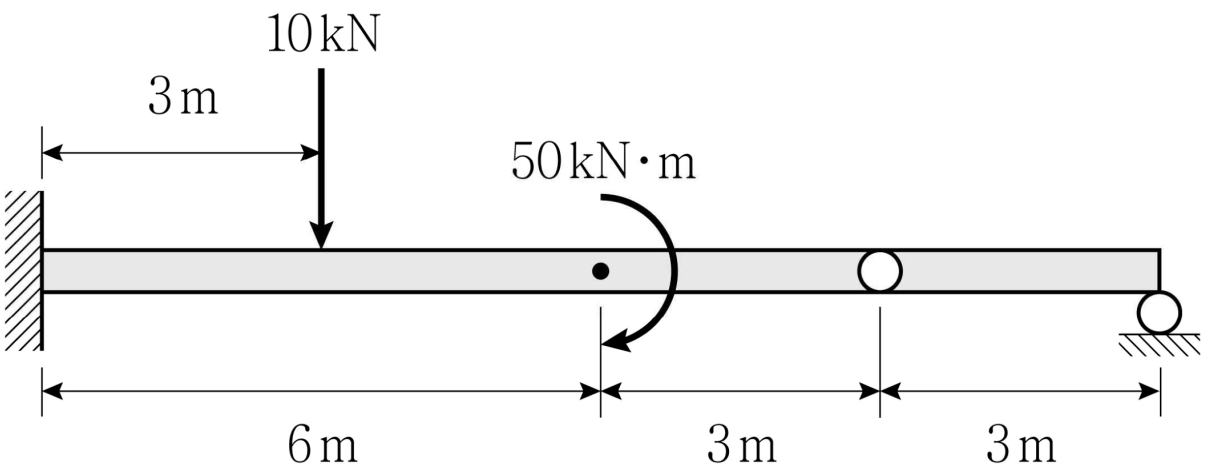
탄성계수 E는 인장·압축 변형에 대한 강성을, 전단탄성계수 G는 전단변형에 대한 강성을 나타내며, 포아송비는 ν로 표시한다. **균질한 등방성 탄성체**에서는 $E = 2G(1 + \nu)$가 성립하므로, 구하려는 전단탄성계수는 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$이다.

E = 240 GPa, $\nu = 0.2$를 대입하면 $2(1 + \nu) = 2(1 + 0.2) = 2.4$이다. 따라서 $G = \frac{240}{2.4} = 100\text{GPa}$이다. 포아송비는 무차원량이므로 G의 단위는 E와 같은 GPa이며, 별도의 단위 환산은 필요하지 않다.

계산된 전단탄성계수는 100 GPa로, ①의 100에 해당한다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 하중을 받는 게르버보에 발생하는 최대 휨모멘트의 크기[kN·m]는? (단, 휨강성 EI는 일정하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① 60

② 70

③ 80

④ 90

정답 3번

간단한 해설

하중이 없는 힌지 오른쪽 구간은 지점반력과 힌지 전달력이 모두 0이다. 왼쪽 하중들이 고정단에 대해 같은 시계방향 모멘트를 만들므로, **고정단의 휨모멘트 크기**가 $10 \times 3 + 50 = 80$ kN·m로 가장 크다.

NoteBase

계산 과정

왼쪽 고정단을 A, 내부 힌지를 H, 오른쪽 롤러지점을 B라 하자. A에서 3 m 지점에 아래쪽으로 10 kN이 작용하고, 6 m 지점에 시계방향으로 50 kN·m의 집중모멘트가 작용한다. H는 A에서 9 m, B는 A에서 12 m 떨어져 있다. 보의 아래쪽을 인장시키는 휨모멘트를 양(+)으로 정한다.

힌지 오른쪽 구간의 평형: **내부 힌지는 휨모멘트를 전달하지 않는다.** H–B 구간에는 외부 하중이 없으므로, H점에 대한 모멘트 평형에서 B의 수직반력 × 3 m = 0이다. 따라서 B의 수직반력은 0이고, 수직력 평형에 따라 H에서 전달되는 수직력도 0이다. 이 구간의 휨모멘트는 전 구간에서 0이다.

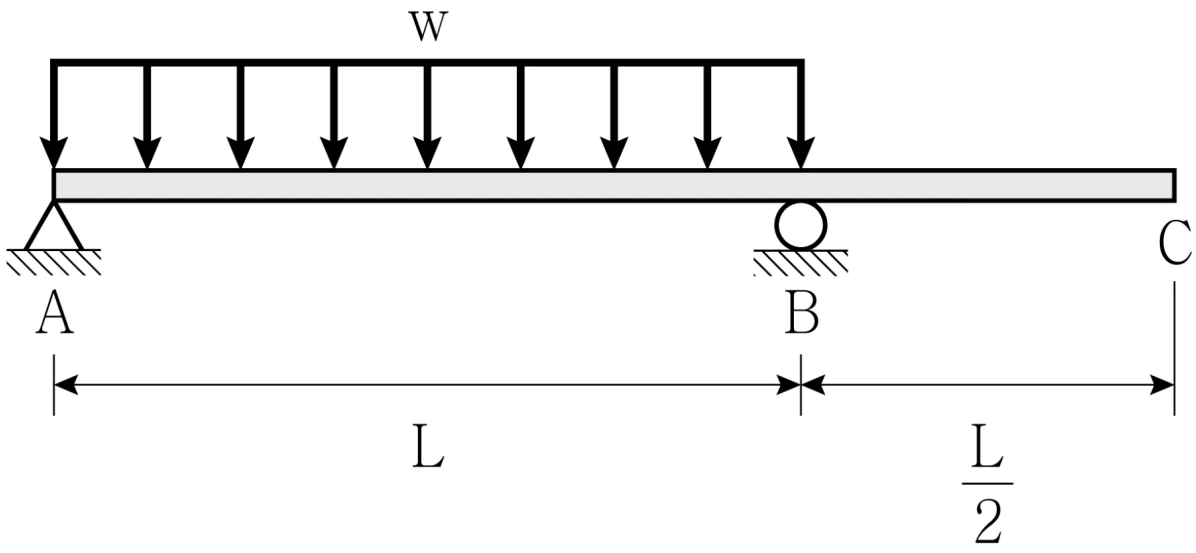
고정단의 휨모멘트: A의 수직반력은 위쪽으로 10 kN이다. 10 kN 하중은 A에 대해 10 × 3 = 30 kN·m의 시계방향 모멘트를 만들고, 주어진 집중모멘트도 시계방향으로 50 kN·m 작용한다. 따라서 A의 반력모멘트는 반시계방향으로 30 + 50 = 80 kN·m이다. 이에 대응하는 보 내부의 고정단 휨모멘트는 −80 kN·m이다. 집중모멘트는 이미 힘과 거리의 곱이므로 **50 kN·m에 거리를 다시 곱하지 않는다.**

구간별 크기 확인: A에서 10 kN 하중점까지는 전단력이 일정하므로 휨모멘트가 −80 kN·m에서 −50 kN·m까지 직선적으로 변한다. 하중점에서 집중모멘트 작용점 직전까지는 전단력이 0이므로 −50 kN·m로 일정하다. 집중모멘트 작용점을 왼쪽에서 오른쪽으로 지나면 휨모멘트가 50 kN·m만큼 증가하여 0이 되고, 그 이후 H와 B까지는 0으로 유지된다.

최대 크기: 각 구간의 휨모멘트를 **절댓값으로 비교**하면 고정단 A에서 80 kN·m로 가장 크며, 이는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 하중을 받는 내민보에서 C점의 수직변위의 크기는 $C_1\frac{wL^4}{EI}$ 이다. 상수 C_1은? (단, 휨강성 EI는 일정하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{1}{24}$
② $\frac{1}{36}$
③ $\frac{1}{48}$
④ $\frac{1}{60}$

정답 3번

간단한 해설

BC 구간은 휨모멘트가 0이므로 **B점의 접선 방향을 따라 직선으로 변위**한다. B점의 회전각 $\theta_B = \frac{wL^3}{24EI}$에 내민 길이 L/2를 곱하면 C점의 변위 크기는 $\frac{wL^4}{48EI}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 하중과 변위 조건: 등분포하중 w는 길이 L인 AB 구간에만 작용하고, 길이 L/2인 BC 구간에는 하중이 없다. A와 B는 수직변위가 0인 지점이지만 **회전은 구속하지 않는다**. A에서 오른쪽으로 잰 거리를 x, 위쪽을 양으로 한 수직변위를 y라 둔다.

2. 지점반력과 휨모멘트: AB에 작용하는 하중의 합력은 wL이며 AB의 중앙에 작용한다. 평형조건에 따라 위쪽 반력은 $R_A = R_B = \frac{wL}{2}$이다. 따라서 AB 내부의 휨모멘트는 $M(x) = \frac{wLx}{2} - \frac{wx^2}{2}$이다. BC는 자유단 C 쪽에 하중이 없으므로 전 구간에서 휨모멘트가 0이다.

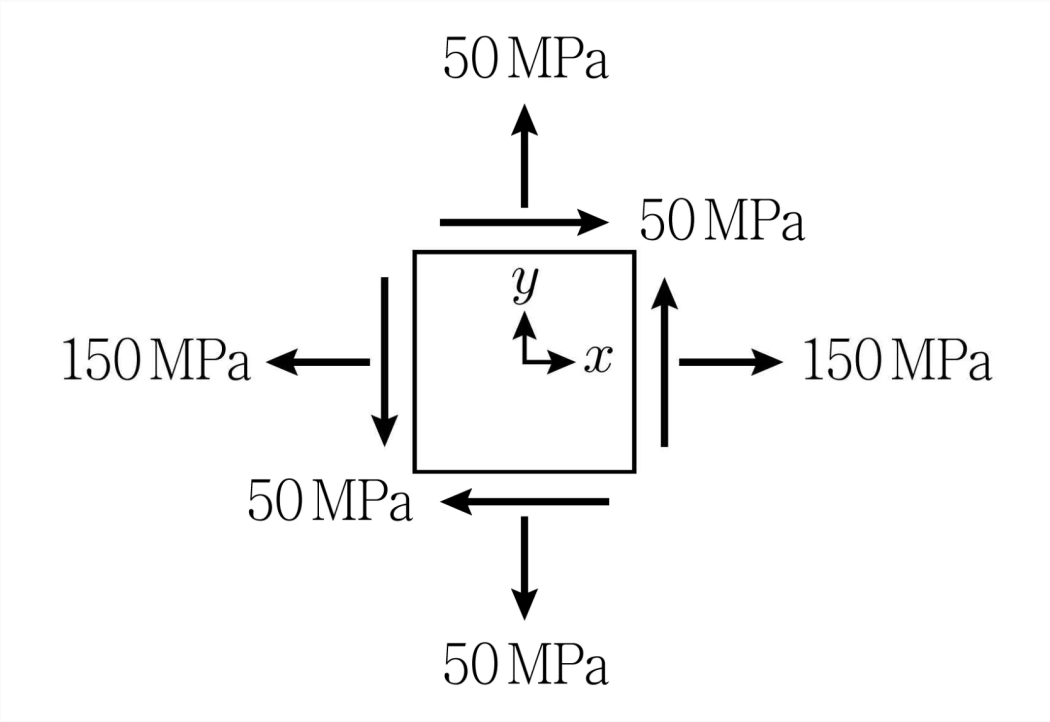
3. B점의 회전각: 작은 처짐의 휨이론에서 $EIy'' = M(x)$이므로, AB의 휨모멘트를 적분하면 $EIy' = \frac{wLx^2}{4} - \frac{wx^3}{6} + K$이다. 다시 적분하고 $y(0) = 0$을 적용하면 $EIy = \frac{wLx^3}{12} - \frac{wx^4}{24} + Kx$이다. 나머지 지점조건 $y(L) = 0$으로부터 $K = -\frac{wL^3}{24}$를 얻는다. 이를 회전각 식에 대입하면 $\theta_B = y'(L) = \frac{wL^3}{24EI}$이다. 양의 값이므로 B점에서 오른쪽으로 향하는 접선은 위로 기울어진다.

4. C점의 수직변위: BC에서는 휨모멘트가 0이므로 곡률도 0이다. 따라서 **BC는 B점의 회전각을 유지하는 직선**이 되고, B점의 변위가 0이므로 C점의 변위는 회전각과 내민 길이의 곱이다. 즉 $y_C = \theta_B \cdot \frac{L}{2} = \frac{wL^4}{48EI}$이며 방향은 위쪽이다. w는 힘/길이, EI는 힘·길이^{2}의 차원이므로 이 식은 변위에 해당하는 길이의 차원을 갖는다.

5. 계수 대응: 구한 변위 크기를 문제의 $C_1\frac{wL^4}{EI}$와 비교하면 $C_1 = \frac{1}{48}$이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 그림과 같은 평면응력 상태의 미소 요소에서 최대 주응력의 크기[MPa]는?



① 150

② $100 + 50\sqrt{2}$

③ 200

④ $200 + 50\sqrt{2}$

정답 2번

간단한 해설

최대 주응력은 **평균 수직응력에 모어원 반지름을 더한 값**이다. 평균 수직응력은 100 MPa이고 반지름은 $50\sqrt{2}$ MPa이므로, 최대 주응력은 $(100 + 50\sqrt{2})$ MPa이다.

NoteBase

계산 과정

1. 응력 성분 읽기: 수직응력의 화살표가 요소 바깥쪽을 향하므로 **두 방향 모두 인장응력**이다. 따라서 $\sigma_x = 150$ MPa, $\sigma_y = 50$ MPa이다. 오른쪽 면에서 위로, 윗면에서 오른쪽으로 작용하는 전단응력은 $\tau_{xy} = 50$ MPa이다.

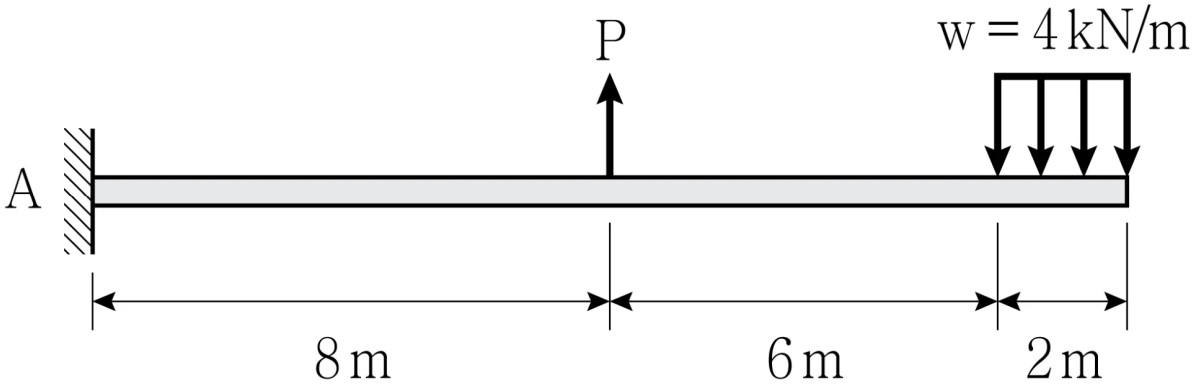
2. 모어원 중심 구하기: 주응력은 전단응력이 0인 면의 수직응력이다. 평면응력의 모어원에서 주응력은 수직응력 축과 원이 만나는 두 점에 해당한다. 원의 중심은 두 수직응력의 평균이므로, $\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$이다. 주어진 값을 대입하면 $\sigma_m = \frac{150 + 50}{2} = 100$ MPa이다.

3. 모어원 반지름 구하기: 반지름은 중심에서 현재 응력 상태를 나타내는 점까지의 거리이다. 수직응력의 평균으로부터의 차이와 전단응력을 함께 반영하므로, $R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$ 이다. 여기서 $\frac{150 - 50}{2} = 50$ MPa이므로, $R = \sqrt{50^2 + 50^2} = 50\sqrt{2}$ MPa이다.

4. 최대 주응력 구하기: 모어원에서 **수직응력 축의 오른쪽 교점**이 최대 주응력이므로 중심값에 반지름을 더한다. 따라서 $\sigma_1 = \sigma_m + R = (100 + 50\sqrt{2})$ MPa이며, 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 하중을 받는 캔틸레버보의 지점 A에서 모멘트 반력의 크기가 0일 때, 하중 P의 크기[kN]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 15
② 20
③ 25
④ 30

정답 1번

간단한 해설

등분포하중의 합력 8 kN은 A에서 15 m 떨어진 곳에 작용한다. 모멘트 반력이 0이려면 **이 합력과 P가 만드는 모멘트가 상쇄**되어야 하므로, A에서 8 m 떨어진 곳에 작용하는 P의 크기는 15 kN이다.

계산 과정

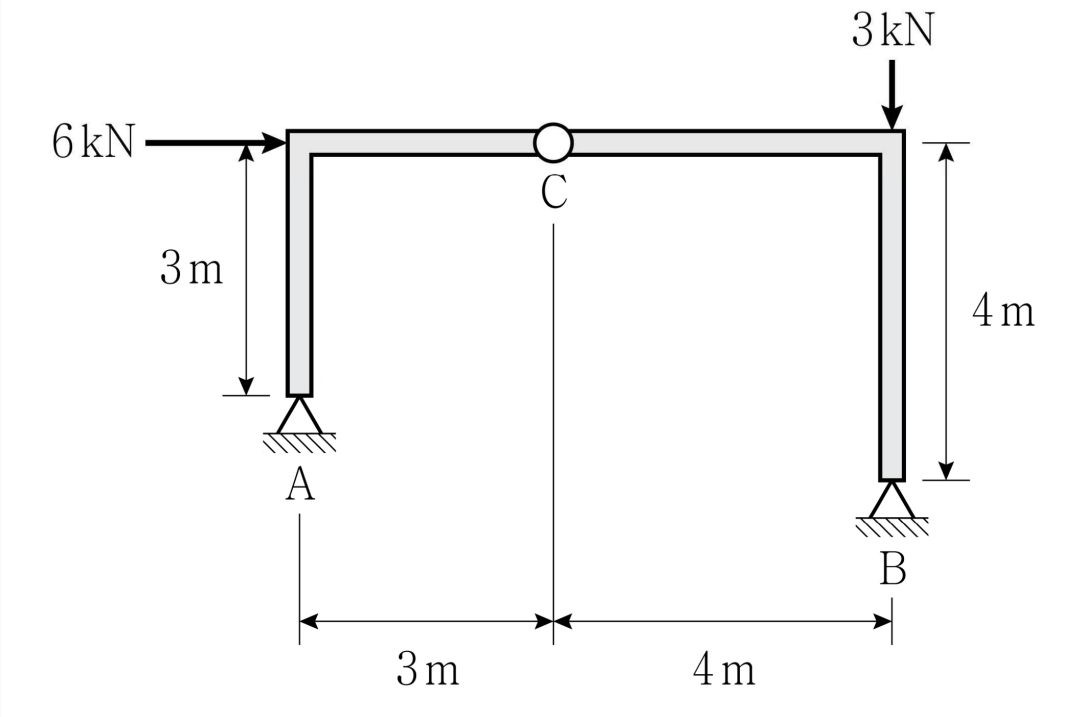
등분포하중의 합력: 구조물의 자중은 무시한다. 오른쪽 끝 2 m 구간에 아래쪽으로 작용하는 등분포하중은 크기가 $4 \times 2 = 8$ kN인 집중하중으로 바꿀 수 있다. 합력의 작용점은 **하중이 분포한 구간의 중앙**이므로, A에서의 거리는 $8 + 6 + \frac{2}{2} = 15$ m이다.

A점에 대한 모멘트 평형: 반시계방향을 양으로 잡으면, 위쪽 하중 P는 A에서 8 m 떨어져 반시계방향 모멘트를 만들고, 아래쪽 합력 8 kN은 시계방향으로 $8 \times 15 = 120$ kN·m의 모멘트를 만든다. A에 작용하는 반력은 A에 대한 모멘트 팔길이가 0이다. 여기에 **A의 모멘트 반력이 0**이라는 조건을 적용하면 평형식은 $8P - 120 = 0$이다. 여기서 P의 수치 단위는 kN이다.

하중 P의 크기: $P = \frac{120}{8} = 15$ kN이다. 이는 두 하중이 A에 대해 서로 반대 방향으로 같은 크기의 모멘트를 만드는 값이며, ①의 15 kN에 해당한다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 C점에 내부힌지를 가지는 구조물의 지점 B에서 수직반력의 크기[kN]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 3번

간단한 해설

내부힌지는 **모멘트를 전달하지 않으므로** 좌우 부분을 나누어 평형을 적용한다. C에서 오른쪽 부분에 전달되는 하향력 3 kN과 외력 3 kN을 B가 함께 지지하므로, 수직반력은 위쪽으로 6 kN이다.

NoteBase

계산 과정

힘과 부호 설정: 자중을 무시하고 C에서 구조물을 좌우로 나눈다. 내부힌지 C는 힘을 전달하지만 모멘트는 전달하지 않는다. 왼쪽 부분의 C에 작용하는 수평력을 H, 수직력을 V라 하고, 각각 오른쪽과 위쪽을 양으로 둔다. 오른쪽 부분의 C에는 **크기가 같고 방향이 반대인 힘**이 작용한다. 힘은 kN, 길이는 m로 대입하며 반시계방향 모멘트를 양으로 둔다.

왼쪽 부분의 평형: A를 기준으로 모멘트를 취하면 A의 반력은 모멘트를 만들지 않는다. C의 수평력과 수직력의 모멘트팔은 각각 3 m이고, 외력 6 kN은 A에서 높이 3 m에 작용하여 시계방향 모멘트를 만든다. 따라서 $3V - 3H - 6 \cdot 3 = 0$, 즉 $V - H = 6$이다.

오른쪽 부분의 평형: B를 기준으로 모멘트를 취한다. 외력 3 kN은 **작용선이 B를 지나므로** 모멘트가 0이다. C는 B에서 왼쪽으로 4 m, 위쪽으로 4 m에 있고, C의 힘은 왼쪽 부분에 작용하는 힘과 반대이므로 $4V + 4H = 0$, 즉 $V + H = 0$이다. 왼쪽에서 구한 $V - H = 6$과 더하면 $2V = 6$이므로 $V = 3$ kN이다. 이는 왼쪽 부분에는 위쪽으로, 오른쪽 부분에는 아래쪽으로 3 kN이 작용한다는 뜻이다.

B의 수직반력: 위쪽을 양으로 하여 B의 수직반력을 B_y라 둔다. 오른쪽 부분에는 C의 하향력 3 kN과 외력 3 kN이 작용한다. 수직력 평형은 $B_y - 3 - 3 = 0$이므로 $B_y = 6$ kN이다. 따라서 수직반력은 위쪽이며, 그 크기 6 kN은 ③에 해당한다.

NoteBase