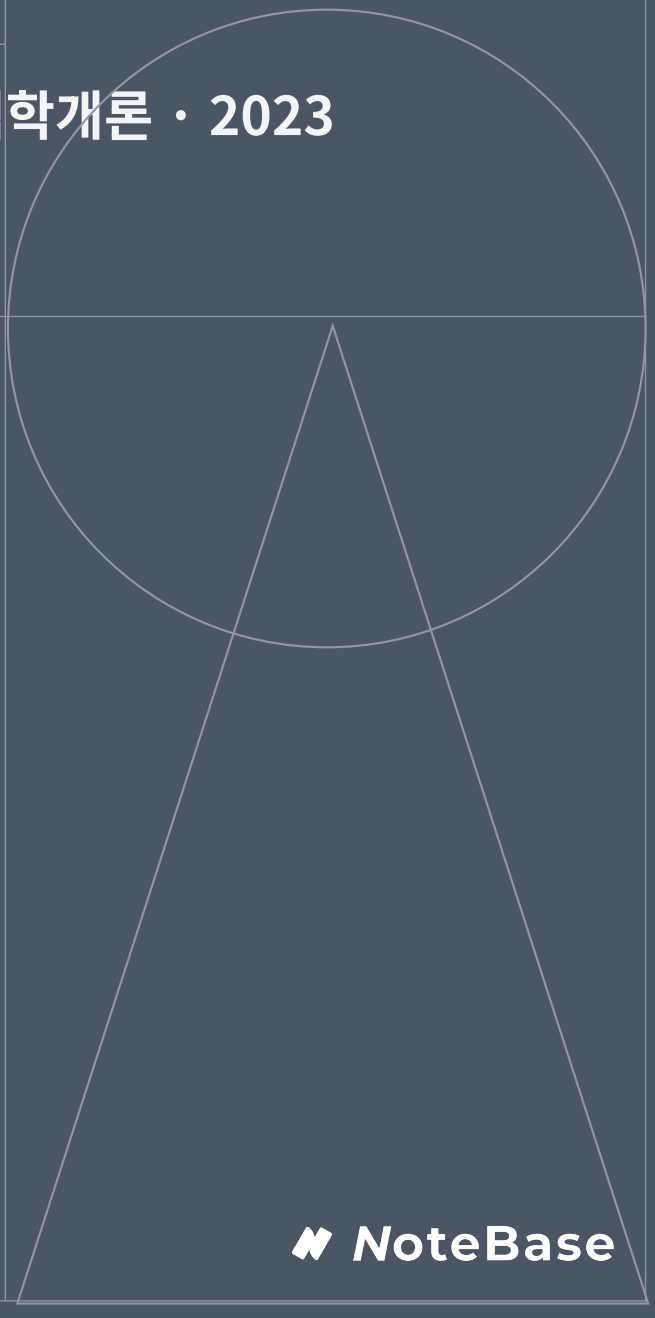
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2023



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2023

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2023

문 1. 보의 곡률에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 휨모멘트에 반비례한다.

② 곡률반경에 반비례한다.

③ 탄성계수에 반비례한다.

④ 보의 단면2차모멘트에 반비례한다.

정답 1번

간단한 해설

보의 곡률은 다른 조건이 같을 때 휨모멘트에 **반비례하는 것이 아니라 비례**한다. 같은 재료와 단면의 보에 더 큰 휨모멘트가 작용하면 더 크게 휘어진다.

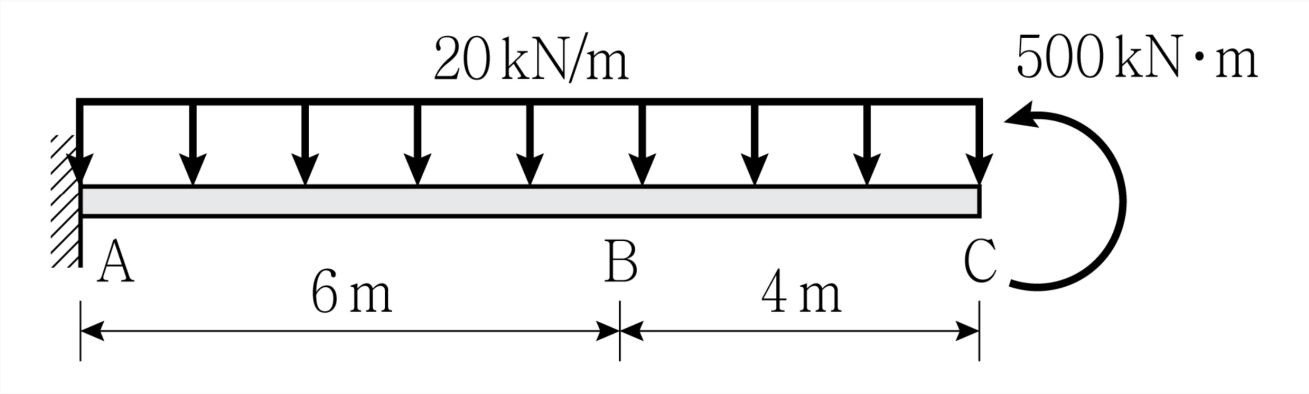
공통 해설

곡률은 보가 휘어진 정도로, 곡률반경이 작을수록 크다. 미소변형을 가정한 선형 탄성 보 이론에서 곡률은 $\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$로 나타낸다. 여기서 ρ는 곡률반경, M은 휨모멘트, E는 탄성계수, I는 휨의 중립축에 대한 단면2차모멘트이다. EI는 보가 휨에 저항하는 정도인 휨강성이다.

이 관계에서 다른 조건이 같으면 곡률은 **휨모멘트에 비례**하고, **탄성계수와 단면2차모멘트에는 각각 반비례**한다. 휨모멘트가 클수록 더 많이 휘어지고, 재료나 단면의 휨 저항이 클수록 덜 휘어지기 때문이다. 또한 곡률은 정의상 곡률반경에 반비례한다. 따라서 '휨모멘트에 반비례한다'는 표현은 '휨모멘트에 비례한다'로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 2. 그림과 같은 캔틸레버보에서 B점의 휨모멘트 크기[kN·m]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 150

② 240

③ 250

④ 340

정답 4번

간단한 해설

B점 오른쪽의 등분포하중이 만드는 모멘트는 끝에 작용하는 500 kN·m의 모멘트와 **방향이 반대**이다. 두 모멘트의 차이를 상쇄해야 하므로 B점의 휨모멘트 크기는 500 − 160 = 340 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

검토 구간: B점에서 보를 절단하고 **오른쪽 BC 구간**만 떼어 평형을 적용한다. BC의 길이는 4 m이며, 이 구간에는 아래 방향의 등분포하중 20 kN/m와 C점의 반시계방향 모멘트 500 kN·m가 작용한다. 이 부분만 보면 A점의 지점반력을 구할 필요가 없다. 구조물의 자중은 무시한다.

등분포하중의 합력: 일정한 세기의 분포하중은 하중 세기에 구간 길이를 곱한 합력으로 바꿀 수 있다. BC 구간의 합력은 $20 \times 4 = 80$ kN이고, 작용점은 **BC의 중점**인 B점에서 오른쪽으로 2 m인 위치이다.

B점에 대한 외력 모멘트: 아래 방향의 합력 80 kN은 B점을 기준으로 시계방향 모멘트 $80 \times 2 = 160$ kN·m를 만든다. C점의 500 kN·m는 반시계방향이므로 두 효과는 **서로 빼야 한다**. 외력 모멘트의 합은 반시계방향으로 $500 - 160 = 340$ kN·m이다. C점의 하중은 힘이 아니라 모멘트이므로 거리를 다시 곱하지 않는다.

절단면의 평형: 떼어 낸 BC 구간이 회전하지 않으려면 B 절단면의 휨모멘트가 외력 모멘트의 합을 상쇄해야 한다. 따라서 BC 부분의 절단면에는 시계방향으로 340 kN·m가 작용하며, 요구한 휨모멘트의 크기는 340 kN·m로 ④에 해당한다.

NoteBase

문 3. 순수 비틀림을 받는 원형단면의 봉에서 한 단의 다른 단에 대한 비틀림각에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 비틀림모멘트에 비례한다.

② 봉의 길이에 비례한다.

③ 극관성모멘트에 반비례한다.

④ 비틀림강성에 비례한다.

정답 4번

간단한 해설

비틀림강성이 클수록 같은 비틀림모멘트에 의한 비틀림각은 작아진다. 따라서 '비틀림강성에 비례한다'는 표현은 **'비틀림강성에 반비례한다'**로 고쳐야 한다.

공통 해설

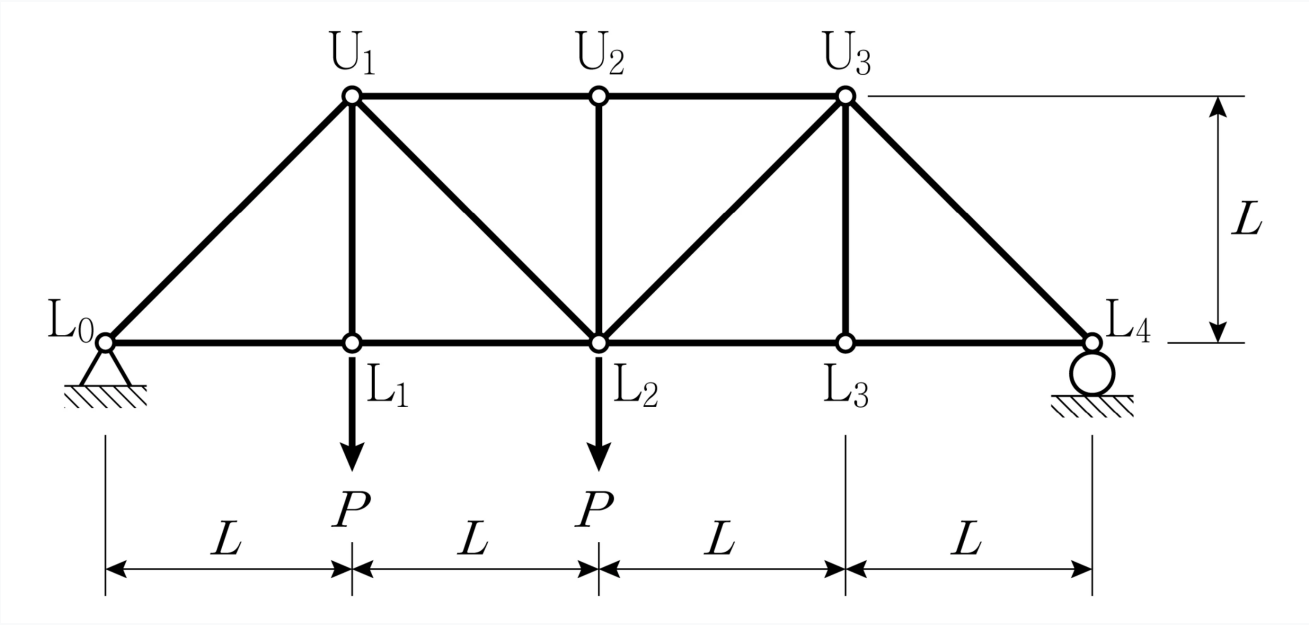
선형탄성 범위에서 재료와 단면이 일정한 원형 봉이 순수 비틀림을 받을 때, 양 끝의 상대적인 비틀림각은 $\theta = \frac{TL}{GJ}$ 이다. T는 비틀림모멘트, L은 봉의 길이, G는 전단탄성계수, J는 단면의 극관성모멘트이며, 비틀림각의 단위는 rad이다. 극관성모멘트는 단면의 면적이 봉의 중심축에서 어떻게 분포하는지를 나타내는 기하학적 양이다.

이 식에서 **나머지 조건이 같으면** 비틀림각은 분자의 비틀림모멘트 T와 길이 L에 각각 비례하고, 분모의 극관성모멘트 J에 반비례한다. 같은 재료와 단면의 봉에 더 큰 모멘트를 가하면 더 많이 비틀리며, 같은 모멘트를 받는 봉이 길어지면 길이를 따라 누적되는 회전각도 커진다. 반대로 극관성모멘트가 커지면 단면의 비틀림 저항이 커져 회전각이 작아진다.

재료와 단면에 따른 비틀림강성은 GJ로 나타낸다. 따라서 모멘트와 길이가 같을 때 비틀림각은 **비틀림강성에 반비례**한다. 비틀림강성이 두 배가 되면 비틀림각은 절반이 되므로, '비틀림강성에 비례한다'는 설명은 비례 관계를 반대로 서술한 것이다.

NoteBase

문 4. 그림과 같은 트러스에서 부재력이 0인 부재의 개수는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 0

② 1

③ 2

④ 3

정답 3번

간단한 해설

외력과 지점반력이 없는 절점에 부재 세 개가 연결되고 그중 두 개가 일직선이면, 나머지 부재의 부재력은 0이다. 이 조건이 적용되는 U_2L_2**와** U_3L_3가 영부재이므로 모두 2개이다.

NoteBase

도식 해설

트러스 부재에는 부재 축 방향으로 힘이 작용한다. **외력과 지점반력이 없는 절점**에 세 부재가 연결되고 그중 두 부재가 일직선이면, 나머지 부재는 영부재이다. 일직선에 수직한 방향의 힘을 상쇄할 다른 힘이 없으므로 그 부재력이 0이어야 절점이 평형을 이룬다.

U_2 절점: U_1U_2와 U_2U_3는 수평으로 일직선을 이루고, U_2L_2만 수직 방향이다. 이 절점에는 외력이 없으므로 수직방향 평형에 따라 U_2L_2**의 부재력은 0**이다.

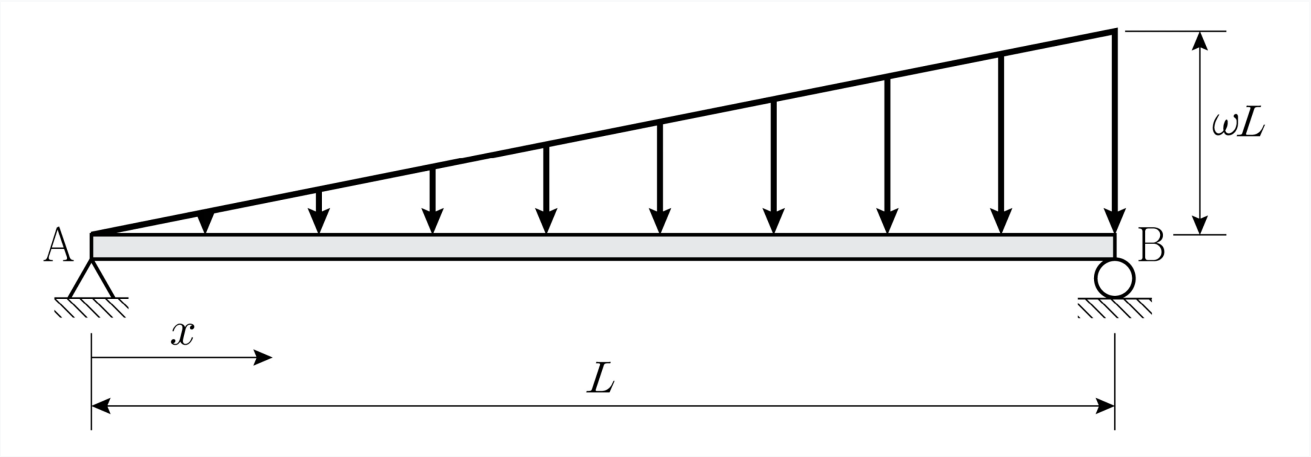
L_3 절점: L_2L_3와 L_3L_4는 수평으로 일직선을 이루고, U_3L_3만 수직 방향이다. 이 절점에도 외력이 없으므로 수직방향 평형에 따라 U_3L_3**의 부재력은 0**이다.

L_1 절점과의 구분: 수평 부재 두 개와 수직 부재 하나가 연결된 모양은 같지만, 여기에는 **아래쪽으로 하중 P가 작용**한다. 따라서 U_1L_1에는 이를 상쇄하는 크기 P의 인장력이 생기며, 영부재가 아니다. 구조물의 자중을 무시한다는 조건도 그림에 표시된 하중 P까지 없다는 뜻은 아니다.

부재력이 0인 부재는 U_2L_2, U_3L_3의 2개이며, ③의 2에 해당한다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 단순보에서 최대 휨모멘트 발생 위치 x는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{L}{\sqrt{3}}$
② $\frac{L}{\sqrt{2}}$
③ $\frac{2}{3}L$
④ $\frac{\sqrt{6}}{2}L$

정답 1번

간단한 해설

휨모멘트가 최대가 되는 곳은 **전단력이 양에서 음으로 바뀌는 위치**이다. A점 반력과 A점부터 거리 x까지의 삼각형 분포하중 합력이 같아지는 조건을 풀면 $x = \frac{L}{\sqrt{3}}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 분포하중의 합력: 자중을 무시하면 그림의 하중만 고려한다. 하중 강도는 A점에서 0, B점에서 ωL로 선형 증가하므로 A점에서 거리 x인 곳의 하중 강도는 $q(x) = \omega x$이다. 전체 합력은 하중도 삼각형의 면적과 같아 $W = \frac{1}{2} L \cdot \omega L = \frac{\omega L^2}{2}$이다. 합력은 **삼각형의 도심**을 지나므로 A점에서 $\frac{2L}{3}$인 곳에 아래로 작용한다.

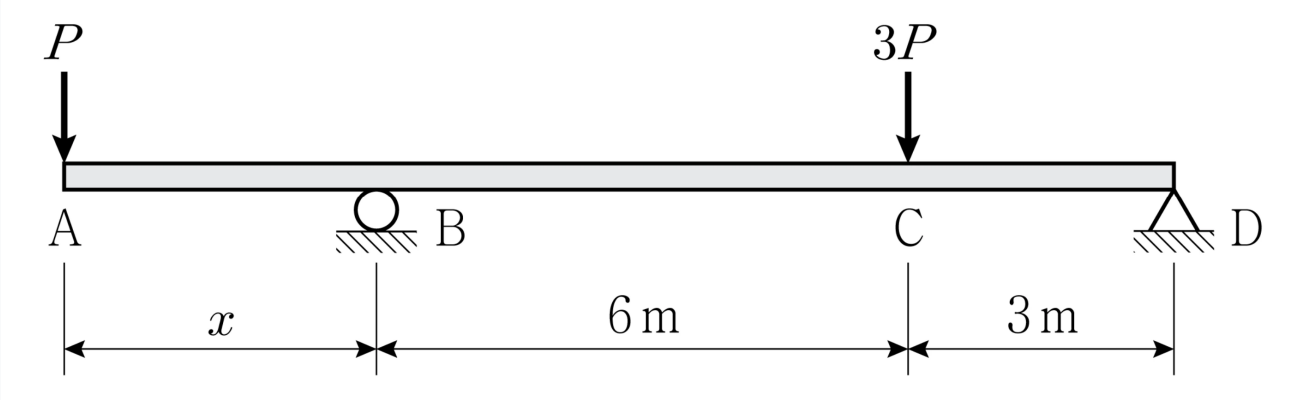
2. A점 반력: 위쪽 수직반력을 각각 R_A, R_B라 한다. B점에 대한 모멘트 평형에서 $R_A L = W \cdot \frac{L}{3}$이므로 $R_A = \frac{W}{3} = \frac{\omega L^2}{6}$이다. 이는 A점부터 절단면까지 작용하는 하중을 지탱하는 위쪽 힘이다.

3. 전단력 식: A점부터 거리 x까지의 분포하중 합력은 밑변이 x, 높이가 ωx인 삼각형의 면적이므로 $\frac{\omega x^2}{2}$이다. 따라서 절단면의 전단력은 $V(x) = \frac{\omega L^2}{6} - \frac{\omega x^2}{2}$이다. **휨모멘트의 기울기가 전단력**이라는 관계 $\frac{dM}{dx} = V(x)$에 따라, 전단력이 양에서 음으로 바뀌면 휨모멘트는 증가하다 감소한다.

4. 발생 위치: $V(x) = 0$을 적용하면 $\frac{\omega L^2}{6} = \frac{\omega x^2}{2}$, 즉 $x^2 = \frac{L^2}{3}$이다. 보 내부의 양의 거리를 택하면 $x = \frac{L}{\sqrt{3}}$이다. 이 위치 앞에서는 전단력이 양수이고 뒤에서는 음수이며, 양 끝 단순지점의 휨모멘트는 0이므로 이곳에서 휨모멘트가 최대이다. A점으로부터의 거리이며 길이 단위는 L과 같고, ①의 값에 해당한다.

NoteBase

문 6. 그림과 같은 내민보에서 B점과 C점의 휨모멘트 절댓값 크기가 같아지는 길이 x [m]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 4.5

② 4.0

③ 3.5

④ 3.0

정답 1번

간단한 해설

B점의 휨모멘트 크기는 Px이고, C점의 휨모멘트는 D점 반력과 거리 3 m의 곱으로 구한다. **두 휨모멘트의 절댓값이 같다는 조건**을 적용하면 길이 x는 4.5 m이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 AB는 x, BC는 6 m, CD는 3 m이므로 지점 사이 거리 BD는 9 m이다. A점에는 하중 P, C점에는 하중 3P가 아래로 작용하며 자중은 무시한다. D점의 위쪽 반력을 R_D라 하고, 휨모멘트는 보가 아래로 볼록하게 휘는 방향을 (+)로 정한다.

B점 휨모멘트: B점 왼쪽의 내민 부분 AB만 보면 하중 P의 모멘트팔은 x이다. 따라서 $M_B = -Px$이고, 그 크기는 $|M_B| = Px$이다. B는 보의 중간을 받치는 지점이므로 **지점이라는 이유만으로 휨모멘트가 0이 되지는 않는다**.

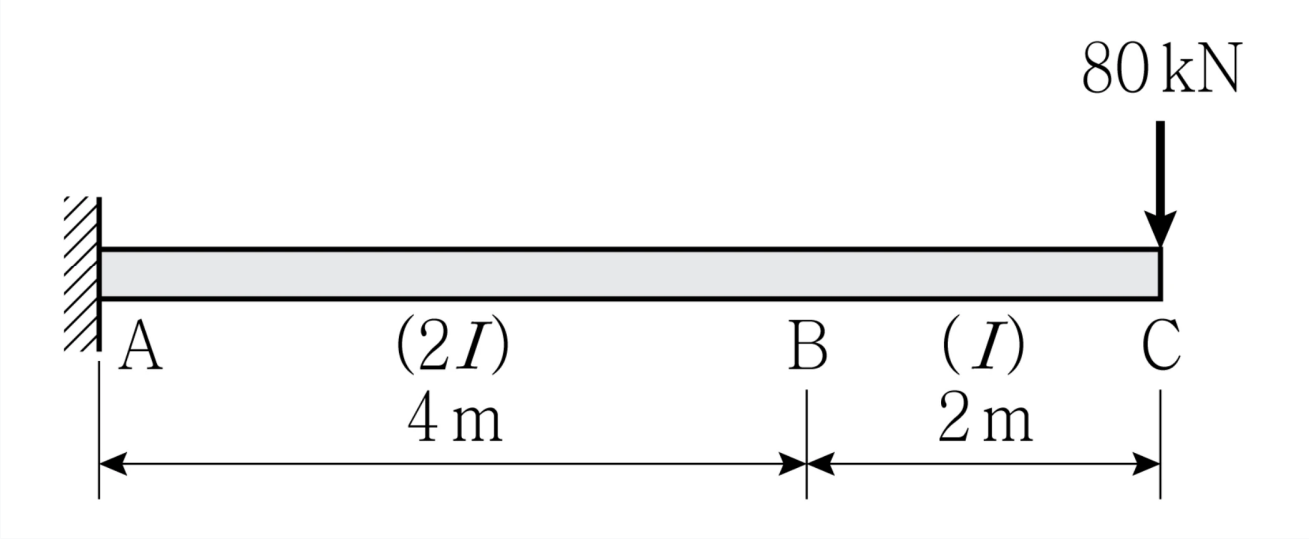
D점 반력: 보 전체에서 B점에 대한 모멘트 평형을 세운다. 반시계방향을 (+)로 하면 A점의 하중 P와 D점 반력은 (+), C점의 하중 3P는 (−)의 모멘트를 만든다. 따라서 $Px + R_D \cdot 9\text{m} - 3P \cdot 6\text{m} = 0$이며, 정리하면 $R_D = P\frac{18\text{m} - x}{9\text{m}}$이다.

C점 휨모멘트: **C점 오른쪽 부분 CD**를 분리하면 D점 반력만 C점에 대한 모멘트를 만든다. C점에 작용하는 하중 3P는 모멘트팔이 0이다. 따라서 $M_C = R_D \cdot 3\text{m}$이고, 반력을 대입하면 $M_C = P\left(6\text{m} - \frac{x}{3}\right)$이다.

길이 조건: $|M_B| = |M_C|$에 위 식들을 대입하고 하중의 크기 P를 약분하면 $x = \left|6\text{m} - \frac{x}{3}\right|$이다. 절댓값 안이 0 이상인 경우 $x = 6\text{m} - \frac{x}{3}$에서 $\frac{4x}{3} = 6\text{m}$이므로 x는 4.5 m이다. 절댓값 안이 음수인 경우에는 $x = -6\text{m} + \frac{x}{3}$에서 x가 −9 m로 나와 길이 조건에 맞지 않는다. 따라서 필요한 길이는 4.5 m이며 ①과 일치한다.

NoteBase

문 7. 그림과 같은 캔틸레버보에서 B점의 처짐각 크기[radian]는? (단, 보의 AB구간 휨강성은 $2EI$, BC구간 휨강성은 EI이고, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{800}{EI}$
② $\frac{640}{EI}$
③ $\frac{600}{EI}$
④ $\frac{480}{EI}$

정답 2번

간단한 해설

고정단 A의 처짐각은 0이므로, B의 처짐각은 **AB구간의 휨모멘트를 휨강성 $2EI$로 나눈 도형의 면적**으로 구한다. C의 80 kN 하중에 의한 AB구간의 휨모멘트를 반영하면 처짐각의 크기는 $\frac{640}{EI}$ rad이다.

NoteBase

계산 과정

조건과 구간: A는 고정단이고 AB = 4 m, BC = 2 m이므로 AC = 6 m이다. C에는 아래 방향으로 80 kN이 작용하며 자중은 무시한다. E는 탄성계수, I는 BC구간의 단면2차모멘트이고, AB구간의 휨강성은 $2EI$이다.

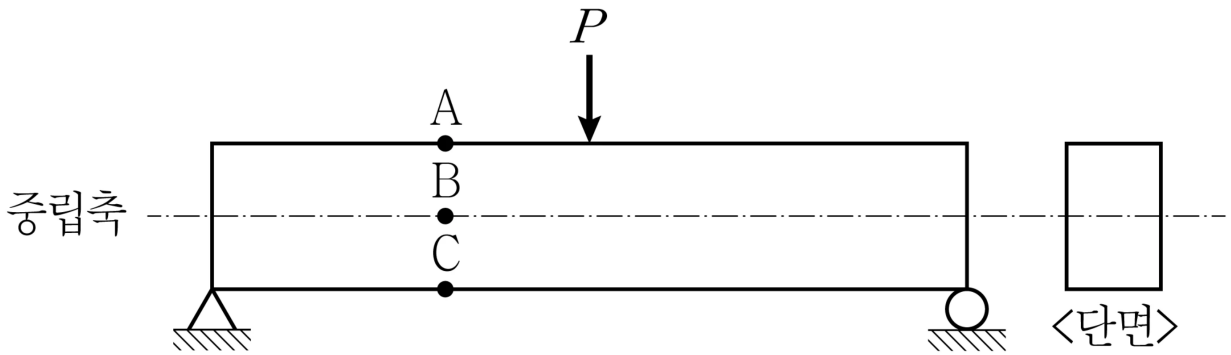
휨모멘트: 각 단면의 오른쪽 부분에 작용하는 C점 하중을 이용하면 휨모멘트의 크기는 하중에 그 단면에서 C까지의 거리를 곱한 값이다. A에서는 $80 \times 6 = 480$ kN·m, B에서는 $80 \times 2 = 160$ kN·m이다. AB구간에는 분포하중이 없으므로 두 값을 잇는 휨모멘트도는 직선이며, 모멘트의 부호는 구간 전체에서 같다.

처짐각의 관계: 모멘트면적법에서 두 점 사이의 처짐각 변화는 그 구간의 휨모멘트를 휨강성으로 나눈 도형의 면적이다. A의 처짐각이 0이므로 **A에서 B까지의 면적만** 구하면 B의 처짐각을 얻는다. BC구간의 휨강성 EI는 이 면적 계산에 직접 들어가지 않지만, C의 하중이 AB구간에 만드는 휨모멘트는 반드시 반영한다.

면적과 처짐각 계산: AB구간의 휨모멘트도는 양 끝 높이가 480, 160 kN·m이고 길이가 4 m인 사다리꼴이다. 그 면적은 $\frac{480+160}{2} \cdot 4 = 1280$ kN·m^{2}이다. 이를 **AB구간의 휨강성**으로 나누면 $|\theta_B| = \frac{1280}{2EI} = \frac{640}{EI}$ rad이다. E와 I를 각각 kN/m^2, m^4 단위로 사용하면 휨강성의 단위는 kN·m^{2}가 되어 면적의 단위와 소거된다. 이 값은 ②의 $\frac{640}{EI}$와 일치한다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 선형탄성 거동을 하는 직사각형 단면을 가지는 단순보의 중앙에 집중하중이 작용한다면, 보 단면 A, B, C의 위치에서 발생하는 휨응력과 전단응력에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① A점의 전단응력은 0이다.

② A점과 C점의 휨응력의 절댓값은 같다.

③ 집중하중의 크기가 2배가 되는 경우, C점의 휨응력의 크기는 2배가 된다.

④ B점에서 전단응력과 휨응력이 모두 최대가 된다.

정답 4번

간단한 해설

B점은 **중립축 위에 있으므로 휨응력이 0**이다. 직사각형 단면에서 전단응력은 B점에서 최대이지만, 휨응력의 절댓값은 중립축에서 가장 먼 A점과 C점에서 최대이다.

NoteBase

선지별 해설

그림에서 A점은 단면의 위쪽 끝, B점은 중립축, C점은 아래쪽 끝에 있다. 선형탄성 보의 휨응력은 $\sigma = -\frac{My}{I}$로 나타낸다. 여기서 M은 해당 단면의 휨모멘트, y는 중립축에서의 부호를 가진 거리, I는 중립축에 대한 단면2차모멘트이다. 따라서 같은 단면에서는 중립축에서 멀어질수록 휨응력의 절댓값이 커진다.

① O: A점은 보의 위쪽 자유 표면에 있다. 직사각형 단면의 전단응력은 높이 방향으로 포물선 형태로 분포하며, **위·아래 표면에서 0**이 된다. 따라서 A점의 전단응력은 0이다.

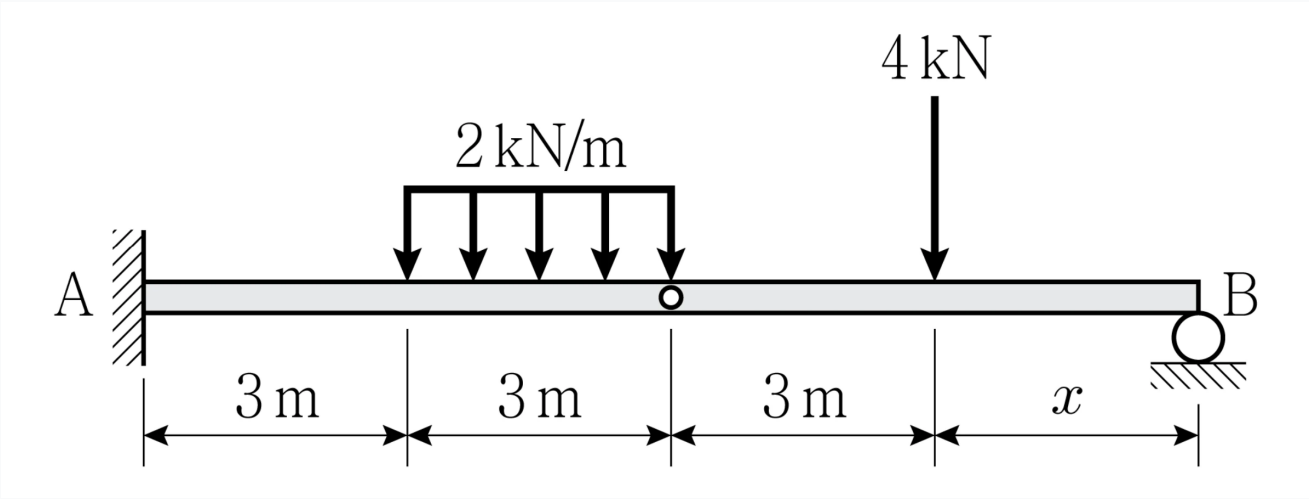
② O: 직사각형 단면의 중립축은 높이의 중앙을 지나므로, A점과 C점은 **중립축에서 같은 거리**에 있다. 두 점은 같은 단면에 있어 휨모멘트와 단면2차모멘트도 같으므로 휨응력의 절댓값이 같다. 아래쪽으로 작용하는 중앙집중하중에 의해 A점에는 압축 휨응력, C점에는 인장 휨응력이 발생한다.

③ O: 보의 형상과 하중 위치가 같으면 지점반력과 각 단면의 휨모멘트는 집중하중 P에 비례한다. 따라서 **하중이 2배가 되면 휨모멘트도 2배**가 된다. 선형탄성 거동에서 C점의 중립축으로부터의 거리와 단면2차모멘트는 같으므로, 휨응력의 크기도 2배가 된다.

④ X: B점은 중립축 위에 있어 $y = 0$이므로 **휨응력은 최대가 아니라 0**이다. 직사각형 단면의 전단응력은 중립축인 B점에서 최대가 되지만, 휨응력의 절댓값은 해당 단면의 위·아래 끝인 A점과 C점에서 최대가 된다.

NoteBase

문 9. 그림과 같은 게르버보에서 B점의 반력이 3 kN이라면, 길이 x [m]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 2번

간단한 해설

내부 힌지는 **모멘트를 전달하지 않으므로** 오른쪽 보만 분리해 힌지에 대한 모멘트 평형을 적용한다. B점 반력의 모멘트팔은 $3 + x$ m이므로 $3(3 + x) = 4 \times 3$에서 $x = 1.0$ m이다.

계산 과정

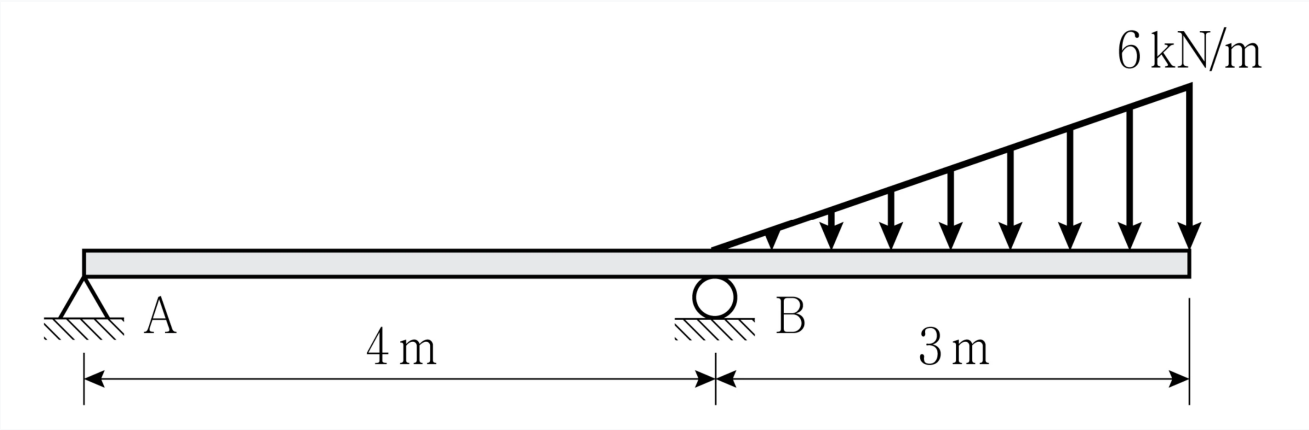
1. 내부 힌지에서 보 분리: 그림의 원형 연결점을 H라 두면, H에서 B까지의 보에는 아래로 작용하는 4 kN의 집중하중과 B점의 위쪽 반력 3 kN이 작용한다. 집중하중은 H에서 오른쪽으로 3 m 떨어져 있고, B점까지의 거리는 $3 + x$ m이다. 내부 힌지는 **모멘트를 전달하지 않는다**. 따라서 오른쪽 보를 분리해 H점에 대한 모멘트 평형을 세울 수 있으며, 왼쪽 구간의 2 kN/m 등분포하중은 이 자유물체도에 직접 포함하지 않는다.

2. H점에 대한 모멘트 평형: 힌지력은 H점을 지나므로 H점에 대한 모멘트가 0이다. 반시계방향을 양으로 잡으면 B점 반력은 양의 모멘트, 4 kN 하중은 음의 모멘트를 만든다. 힘을 kN, 거리를 m 단위로 대입하면 $3(3 + x) - 4 \times 3 = 0$이다. 즉, 두 힘이 만드는 **서로 반대 방향의 모멘트 크기가 같아야 한다**.

3. 길이 계산: $3(3 + x) = 12$를 정리하면 $3x = 3$이므로 $x = 1.0$ m이다. 이는 ②의 1.0에 해당한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같은 내민보에서 지점 A의 수직반력[kN]은? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 4.5 (↑)

② 4.5 (↓)

③ 13.5 (↑)

④ 13.5 (↓)

정답 2번

간단한 해설

삼각형 분포하중의 합력 9 kN은 B에서 오른쪽으로 2 m 떨어진 곳에 작용한다. 이 하중이 만드는 시계방향 모멘트와 균형을 이루려면 A의 반력은 **아래쪽으로 4.5 kN**이어야 한다.

계산 과정

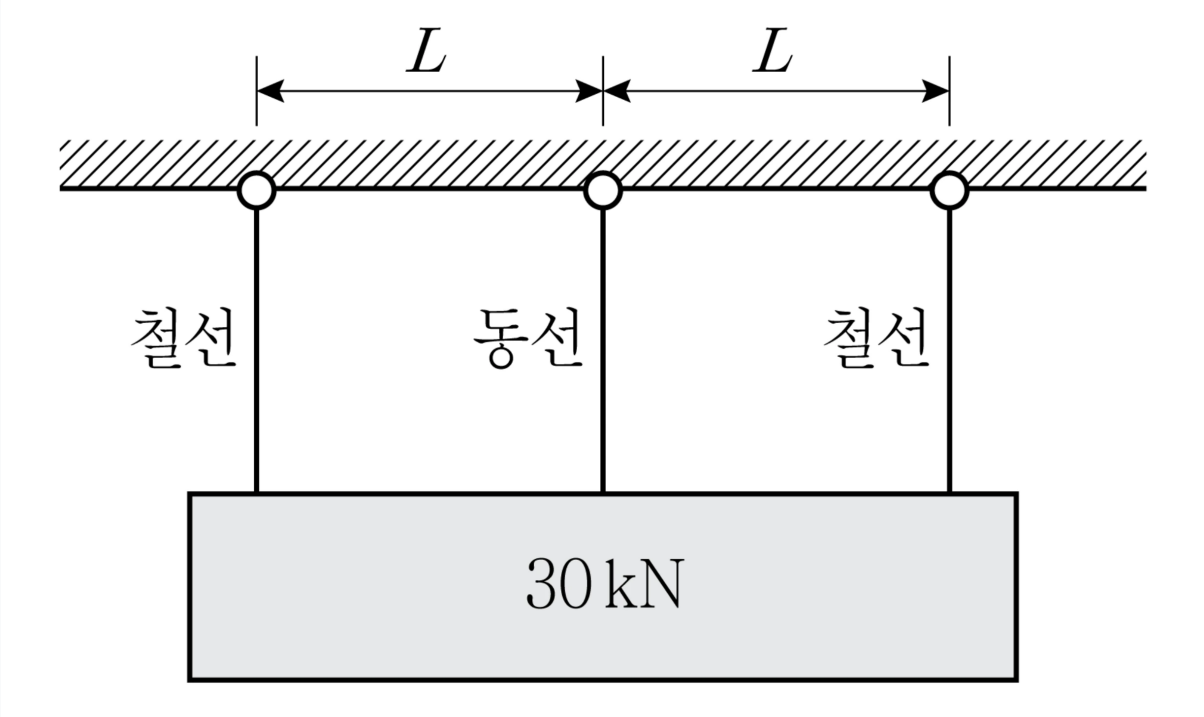
분포하중의 합력과 위치: 자중은 무시하며, 하중은 B부터 오른쪽 끝까지 3 m 구간에서 0부터 6 kN/m까지 선형으로 증가한다. 합력의 크기는 하중도 삼각형의 면적이므로 $W = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 6 = 9\text{kN}$이다. 합력은 **하중도 삼각형의 도심**을 지나므로, 하중이 0인 B에서 오른쪽으로 $\frac{2}{3} \cdot 3 = 2\text{m}$ 떨어진 곳에 아래쪽으로 작용한다.

B점에 대한 모멘트 평형: A의 수직반력 R_A를 위쪽으로 가정하고, 반시계방향 모멘트를 양으로 정한다. **B를 기준으로 하면 B의 반력은 모멘트가 0**이므로 식에서 제외된다. B의 왼쪽 4 m에 있는 위쪽 반력과 오른쪽 2 m에 있는 아래쪽 합력은 모두 시계방향 모멘트를 만든다. 따라서 $-4R_A - 9 \cdot 2 = 0$이며, $R_A = -\frac{18}{4} = -4.5\text{kN}$이다.

반력의 방향: 음수는 실제 반력이 처음 가정한 위쪽과 반대인 **아래쪽**임을 뜻한다. 따라서 A의 수직반력은 4.5 kN (↓)으로, ②에 해당한다.

NoteBase

문 11. 그림과 같이 무게 30 kN인 강체를 단면적이 200 mm^2인 동선 1개와 단면적이 100 mm^2인 철선 2개로 매달았다면, 동선과 철선의 인장응력 비($\frac{\sigma_s}{\sigma_c}$)는? (단, 동선과 철선의 인장응력은 각각 σ_c, σ_s, 동선과 철선의 탄성계수는 각각 $E_c = 1.0 \times 10^5 \text{MPa}, E_s = 2.0 \times 10^5 \text{MPa}$이고, 동선과 철선의 자중은 무시한다)



① 0.5

② 2.0

③ 4.0

④ 8.0

정답 2번

간단한 해설

세 선의 원래 길이가 같고 강체가 대칭으로 매달려 있어 **동선과 철선의 변형률이 같다**. 탄성 범위에서 응력은 탄성계수에 비례하므로 철선의 인장응력은 동선의 2.0배이다.

NoteBase

계산 과정

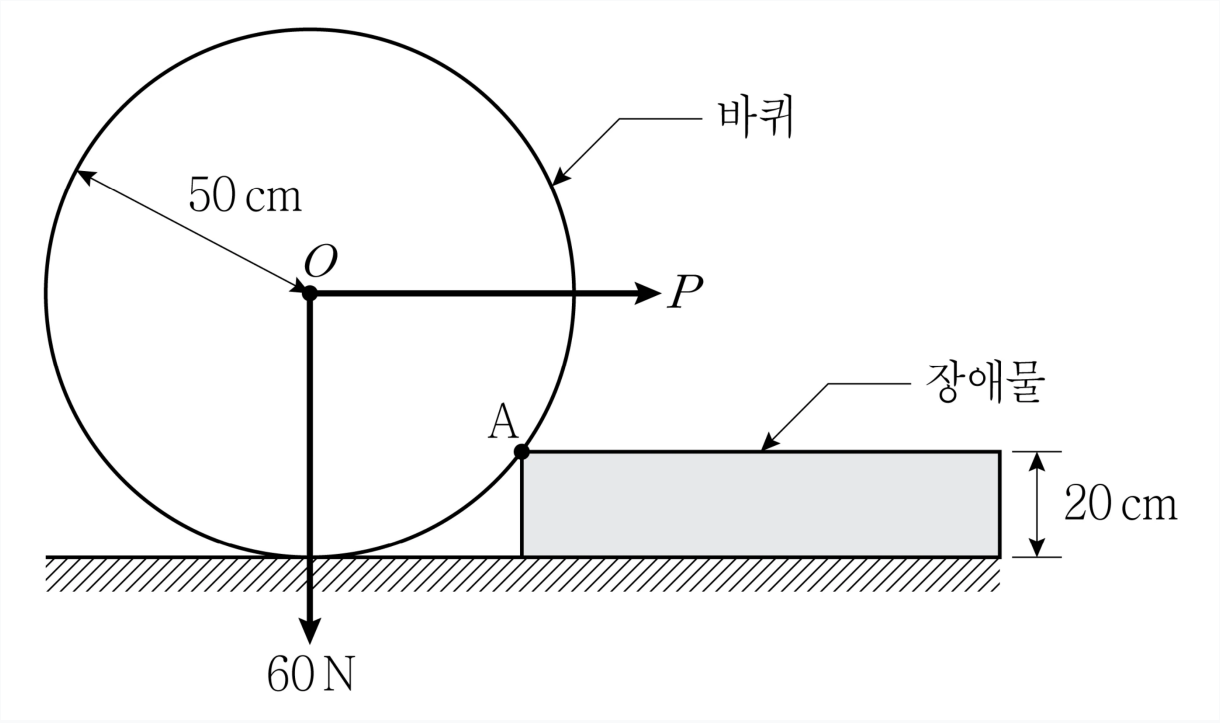
1. 변형 조건: 그림에서 중앙의 동선을 기준으로 두 철선이 같은 거리 L만큼 떨어져 있고, 세 선의 원래 길이도 같다. 좌우가 대칭이므로 강체는 기울지 않고 내려간다. 강체는 휘어지지 않으므로 세 연결점의 수직변위, 즉 각 선의 늘어난 길이 δ가 같다. 선의 원래 길이를 ℓ이라 하면 변형률은 $\varepsilon = \frac{\delta}{\ell}$이므로 **세 선의 변형률이 같다**.

2. 응력 관계: 탄성 범위에서 훅의 법칙은 $\sigma = E\varepsilon$이다. 따라서 $\sigma_c = E_c\varepsilon$, $\sigma_s = E_s\varepsilon$이며, 같은 변형률을 소거하면 $\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{E_s}{E_c}$가 된다. 여기서 구하는 것은 선에 작용하는 장력 자체가 아니라 **단위 면적당 장력인 응력의 비**이다. 동선의 단면적 200 mm^2, 철선 각각의 단면적 100 mm^2와 전체 무게 30 kN은 각 선의 장력과 응력의 크기를 정할 때 쓰지만, 이 변형 조건에서 응력비를 구할 때는 필요하지 않다.

3. 수치 대입: $\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{2.0 \times 10^5}{1.0 \times 10^5} = 2.0$이다. 두 탄성계수의 단위가 모두 MPa이므로 비에는 단위가 없다. 철선의 인장응력이 동선의 2.0배이므로 ②의 2.0에 해당한다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 자중 60 N인 바퀴가 바닥에 고정된 높이 20 cm의 장애물 위로 힘 P를 초과할 때 움직이기 시작한다면, 이 힘 P [N]는? (단, 바퀴와 장애물은 강체로 가정한다)



① 30

② 45

③ 55

④ 80

정답 4번

간단한 해설

바퀴가 바닥에서 들리기 직전에는 **장애물 모서리 A에 대한 모멘트가 평형**을 이룬다. 힘 P의 모멘트 팔은 30 cm, 자중의 모멘트 팔은 40 cm이므로 이를 이용하면 P = 80 N이다.

NoteBase

계산 과정

회전 기준: 바퀴가 장애물을 넘어가기 시작하는 한계에서는 **바닥의 수직반력이 0**이 되고, 바퀴는 장애물 모서리 A를 중심으로 회전하려 한다. A에서 받는 접촉력은 A를 지나므로 A에 대한 모멘트가 없다. 따라서 중심 O에 작용하는 수평 힘 P와 자중 60 N의 모멘트를 비교한다.

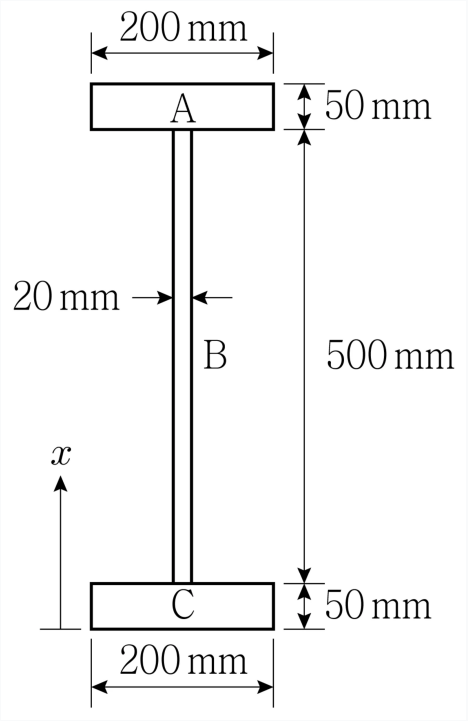
힘 P의 모멘트 팔: 모멘트 팔은 회전 기준점에서 힘의 작용선까지의 수직거리이다. 그림에서 바퀴의 반지름은 50 cm이고 A의 높이는 20 cm이다. P는 O를 지나 수평으로 작용하므로 그 모멘트 팔은 **O와 A의 높이 차**인 50 − 20 = 30 cm이다.

자중의 모멘트 팔: 자중은 O를 지나 수직 아래로 작용하므로, 그 모멘트 팔은 A와 O 사이의 수평거리 x이다. OA의 길이는 반지름인 50 cm이고 수직거리는 30 cm이므로 피타고라스 정리에 따라 $x = \sqrt{50^2 - 30^2} = 40$ cm이다.

모멘트 평형과 P: A에 대해 P는 시계방향, 자중은 반시계방향 모멘트를 만든다. 움직이기 직전에는 두 모멘트의 크기가 같고, 거리 단위를 cm로 통일하면 $P \cdot 30 = 60 \cdot 40$이다. 따라서 $P = \frac{60 \cdot 40}{30} = 80$N이며, 이는 ④의 80 N에 해당한다.

NoteBase

문 13. 그림과 같이 서로 다른 재료로 구성된 합성단면에서 하단으로부터 중립축까지 수직거리 x [mm]는? (단, 각 재료는 완전 부착되어 일체거동하고, 상부플랜지의 탄성계수 $E_A = 10$ GPa, 웨브의 탄성계수 $E_B = 20$ GPa, 하부플랜지의 탄성계수 $E_C = 40$ GPa이다)



① $\frac{1,250}{7}$
② $\frac{1,275}{7}$
③ $\frac{2,125}{7}$
④ $\frac{2,925}{7}$

정답 2번

간단한 해설

서로 다른 재료가 완전 부착된 합성단면의 중립축은 **탄성계수와 면적을 함께 가중한 도심**을 지난다. 세 부분의 면적은 같고 탄성계수의 비가 1 : 2 : 4이므로, 하단에서 중립축까지의 거리는 $\frac{1,275}{7}$ mm이다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 부분의 면적과 도심 높이: 하단을 기준으로 위쪽 높이를 잰다. 상부플랜지 A와 하부플랜지 C의 면적은 각각 $200 \times 50 = 10{,}000\ \text{mm}^2$이고, 웨브 B의 면적도 $20 \times 500 = 10{,}000\ \text{mm}^2$이다. 각 부분의 도심 높이는 $y_A = 50 + 500 + 25 = 575\ \text{mm}$, $y_B = 50 + 250 = 300\ \text{mm}$, $y_C = 25\ \text{mm}$이다. 그림의 **500 mm는 두 플랜지 사이 웨브의 높이**이므로 하부플랜지 두께 50 mm를 더해 도심 높이를 구한다.

2. 중립축 위치를 정하는 조건: 완전 부착되어 일체로 휘므로 축방향 변형률은 중립축에서의 거리에 비례하고, 같은 변형률에서 응력은 탄성계수에 비례한다. 휨에 의한 인장력과 압축력의 합이 0이어야 하므로 $\sum_i E_i S_i (y_i - x) = 0$이다. 여기서 S_i는 각 부분의 면적, y_i는 그 도심의 하단 기준 높이이다. 이를 정리하면 $x = \frac{\sum_i E_i S_i y_i}{\sum_i E_i S_i}$이다. 즉, **기하학적 면적만이 아니라 탄성계수도 가중치에 포함**한다.

3. 가중평균 계산: 세 면적이 같아 공통 면적을 약분할 수 있고, 탄성계수도 모두 GPa이므로 단위를 바꾸지 않고 비를 사용한다. $E_A : E_B : E_C = 10 : 20 : 40 = 1 : 2 : 4$이므로 $x = \frac{575 + 2 \cdot 300 + 4 \cdot 25}{1 + 2 + 4}\ \text{mm}$이다. 분자는 $575 + 600 + 100 = 1{,}275$, 분모는 7이므로 $x = \frac{1{,}275}{7}\ \text{mm}$이다. 하부플랜지의 탄성계수가 가장 커서 중립축은 전체 높이 600 mm의 중앙인 300 mm보다 아래에 놓인다.

따라서 하단에서 중립축까지의 수직거리는 $\frac{1{,}275}{7}\ \text{mm}$로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 구조물의 변위를 구하는 방법에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 모멘트면적법은 처짐 곡선의 기하학적인 성질을 이용하여 보의 변위를 구하는 방법이다.

② 공액보법은 단부의 조건을 변화시킨 공액보에 탄성하중을 재하하여 변위를 구하는 방법이다.

③ 가상일법은 보 처짐에 관한 미분방정식의 적분과 경계조건을 이용하여 변위를 구하는 방법이다.

④ 카스틸리아노(Castigliano) 제2정리는 변형에너지를 작용하중에 대하여 1차 편미분한 값은 그 하중의 위치에 생기는 변위가 된다는 방법이다.

정답 3번

간단한 해설

③의 '미분방정식의 적분과 경계조건을 이용'하는 방법은 **이중적분법**이다. 가상일법은 **외적 가상일과 내적 가상일의 같음**을 이용하여 변위를 구한다.

선지별 해설

① O: 모멘트면적법은 처짐 곡선의 기하학적 관계를 이용한다. 휨모멘트 M을 휨강성 EI로 나눈 $\frac{M}{EI}$ 도형에서, 두 점 사이의 면적은 두 점의 처짐각 차이를 나타낸다. 그 면적의 한 점에 대한 1차 모멘트는 **다른 점의 접선에 대한 상대적인 처짐**을 나타낸다. 이를 지점의 처짐 조건 등과 함께 이용하여 보의 변위를 구한다.

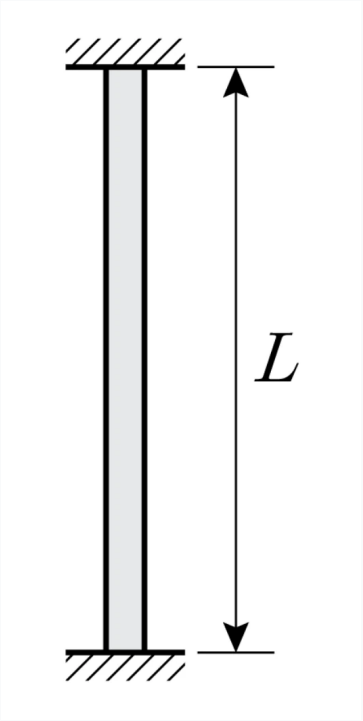
② O: 공액보법은 실제 보의 $\frac{M}{EI}$ 도형을 **탄성하중**으로 재하한 가상의 보를 해석한다. 공액보의 전단력은 실제 보의 처짐각에, 공액보의 휨모멘트는 실제 보의 처짐에 대응한다. 이 대응이 성립하도록 실제 보의 단부 조건을 공액보의 단부 조건으로 바꾼다.

③ X: 처짐에 관한 미분방정식을 적분하고 경계조건으로 적분상수를 정하는 것은 **이중적분법**이다. 한 번 적분하면 처짐각을, 다시 적분하면 처짐을 얻는다. 가상일법은 외적 가상일과 내적 가상일이 같다는 원리를 이용한다. 변위를 구하려는 위치와 방향에 가상의 단위하중을 가하고, 그 하중에 의한 내력과 실제 하중에 의한 변형의 관계로 변위를 구한다.

④ O: 카스틸리아노 제2정리에 따르면 선형탄성 구조물의 변형에너지 U를 작용하중 P에 대하여 편미분한 값은 그 하중 작용점의 **하중 방향 변위**이다. 이를 $\delta = \frac{\partial U}{\partial P}$로 나타낸다. 따라서 단순히 하중 작용점만이 아니라 편미분한 하중의 방향까지 대응시켜야 한다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 양단 고정인 탄성기둥(유효좌굴길이계수 = 0.5)에서 온도가 균일하게 상승하여 임계좌굴하중에 도달하였을 때, 온도상승량 ΔT는? (단, α = 열팽창계수, A = 단면적, E = 탄성계수, I = 단면 2차모멘트, L = 기둥길이이며, 기둥의 자중과 온도 상승에 의한 기둥 단면적의 변화는 무시한다)



① $\frac{4\pi^2 I}{\alpha A L^2}$
② $\frac{2\pi^2 I}{\alpha A L^2}$
③ $\frac{\pi^2 I}{\alpha A L^2}$
④ $\frac{\pi^2 I}{4\alpha A L^2}$

정답 1번

간단한 해설

양단이 고정되어 **열팽창이 구속**되면 압축력 $P = EA\alpha\Delta T$가 발생한다. 이 힘이 유효좌굴길이 0.5L에 대한 임계좌굴하중과 같아질 때의 온도상승량은 $\Delta T = \frac{4\pi^2 I}{\alpha A L^2}$이다.

NoteBase

계산 과정

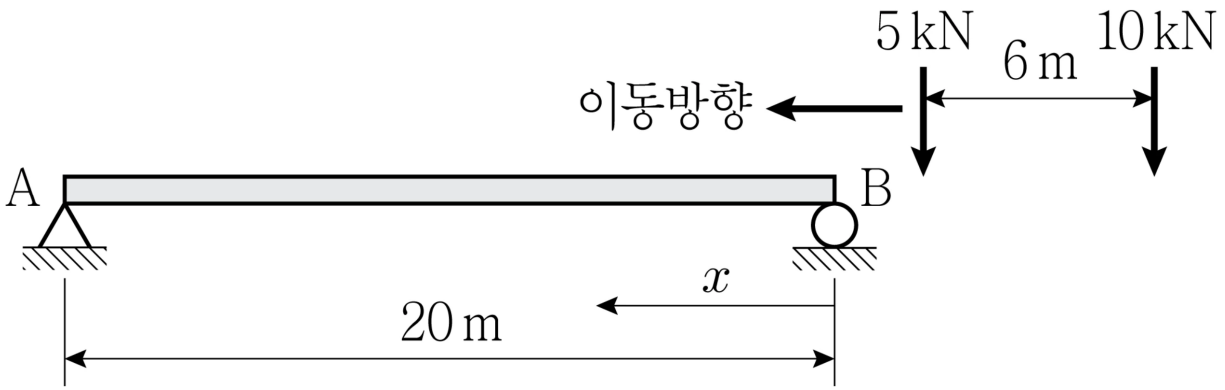
열팽창에 의한 압축력: 그림의 위아래 고정단은 기둥의 축방향 늘어남을 막는다. 압축력의 크기를 P라 하면, 좌굴 직전까지 **열팽창량과 압축에 의한 수축량이 같아야** 하므로 $\alpha L\Delta T = \frac{PL}{EA}$이다. 따라서 $P = EA\alpha\Delta T$이며, 자중과 단면적 변화는 주어진 조건에 따라 무시한다.

임계좌굴하중: 탄성기둥의 오일러 좌굴식에는 실제 길이 L 대신 **유효좌굴길이**를 사용한다. 유효좌굴길이계수를 K라 하면, 양단 고정 조건에서 K = 0.5이므로 $KL = 0.5L$이다. 따라서 임계좌굴하중은 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$이다.

온도상승량: 열팽창으로 발생한 압축력이 임계좌굴하중에 도달하는 조건은 $EA\alpha\Delta T = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$이다. 양변을 $EA\alpha$로 나누면 $\Delta T = \frac{4\pi^2 I}{\alpha AL^2}$이며, 이는 ①의 식과 일치한다. 탄성계수 E는 두 하중식에 공통으로 들어가 소거된다.
온도상승량의 단위는 열팽창계수의 역수와 같으므로, 열팽창계수를 ℃당 값으로 쓰면 결과는 ℃이다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 단순보에 2개의 이동하중이 통과할 때, 절대 최대휨모멘트 발생 위치 x [m]는? (단, 하중은 오른쪽에서 왼쪽으로만 이동하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① 5

② 9

③ 10

④ 11

정답 2번

간단한 해설

B에서 10 kN 하중까지의 거리를 t [m]라 하면, 그 하중 아래의 휨모멘트는 $M_{10} = \frac{3}{4}t(18 - t)$ kN·m이다. 이 값은 **t = 9 m**에서 최대가 되며, 다른 배치에서 생기는 최대값보다 크다.

NoteBase

계산 과정

조건과 변수: 경간은 20 m이고, 왼쪽의 5 kN 하중과 오른쪽의 10 kN 하중이 6 m 간격을 유지하며 왼쪽으로 이동한다. 자중이 없으므로 하중 사이에서 휨모멘트는 직선적으로 변하여, 최대값은 하중 작용점 아래에서 찾을 수 있다. B에서 10 kN 하중까지의 거리를 t [m]라 두면, 두 하중이 모두 보 위에 있는 범위는 $0 \le t \le 14$이다. A에서 각 하중까지의 거리는 10 kN 하중이 $20 - t$, 5 kN 하중이 $14 - t$이다.

A의 반력: B에 대한 모멘트 평형을 이용하면 $R_A = \frac{10t + 5(t+6)}{20}$ kN이다. 5 kN 하중은 10 kN 하중보다 B에서 6 m 더 멀리 있으므로, 그 모멘트팔은 **t + 6**이다.

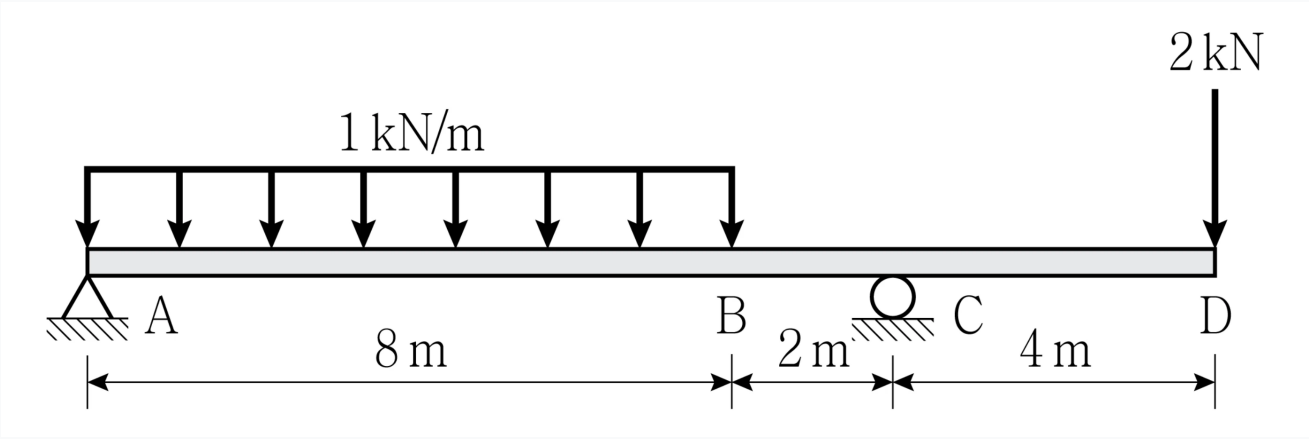
10 kN 하중 아래: 해당 단면의 왼쪽 부분을 보면 $M_{10} = R_A(20 - t) - 5 \cdot 6$이다. 반력을 대입하여 정리하면 $M_{10} = \frac{3}{4}t(18 - t)$이고, 완전제곱식으로는 $M_{10} = 60.75 - \frac{3}{4}(t - 9)^2$ kN·m이다. 제곱항이 0이 되는 t = 9 m에서 최대값 60.75 kN·m를 얻는다.

다른 후보와 비교: 5 kN 하중 아래에서는 왼쪽에 A의 반력만 있으므로 $M_5 = R_A(14 - t)$이다. 이를 정리하면 $M_5 = 48 - \frac{3}{4}(t - 6)^2$ kN·m이므로 최대값은 48 kN·m이다. 한 하중만 보 위에 있으면 단독 집중하중의 중앙 재하 최대값 $\frac{PL}{4}$를 넘을 수 없다. 여기서 P는 단독 하중의 크기이고 L은 경간이다. 따라서 큰 하중인 10 kN을 기준으로 해도 $\frac{10 \cdot 20}{4} = 50$ kN·m 이하이다. 두 경우 모두 **60.75 kN·m보다 작다**.

발생 위치: 절대 최대휨모멘트는 10 kN 하중 아래에서 발생하고, 이때 그 하중은 B에서 9 m 떨어져 있다. 그림의 x는 B에서 발생 단면까지의 거리이므로 x = 9 m이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 그림과 같은 내민보에서 최대 정모멘트 크기[kN·m]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 3번

간단한 해설

등분포하중 구간에서 **전단력이 양에서 음으로 바뀌는 단면**에 최대 정모멘트가 생긴다. 이 단면은 A에서 오른쪽으로 4 m인 위치이며, 휨모멘트는 8 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

하중과 부호: A는 힌지지점, C는 롤러지점이며, AB = 8 m, BC = 2 m, CD = 4 m이다. AB에 작용하는 1 kN/m의 등분포하중은 합력 8 kN으로 바꿀 수 있고, 그 작용점은 A에서 4 m 떨어진 AB의 중앙이다. D에는 아래쪽으로 2 kN이 작용한다. 자중은 무시하고, 보가 아래로 처지는 형태의 휨모멘트를 정모멘트로 둔다.

지점 반력: 위쪽 반력을 R_A, R_C라 하면 A점에 대한 모멘트 평형은 $10R_C - 8 \cdot 4 - 2 \cdot 14 = 0$이다. 따라서 $R_C = 6$ kN이고, 수직력 평형에서 $R_A = 8 + 2 - 6 = 4$ kN이다. 내민 구간 D의 하중도 지점 반력을 구할 때 포함해야 한다.

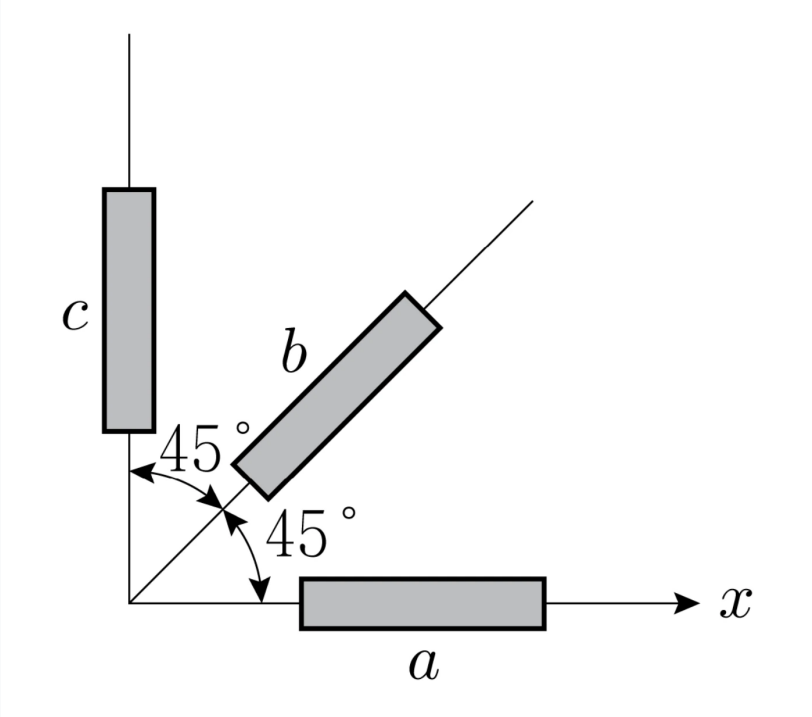
최대 정모멘트의 위치: A에서 오른쪽으로 잰 거리를 x, 등분포하중 강도를 w라 한다. AB 구간의 전단력은 $V(x) = R_A - wx$이다. **휨모멘트의 기울기는 전단력**이므로, 전단력이 양에서 음으로 바뀌는 곳에서 휨모멘트가 최대가 된다. $4 - 1 \cdot x = 0$을 풀면 x = 4 m이다.

최대 정모멘트의 계산: AB 안의 단면에서 왼쪽 등분포하중의 합력은 wx이고, 단면까지의 거리는 $\frac{x}{2}$이다. 따라서 $M(x) = R_A x - \frac{wx^2}{2}$이다. x = 4 m를 대입하면 $M(4) = 4 \cdot 4 - \frac{1 \cdot 4^2}{2} = 8$ kN · m이다.

다른 구간과의 확인: A와 B의 휨모멘트는 모두 0이다. BC에서는 전단력이 4 − 8 = −4 kN으로 일정하므로, 모멘트가 B의 0에서 C의 −8 kN · m까지 감소한다. CD에서는 전단력이 −4 + 6 = 2 kN이므로, 모멘트가 C의 −8 kN · m에서 D의 0까지 증가한다. 따라서 BC와 CD에는 양의 휨모멘트가 없으며, **최대 정모멘트 크기는 8 kN · m**로 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이 동일 평면상의 45° 스트레인 로제트(strain rosette)를 이용하여 축방향 변형률 ε_a, ε_b, ε_c를 측정했다면, 전단변형률은?



① $\varepsilon_b + \varepsilon_a + \varepsilon_c$

② $\varepsilon_b - 2\varepsilon_a - 2\varepsilon_c$

③ $2\varepsilon_b - \varepsilon_a + \varepsilon_c$

④ $2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c$

정답 4번

간단한 해설

45° 방향의 측정값에는 두 직교 방향의 수직변형률 평균과 **전단변형률의 절반**이 함께 반영된다. 따라서 전단변형률은 $\gamma_{xy} = 2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c$이다.

NoteBase

계산 과정

측정 방향: 그림에서 a는 x축 방향, c는 그에 수직인 방향이며, b는 x축에서 반시계 방향으로 45° 기울어져 있다. 따라서 $\varepsilon_x = \varepsilon_a$, $\varepsilon_y = \varepsilon_c$, $\varepsilon_{45^\circ} = \varepsilon_b$로 놓는다. 구하려는 γ_{xy}는 두 직교 방향 사이 각도의 변화를 나타내는 공학적 전단변형률이다.

45° 방향의 변형률: 미소변형률의 변환관계에서 수직변형률 성분의 계수는 각각 $\cos^2 45^\circ = \sin^2 45^\circ = \frac{1}{2}$이고, 공학적 전단변형률의 계수는 $\sin 45^\circ \cos 45^\circ = \frac{1}{2}$이다. 이에 따라 $\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} + \frac{\gamma_{xy}}{2}$가 된다. 즉, b의 측정값에서 **두 직교 방향의 수직변형률 평균**을 빼면 전단변형률의 절반이 남는다.

전단변형률 계산: 위 식의 양변에 2를 곱하면 $2\varepsilon_b = \varepsilon_a + \varepsilon_c + \gamma_{xy}$이므로, $\gamma_{xy} = 2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c$이다. 이 식은 ④와 일치한다. 변형률은 무차원이며, 전단변형률을 각도로 나타낼 때는 rad를 사용한다.

NoteBase

문 19. 지름이 4.0 cm인 강봉에 10,000 kN의 인장력이 작용할 때, 강봉 지름이 줄어드는 값[cm]은? (단, 탄성계수 $E = 2 \times 10^5$ MPa이고 푸아송비 $\nu = 0.25$이다)

① $\frac{1}{4\pi}$
② $\frac{3}{16\pi}$
③ $\frac{1}{8\pi}$
④ $\frac{1}{16\pi}$

정답 3번

간단한 해설

인장으로 생긴 길이 방향 변형률의 **0.25배만큼 지름 방향으로 수축**한다. 횡방향 변형률의 크기에 원래 지름 4.0 cm를 곱하면 지름 감소량은 $\frac{1}{8\pi}$ cm이다.

계산 과정

1. 단위와 단면적: 원래 지름을 d, 인장력을 P라 하면 d = 40 mm이고 $P = 10^7$ N이다. **1 MPa = 1 N/mm^2**이므로 이 단위를 사용하면 주어진 탄성계수를 그대로 적용할 수 있다. 원형 단면적은 $A = \frac{\pi d^2}{4} = 400\pi$ mm^{2}이다.

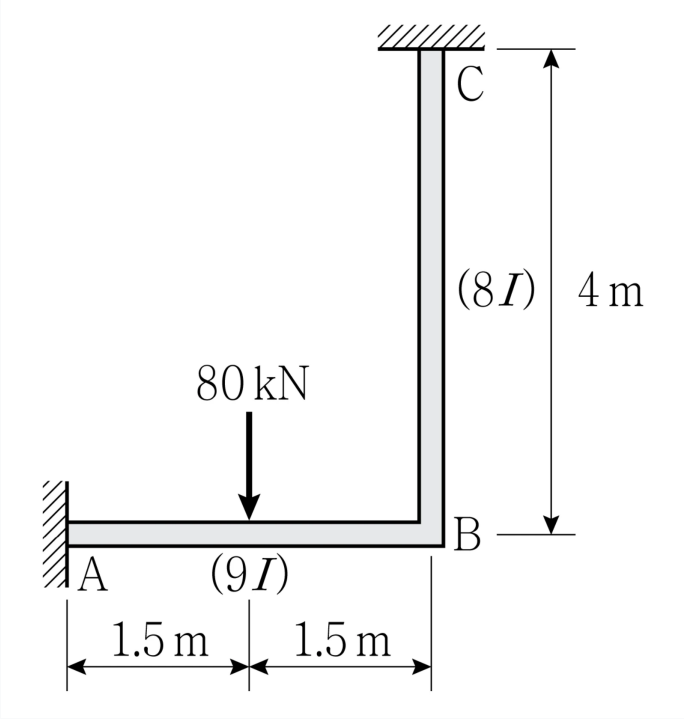
2. 길이 방향 변형률: 축방향 인장응력은 $\sigma = \frac{P}{A} = \frac{25{,}000}{\pi}$ MPa이다. 문제에서 주어진 탄성계수를 적용하면 후크의 법칙에 따라 $\varepsilon_L = \frac{\sigma}{E} = \frac{1}{8\pi}$이다. 이는 강봉의 원래 길이에 대한 늘어난 길이의 비율로, 단위가 없다.

3. 지름 방향 변형률: 푸아송비는 $\nu = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_L}$이므로 $\varepsilon_T = -0.25 \cdot \frac{1}{8\pi} = -\frac{1}{32\pi}$이다. 음의 부호는 **길이 방향으로 늘어날 때 지름 방향으로 줄어든다**는 뜻이다.

4. 지름 감소량: 횡방향 변형률은 지름 변화량을 원래 지름으로 나눈 값이므로, 감소량의 크기는 **횡방향 변형률의 크기에 원래 지름을 곱해** 구한다. 지름을 cm로 넣으면 $|\Delta d| = |\varepsilon_T| d = \frac{1}{32\pi} \cdot 4.0 = \frac{1}{8\pi}$ cm이다. 이는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 20. 그림과 같은 구조물에서 지점 A의 반력모멘트 크기[kN · m]는? (단, AB부재 휨강성은 9EI, BC부재 휨강성은 8EI이고, 구조물의 자중은 무시한다)



① 6

② 12

③ 39

④ 72

정답 3번

간단한 해설

B절점의 모멘트는 두 부재의 **회전강성비 3:2**로 분배되며, AB부재에 분배된 모멘트의 절반이 고정단 A로 전달된다. 이에 따라 A의 반력모멘트 크기는 30 + 9 = 39 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

조건과 고정단모멘트: AB의 길이는 3 m, BC의 길이는 4 m이며, AB 중앙에 80 kN이 작용한다. 통상적인 휨해석에서와 같이 축변형을 무시하면 B의 병진변위는 없고 회전만 고려한다. 먼저 B의 회전도 임시로 구속하면 AB는 양단고정보가 된다. 중앙 집중하중에 의한 양 끝 고정단모멘트의 크기는 $M_0 = \frac{PL}{8} = \frac{80 \cdot 3}{8} = 30$ kN·m이다. 각 부재 단부에서 시계방향 모멘트를 양으로 정하면 A단은 −30 kN·m, B단은 +30 kN·m이며, 부재하중이 없는 BC의 고정단모멘트는 0이다.

B절점의 회전강성: 반대쪽 끝 A와 C가 모두 고정되어 있으므로 부재의 휨강성을 D라 할 때 B단 회전강성은 $K = \frac{4D}{L}$이다. 따라서 $K_{BA} = \frac{4 \cdot 9EI}{3} = 12EI$, $K_{BC} = \frac{4 \cdot 8EI}{4} = 8EI$로 계산되어 **강성비는 3:2**이다. 강성이 클수록 같은 절점 회전에 대해 더 큰 모멘트를 부담하므로 AB와 BC의 분배율은 각각 3/5와 2/5이다.

B절점의 모멘트 평형: 임시 회전구속을 풀면 B에 외부 집중모멘트가 없으므로 두 부재의 B단 모멘트 합은 0이어야 한다. 기존 +30 kN·m를 상쇄하도록 −30 kN·m를 분배한다. AB의 B단에는 $\Delta M_{BA} = -30 \cdot \frac{3}{5} = -18$ kN·m, BC의 B단에는 $\Delta M_{BC} = -30 \cdot \frac{2}{5} = -12$ kN·m가 추가된다. 그 결과 B단 모멘트는 AB 쪽 +12 kN·m와 BC 쪽 −12 kN·m로 평형을 이룬다.

A단으로의 전달: 반대쪽 끝이 고정된 부재에서는 한쪽 끝에 추가된 모멘트의 **절반이 같은 회전방향으로 전달**된다. 따라서 AB의 B단에 추가된 −18 kN·m 중 $\Delta M_{AB} = \frac{-18}{2} = -9$ kN·m가 A단에 전달된다. A단의 최종 모멘트는 −30 − 9 = −39 kN·m이므로 반력모멘트의 크기는 39 kN·m이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase