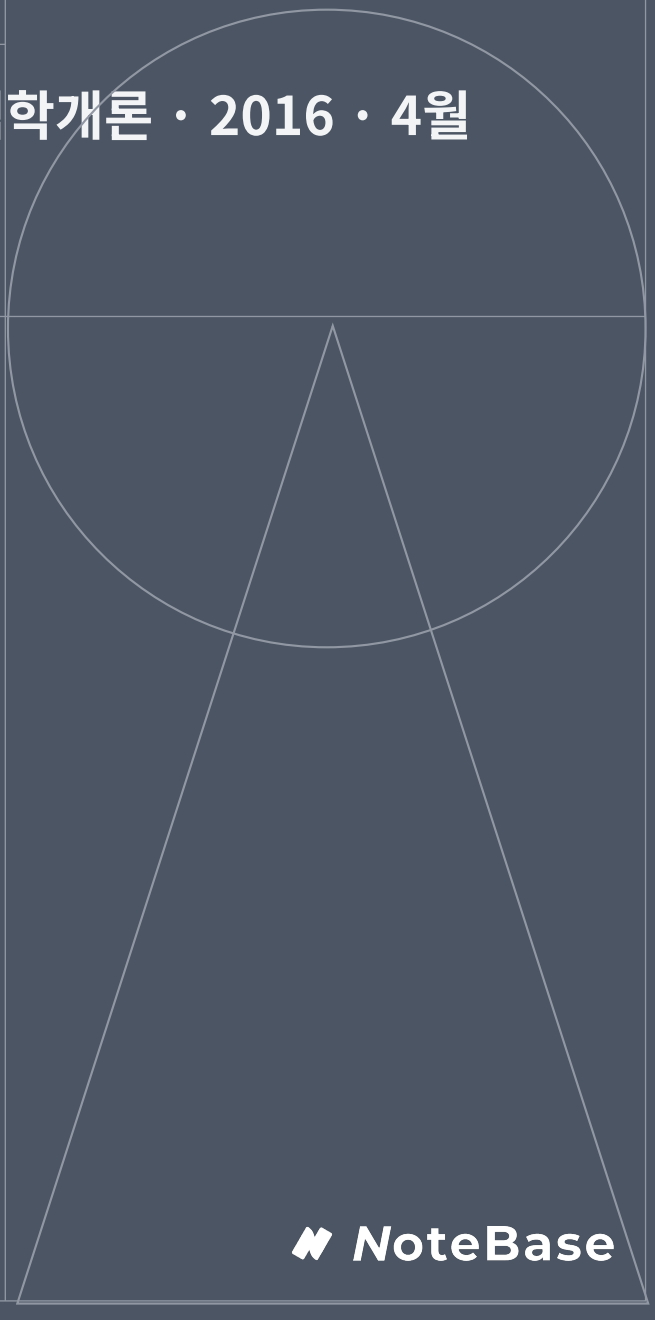
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 응용역학개론 · 2016 · 4월



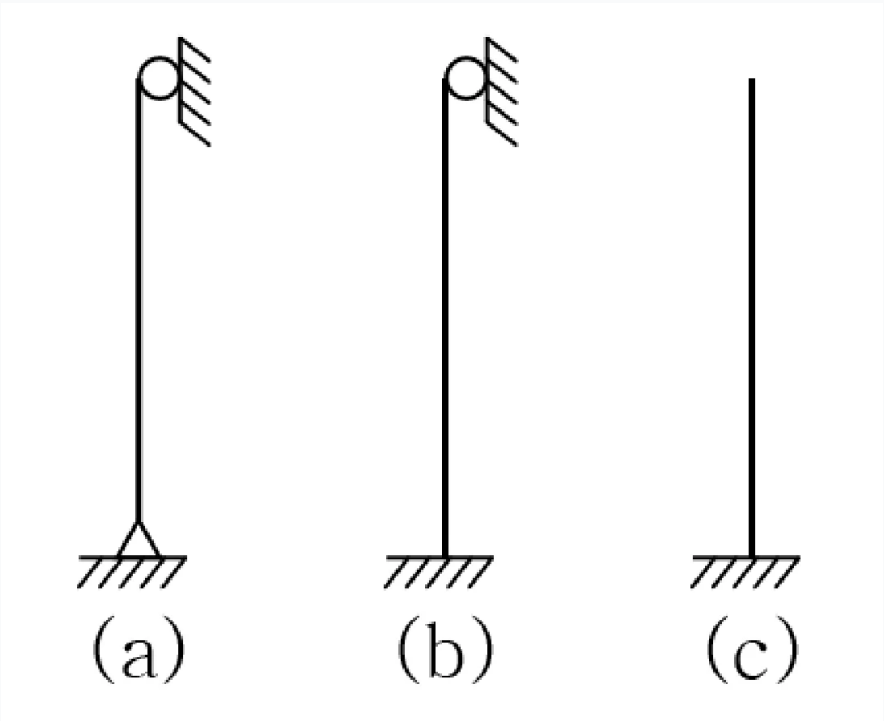
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 응용역학개론 · 2016 · 4월

공무원/서울시/9급 · 응용역학개론 · 2016 · 4월

문 1. 다음 중 기둥의 유효길이 계수가 큰 것부터 작은 것 순서로 바르게 나열한 것은? (단, 기둥의 길이는 모두 같다.)



① (a)－(b)－(c)

② (a)－(c)－(b)

③ (b)－(c)－(a)

④ (c)－(a)－(b)

정답 4번

간단한 해설

상단이 자유로운 (c)는 **유효길이가 실제 길이의 2배**여서 유효길이 계수가 가장 크다. (a)와 (b)는 상단의 횡변위가 구속되지만, (b)는 **하단의 회전까지 구속**되어 계수가 더 작다.

NoteBase

올바른 순서

(c) → (a) → (b)

유효길이는 좌굴에 대한 효과를 양단 힌지 기둥의 길이로 환산한 것이다. 실제 길이를 L, 유효길이를 L_e, 유효길이 계수를 K라 하면 $L_e = KL$이다. 세 기둥의 실제 길이가 같으므로 단부 구속조건에 따른 K를 비교한다.

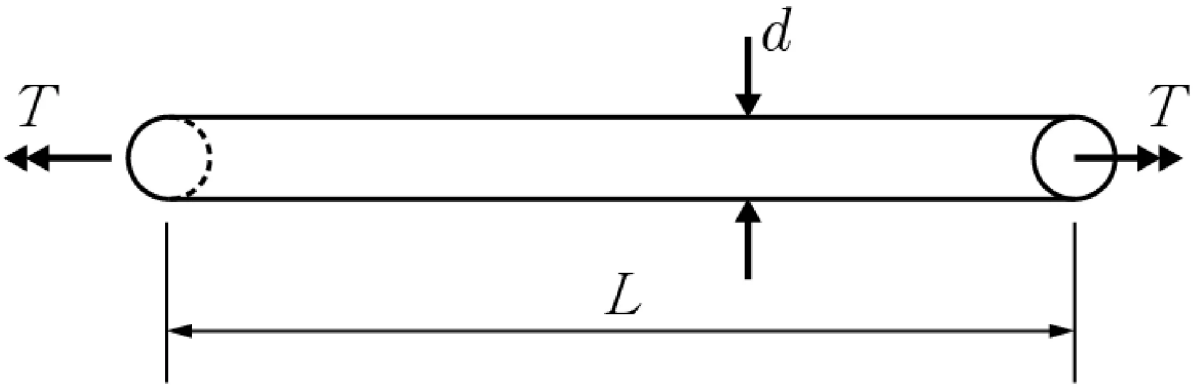
(c): 하단은 고정단이고 상단은 자유단이다. 상단의 횡변위와 회전이 모두 허용되는 **고정–자유 기둥**이므로 K = 2이고, $L_e = 2L$이다. 세 조건 중 유효길이 계수가 가장 크다.

(a): 하단의 삼각형은 힌지이고, 상단의 수직 벽면에 접한 롤러는 횡변위를 막지만 회전은 허용한다. 따라서 좌굴 방향으로 **양 끝의 횡변위는 구속되고 회전은 허용**되는 양단 힌지 조건이다. K = 1이고, $L_e = L$이므로 (c)보다 계수가 작다.

(b): 상단 롤러는 횡변위를 막고 회전은 허용하며, 하단 고정단은 횡변위와 회전을 모두 막는다. 따라서 **고정–힌지 기둥**으로 K는 약 0.7이고, $L_e \approx 0.7L$이다. (a)보다 하단의 회전 구속이 추가되어 좌굴을 더 억제하므로 유효길이 계수가 가장 작다.

NoteBase

문 2. 직경 $d = 20\text{mm}$인 원형 단면을 갖는 길이 $L = 1\text{m}$인 강봉의 양 단부에서 $T = 800\text{N·m}$의 비틀림모멘트가 작용하고 있을 때, 이 강봉에서 발생하는 최대 전단응력에 가장 근접한 값은?



① 309.3MPa

② 409.3MPa

③ 509.3MPa

④ 609.3MPa

정답 3번

간단한 해설

원형 실단면 봉의 최대 전단응력은 **단면의 바깥 표면**에서 발생하며, $\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3}$이다. 주어진 비틀림모멘트와 직경을 대입하면 약 509.3 MPa이다.

NoteBase

계산 과정

내부 비틀림모멘트: 그림처럼 양 끝에 크기가 같고 방향이 반대인 비틀림모멘트가 작용하므로, 봉을 중간에서 잘라 한쪽 부분의 평형을 보면 내부 비틀림모멘트의 크기는 800 N·m이다. **양 끝의 모멘트를 더하지 않는다.** 단위를 맞추면 T = 800,000 N·mm이고, 직경 d = 20 mm, 반지름 c = 10 mm이다. 길이 L = 1 m는 주어진 비틀림모멘트에 의한 전단응력 계산에 들어가지 않는다.

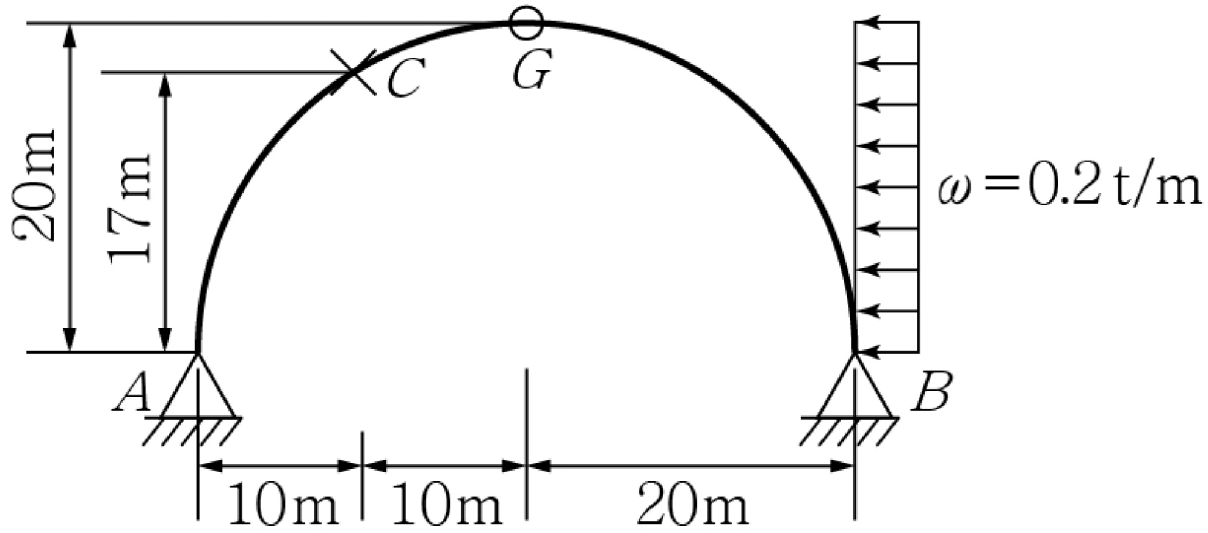
최대응력의 위치와 식: 원형 실단면 봉에 탄성 비틀림 공식을 적용하면 중심에서 거리 r인 점의 전단응력은 $\tau = \frac{Tr}{J}$이다. 여기서 J는 단면의 극단면2차모멘트이다. 전단응력은 중심에서 멀어질수록 커지므로 **r = c인 바깥 표면에서 최대**가 되며, $\tau_{\max} = \frac{Tc}{J}$를 사용한다.

극단면2차모멘트: 원형 실단면에서는 $J = \frac{\pi d^4}{32}$이므로, $J = \frac{\pi \cdot 20^4}{32} = 5000\pi \text{mm}^4$이다. 이 값은 단면 중심에 대한 면적의 분포를 나타내며, 같은 비틀림모멘트와 반지름에서 J가 클수록 전단응력은 작아진다.

최대 전단응력: $\tau_{\max} = \frac{800{,}000 \cdot 10}{5000\pi} = \frac{1600}{\pi} \text{N/mm}^2$이다. 1 N/mm^2 = 1 MPa이므로 최대 전단응력은 약 509.3 MPa이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 3. 3활절 아치 구조물이 아래 그림과 같은 하중을 받을 때 C점에서 발생하는 휨모멘트의 크기와 방향은? (G점은 힌지)



① 3t·m (시계방향)

② 3t·m (반시계방향)

③ 7t·m (시계방향)

④ 7t·m (반시계방향)

정답 3, 4번

간단한 해설

G점은 힌지이므로 휨모멘트가 0이며, 이 조건과 전체 평형조건을 적용하면 C점 휨모멘트의 크기는 **7 t·m**이다. C에서 절단한 AC 부분에는 시계방향, 반대쪽 부분에는 반시계방향으로 작용하므로 **방향은 어느 쪽 절단면을 보는지**와 함께 구분해야 한다.

NoteBase

계산 과정

하중의 합력: 그림의 수평 등분포하중은 높이 20 m에 걸쳐 왼쪽으로 작용한다. 따라서 합력은 $0.2 \times 20 = 4$ t이고, 작용점은 B에서 위로 10 m인 하중 구간의 중앙이다. A와 B 사이의 수평거리는 40 m이다.

A의 수직반력: 오른쪽과 위쪽을 힘의 양의 방향, 반시계방향을 모멘트의 양의 방향으로 정한다. A의 수직반력을 A_y라 하면, 전체 구조물에서 B점에 대한 모멘트 평형은 $-40A_y + 4 \cdot 10 = 0$이다. 따라서 $A_y = \frac{4 \cdot 10}{40} = 1\text{t}$로, A에는 위쪽으로 1 t의 반력이 작용한다.

A의 수평반력: **힌지 G에서는 휨모멘트가 0**이다. 외부하중이 없는 AG 부분을 떼어 G점에 대한 모멘트 평형을 적용한다. A에서 G까지 수평거리와 높이가 각각 20 m이므로, A의 수평반력을 A_x라 하면 $20A_x - 20A_y = 0$이다. 따라서 $A_x = A_y = 1\text{t}$이며, 방향은 오른쪽이다.

C점의 휨모멘트: C에서 절단하여 **왼쪽 AC 부분**을 살핀다. C는 A보다 오른쪽으로 10 m, 위로 17 m에 있다. C에 대하여 오른쪽 수평반력은 반시계방향으로 $1 \times 17 = 17$ t·m, 위쪽 수직반력은 시계방향으로 $1 \times 10 = 10$ t·m의 모멘트를 만든다. 두 반력의 모멘트 합은 반시계방향으로 $17 - 10 = 7$ t·m이다. 이를 평형시키는 C 절단면의 내부 휨모멘트는 시계방향으로 7 t·m이다.

절단면과 방향의 대응: C에서 마주 보는 두 절단면의 내부 모멘트는 **작용·반작용으로 크기가 같고 방향이 반대**이다. 따라서 AC 부분의 절단면에서는 7 t·m의 시계방향으로 ③에 대응하고, C에서 B로 이어지는 부분의 절단면에서는 7 t·m의 반시계방향으로 ④에 대응한다. 문제는 어느 쪽 절단면의 방향인지 지정하지 않았으므로, 두 방향은 이처럼 기준 부분을 구분하여 이해한다.

NoteBase

문 4. 중심 압축력을 받는 기둥의 좌굴 거동에 대한 설명 중 옳지 않은 것은?

① 좌굴하중은 탄성계수에 비례한다.

② 좌굴하중은 단면2차모멘트에 비례한다.

③ 좌굴응력은 세장비에 반비례한다.

④ 좌굴응력은 기둥 길이의 제곱에 반비례한다.

정답 3번

간단한 해설

③의 '세장비에 반비례한다'는 '세장비의 **제곱에 반비례한다**'로 고쳐야 한다. 오일러 좌굴응력은 $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$ 이므로, 같은 재료에서 세장비가 2배가 되면 좌굴응력은 1/4로 줄어든다.

선지별 해설

중심 압축을 받는 곧고 균일한 장주가 탄성 범위에서 좌굴할 때 오일러 공식을 적용한다. 좌굴하중은 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$ 이다. 여기서 E는 탄성계수, I는 좌굴하는 방향의 단면2차모멘트, L은 기둥 길이, K는 단부 지지조건에 따른 유효길이계수이며, KL은 유효길이이다. 좌굴응력은 좌굴하중을 단면적 A로 나눈 값이다. 단면2차반경을 $r = \sqrt{I/A}$, 세장비를 $\lambda = KL/r$로 정의하면 $\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$이다.

① O: I와 유효길이가 같으면 좌굴하중은 **탄성계수 E에 비례**한다. E가 클수록 휨에 저항하는 강성이 커져 좌굴을 일으키는 압축하중도 커진다.

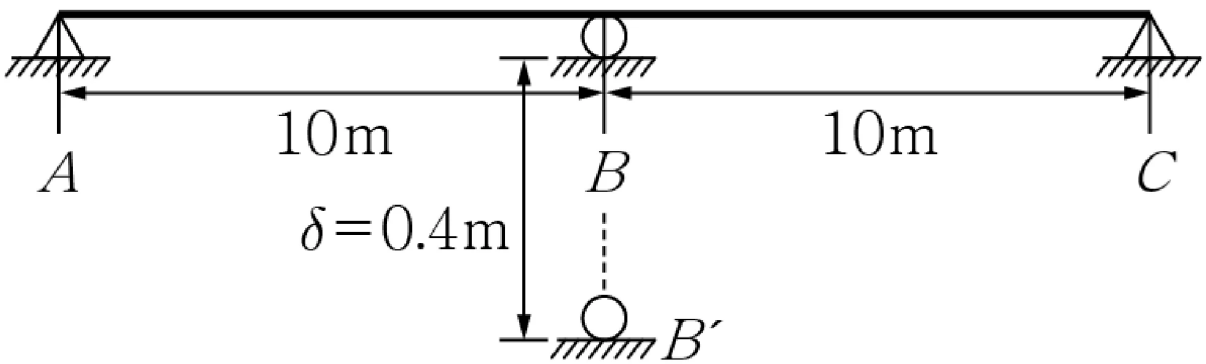
② O: E와 유효길이가 같으면 좌굴하중은 **단면2차모멘트 I에 비례**한다. 단면2차모멘트는 단면의 휨 저항과 관련된 기하학적 성질이므로, I가 클수록 좌굴하중이 커진다.

③ X: 좌굴응력 식의 분모에는 세장비 자체가 아니라 그 제곱이 들어간다. 따라서 같은 재료에서 좌굴응력은 세장비의 **제곱에 반비례**한다. 예를 들어 세장비가 2배가 되면 분모가 4배가 되어 좌굴응력은 1/4이 된다.

④ O: 재료·단면·단부 지지조건이 같으면 E, r, K가 일정하다. 이때 세장비가 기둥 길이 L에 비례하므로, 좌굴응력은 **기둥 길이의 제곱에 반비례**한다. 이는 $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{A(KL)^2}$에서도 확인할 수 있다.

NoteBase

문 5. 다음과 같은 연속보의 지점 B에서 0.4m 지점침하가 발생했을 때 B지점에서 발생되는 휨모멘트의 크기는? (EI=2.1×10^4 kN·m^2)



① 378kN·m

② 252kN·m

③ 126kN·m

④ 52kN·m

정답 2번

간단한 해설

지점침하로 인한 휨모멘트는 **B의 처짐이 0.4 m가 되는 변형 조건**으로 구한다. 전체 길이 20 m인 단순보의 중앙 처짐 관계를 적용하면 B의 휨모멘트 크기는 252 kN·m이다.

계산 과정

조건 확인: 그림에서 AB와 BC는 각각 10 m이고, A와 C는 침하하지 않으며 B만 아래로 0.4 m 이동한다. 전체 길이를 $\ell = 20\text{m}$, 침하량을 $\delta = 0.4\text{m}$로 둔다. 휨강성 EI는 21,000 kN·m^{2}이며, 별도의 외부 하중은 없다.

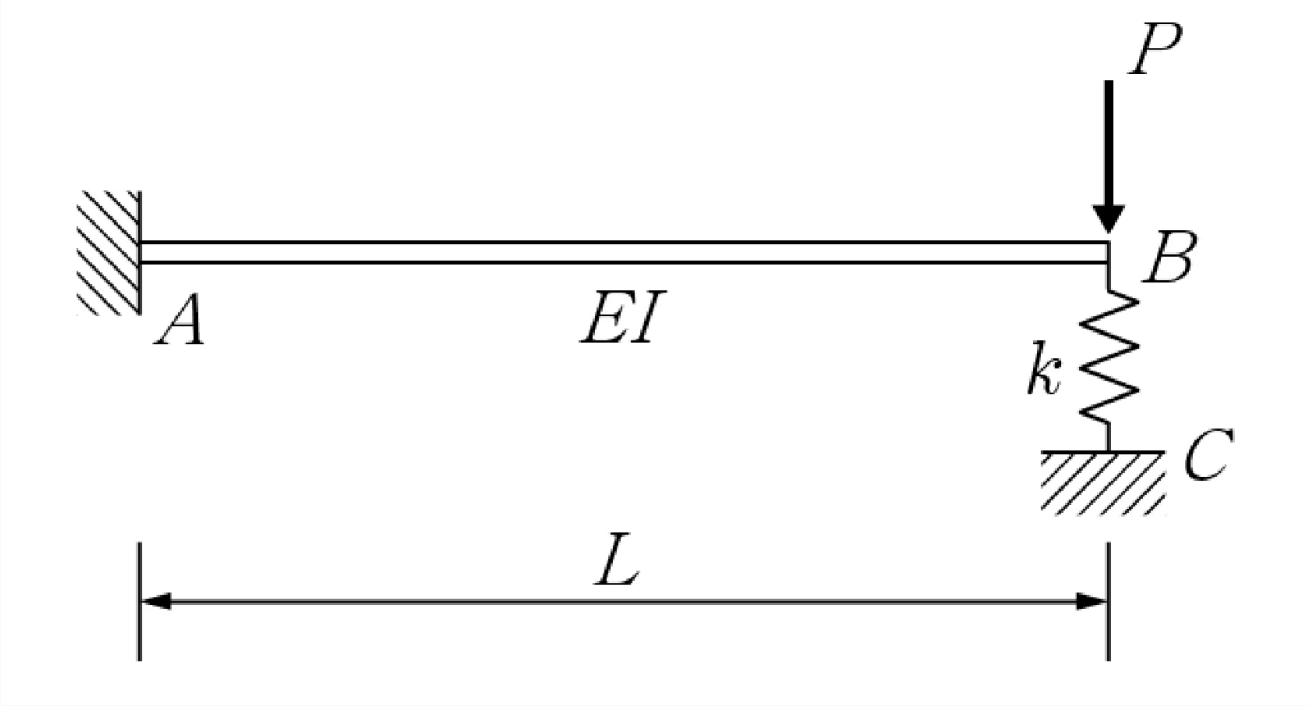
변형 조건 설정: B의 수직 구속을 해제하면 A와 C가 지지하는 단순보가 된다. 이 보의 중앙 B에 아래 방향의 등가 집중하중 P를 가하여 원래 침하를 재현한다. 일정한 EI를 가진 단순보의 중앙 집중하중에 의한 처짐은 $\delta = \frac{P\ell^3}{48EI}$이다. 따라서 **중앙 처짐을 주어진 침하량과 같게** 놓아 P를 구한다.

등가 하중 계산: 처짐 관계를 P에 대해 정리하면 $P = \frac{48EI\delta}{\ell^3}$이다. 수치를 대입하면 $P = \frac{48 \cdot 21{,}000 \cdot 0.4}{20^3} = 50.4\text{kN}$이다. 이 값은 B를 0.4 m 내려가게 하는 데 필요한 등가 집중하중이다.

B의 휨모멘트 계산: 대칭이므로 A와 C의 반력은 각각 $\frac{P}{2}$이고, A에서 B까지의 거리는 전체 길이의 절반이다. 따라서 $M_B = \frac{P\ell}{4}$이며, $M_B = \frac{50.4 \cdot 20}{4} = 252\text{kN}\cdot\text{m}$이다. 구한 휨모멘트 크기 252 kN·m는 ②와 일치한다.

NoteBase

문 6. 길이가 L이고 휨강성이 EI인 외팔보의 자유단에 스프링 상수 k인 선형탄성스프링이 설치되어 있다. 자유단에 작용하는 수직하중 P에 의하여 발생하는 B점의 수직 처짐은?



① $\frac{4PL^3}{3EI + kL^3}$

② $\frac{3PL^3}{3EI + kL^3}$

③ $\frac{2PL^3}{3EI + kL^3}$

④ $\frac{PL^3}{3EI + kL^3}$

정답 4번

간단한 해설

보와 스프링은 **B점에서 같은 변위로 하중을 분담**하므로, 외팔보의 자유단 강성 $\frac{3EI}{L^3}$과 스프링 강성 k를 더한다. 이에 따라 아래쪽 처짐은 $\delta = \frac{P}{3EI/L^3 + k} = \frac{PL^3}{3EI + kL^3}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 처짐과 스프링 반력: B점의 아래쪽 처짐을 δ, 스프링이 보를 위로 미는 반력을 R이라 둔다. 그림에서 스프링의 아래끝 C는 고정되어 있으므로 **스프링의 압축량은 B점의 처짐 δ와 같다**. 선형탄성스프링의 힘은 변형량에 비례하므로 $R = k\delta$이다.

2. 보의 휨에 의한 처짐: 길이 L, 일정한 휨강성 EI인 외팔보의 자유단에 집중하중 Q가 작용할 때, 선형 휨이론에 따른 자유단 처짐은 $\delta = \frac{QL^3}{3EI}$이다. 여기서는 아래쪽 하중 P와 위쪽 스프링 반력 R이 모두 B점에 작용하므로, 보의 휨을 일으키는 순하중은 $Q = P - R$이다. 따라서 $\delta = \frac{(P-R)L^3}{3EI}$가 된다.

3. 변형 조건을 적용한 계산: 위 식에 $R = k\delta$를 대입하면 $3EI\delta = (P - k\delta)L^3$이다. 처짐 항을 모으면 $(3EI + kL^3)\delta = PL^3$이므로, $\delta = \frac{PL^3}{3EI + kL^3}$를 얻는다. 이는 아래쪽 처짐의 크기이며 ④의 식과 일치한다. 이 식은 길이의 차원을 가지므로, 하중·강성·길이에 일관된 단위를 사용하면 처짐도 해당 길이 단위로 나온다.

NoteBase

문 7. 길이가 10m이고 양단이 구속된 강봉 주변의 온도변화가 50°C일 때 강봉에 발생하는 축력은? (단, 강봉의 축강성은 10000kN, 열팽창계수는 2×10^{-6}/°C이다.)

① 1kN

② 10kN

③ 100kN

④ 1000kN

정답 1번

간단한 해설

양단이 구속되면 **열변형을 상쇄하는 탄성변형**이 생겨 전체 길이 변화가 0이 된다. 따라서 축력의 크기는 축강성과 열변형률의 곱이며, 10000 × 0.0001 = 1 kN이다.

계산 과정

강봉의 길이는 L = 10 m, 축강성은 EA = 10000 kN, 열팽창계수는 $\alpha = 2 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\mathrm{C}$이다. 온도변화의 크기를 ΔT = 50°C, 발생하는 축력의 크기를 N이라 둔다.

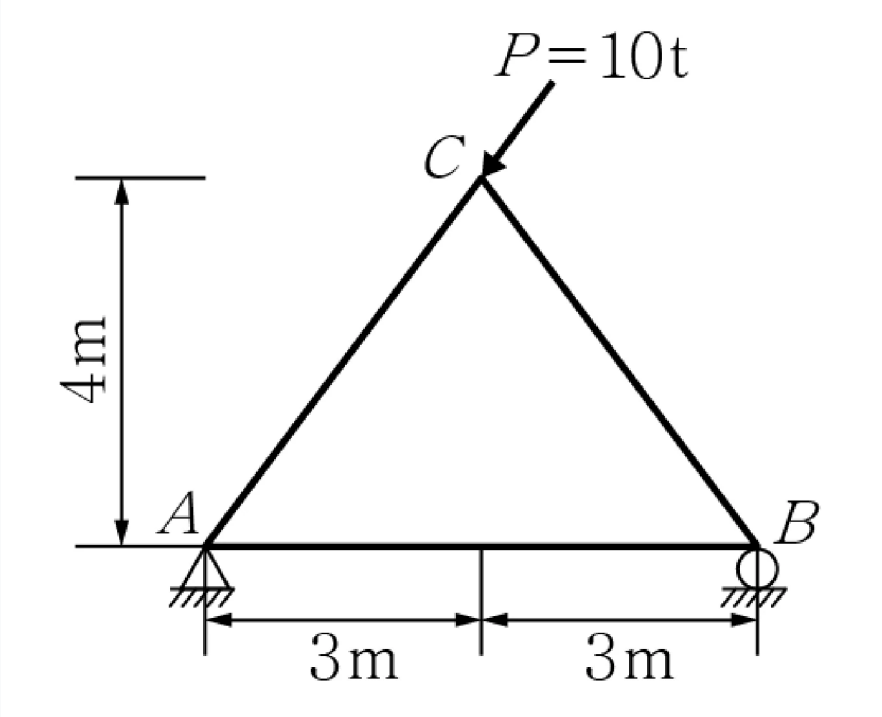
자유롭게 변형할 수 있을 때 열변형률의 크기는 $\varepsilon_T = \alpha\Delta T$이다. 주어진 값을 대입하면 $\varepsilon_T = (2 \cdot 10^{-6}) \cdot 50 = 0.0001$이다. 이에 따른 길이 변화의 크기는 $\delta_T = \alpha\Delta TL$이므로 0.0001 × 10 = 0.001 m이다.

양단이 구속되어 실제 길이는 변하지 않으므로, **축력에 의한 탄성변형이 열변형을 반대 방향으로 상쇄**해야 한다. 탄성변형의 크기는 $\delta_N = \frac{NL}{EA}$이므로 $\frac{NL}{EA} = \alpha\Delta TL$이다. 양변에서 L이 약분되어 $N = EA\alpha\Delta T$를 얻는다.

축강성에 열변형률을 곱하면 N = 10000 × 0.0001 = 1 kN이다. 따라서 축력의 크기는 1 kN으로 ①에 해당한다. 온도가 상승하면 압축력, 하강하면 인장력이 발생한다.

NoteBase

문 8. 그림과 같은 트러스구조의 C점에 하중 P가 작용할 때 부재력이 0(Zero)이 되는 부재를 모두 고른 것은?



① AB 부재

② AB 부재, BC 부재

③ AC 부재, BC 부재

④ BC 부재

정답 2번

간단한 해설

하중 P가 **AC의 연장선**을 따라 작용하므로 C절점에서 BC는 힘을 전달하지 않는다. 이어 B절점에서는 수직 반력만 작용하므로, 수평 평형을 위해 **AB의 부재력도 0**이어야 한다.

NoteBase

도식 해설

트러스의 각 부재는 부재 축 방향으로만 힘을 전달하며, 각 절점에서 힘의 평형이 성립해야 한다. 이 하중 조건에서 부재력이 0인 부재를 영부재라고 한다.

C절점의 BC 부재: 그림의 하중 P는 C에서 A를 향하며 **AC와 같은 직선 위**에 있다. AC의 부재력과 P는 AC에 수직인 방향의 성분이 없다. 따라서 BC에 힘이 생기면 그 힘의 AC에 수직인 성분을 상쇄할 다른 힘이 없으므로, BC의 부재력은 0이어야 한다.

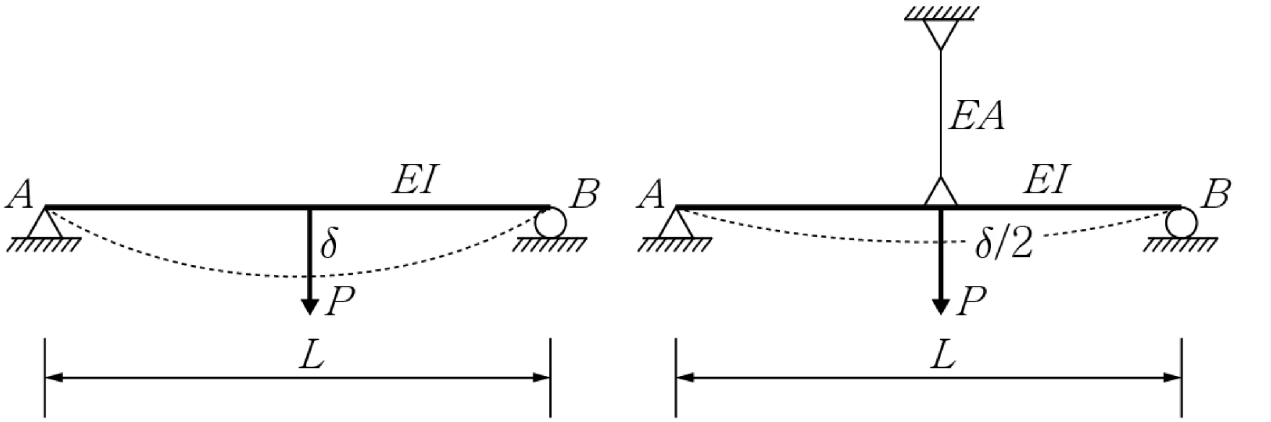
B절점의 AB 부재: B는 수평면 위의 롤러 지점이므로 **지점 반력은 수직 방향**으로만 작용한다. 앞에서 BC의 부재력이 0임을 확인했으므로 B절점에서 수평 방향의 힘을 전달할 수 있는 부재는 AB뿐이다. 수평력의 합이 0이 되려면 AB의 부재력도 0이어야 한다.

AC 부재: C절점에서 BC가 힘을 전달하지 않으므로 하중 P는 AC가 전부 지탱한다. AC는 C절점을 A에서 멀어지는 방향으로 밀어 하중과 평형을 이루므로, 크기 10 t의 **압축력**을 받으며 영부재가 아니다.

따라서 영부재는 AB와 BC이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 9. 그림과 같이 축강성 EA인 현으로 단순보의 중앙점을 지지하면 지지하지 않을 때보다 보 중앙점의 변위가 절반으로 감소($\delta \rightarrow \delta/2$)한다면, 이때 현에 발생하는 응력(MPa)으로 옳은 것은? (단, $P = 10$kN이고, 현의 단면적은 100mm^{2}이다.)



① 25

② 50

③ 75

④ 100

정답 2번

간단한 해설

같은 보에서 중앙 처짐은 중앙에 작용하는 순하중에 비례하므로, 처짐이 절반이면 현이 하중의 **절반인 5 kN**을 위쪽으로 지지한다. 이를 현의 단면적 100 mm^{2}로 나누면 **인장응력 50 MPa**이다.

NoteBase

계산 과정

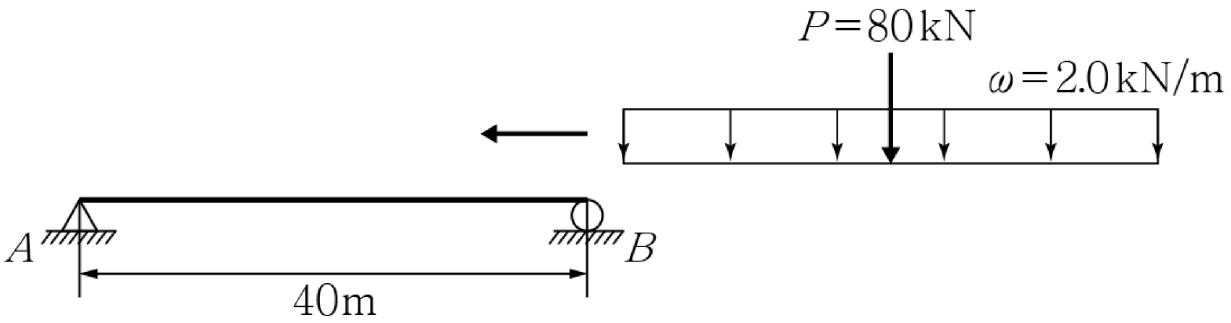
1. 현이 보를 지지하는 힘: 그림의 현은 보 중앙에서 수직으로 연결되어 있으므로, 현의 인장력 T는 보 중앙에 위쪽으로 작용한다. 따라서 보의 처짐을 일으키는 중앙 순하중은 $P - T$이다. 여기서 P = 10 kN, 현의 단면적 A = 100 mm^2이다.

2. 처짐 조건으로 인장력 계산: 선형 탄성·작은 변형의 보에서는 **같은 위치의 하중과 처짐이 비례**한다. 보의 길이와 휨강성이 같으므로, 현을 설치하기 전후의 중앙 처짐비는 $\frac{\delta/2}{\delta} = \frac{P-T}{P}$이다. 따라서 $P - T = \frac{P}{2}$이고, $T = \frac{P}{2} = \frac{10}{2} = 5$kN이다. 이 값은 현이 위쪽으로 부담하는 힘이며, 나머지 5 kN이 보의 휨을 일으킨다. 처짐 감소 비율이 주어졌으므로 현의 축강성 EA를 별도로 계산할 필요는 없다.

3. 현의 응력 계산: 현은 축방향 인장력을 받으므로 **인장력을 현의 단면적으로 나누어** 응력을 구한다. T = 5 kN = 5,000 N을 대입하면 $\sigma = \frac{T}{A} = \frac{5{,}000}{100} = 50\text{N/mm}^2$이다. 1 N/mm^2 = 1 MPa이므로 인장응력은 50 MPa이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 10. 다음과 같은 단순보에 1개의 집중하중과 계속되는 등분포 활하중이 동시에 작용할 때 아래 단순보에서 발생하는 절대 최대휨모멘트는?



① 1500kN·m

② 1200kN·m

③ 950kN·m

④ 750kN·m

정답 2번

간단한 해설

집중하중을 **보의 중앙**에 놓고 등분포하중을 **경간 전체**에 재하하면 두 하중의 최대휨모멘트가 같은 단면에서 동시에 발생한다. 각각 800 kN·m와 400 kN·m이므로 절대 최대휨모멘트는 1200 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

재하 위치: 그림에서 경간 L = 40 m, 집중하중 P = 80 kN, 등분포하중 강도 ω = 2.0 kN/m이다. 단순보에서는 아래로 작용하는 하중이 경간 내부의 양의 휨모멘트를 증가시키므로 등분포하중은 경간 전체에 재하한다. 집중하중은 보의 중앙에 놓을 때 가장 큰 휨모멘트를 만들며, 이때 등분포하중에 의한 최대휨모멘트도 중앙에서 발생한다.

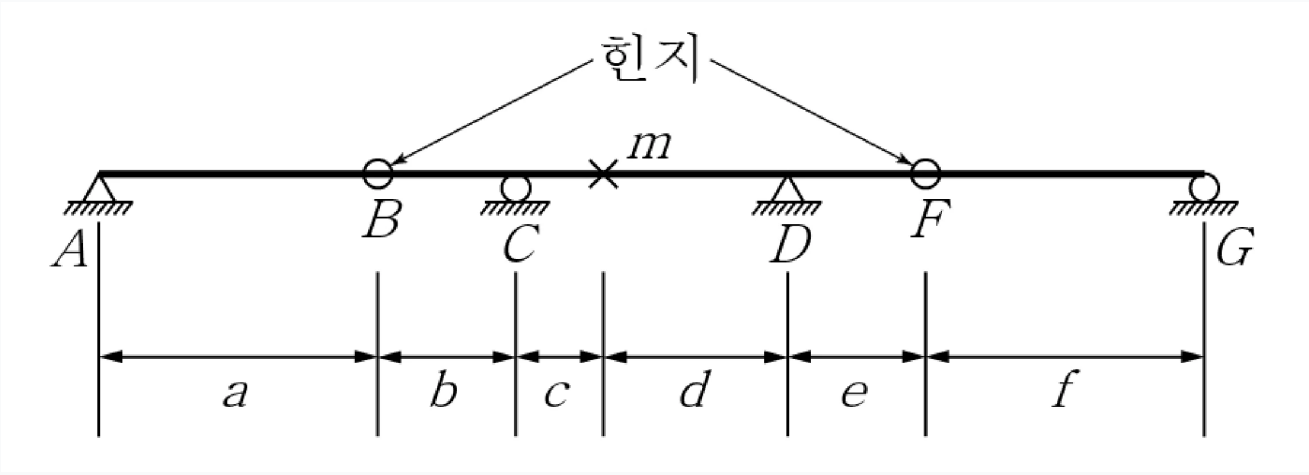
집중하중의 기여: 중앙에 놓인 집중하중에 대해서는 대칭이므로 양쪽 지점반력이 각각 $\frac{P}{2}$이다. 중앙까지의 거리는 $\frac{L}{2}$이므로 중앙 휨모멘트는 $M_P = \frac{PL}{4}$이다. 수치를 대입하면 $M_P = \frac{80 \cdot 40}{4} = 800\text{kN·m}$이다.

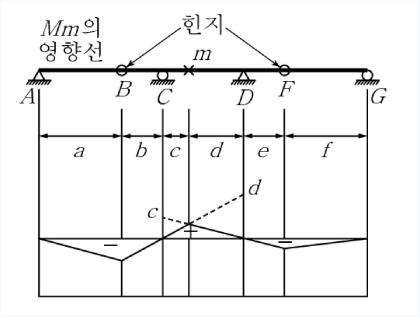
등분포하중의 기여: 전 경간에 등분포하중이 작용하면 양쪽 지점반력은 각각 $\frac{\omega L}{2}$이고, 전단력이 0이 되는 중앙에서 휨모멘트가 최대이다. 왼쪽 절반의 하중 합력과 지점반력의 모멘트를 계산하면 $M_\omega = \frac{\omega L^2}{8}$이다. 따라서 $M_\omega = \frac{2.0 \cdot 40^2}{8} = 400\text{kN·m}$이다.

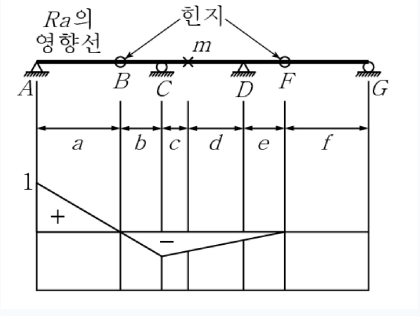
합성: **두 하중의 최대값이 보 중앙에서 동시에 발생**하므로 두 휨모멘트를 더할 수 있다. 절대 최대휨모멘트는 800 + 400 = 1200 kN · m이며, ②의 값과 일치한다.

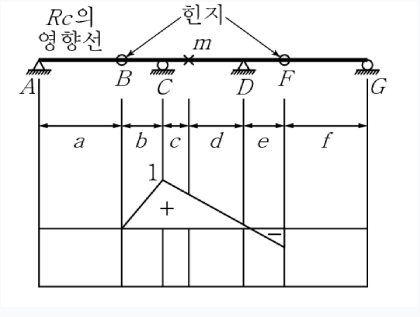
NoteBase

문 11. 다음과 같은 구조의 게르버보에 대한 영향선으로 옳은 것은?

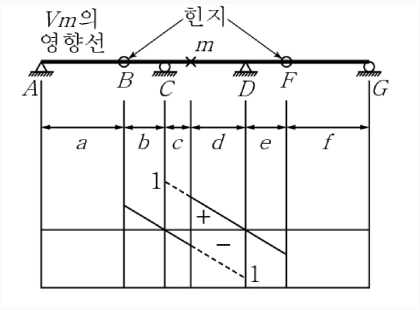


① 

② 

③ 

NoteBase

④ 

정답 1번

간단한 해설

단위하중이 C–D 사이에 있으면 m의 휨모멘트는 **양(+)**이고, B나 F 쪽 돌출부에 있으면 **음(−)**이다. 따라서 휨모멘트 영향선은 C와 D에서 0, m에서 양의 꼭짓점을 가지며 양쪽 힌지까지 음의 영역으로 이어진다.

NoteBase

선지별 해설

영향선의 가로 위치는 아래로 작용하는 단위하중의 위치이고, 세로값은 그때의 반력·단면력이다. 힌지는 휨모멘트를 전달하지 않지만 수직력은 전달한다. 이 보에서는 양 끝 AB와 FG의 하중도 힌지 B와 F를 통해 중앙 보 B–C–D–F에 전달된다. 중앙 지점 사이의 길이를 $L = c + d$라 하고, 위쪽 반력과 처짐 모양이 아래로 볼록한 휨모멘트를 양(+)으로 잡는다.

① O: M_m의 영향선이다. 단위하중이 C 또는 D에 있으면 해당 지점의 반력이 하중을 직접 받아 m의 휨모멘트는 0이다. 하중이 m에 있으면 C의 반력은 $R_C = \frac{d}{L}$이므로 $M_m = \frac{cd}{L}$이다. C–D 구간에서는 이 양의 꼭짓점을 향하는 삼각형이 된다. 하중이 B에 있으면 왼쪽 돌출부의 하중 때문에 $M_m = -\frac{bd}{L}$, F에 있으면 $M_m = -\frac{ce}{L}$이다. A나 G에 놓인 하중은 각각 그 지점에서 지지되어 m에 영향을 주지 않는다. 따라서 A에서 0으로 시작하여 B에서 음, C에서 0, m에서 양, D에서 0, F에서 음, G에서 0이 되는 **그림의 연속된 꺾은선**과 일치한다.

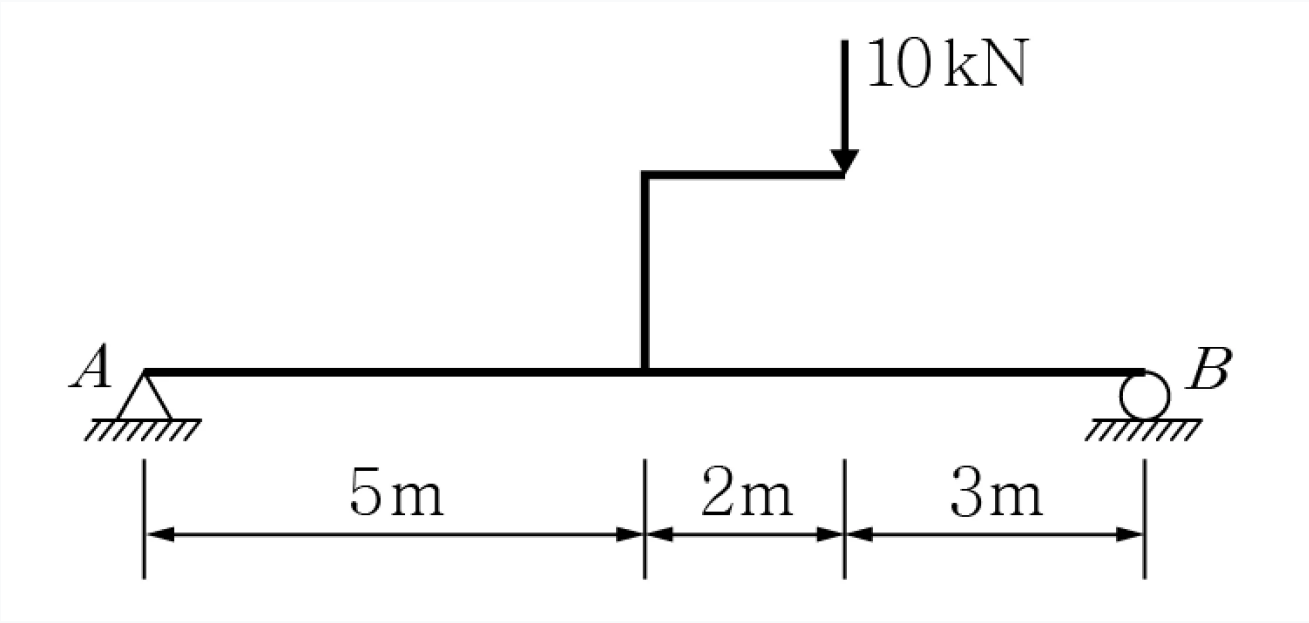
② X: R_A는 **하중이 AB 밖에 있으면 0**이어야 한다. 하중이 AB 밖에 있을 때 AB에는 분포하중이나 집중하중이 없으므로, B에 대한 모멘트 평형에서 A의 반력도 0이 된다. 하중이 A에서 거리 s인 AB 내부에 있으면 $R_A = \frac{a - s}{a}$이다. 따라서 올바른 영향선은 A의 1과 B의 0을 잇는 직선이고, B–G 전체에서는 0이다. 그림처럼 B를 지나 C에서 음이 되는 부분은 생기지 않는다.

③ X: R_C의 영향선은 C에서 1, D에서 0인 직선을 **B와 F까지 연장**해야 한다. 단위하중이 중앙 보에 있을 때 D에 대한 모멘트 평형을 적용하면, B에서의 값은 $\frac{L + b}{L}$, F에서의 값은 $-\frac{e}{L}$이다. 따라서 B에서 0이 될 수 없다. 또한 AB의 하중과 FG의 하중도 중앙 보에 전달되므로, A의 0과 B의 양의 값을 연결하고 F의 음의 값과 G의 0을 연결해야 한다. 그림에는 이 바깥 경간의 영향이 빠져 있다.

④ X: V_m의 영향선이 하중의 m 통과 시 **1만큼 불연속적으로 증가**하는 것은 맞지만, AB와 FG에서 0으로 그린 부분은 잘못이다. 그림의 전단력 부호에 따르면 하중이 m 바로 왼쪽에 있을 때는 $V_m = \frac{d}{L} - 1 = -\frac{c}{L}$, 바로 오른쪽에 있을 때는 $V_m = \frac{d}{L}$이다. 한편 B에 하중이 있으면 중앙 보의 C 반력은 $\frac{L + b}{L}$이므로 $V_m = \frac{b}{L}$, F에 하중이 있으면 $V_m = -\frac{e}{L}$이다. 따라서 바깥쪽 영향선도 A의 0에서 B의 양의 값으로, F의 음의 값에서 G의 0으로 직선 연결해야 한다.

NoteBase

문 12. 다음과 같은 단순보에서 A점, B점의 반력으로 옳은 것은?



① $R_A = 7\text{kN},\ R_B = 3\text{kN}$

② $R_A = 6\text{kN},\ R_B = 4\text{kN}$

③ $R_A = 5\text{kN},\ R_B = 5\text{kN}$

④ $R_A = 3\text{kN},\ R_B = 7\text{kN}$

정답 4번

간단한 해설

10 kN 하중의 작용선은 A에서 7 m 떨어져 있으므로 **A점에 대한 모멘트 평형**에서 $R_B = 7\text{kN}$을 얻는다. 두 반력의 합이 10 kN이어야 하므로 $R_A = 3\text{kN}$이며, 두 반력 모두 위쪽으로 작용한다.

NoteBase

계산 과정

거리와 반력 설정: A와 B 사이의 거리는 5 + 2 + 3 = 10 m이다. 10 kN의 하중은 꺾인 부재의 끝에서 아래쪽으로 작용하며, 그 작용선은 A에서 5 + 2 = 7 m 떨어져 있다. 수직력의 모멘트 팔은 **기준점에서 작용선까지의 수평거리**이므로, 부재가 보에 연결된 위치까지의 거리인 5 m를 사용하지 않는다. A와 B의 수직반력 R_A, R_B는 위쪽을 양의 방향으로 둔다.

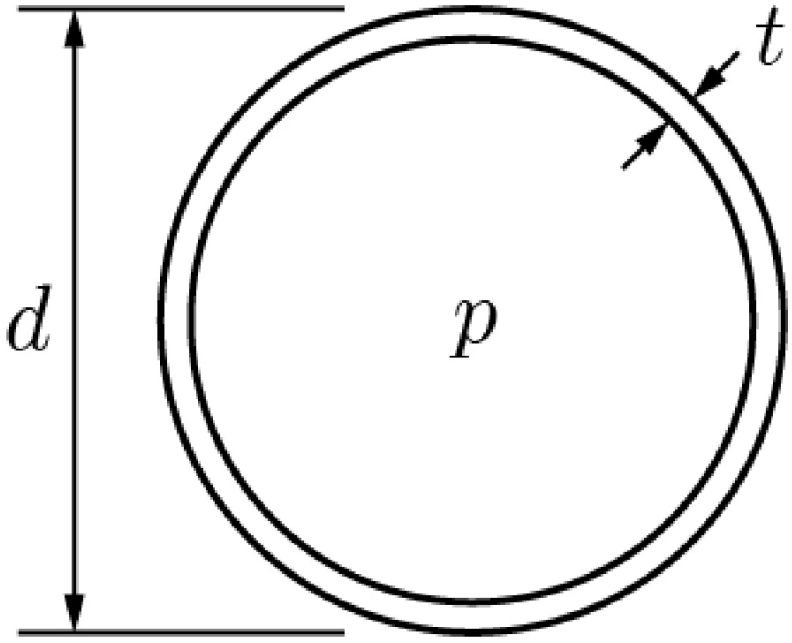
B점 반력: 보 전체가 정지해 있으므로 A점에 대한 모멘트의 합은 0이다. A점 반력은 A점을 지나므로 모멘트를 만들지 않는다. 반시계방향을 양으로 두면 R_B는 반시계방향, 10 kN 하중은 시계방향 모멘트를 만든다. 힘을 kN, 거리를 m로 대입하면 $R_B \cdot 10 - 10 \cdot 7 = 0$이다. 따라서 $R_B = \frac{10 \cdot 7}{10} = 7\text{kN}$이다.

A점 반력: **위쪽 반력의 합과 아래쪽 하중이 같아야** 하므로 수직력 평형식은 $R_A + R_B - 10 = 0$이다. 앞에서 구한 B점 반력을 대입하면 $R_A = 10 - 7 = 3\text{kN}$이다.

계산된 반력은 $R_A = 3\text{kN}$, $R_B = 7\text{kN}$으로 ④와 일치한다. 두 값이 양수이므로 처음 설정한 위쪽 방향이 실제 반력 방향이다.

NoteBase

문 13. 외경 $d = 1$ m이고 두께 $t = 10$ mm인 원형강관 내부에 $p = 20$ MPa의 압력이 균일하게 작용할 때, 강관의 원주방향으로 발생하는 수직응력의 크기는?



① 980MPa

② 1000MPa

③ 1020MPa

④ 1040MPa

정답 1번

간단한 해설

내압이 작용하는 지름은 **내경**이므로 외경 1000 mm에서 양쪽 두께를 뺀 980 mm를 사용한다. 원주방향 인장응력은 $\sigma_\theta = \frac{pd_i}{2t}$에 따라 980 MPa이다.

NoteBase

계산 과정

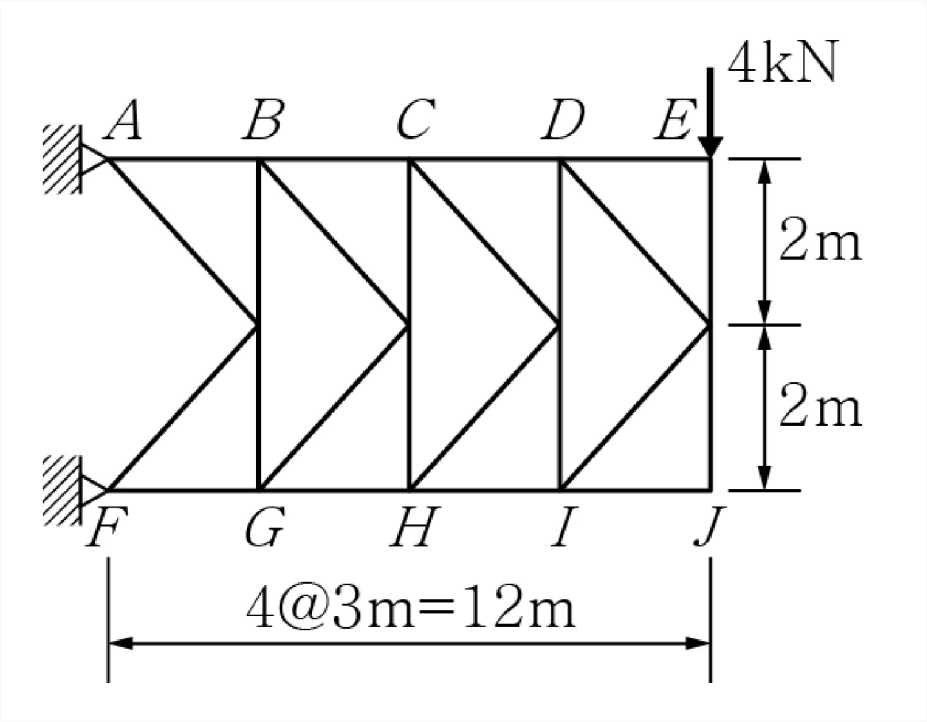
내경과 적용 조건: 그림의 d는 외경이고 t는 강관 벽의 두께이다. 외경 1 m를 1000 mm로 환산하면 내경은 $d_i = d - 2t = 1000 - 2 \cdot 10 = 980$ mm이다. 두께 10 mm가 내경에 비해 충분히 작으므로 얇은 원통으로 보고, 원주방향 응력이 두께에 걸쳐 균일하다고 근사한다.

힘의 평형: 원주방향 응력은 내압으로 벌어지려는 강관 벽에 생기는 인장응력이다. 길이 L인 강관을 중심축을 지나는 면으로 잘라 반쪽을 생각하면, 내압의 합력은 **내경을 기준으로 한 투영면적**에 작용하므로 pd_iL이다. 이를 양쪽 벽의 절단면에 작용하는 인장력 $2\sigma_\theta tL$이 지탱한다. 따라서 $2\sigma_\theta tL = pd_iL$이고, $\sigma_\theta = \frac{pd_i}{2t}$이다.

응력 계산: 압력 p = 20 MPa, 내경 980 mm, 두께 10 mm를 대입하면 $\sigma_\theta = \frac{20 \cdot 980}{2 \cdot 10} = 980$ MPa이다. 지름과 두께를 모두 mm로 맞추었으므로 응력의 단위는 압력과 같은 MPa이다. 계산된 원주방향 인장응력 980 MPa는 ①과 일치한다.

NoteBase

문 14. 집중하중을 받는 트러스에서 E점에 작용하는 외력 4kN에 의한 CD부재력의 크기는?



① 1kN

② 2kN

③ 3kN

④ 4kN

정답 3번

간단한 해설

오른쪽 끝 중간 절점에서 두 대각부재의 수직성분은 각각 2 kN이다. 대각부재의 수평·수직 길이비가 3:2이므로 수평성분은 3 kN이고, 이를 평형시키는 CD부재는 **3 kN의 인장력**을 받는다.

NoteBase

계산 과정

기하조건과 풀이 원리: EJ의 중간 절점을 Q라고 하자. 그림에서 DQ와 IQ는 모두 수평거리 3 m, 수직거리 2 m인 대각부재이다. 트러스 부재는 축방향 힘만 전달하므로 각 절점에서 수평·수직 힘의 합을 각각 0으로 놓는 절점법을 적용한다.

E점의 평형: E점에는 수평부재 DE, 수직부재 EQ와 아래쪽 외력 4 kN이 작용한다. 수평방향 외력이 없으므로 DE의 부재력은 0이다. 수직평형을 이루려면 EQ가 E점을 위로 4 kN 밀어야 하므로 EQ는 압축부재이며, 반대쪽 Q점에는 아래로 4 kN을 가한다.

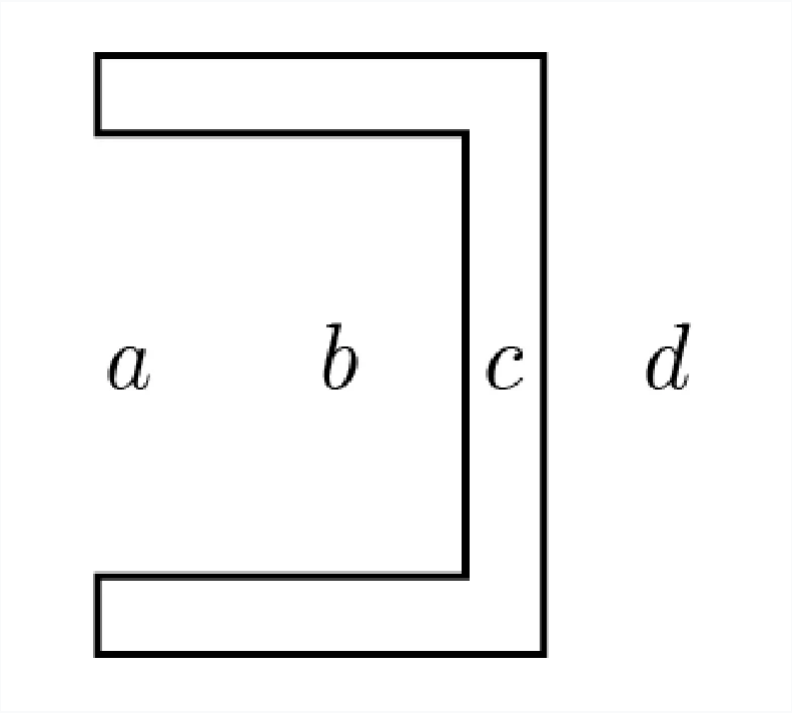
J점의 평형: J점에는 외력이 없고 수평부재 IJ와 수직부재 JQ만 연결되어 있다. 두 힘은 서로 직각이므로 수평·수직평형을 각각 적용하면 **IJ와 JQ의 부재력은 모두 0**이다.

Q점의 평형: EQ가 가하는 아래쪽 힘 4 kN을 DQ와 IQ가 지탱한다. 수평평형에 의해 두 대각부재의 수평성분은 크기가 같고 방향이 반대이다. 두 부재의 기울기도 같으므로 수직성분의 크기가 같으며, 합계 4 kN의 위쪽 힘을 내야 하므로 각각 $\frac{4}{2} = 2\text{kN}$이다. 따라서 DQ는 Q점을 왼쪽 위로 당기는 인장부재이고, IQ는 Q점을 오른쪽 위로 미는 압축부재이다. **수평성분과 수직성분의 비는 3:2**이므로 DQ의 수평성분 크기는 $2 \cdot \frac{3}{2} = 3\text{kN}$이다.

D점의 평형과 CD부재력: 인장부재 DQ는 D점을 오른쪽 아래로 당기므로 수평성분 3 kN이 오른쪽으로 작용한다. DE의 부재력은 0이고 D점의 수직부재에는 수평성분이 없으므로, CD가 D점을 왼쪽으로 3 kN 당겨 평형을 이룬다. 따라서 CD는 인장부재이며, 부재력의 크기 3 kN은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 15. C-형강에서 전단중심의 위치는?



① a

② b

③ c

④ d

정답 4번

간단한 해설

C-형강의 전단중심은 수평 대칭축 위에서 **개구부 반대쪽의 웨브 바깥**에 있다. 그림은 왼쪽이 열려 있으므로 오른쪽 바깥의 d에 해당한다.

NoteBase

도식 해설

전단중심은 횡하중의 작용선이 그 점을 지날 때 보에 비틀림이 생기지 않는 위치이다. 그림의 C-형강은 위아래가 대칭이므로 전단중심은 단면 높이의 중앙을 지나는 **수평 대칭축 위**에 있다.

위아래의 수평 부분을 플랜지, 오른쪽의 수직 부분을 웨브라고 한다. 웨브와 평행한 전단력이 작용하면 두 플랜지에는 크기가 같고 방향이 반대인 수평 전단력이 생긴다. 이 힘들은 서로 다른 높이에서 작용하므로 합력이 0이어도 **회전시키는 모멘트는 남는다**. 비틀림 없이 평형을 이루려면 외력의 작용선을 웨브에서 개구부 반대쪽으로 옮겨 이 모멘트와 평형을 이루게 해야 한다.

그림에서는 개구부가 왼쪽이고 웨브가 오른쪽이므로 전단중심은 **웨브 오른쪽 바깥의 d**이다. a와 b는 개구부 쪽에 있고 c는 웨브 안에 있으므로 이 위치 조건을 만족하지 않는다.

NoteBase

문 16. 재료의 탄성계수가 240GPa이고 전단탄성계수가 100GPa인 물체의 포아송비는?

① 0.1

② 0.2

③ 0.3

④ 0.4

정답 2번

간단한 해설

탄성계수와 전단탄성계수는 $E = 2G(1 + \nu)$의 관계를 만족한다. 이를 적용하면 **포아송비는 0.2**이며, 변형률의 비이므로 단위가 없다.

계산 과정

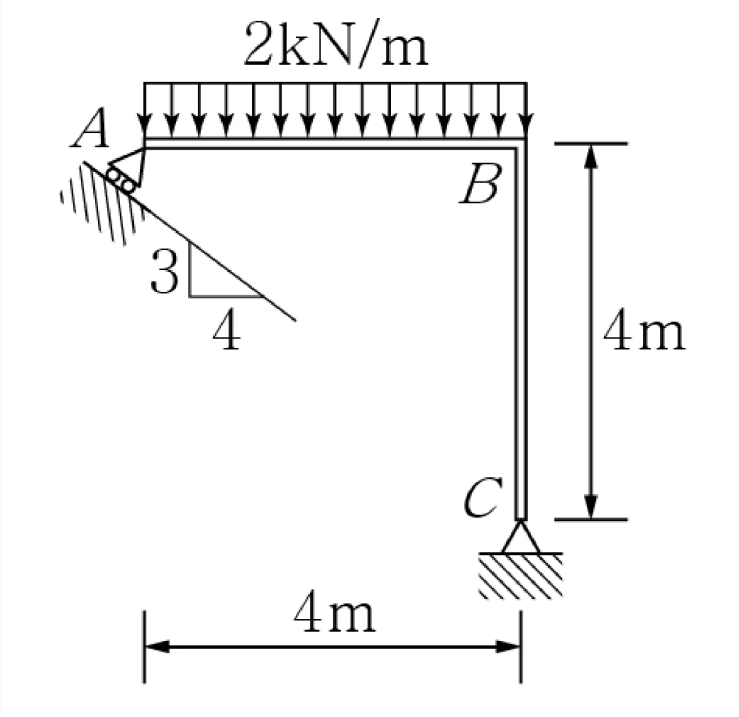
관계식: 재료를 **등방성 선형 탄성 재료**로 보고, 탄성계수 E, 전단탄성계수 G, 포아송비 ν 사이의 관계 $E = 2G(1 + \nu)$를 적용한다. E는 축방향 응력과 변형률의 관계를, G는 전단응력과 전단변형률의 관계를 나타내며, 포아송비는 횡방향 변형률을 축방향 변형률로 나눈 값에 음의 부호를 붙인 값이다.

대입 및 계산: 관계식을 포아송비에 대해 정리하면 $\nu = \frac{E}{2G} - 1$이다. E = 240 GPa, G = 100 GPa로 **두 탄성계수의 단위가 같으므로** 단위 변환 없이 대입한다. $\frac{E}{2G} = \frac{240}{2 \cdot 100} = 1.2$이며, 이는 $1 + \nu$의 값이다. 따라서 $\nu = 1.2 - 1 = 0.2$이다.

결과: 포아송비는 단위가 없는 0.2이며, 선택지 ②에 해당한다.

NoteBase

문 17. A점이 경사롤러로 지지된 라멘구조에서 AB부재에 작용하는 등분포하중에 의해 발생하는 C점의 수직반력은?



① $\frac{30}{7}$ kN
② $\frac{40}{7}$ kN
③ $\frac{50}{7}$ kN
④ $\frac{60}{7}$ kN

정답 2번

간단한 해설

A점의 반력은 **경사면에 수직**이므로 수평·수직 성분의 비가 3:4이다. 이 관계와 구조물 전체의 모멘트 평형을 적용하면 C점의 수직반력은 위쪽으로 $\frac{40}{7}$ kN이다.

NoteBase

계산 과정

하중의 합력: AB의 길이는 4 m이고 등분포하중은 2 kN/m이므로, 합력은 $2 \times 4 = 8$ kN이다. 등분포하중의 합력은 **AB의 중앙**에 아래쪽으로 작용하므로 C점에서 합력 작용선까지의 수평거리는 2 m이다.

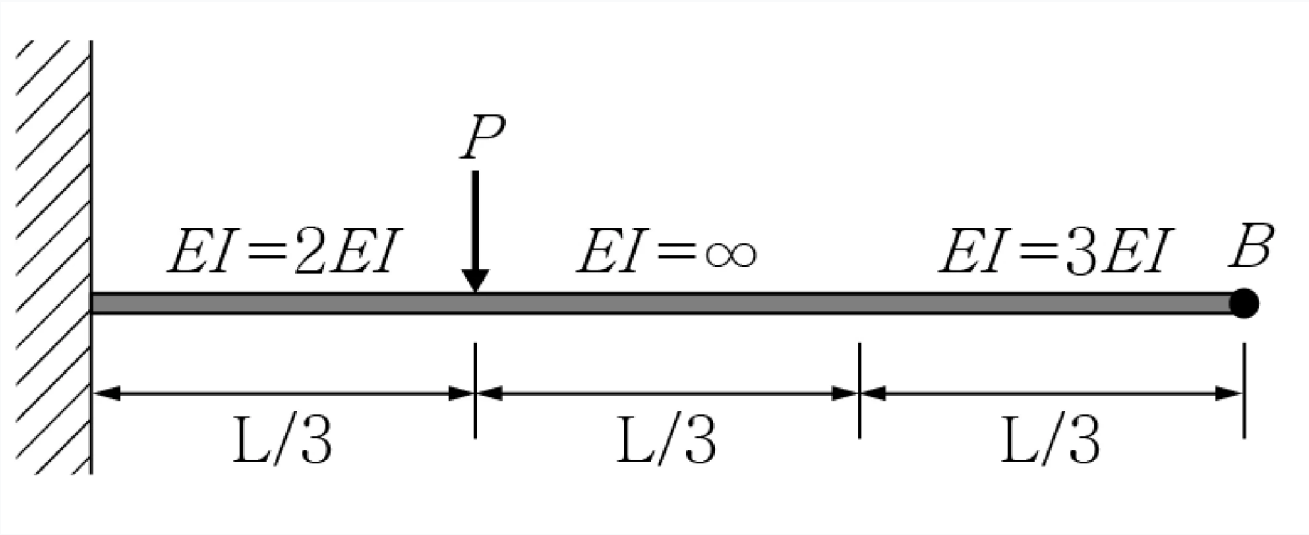
A점 반력의 방향: 경사롤러는 경사면에 수직인 반력만 전달한다. 그림에서 경사면의 수평·수직 길이비는 4:3이므로, 법선 방향인 반력의 수평·수직 성분비는 $A_x : A_y = 3 : 4$이다. 오른쪽 성분을 A_x, 위쪽 성분을 A_y로 두면 $A_x = \frac{3}{4}A_y$이다.

C점에 대한 모멘트 평형: C점은 힌지 지점이므로 반력모멘트가 없고, C점의 수평·수직 반력도 C점에 대한 모멘트를 만들지 않는다. A점은 C점에서 왼쪽으로 4 m, 위로 4 m 떨어져 있으므로 **A점 반력의 두 성분 모두** 시계방향 모멘트를 만든다. 힘을 kN, 거리를 m 단위로 넣고 반시계방향을 양으로 잡으면 $8 \cdot 2 - 4A_x - 4A_y = 0$이다. 여기에 $A_x = \frac{3}{4}A_y$를 대입하면 $7A_y = 16$이므로 $A_y = \frac{16}{7}$ kN이다.

C점의 수직반력: 위쪽을 양으로 잡은 C점 수직반력을 C_y라 하면, 수직방향 힘의 평형에서 $A_y + C_y = 8$이다. 따라서 $C_y = 8 - \frac{16}{7} = \frac{40}{7}$ kN이다. 양수이므로 위쪽 반력이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 다음과 같이 집중하중을 받는 보에서 B점의 수직변위는?



① $\frac{2PL^3}{81EI}$
② $\frac{4PL^3}{81EI}$
③ $\frac{5PL^3}{324EI}$
④ $\frac{4PL^3}{324EI}$

정답 1번

간단한 해설

하중점 오른쪽 구간은 휨모멘트가 0이므로 곡률이 없지만, **하중점의 회전에 따른 변위**는 생긴다. 하중점 자체의 처짐에 이 변위를 더하면 B점은 아래로 $\frac{2PL^3}{81EI}$만큼 이동한다.

NoteBase

계산 과정

1. 조건과 변형 구간: 고정단에서 하중점까지의 거리를 $a = \frac{L}{3}$이라 두면, 이 구간의 휨강성은 2EI이다. 하중점 오른쪽에는 외력이 없으므로 두 구간 모두 휨모멘트가 0이다. 따라서 가운데의 무한 휨강성 구간과 오른쪽의 3EI 구간은 **추가로 휘지 않고 하중점의 접선 방향을 유지**한다. 미소변형에 대한 휨 처짐을 계산한다.

2. 하중점의 처짐과 회전각: 왼쪽 구간은 길이 a, 휨강성 2EI인 외팔보의 끝에 P가 작용하는 경우와 같다.
고정단에서 거리 x인 단면의 휨모멘트 크기는 $P(a - x)$이다. 이를 휨강성 2EI로 나눈 곡률을 적분하고, 고정단의 처짐과 회전각이 모두 0인 조건을 적용하면 하중점의 하향 처짐과 시계방향 회전각은 다음과 같다.
$\delta_a = \frac{Pa^3}{3(2EI)} = \frac{PL^3}{162EI}$
$\theta_a = \frac{Pa^2}{2(2EI)} = \frac{PL^2}{36EI}$

3. B점까지 회전의 영향 반영: 하중점에서 B점까지의 거리는 $\frac{2L}{3}$이다. 이 부분은 직선을 유지하므로, **하중점의 처짐에 회전각과 남은 길이의 곱을 더한다**. 미소 회전각에서 B점의 하향 변위는 $\delta_B = \delta_a + \theta_a \cdot \frac{2L}{3}$이다.
$\delta_B = \frac{PL^3}{162EI} + \frac{PL^2}{36EI} \cdot \frac{2L}{3}$
$\delta_B = \frac{PL^3}{162EI} + \frac{PL^3}{54EI}$
$\delta_B = \frac{2PL^3}{81EI}$
따라서 B점의 수직변위는 아래 방향이며, 그 크기는 ①의 식과 같다. P를 힘 단위, L을 길이 단위로 쓰면 EI의 단위는 힘×길이^{2}이므로 이 결과의 단위는 길이이다.

NoteBase

문 19. 다음 중 무차원량은?

① 변형률

② 곡률

③ 온도팽창계수

④ 응력

정답 1번

간단한 해설

변형률은 **길이 변화량을 원래 길이로 나눈 비**이다. 분자와 분모의 길이 단위가 소거되므로 무차원량이다.

선지별 해설

각 물리량의 정의식에서 단위를 정리하면 차원의 유무를 판단할 수 있다. 무차원량은 기본 차원이 모두 소거되는 양이다.

① 변형률: 원래 길이를 l_0, 길이 변화량을 Δl이라 하면 축방향 변형률은 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$이다. 길이를 길이로 나누므로 **단위가 소거되어 무차원**이다. 예를 들어 길이 1,000 mm인 부재가 1 mm 늘어나면 변형률은 $\frac{1\text{mm}}{1{,}000\text{mm}} = 0.001$이다.

② 곡률: 곡률반지름을 ρ라 하면 곡률은 $\kappa = \frac{1}{\rho}$이다. **길이의 역수**이므로 SI 단위는 m^{-1}이며, 무차원량이 아니다.

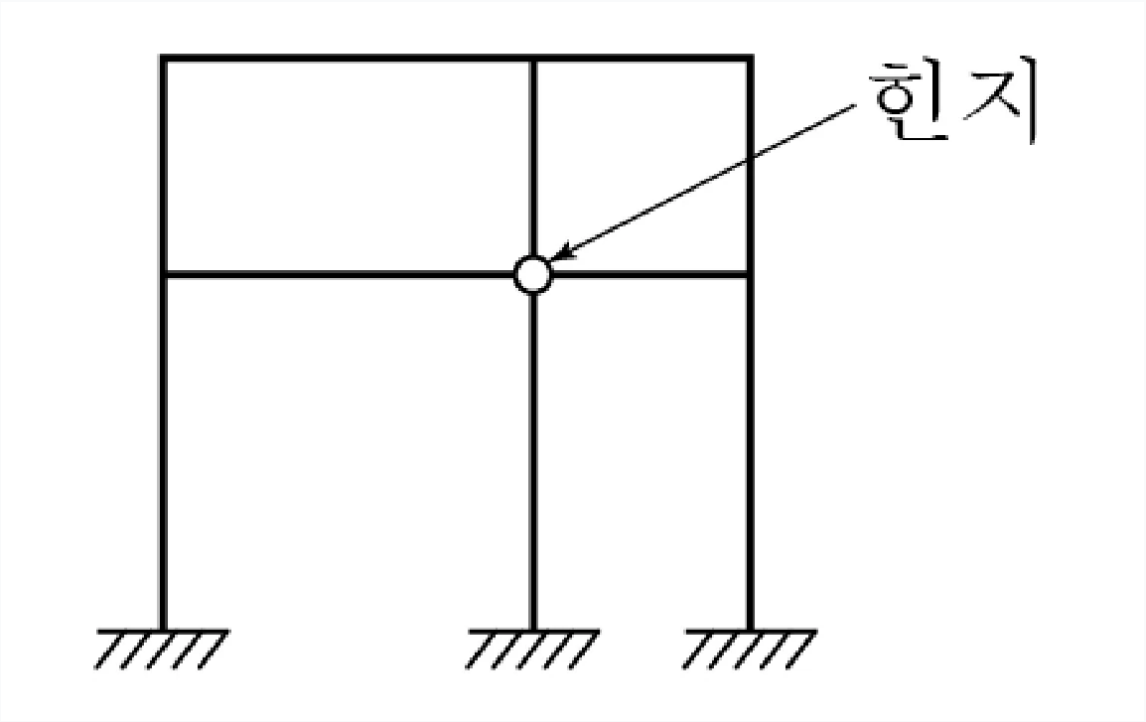
③ 온도팽창계수: 선팽창에서 온도 변화량을 ΔT라 하면 온도팽창계수는 $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T}$로 나타낸다. 길이 단위는 소거되지만 **온도의 역수**가 남으므로 SI 단위는 K^{-1}이다. 무차원량이 아니다.

④ 응력: 축방향 힘을 F, 단면적을 A라 하면 평균 수직응력은 $\sigma = \frac{F}{A}$이다. **단위 면적당 힘**이므로 SI 단위는 N/m^2, 즉 Pa이며, 무차원량이 아니다.

네 물리량 중 단위가 모두 소거되는 것은 변형률이므로 ①에 해당한다.

NoteBase

문 20. 다음과 같은 골조구조의 부정정차수로 옳은 것은?



① 3

② 5

③ 7

④ 9

정답 4번

간단한 해설

중앙 힌지는 네 부재가 만나는 접합부이므로 **부정정차수를 3만큼 감소**시킨다. 모든 접합부가 강결일 때의 12차에서 이를 빼면 9차가 된다.

NoteBase

계산 과정

부정정차수는 평형조건만으로 구할 수 없는 독립적인 미지력의 수이다. 안정한 평면 골조에서 부재 수를 m, 지점반력 수를 r, 지점을 포함한 절점 수를 j, 내부 힌지에 따른 독립적인 추가 조건 수를 c라 하면 $D = 3m + r - 3j - c$로 구한다. 각 부재의 축력·전단력·휨모멘트에 해당하는 미지량과 지점반력에서 절점별 평형조건 및 힌지 조건을 빼는 식이다.

부재·절점·반력 세기: **부재는 절점 사이의 구간별로** 센다. 세 기둥은 각각 중간 높이에서 나뉘므로 세로 부재는 6개이고, 위쪽과 중간의 가로 부재는 각각 2개이므로 m = 10이다. 절점은 아래 지점 3개, 중간 높이 3개, 위쪽 3개로 j = 9이다. 세 지점은 모두 고정단으로 수평반력·수직반력·반력모멘트를 가지므로 r = 3 × 3 = 9이다.

중앙 힌지의 조건: 힌지에는 위·아래·왼쪽·오른쪽의 네 부재가 연결된다. 힌지는 모멘트를 전달하지 않으므로 네 부재 끝의 휨모멘트가 각각 0이다. 이 중 하나는 이미 절점의 모멘트 평형조건에 포함되므로 **독립적으로 추가되는 조건은 4 - 1 = 3개**이다. 따라서 c = 3을 적용한다.

부정정차수 계산: 힌지를 강결로 보았을 때는 3 × 10 + 9 - 3 × 9 = 12이다. 여기에 힌지 조건 3개를 반영하면 D = 12 - 3 = 9이다. 따라서 이 골조는 9차 부정정구조이며 ④의 9에 해당한다. 부정정차수는 독립적인 미지력의 개수이므로 단위는 없다.

NoteBase