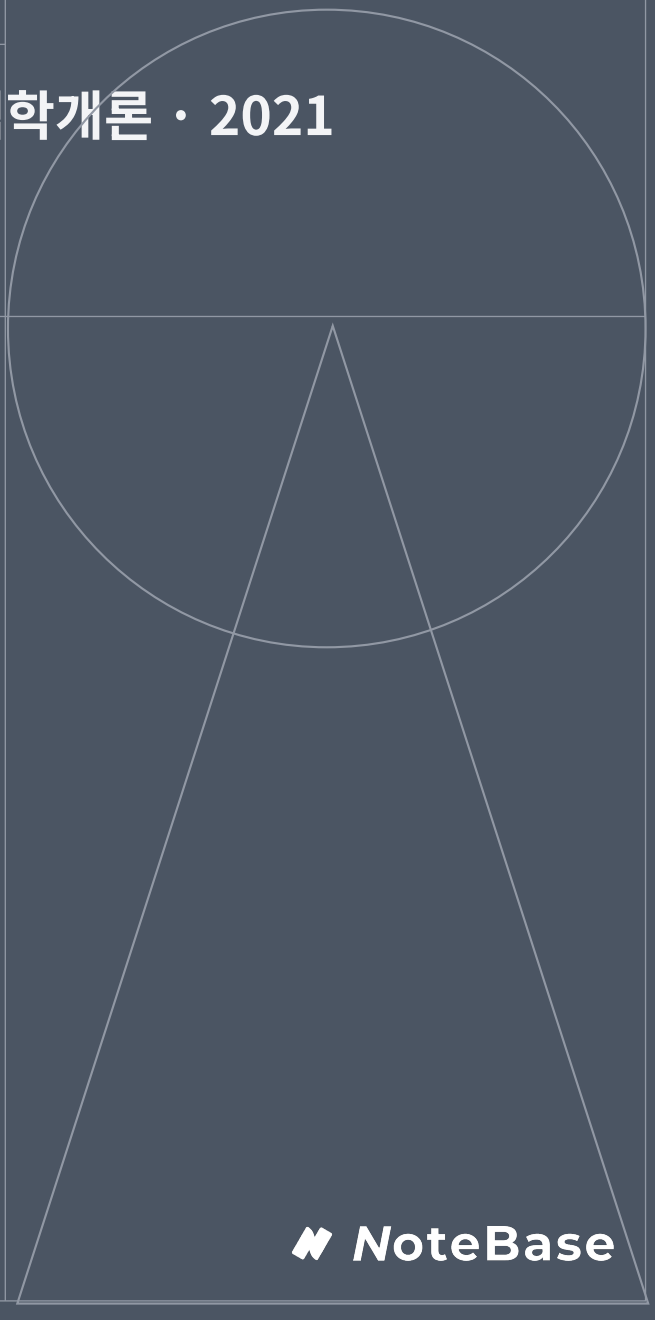
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 응용역학개론 · 2021



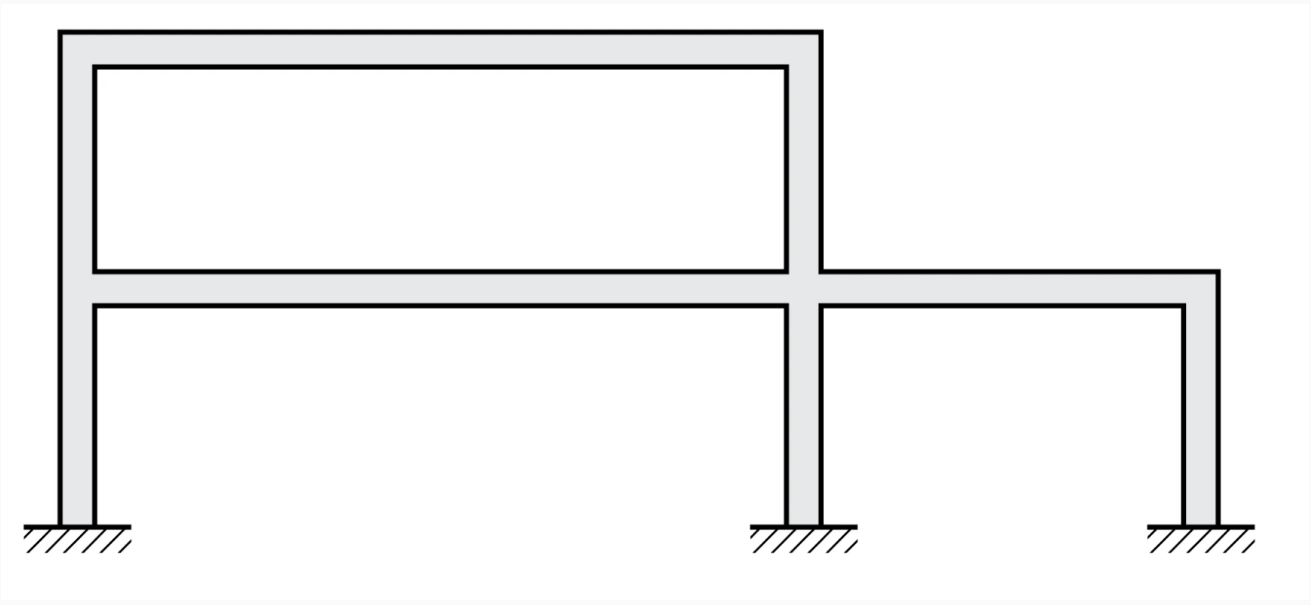
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 응용역학개론 · 2021

공무원/국가직/9급 · 응용역학개론 · 2021

문 1. 그림과 같은 라멘 구조물의 부정정 차수는?



① 7

② 8

③ 9

④ 10

정답 3번

간단한 해설

고정지점 3곳의 반력은 총 9개이고, 부재 수와 절점 수는 각각 8개이다. 이를 평면 강절 라멘의 부정정 차수식에 적용하면 $n = 3m + r - 3j = 9$인 **9차 부정정 구조물**이다.

NoteBase

계산 과정

적용식: 부정정 차수는 평형방정식만으로 구할 수 없는 독립적인 미지력의 수이다. 내부 힌지가 없는 안정한 평면 강절 라멘에서는 $n = 3m + r - 3j$를 적용한다. 여기서 m은 부재 수, r은 지점반력 수, j는 지점을 포함한 절점 수이다. 부재별 독립 미지력 3개와 지점반력을 합한 수에서, 각 절점의 수평력·수직력·모멘트 평형식 3개씩을 뺀 관계이다.

지점반력 수: 그림의 하단 지점 3곳은 모두 고정지점이다. 고정지점 하나에는 **수평반력·수직반력·반력모멘트**가 있으므로, 반력 수는 $r = 3 \times 3 = 9$이다.

부재 수: 부재는 **절점과 절점 사이를 한 부재**로 센다. 왼쪽 기둥 2개, 가운데 기둥 2개, 오른쪽 기둥 1개로 수직 부재가 5개이다. 최상단 수평 부재 1개와 중간 높이의 수평 부재 2개를 더하면 $m = 5 + 3 = 8$이다.

절점 수: 하단 고정지점 3곳, 중간 높이에서 기둥과 수평 부재가 만나는 곳 3곳, 최상단의 두 모서리 2곳을 센다. 따라서 지점을 포함한 절점 수는 $j = 3 + 3 + 2 = 8$이다.

계산: $n = 3 \cdot 8 + 9 - 3 \cdot 8 = 9$이다. 따라서 부정정 차수는 9이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 2. 폭 200 mm, 높이 600 mm인 직사각형 단면을 가진 단순보의 지간이 2 m이다. 허용 휨응력이 50 MPa일 때, 지간 중앙에 작용시킬 수 있는 수직 집중하중 P의 최대 크기[kN]는? (단, 휨강성 EI는 일정하고, 구조물의 자중은 무시한다)

① 240

② 480

③ 960

④ 1200

정답 4번

간단한 해설

중앙 집중하중을 받는 단순보의 최대 휨모멘트는 $M_{\max} = PL/4$이다. **최대 휨응력이 허용 휨응력에 도달하는 조건**을 적용하면 허용 휨모멘트는 600 kN·m이고, 이에 대응하는 집중하중은 1200 kN이다.

계산 과정

단면의 폭 b = 200 mm, 높이 h = 600 mm, 지간 L = 2 m이다. 자중을 무시하므로 중앙 집중하중 P만 고려한다. 허용 휨응력 50 MPa는 50 N/mm^{2}이므로, 단면 계산에는 mm와 N을 사용한다.

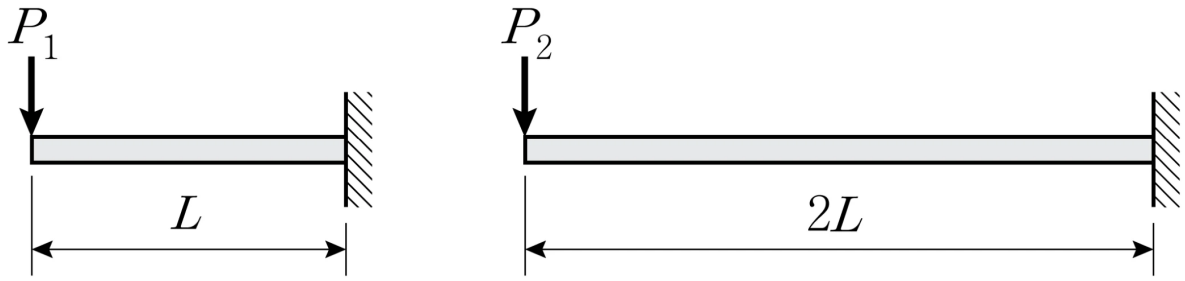
직사각형 단면의 중립축은 높이의 중앙을 지나며, 단면2차모멘트는 $I = bh^3/12$, 최외단까지의 거리는 $c = h/2$이다. 따라서 휨응력 계산에 쓰는 단면계수는 $Z = I/c = bh^2/6$이다. 주어진 치수를 대입하면 $Z = \frac{200 \cdot 600^2}{6} = 12 \cdot 10^6 \text{mm}^3$이다.

휨모멘트 M에 의한 최외단 휨응력은 $\sigma_{\max} = M/Z$이다. 따라서 **허용 휨응력을 넘지 않는 휨모멘트의 한계**는 $M_a = \sigma_a Z$로 구한다. 계산하면 $M_a = 50 \cdot 12 \cdot 10^6 = 600 \cdot 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$이다. 1 kN·m = 1,000,000 N·mm이므로 허용 휨모멘트는 600 kN·m이다.

중앙에 하중이 작용하므로 양쪽 지점반력은 각각 $P/2$이다. 휨모멘트는 **지간 중앙에서 최대**이며, 지점반력에 중앙까지의 거리 $L/2$를 곱하면 $M_{\max} = PL/4$가 된다. 최대 허용하중에서는 $M_{\max} = M_a$이므로 $P_{\max} = 4M_a/L$이다. 지간 2 m와 허용 휨모멘트 600 kN·m를 대입하면 $P_{\max} = \frac{4 \cdot 600}{2} = 1200\text{kN}$이다. 이는 ④의 1200 kN에 해당한다.

NoteBase

문 3. 그림과 같은 두 켄틸레버보에서 자유단의 처짐이 같을 때, $\frac{P_1}{P_2}$는? (단, 두 보의 휨강성 EI는 일정하고 동일하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 3번

간단한 해설

자유단에 집중하중을 받는 켄틸레버보의 처짐은 하중과 **보 길이의 세제곱에 비례**한다. 길이가 2배인 보와 처짐이 같으려면 짧은 보의 하중이 긴 보의 8배여야 하므로, $\frac{P_1}{P_2} = 8$이다.

계산 과정

처짐 공식: 휨강성 EI가 일정한 켄틸레버보의 자유단에 집중하중 P가 작용할 때, 미소 처짐의 탄성 휨이론에 따른 자유단 처짐의 크기는 $\delta = \frac{P\ell^3}{3EI}$이다. 여기서 ℓ은 고정단부터 자유단까지의 보 길이이다. 그림의 두 보는 모두 **자유단 집중하중을 받는 켄틸레버보**이므로 이 식을 적용한다.

길이 L인 보: 하중은 P_1이고 길이는 L이므로, 자유단 처짐의 크기는 $\delta_1 = \frac{P_1 L^3}{3EI}$이다.

길이 $2L$인 보: 하중은 P_2이고 길이는 $2L$이므로, 자유단 처짐의 크기는 $\delta_2 = \frac{P_2(2L)^3}{3EI} = \frac{8P_2L^3}{3EI}$이다. 길이가 두 배이면 길이의 세제곱은 여덟 배가 되므로, 같은 하중에서는 이 보의 처짐이 짧은 보의 8배이다.

하중비 계산: 두 보의 **휨강성이 같고 자유단 처짐도 같다**는 조건에서 $\delta_1 = \delta_2$로 놓는다. 양쪽의 공통인자 $\frac{L^3}{3EI}$를 약분하면 $P_1 = 8P_2$가 된다. 따라서 하중비는 $\frac{P_1}{P_2} = 8$이며, ③의 값과 일치한다. 하중끼리의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 4. 부정정 구조물이 정정 구조물에 비해 갖는 장점으로 옳지 않은 것은?

① 부정정 구조물은 설계모멘트가 작기 때문에 부재 단면이 작아져서 경제적이다.

② 부정정 구조물에서 부정정 반력이나 부정정 부재들은 구조물의 안전도를 향상시킨다.

③ 부정정 구조물은 처짐의 크기가 작다.

④ 부정정 구조물은 지반의 부등침하 또는 부재의 온도변화로 인한 추가 응력이 발생하지 않는다.

정답 4번

간단한 해설

부정정 구조물에서는 지반의 부등침하나 온도변화에 따른 **자유로운 변형이 구속되면 추가 응력이 발생한다**. 따라서 '추가 응력이 발생하지 않는다'는 설명은 부정정 구조물의 특성과 반대이다.

선지별 해설

부정정 구조물은 평형방정식만으로 모든 반력과 부재력을 결정할 수 없어, 지점과 부재의 변형이 서로 맞아야 한다는 변형 적합조건을 함께 적용하는 구조물이다.

① O: 비교 가능한 하중·경간 조건에서 부정정 구조물은 지점과 부재가 하중을 나누어 부담하여 일반적으로 **최대 휨모멘트가 작아진다**. 이에 따라 같은 강도를 확보하는 데 필요한 부재 단면을 줄일 수 있어 재료 사용 측면에서 경제적이다. 다만 접합부와 시공 비용까지 포함한 총공사비가 언제나 작다는 뜻은 아니다.

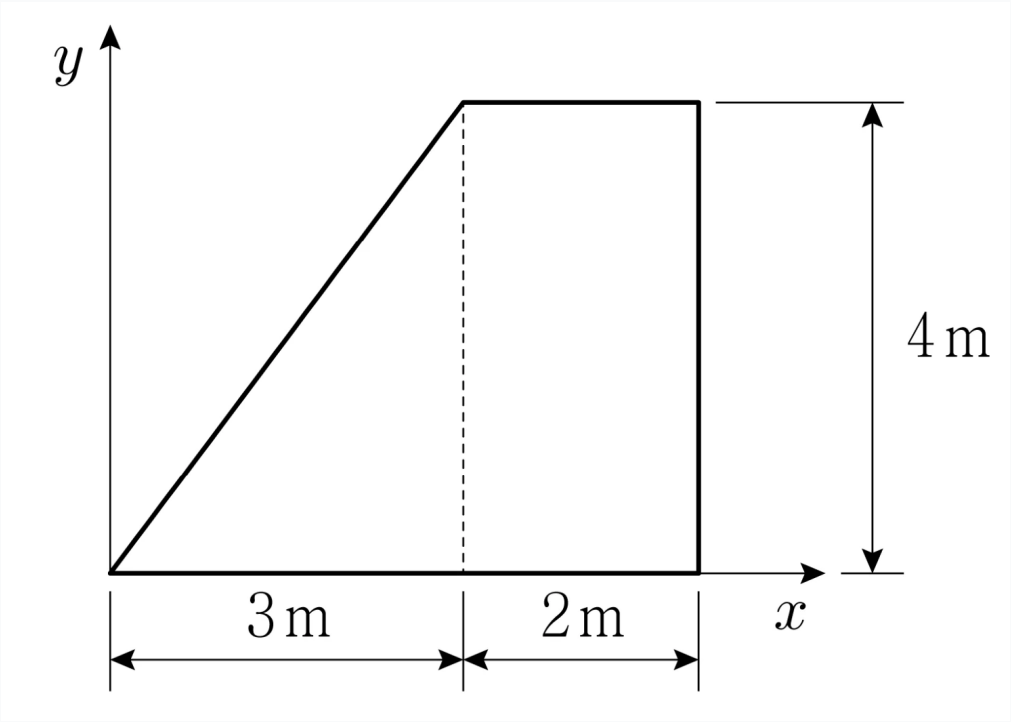
② O: 부정정 반력이나 부정정 부재는 구조물을 정정 상태로 유지하는 데 필요한 것보다 더 있는 반력이나 부재를 뜻한다. 이들은 **하중을 전달하는 추가 경로**를 제공한다. 일부 부재나 지점의 기능이 저하되어도 다른 부분으로 하중을 재분배할 여지가 있어 구조물의 안전도를 높인다.

③ O: 부재의 재료·단면·경간과 하중이 같은 비교 조건에서는 추가 지점이나 연결부의 구속으로 구조물의 **강성이 커져 처짐이 작아진다**. 강성은 변형에 저항하는 정도이므로, 강성이 큰 구조물일수록 같은 하중을 받을 때 변형이 작다.

④ X: 부정정 구조물은 지점과 부재의 구속 때문에 지반의 부등침하나 온도변화에 따른 변형을 자유롭게 수용하지 못할 수 있다. 이때 연결 상태와 지점 조건을 만족시키는 과정에서 **추가 반력과 응력이 발생한다**. 예를 들어 양 끝이 고정된 직선 봉은 가열되어도 자유롭게 늘어날 수 없어 압축응력이 생긴다. 따라서 '추가 응력이 발생하지 않는다'는 '변형이 구속되면 추가 응력이 발생한다'로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 사다리꼴 단면에서 도심으로부터 y 축까지의 수평 거리[m]는?



① $\frac{11}{7}$
② $\frac{22}{7}$
③ $\frac{11}{9}$
④ $\frac{22}{9}$

정답 2번

간단한 해설

단면을 삼각형과 직사각형으로 나누면, 전체 도심의 수평 위치는 **각 부분의 면적을 가중치로 한 도심 위치의 평균**이다. 두 부분의 면적과 도심 위치를 반영하면 y 축에서의 수평 거리는 $\frac{22}{7}$ m이다.

NoteBase

계산 과정

도심에서 y축까지의 수평 거리를 $\bar{x}$라 한다. 합성 단면에서는 각 부분의 면적을 A_i, 그 도심에서 y축까지의 수평 거리를 x_i라 두면 $\bar{x} = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$이다. 분자의 면적 1차 모멘트를 보존하도록 전체 도심을 정하는 식이다. 그림의 점선을 따라 **왼쪽 직각삼각형과 오른쪽 직사각형**으로 나눈다.

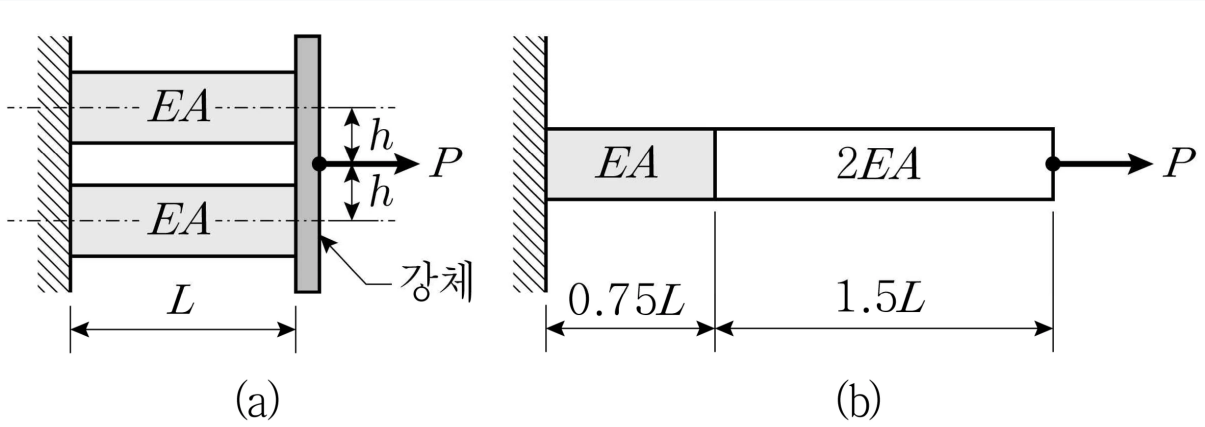
왼쪽 직각삼각형: 밑변 3 m, 높이 4 m이므로 면적은 $A_1 = \frac{3 \cdot 4}{2} = 6\,\mathrm{m}^2$이다. 삼각형의 도심 좌표는 세 꼭짓점 좌표의 평균이다. 꼭짓점의 수평 좌표가 0 m, 3 m, 3 m이므로 $x_1 = \frac{0+3+3}{3} = 2\,\mathrm{m}$이다.

오른쪽 직사각형: 폭 2 m, 높이 4 m이므로 면적은 $A_2 = 2 \cdot 4 = 8\,\mathrm{m}^2$이다. 도심은 직사각형의 중앙에 있으므로 $x_2 = 3 + \frac{2}{2} = 4\,\mathrm{m}$이다. 이때 수평 거리는 **직사각형 왼쪽 변이 아니라 전체의 y축을 기준**으로 측정한다.

전체 도심: 전체 면적은 $6 + 8 = 14\ \mathrm{m}^2$이고, y축에 대한 면적 1차 모멘트는 $6 \cdot 2 + 8 \cdot 4 = 44\,\mathrm{m}^3$이다. 따라서 $\bar{x} = \frac{44}{14} = \frac{22}{7}\,\mathrm{m}$이며, 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 6. 그림 (a)와 (b)에서 하중작용점의 축방향 길이 변화가 각각 δ_a와 δ_b일 때, $\frac{\delta_b}{\delta_a}$는? (단, 구조물의 자중은 무시하며, E는 탄성계수, A는 단면적이다)



① 3

② 4

③ 5

④ 6

정답 1번

간단한 해설

그림 (a)는 같은 두 부재가 **하중을 절반씩 나누어 받는 병렬 연결**이고, 그림 (b)는 각 구간에 하중 P가 그대로 전달되는 직렬 연결이다. (b)의 두 구간 신장량을 더하면 (a)의 신장량의 3배가 되어 $\frac{\delta_b}{\delta_a} = 3$이다.

NoteBase

계산 과정

축력을 받는 균일한 부재의 신장량은 $\delta = \frac{N\ell}{EA}$이다. 여기서 N은 인장 축력, ℓ은 부재 길이, EA는 축강성이다. 자중은 무시하므로 각 구간의 축력은 외력 P의 전달 관계로 구한다.

(a): 두 부재는 길이 L과 축강성 EA가 같고, 하중작용점에서 위아래로 각각 h만큼 떨어져 있다. 강체의 힘 및 모멘트 평형에 따라 **두 부재의 인장력은 각각 P/2**이다. 두 부재의 신장량이 같으므로 강체는 회전하지 않고 수평 이동하며, 하중작용점의 변위도 각 부재의 신장량과 같다. 따라서 $\delta_a = \frac{(P/2)L}{EA} = \frac{PL}{2EA}$이다.

(b): 중간에 외력이 없으므로 **두 구간 모두 축력 P**를 받는다. 왼쪽 구간은 길이가 0.75L, 축강성이 EA이므로 신장량은 $\frac{P(0.75L)}{EA} = \frac{3PL}{4EA}$이다. 오른쪽 구간은 길이가 1.5L, 축강성이 2EA이므로 신장량은 $\frac{P(1.5L)}{2EA} = \frac{3PL}{4EA}$이다. 하중작용점의 변위는 두 구간 신장량의 합이므로 $\delta_b = \frac{3PL}{4EA} + \frac{3PL}{4EA} = \frac{3PL}{2EA}$이다.

변위의 비: δ_b와 δ_a에서 공통인 $\frac{PL}{2EA}$를 약분하면 $\frac{\delta_b}{\delta_a} = 3$이다. 이 비는 무차원이며, ①의 3에 해당한다.

NoteBase

문 8. 원형 단면의 단순보에서 단면의 직경은 0.2 m이고 탄성 처짐곡선의 곡률반지름이 $1,000\pi$ m일 때, 휨모멘트의 크기[kN·m]는? (단, 탄성계수 $E = 200,000$ MPa이다)

① 5

② 6

③ 7

④ 8

정답 1번

간단한 해설

탄성 휨에서 휨모멘트의 크기는 **휨강성을 곡률반지름으로 나눈 값**이다. 원형 단면의 단면2차모멘트를 구해 $M = \frac{EI}{\rho}$에 대입하면 5 kN·m가 된다.

계산 과정

휨모멘트와 곡률의 관계: 선형 탄성 휨에서 $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$이므로, 구하려는 휨모멘트의 크기는 $M = \frac{EI}{\rho}$이다. 여기서 E는 탄성계수, I는 중립축에 대한 단면2차모멘트, ρ는 곡률반지름이다. EI는 **보의 휨 변형에 저항하는 강성**을 나타낸다.

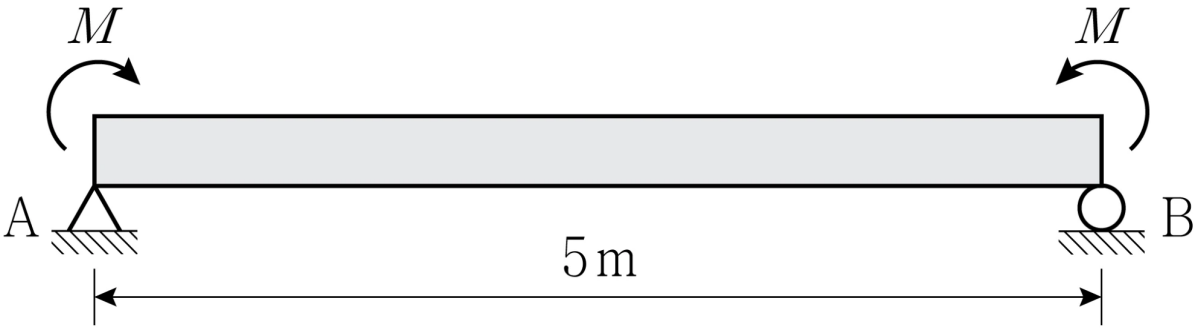
단위 통일: 직경 d = 0.2 m와 곡률반지름 $\rho = 1,000\pi$ m에 맞추어 탄성계수를 kN/m^{2}로 바꾼다. 1 MPa = 1,000 kN/m^{2}이므로 E = 200,000,000 kN/m^{2}이다.

원형 단면의 단면2차모멘트: 원의 중심을 지나는 중립축에 대해 $I = \frac{\pi d^4}{64}$이다. 직경을 대입하면 $I = \frac{\pi(0.2)^4}{64}$ m^{4}이므로 $I = 2.5 \cdot 10^{-5}\pi$ m^{4}이다. 여기서는 비틀림에 쓰는 극단면2차모멘트가 아니라 **휨에 대한 단면2차모멘트**를 사용한다.

휨모멘트 계산: 탄성계수와 단면2차모멘트를 곱하면 $EI = 5,000\pi$ kN·m^{2}이다. 이를 곡률반지름으로 나누면 $M = \frac{5,000\pi}{1,000\pi} = 5$ kN·m가 된다. 따라서 휨모멘트의 크기는 5 kN·m로, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 9. 그림과 같이 단순보의 양단에 모멘트 M이 작용할 때, A점의 처짐각의 크기는? (단, 휨강성 EI는 일정하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{5M}{EI}$
② $\frac{10M}{EI}$
③ $\frac{10M}{7EI}$
④ $\frac{5M}{2EI}$

정답 4번

간단한 해설

보 전체의 휨모멘트가 M으로 일정하고 변형이 중앙에 대해 대칭이므로, A점 처짐각의 크기는 **양 끝 처짐각 차이의 절반**이다. 경간 5 m를 적용하면 $|\theta_A| = \frac{ML}{2EI} = \frac{5M}{2EI}$ rad이다.

NoteBase

계산 과정

1. 휨모멘트 확인: 경간은 L = 5 m이고 휨강성 EI는 일정하다. 그림에서 A점의 모멘트는 시계방향, B점의 모멘트는 반시계방향으로 크기가 같다. 두 외력 모멘트가 상쇄되고 수직하중도 없으므로 양 지점의 수직반력은 0이다. 따라서 보 내부의 휨모멘트는 **전 구간에서 M으로 일정**하다.

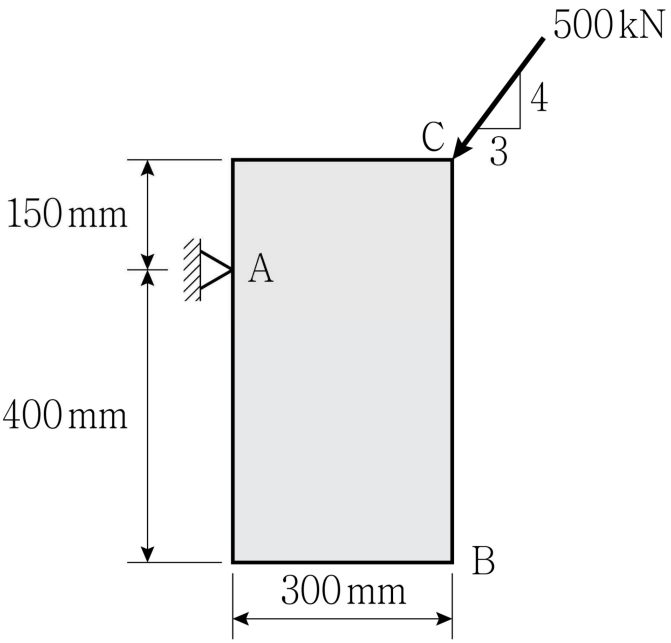
2. 양 끝 처짐각 차이: 미소변형 휨 이론에서 처짐각의 변화율은 곡률이며, 이 보의 곡률은 $\frac{M}{EI}$이다. 따라서 A에서 B까지의 처짐각 변화는 **곡률을 경간에 걸쳐 적분한 값**, 즉 $\frac{M}{EI}$ 도형의 면적이다. 이 도형은 높이가 $\frac{M}{EI}$, 밑변이 L인 직사각형이므로 $\theta_B - \theta_A = \frac{ML}{EI}$이다. 이 값은 A점 한 곳의 처짐각이 아니라 양 끝 처짐각의 차이이다.

3. A점 처짐각: 단순지지점에서는 **처짐이 0이어도 회전은 가능**하다. 양 끝의 처짐이 모두 0이고 하중과 휨강성이 보 중앙에 대해 대칭이므로, 양 끝 처짐각은 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 $\theta_B = -\theta_A$이며, $2|\theta_A| = \frac{ML}{EI}$에서 $|\theta_A| = \frac{ML}{2EI}$를 얻는다.

4. 경간 대입: 길이 단위를 m로 통일하여 L = 5 m를 대입하면 $|\theta_A| = \frac{5M}{2EI}$ rad이다. 이는 ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 500 kN의 힘이 C점에 작용하고 있다. A점에서 물체의 회전이 발생하지 않도록 하는, B점에서의 최소 힘의 크기[kN]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 100

② 150

③ 200

④ 250

정답 2번

간단한 해설

C점 하중은 A점에 대해 시계방향으로 75 kN·m의 모멘트를 만든다. 이를 상쇄하는 힘을 B점에서 **AB에 수직으로** 가하면 모멘트팔이 최대인 0.50 m가 되어, 필요한 최소 힘은 **150 kN**이다.

NoteBase

계산 과정

하중의 성분: 그림의 화살표는 C점에서 왼쪽 아래를 향한다. 방향비가 수평:수직 = 3:4인 직각삼각형이므로 빗변의 비는 5이다. 따라서 수평성분은 왼쪽으로 $500 \times \frac{3}{5} = 300$ kN, 수직성분은 아래쪽으로 $500 \times \frac{4}{5} = 400$ kN이다.

A점에 대한 모멘트: C점은 A점보다 오른쪽으로 0.30 m, 위쪽으로 0.15 m에 있다. 왼쪽 방향의 300 kN은 반시계방향으로 $300 \times 0.15 = 45$ kN·m, 아래쪽 방향의 400 kN은 시계방향으로 $400 \times 0.30 = 120$ kN·m의 모멘트를 만든다. 두 모멘트는 방향이 반대이므로 합성 모멘트는 시계방향으로 $120 - 45 = 75$ kN·m이다. 자중은 무시하고 A점의 지점반력은 A점을 지나므로, B점 힘이 반시계방향으로 75 kN·m를 만들어야 회전이 발생하지 않는다.

최소 힘의 조건: 모멘트의 크기는 힘과 회전 중심에서 힘의 작용선까지의 수직거리를 곱한 값이다. B점 힘의 크기를 F, AB와 힘 사이의 각을 θ라 하면 $M = F \cdot AB\sin\theta$이다. 필요한 모멘트가 일정하므로 **모멘트팔이 최대일 때 힘이 최소**이다. 이는 힘이 AB에 수직이어서 $\sin\theta = 1$일 때이며, 이때 모멘트팔은 AB이다. B점에서 오른쪽 위를 향하는 수직 방향으로 힘을 가하면 필요한 반시계방향 모멘트가 생긴다.

최소 힘의 계산: B점은 A점보다 오른쪽으로 0.30 m, 아래쪽으로 0.40 m에 있으므로 $AB = \sqrt{0.30^2 + 0.40^2} = 0.50$ m이다. 최대 모멘트팔 0.50 m를 적용하면 $F_{\min} = \frac{75}{0.50} = 150$ kN이다.

따라서 B점에서 필요한 최소 힘은 150 kN으로, ②에 해당한다.

NoteBase

문 11. 평면 트러스 해석을 위한 기본 가정으로 옳지 않은 것은?

① 각 부재는 직선이다.

② 각 부재의 중심축은 절점에서 만난다.

③ 모든 하중은 절점에만 작용한다.

④ 각 부재의 절점은 회전에 구속되어 있다.

정답 4번

간단한 해설

평면 트러스의 절점은 **회전이 자유로운 핀 접합**으로 가정한다. 따라서 ④의 '회전에 구속되어 있다'는 표현은 잘못되며, 접합부는 부재 사이에 모멘트를 전달하지 않는다.

선지별 해설

① O: 각 부재는 **곧은 중심축을 가진 직선 부재**로 가정한다. 핀 접합과 절점 하중의 가정이 함께 성립하면 부재 양 끝의 힘은 중심축을 따라 작용하므로, 각 부재는 인장력 또는 압축력인 축력만 받는 부재로 해석한다.

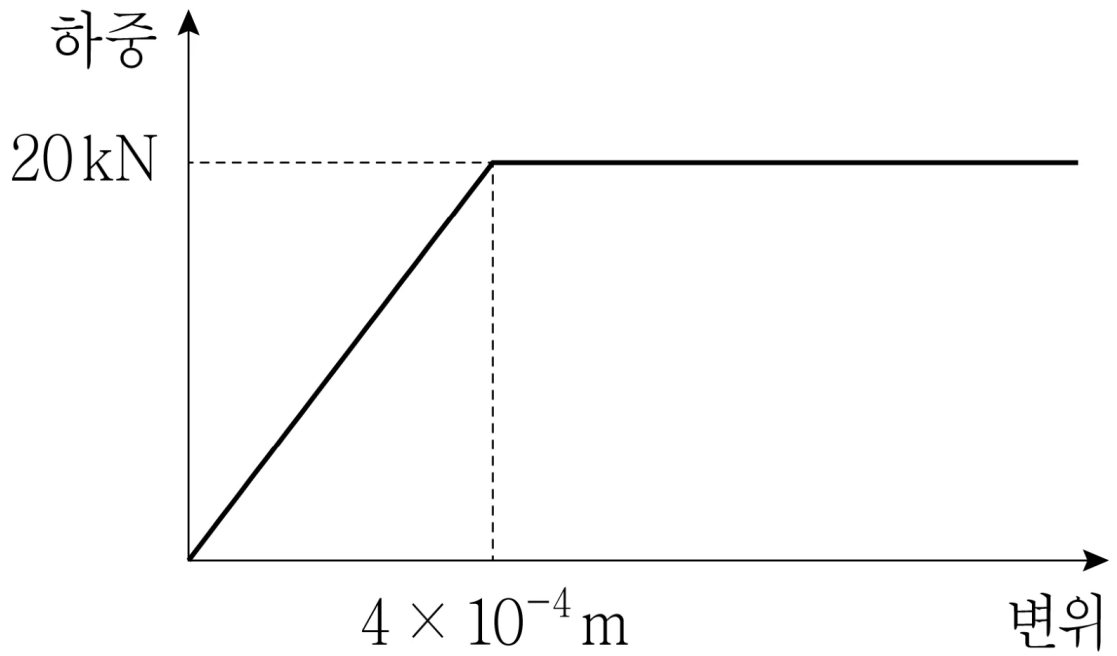
② O: 한 절점에 연결되는 부재들의 **중심축은 그 절점의 한 점에서 만난다**고 가정한다. 중심축이 서로 어긋나 생기는 편심과 그에 따른 추가 휨모멘트를 배제하기 위한 조건이다.

③ O: 모든 하중은 **부재 중간이 아닌 절점에만** 작용한다고 가정한다. 부재 중간에 횡하중이 작용하면 부재에 전단력과 휨모멘트가 발생할 수 있어 축력만 받는 부재로 해석할 수 없기 때문이다.

④ X: 절점은 **회전이 자유로운 핀 접합**으로 가정하며, 부재 사이에 모멘트를 전달하지 않는다. 따라서 '회전에 구속되어 있다'는 표현은 '회전이 자유롭다'로 고쳐야 한다. 부재 사이의 상대 회전을 구속하고 모멘트를 전달하는 강접합은 기본 트러스 해석의 접합 가정과 다르다.

NoteBase

문 12. 다음 그림은 단면적이 0.2 m^2, 길이가 2 m인 인장재의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 이 재료의 탄성계수 E[MPa]는?



① 200

② 300

③ 400

④ 500

정답 4번

간단한 해설

탄성계수는 **초기 직선 구간의 응력과 변형률의 비**이다. 하중 20 kN에서 응력은 0.1 MPa, 변형률은 2×10^{-4} 이므로 탄성계수는 500 MPa이다.

NoteBase

계산 과정

① 그래프 판독: 세로축은 하중, 가로축은 변위이다. 원점에서 꺾이는 점까지가 **하중과 변위가 비례하는 구간**이며, 그 끝에서 하중 $P = 20\text{kN}$, 늘어난 길이 $\delta = 4 \times 10^{-4}\text{m}$이다. 탄성계수는 이후의 수평 구간이 아니라 이 초기 직선 구간으로 구한다.

② 적용 관계: 단면적을 A, 원래 길이를 L이라 하면 응력은 $\sigma = \frac{P}{A}$, 변형률은 $\varepsilon = \frac{\delta}{L}$이다. 선형 탄성 구간에서는 $\sigma = E\varepsilon$이 성립하므로 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$이다. 즉, **하중을 단면적으로, 변위를 원래 길이로 나누어** 응력과 변형률로 바꾼 뒤 그 비를 구해야 한다.

③ 응력 계산: 단면적은 $A = 0.2\text{m}^2$이고 20 kN = 20,000 N이다. 따라서 $\sigma = \frac{20{,}000}{0.2} = 100{,}000\text{Pa}$이다. 1 MPa = 1,000,000 Pa이므로 응력은 0.1 MPa이다.

④ 변형률 계산: 원래 길이는 2 m이므로 $\varepsilon = \frac{4 \times 10^{-4}}{2} = 2 \times 10^{-4}$이다. 이는 원래 길이에 대한 늘어난 길이의 비로, 단위가 없다.

⑤ 탄성계수 계산: $E = \frac{0.1}{2 \times 10^{-4}} = 500\text{MPa}$이다. 계산한 500 MPa는 선택지 ④의 500에 해당한다.

NoteBase

문 13. 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

① 벡터양은 크기와 방향을 갖는 물리량이다.

② 길이, 면적, 부피, 온도는 스칼라양이다.

③ 마찰력은 두 물체의 접촉면 사이에 발생하며 그 힘의 방향은 물체의 운동방향과 같다.

④ 마찰계수에는 움직이기 직전까지의 정지마찰계수와 움직일 때의 동마찰계수가 있다.

정답 3번

간단한 해설

마찰력은 접촉면에서 **상대운동이나 상대운동하려는 경향을 방해하는 방향**으로 작용한다. 따라서 미끄럼 운동을 하는 물체에 작용하는 마찰력은 접촉면에 대한 운동방향과 반대이다.

선지별 해설

① O: 벡터양은 **크기와 방향을 함께 갖는** 물리량이다. 예를 들어 힘은 크기가 같아도 어느 방향으로 작용하는지에 따라 물체에 미치는 효과가 달라지므로 벡터양이다.

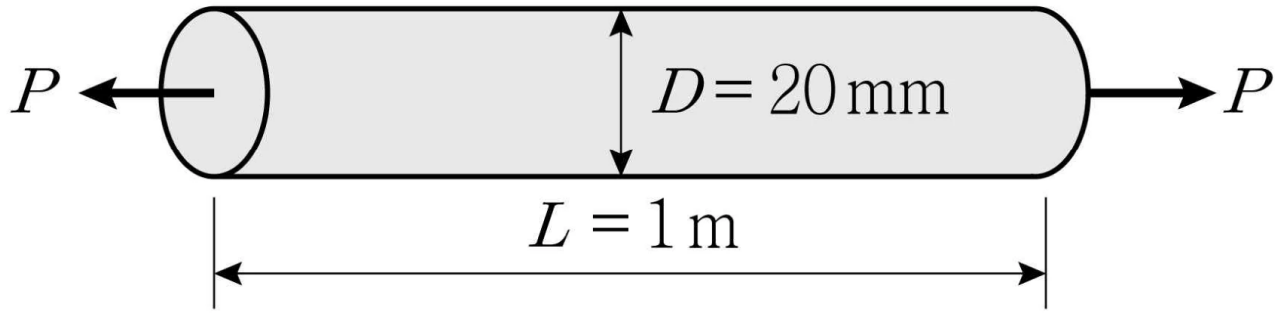
② O: 스칼라양은 **방향 없이 크기만으로 나타내는** 물리량이다. 길이, 면적, 부피, 온도는 방향을 지정할 필요가 없으므로 스칼라양에 해당한다. 길이와 달리, 출발점에서 도착점까지의 위치 변화를 방향과 함께 나타내는 변위는 벡터양이다.

③ X: 마찰력은 두 물체의 접촉면에서 발생하지만, 그 방향이 물체의 운동방향과 같다는 설명은 잘못이다. 마찰력은 **접촉면의 상대운동 또는 상대운동하려는 경향을 방해하는 방향**으로 작용한다. 예를 들어 정지한 바닥 위에서 물체가 오른쪽으로 미끄러지면 물체에 작용하는 동마찰력은 왼쪽을 향한다. 마찰력의 방향을 판단할 때는 물체의 운동방향만이 아니라 접촉면 사이의 상대운동을 기준으로 삼아야 한다.

④ O: 접촉면 사이에 미끄럼이 발생하기 전에는 정지마찰을, 미끄러지는 동안에는 동마찰을 적용한다. **정지마찰계수는 최대 정지마찰력과 수직항력의 비**이고, 동마찰계수는 동마찰력과 수직항력의 비이다. 정지마찰력은 필요한 크기만큼 변하다가 미끄러지기 직전에 최대값에 도달하므로, 정지마찰계수를 실제 정지마찰력의 모든 순간의 비로 이해해서는 안 된다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 직경 $D = 20\text{mm}$, 길이 $L = 1.0\text{m}$인 강봉이 축방향 인장력 P를 받을 때, 축방향 길이는 1.0 mm 늘어나고 단면의 직경은 0.008 mm 줄어들었다. 재료가 탄성 범위에 있을 때, 전단탄성계수 G[GPa]는? (단, 탄성계수 $E = 280\text{GPa}$이다)



① 100

② 115

③ 200

④ 215

정답 1번

간단한 해설

축방향 변형률은 0.001, 지름 방향 변형률은 −0.0004이므로 **포아송비는 0.4**이다. 탄성계수 사이의 관계 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$를 적용하면 전단탄성계수는 100 GPa이다.

NoteBase

계산 과정

1. 축방향 변형률: 그림의 강봉은 양쪽에서 인장력 P를 받아 길이가 늘어난다. 변형률은 **변형량을 원래 치수로 나눈 값**이므로, 길이의 단위를 먼저 1.0 m = 1,000 mm로 맞춘다. 축방향 변형률은 $\varepsilon_x = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1.0}{1{,}000} = 0.001$ 이다.

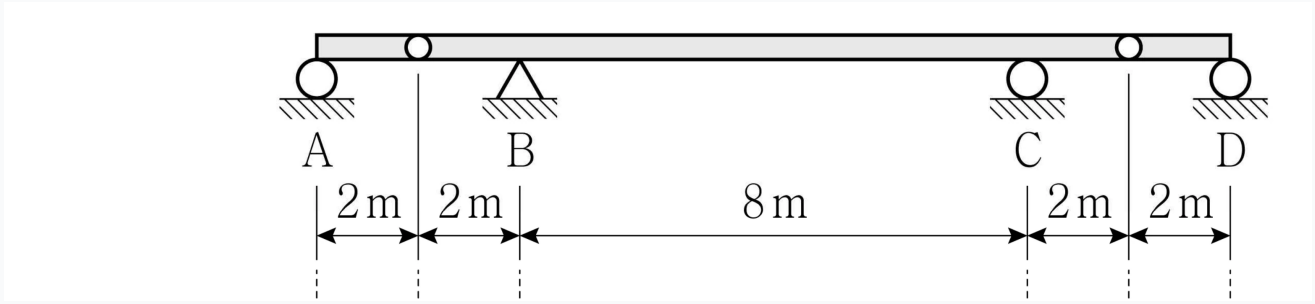
2. 지름 방향 변형률: 원래 지름은 20 mm이고 0.008 mm 줄어들었으므로 지름 변화량은 −0.008 mm이다. 따라서 $\varepsilon_t = \frac{\Delta D}{D} = \frac{-0.008}{20} = -0.0004$이다. 음수는 **인장 방향에 수직인 방향으로 수축**했음을 뜻하며, 두 변형률 모두 단위가 없다.

3. 포아송비: 포아송비 ν는 축방향 변형률에 대한 횡방향 변형률의 비에 음의 부호를 붙인 값이다. 따라서 $\nu = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_x} = -\frac{-0.0004}{0.001} = 0.4$이다. 즉, 횡방향 수축 변형률의 크기가 축방향 인장 변형률의 0.4배이다.

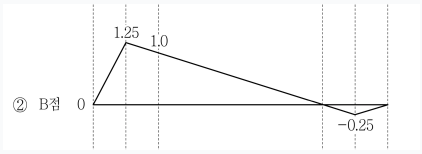
4. 전단탄성계수: 강봉을 **등방성 선형탄성 재료**로 다루면, 축방향 응력과 변형률을 연결하는 탄성계수 E와 전단응력과 전단변형률을 연결하는 전단탄성계수 G 사이에는 $E = 2G(1 + \nu)$가 성립한다. 이를 G에 대해 정리하면 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$이며, $G = \frac{280}{2(1+0.4)} = 100\text{GPa}$이다. 따라서 구한 100 GPa는 ①의 100에 해당한다.

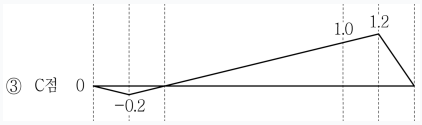
NoteBase

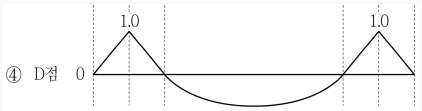
문 15. 그림과 같은 게르버보에서 A ~ D점에 대한 수직반력의 영향선 중 옳은 것은?



① 

② 

③ 

④ 

정답 2번

간단한 해설

B점 수직반력은 내부힌지 사이 보의 **C점에 대한 모멘트 평형**으로 구하며, 왼쪽 내부힌지에서는 1.25, 오른쪽 내부힌지에서는 −0.25가 된다. 두 힌지 사이에서는 이 값들을 잇는 직선이므로 B점에서 1, C점에서 0을 지난다.

NoteBase

선지별 해설

수직반력의 영향선은 아래쪽으로 작용하는 단위하중이 보 위를 이동할 때 각 지점의 반력이 어떻게 변하는지 나타낸다. 위쪽 반력을 양(+)으로 두고, 왼쪽 내부힌지를 H, 오른쪽 내부힌지를 K라 하자. 내부힌지는 휨모멘트를 전달하지 않으므로, 하중이 없는 A~H 또는 K~D 구간의 모멘트 평형을 적용하면 그 구간의 끝 지점 반력은 0이다. 따라서 H~K 구간에 하중이 있을 때는 B·C 반력만으로 그 하중을 지지한다.

① X: A점 반력은 **A~H 구간에 하중이 있을 때만** 생긴다. 단위하중이 A에서 a m 떨어진 곳에 있으면 H점에 대한 모멘트 평형에서 $R_A = \frac{2-a}{2}$이다. 따라서 영향선은 A에서 1, H에서 0을 잇는 직선이고, H부터 D까지는 0이다. 그림처럼 C에서 1이 되는 삼각형이 생기지 않는다.

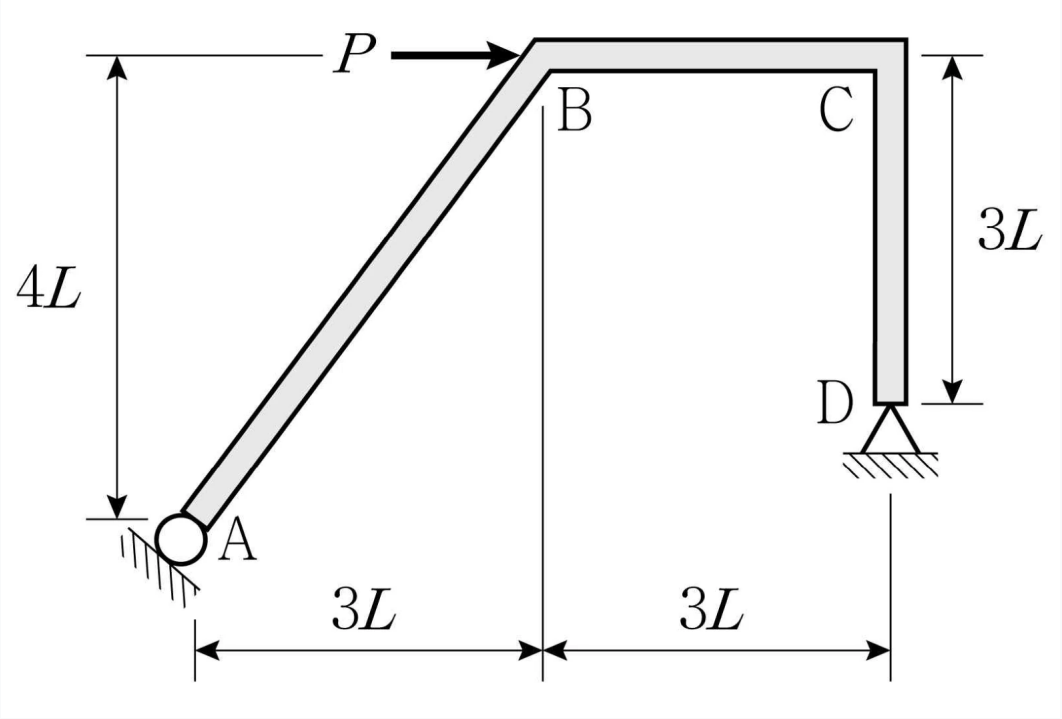
② O: H~K 구간에 단위하중이 있을 때 C점에 대한 모멘트 평형을 적용한다. B~C는 8 m이고 H~C는 10 m이므로, 하중이 H에 있을 때 $R_B = \frac{10}{8} = 1.25$이다. 하중이 K에 있으면 C의 오른쪽 2 m에서 반대 방향의 모멘트를 만들므로 $R_B = -\frac{2}{8} = -0.25$이다. B에서는 1, C에서는 0이며, H~K에서 하중 위치에 따라 직선으로 변한다. A와 D에 하중이 있을 때 B반력은 0이고 바깥 구간도 직선으로 연결되므로, **A의 0 → H의 1.25 → B의 1 → C의 0 → K의 −0.25 → D의 0**인 그림과 일치한다.

③ X: C점 반력은 B점에 대한 모멘트 평형으로 구한다. 하중이 K에 있을 때 B~K가 10 m이므로 $R_C = \frac{10}{8} = 1.25$이다. 따라서 오른쪽 힌지의 표시값 1.2는 **1.25로 고쳐야 한다**. 하중이 H에 있으면 B의 왼쪽 2 m에서 작용하므로 $R_C = -\frac{2}{8} = -0.25$이다. 올바른 영향선은 A의 0, H의 −0.25, B의 0, C의 1, K의 1.25, D의 0을 차례로 직선으로 연결한 모양이다.

④ X: D점 반력은 **K~D 구간에 하중이 있을 때만** 생긴다. 단위하중이 K에서 오른쪽으로 b m 떨어진 곳에 있으면 K점에 대한 모멘트 평형에서 $R_D = \frac{b}{2}$이다. 따라서 A부터 K까지 영향선은 0이고, K의 0에서 D의 1까지 직선으로 증가해야 한다. 그림의 두 삼각형과 B~C의 음의 곡선은 D점 반력의 영향선이 아니다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 B점에 수평력 P가 작용할 때, C점의 휨모멘트는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{11}{7}PL$

② $\frac{12}{7}PL$

③ $\frac{13}{7}PL$

④ $\frac{15}{7}PL$

정답 2번

간단한 해설

C점의 휨모멘트는 **D점 수평반력과 높이 3L의 곱**으로 구한다. D점 수평반력의 크기가 $\frac{4}{7}P$이므로 C점의 휨모멘트 크기는 $\frac{12}{7}PL$이다.

NoteBase

계산 과정

1. A점 반력의 방향: A점은 경사면의 롤러 지점이므로 반력은 **받침면에 수직인 AB 방향**으로 작용한다. AB의 수평거리와 높이가 각각 3L, 4L이므로, 오른쪽과 위쪽을 양으로 정한 반력 성분 사이에는 $A_y = \frac{4}{3}A_x$가 성립한다. B와 C의 높이는 A보다 4L 높고, D는 C보다 3L 낮으므로 D의 높이는 A보다 L 높다.

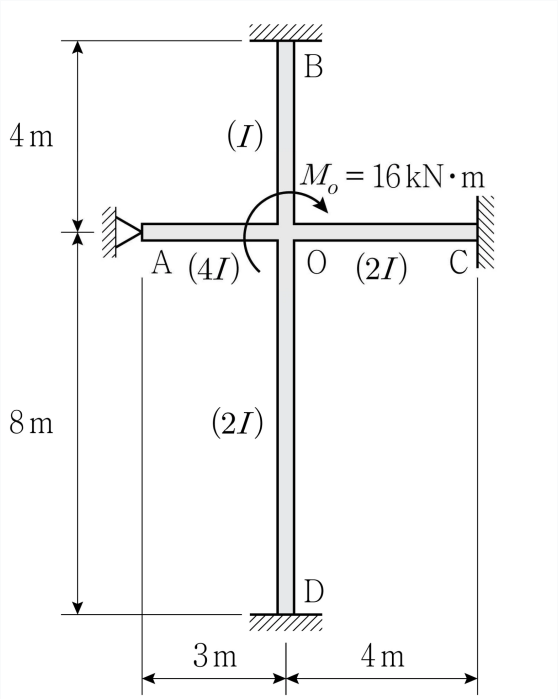
2. 전체 구조물의 모멘트 평형: D점에 대해 반시계방향을 양으로 잡으면 D점 반력은 모멘트 식에서 사라진다. A점까지의 수평거리는 6L, 수직거리는 L이고, 수평력 P의 모멘트 팔길이는 3L이다. 따라서 $LA_x - 6LA_y - 3LP = 0$이다. 반력 성분의 관계를 대입하고 L로 나누면 $A_x - 8A_x - 3P = 0$이므로 $A_x = -\frac{3}{7}P$, $A_y = -\frac{4}{7}P$이다. 음수는 각각 왼쪽과 아래쪽 방향임을 뜻한다.

3. D점 수평반력: 전체 구조물의 수평방향 힘의 평형은 $A_x + D_x + P = 0$이다. 따라서 $D_x = -P + \frac{3}{7}P = -\frac{4}{7}P$로, D점에는 크기가 $\frac{4}{7}P$인 왼쪽 방향의 수평반력이 작용한다.

4. C점 휨모멘트: C점에서 절단하여 CD 부분만 보면, D점의 수직반력은 그 작용선이 C점을 지나므로 C점에 대한 모멘트가 없다. **수평반력의 모멘트 팔길이는 CD의 높이 3L**이므로 $|M_C| = |D_x| \cdot 3L = \frac{12}{7}PL$이다. 휨모멘트의 단위는 힘×길이이며, 이 값은 ②와 일치한다.

NoteBase

문 17. 그림과 같은 구조물의 절점 O점에서 모멘트 16 kN·m가 작용할 때, D점의 모멘트 M_{DO}의 크기[kN·m]는? (단, 탄성계수 E는 일정하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① 1.0

② 2.0

③ 4.0

④ 8.0

정답 1번

간단한 해설

O의 모멘트는 각 부재의 **회전강성에 비례하여 분배**된다. OD가 부담하는 모멘트는 2 kN·m이며, 고정단 D에는 그 절반이 전달되므로 M_{DO}의 크기는 **1.0 kN·m**이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 A는 힌지이고 B·C·D는 고정단이다. OA·OB·OC·OD의 길이는 각각 3 m, 4 m, 4 m, 8 m이고, 단면2차모멘트는 각각 4I, I, 2I, 2I이다. E는 일정하고 자중에 의한 부재하중은 없다. 부재의 축방향 변형을 무시하는 통상적인 휨해석으로 O의 회전만 고려한다.

회전강성 K는 부재 끝을 단위각만큼 회전시키는 데 필요한 모멘트이다. 부재의 단면2차모멘트를 I_b, 길이를 L이라 하면, **반대쪽 끝이 힌지이면** $K = 3EI_b/L$, **고정이면** $K = 4EI_b/L$을 적용한다. O에서 만나는 부재들은 같은 각도로 회전하므로 각 부재가 부담하는 모멘트는 회전강성에 비례한다.

OA는 반대쪽 A가 힌지이므로 $K_{OA} = \frac{3E(4I)}{3\text{m}} = \frac{4EI}{\text{m}}$이다. A에서는 모멘트가 발생하지 않지만, OA가 O의 모멘트를 부담하지 않는다는 뜻은 아니다.

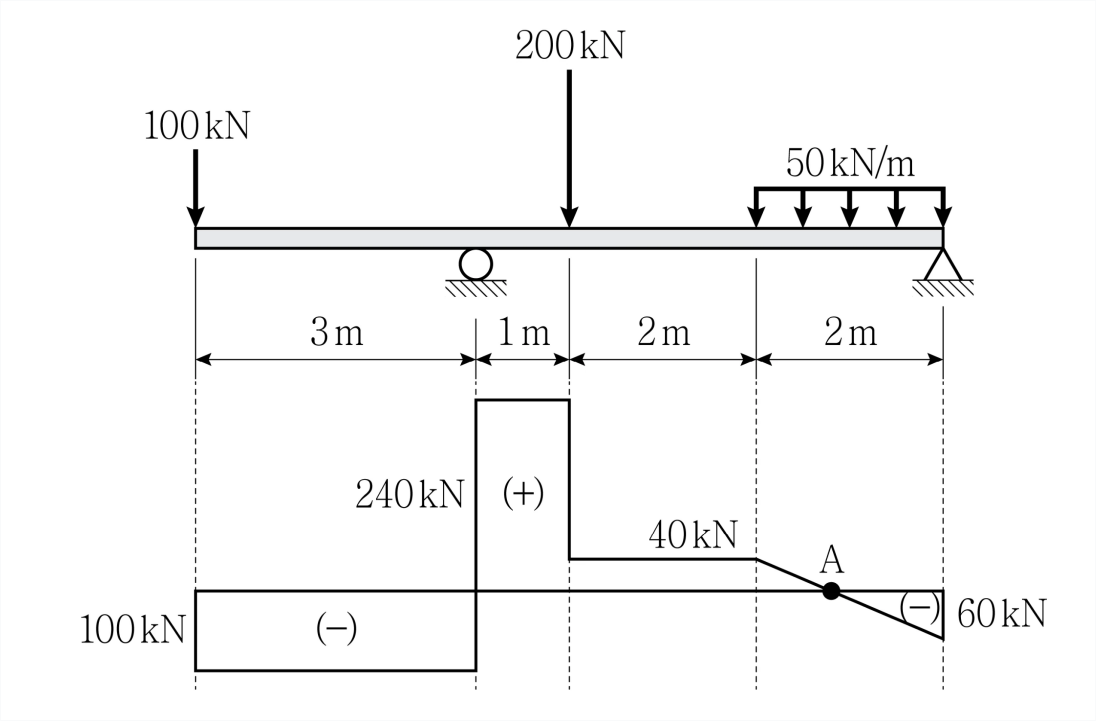
OB·OC·OD는 반대쪽 끝이 모두 고정되어 있다. 각 회전강성은 다음과 같다.
$K_{OB} = \frac{4EI}{4\text{m}} = \frac{EI}{\text{m}}$
$K_{OC} = \frac{4E(2I)}{4\text{m}} = \frac{2EI}{\text{m}}$
$K_{OD} = \frac{4E(2I)}{8\text{m}} = \frac{EI}{\text{m}}$

따라서 OA·OB·OC·OD의 회전강성비는 4:1:2:1이다. OD의 분배율은 (1)/(4+1+2+1)=18이므로, O쪽 단부에서 OD가 부담하는 모멘트의 크기는 |M_OD|=16·18=2 kN· m이다.

구하려는 것은 O쪽이 아니라 **D쪽 단부모멘트**이다. 부재하중이 없는 등단면 부재에서 반대쪽 끝이 고정되어 있으면 전달률은 1/2이므로, |M_DO|=12|M_OD|이다. 따라서 |M_DO|=12·2=1.0 kN· m이며, 이는 ①의 1.0에 해당한다.

NoteBase

문 18. 다음 그림은 내민보의 전단력도이다. A점의 휨모멘트의 크기 [kN · m]는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 30

② 36

③ 42

④ 45

정답 2번

간단한 해설

휨모멘트의 변화량은 **전단력도의 부호 있는 면적**이다. 오른쪽 끝의 휨모멘트가 0이므로, A점에서 오른쪽 끝까지의 음의 삼각형 면적을 이용하면 A점의 휨모멘트 크기는 36 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

오른쪽 끝 지점을 B라 하자. 두 단면 사이의 휨모멘트 변화량은 그 구간 전단력도의 부호 있는 면적과 같다. B는 보의 끝에 있는 단순지지점이며 외부 집중모멘트가 없으므로 $M_B = 0$이다.

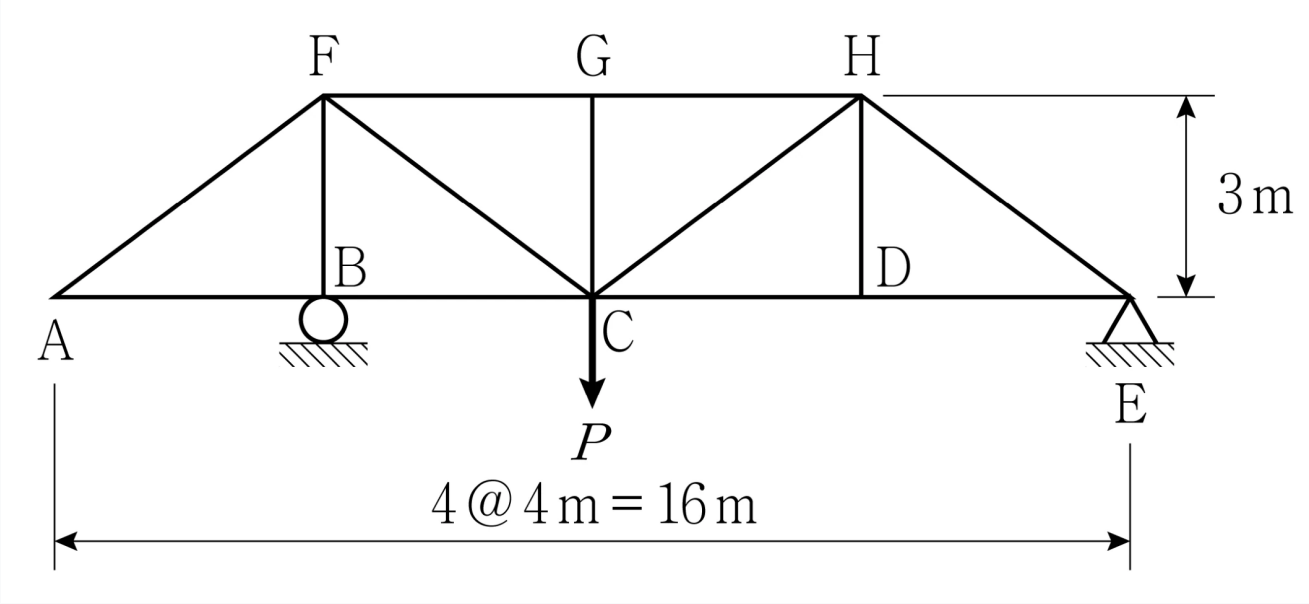
A점의 위치: A는 전단력이 0이 되는 점이다. 오른쪽 2 m 구간에는 50 kN/m의 등분포하중이 작용하므로 전단력이 직선적으로 감소한다. B 직전의 전단력이 −60 kN이므로, A에서 B까지의 거리 ℓ은 $\ell = \frac{60}{50} = 1.2\text{m}$ 이다.

휨모멘트 변화량: A에서 B까지 전단력도는 밑변 1.2 m, 높이 60 kN인 **음의 삼각형**이다. 그 부호 있는 면적은 $-\frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot 60 = -36\text{kN} \cdot \text{m}$이다. 따라서 $M_B - M_A = -36\text{kN} \cdot \text{m}$이고, $M_B = 0$을 대입하면 $M_A = 36\text{kN} \cdot \text{m}$ 이다.

A점의 휨모멘트 크기는 36 kN·m로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 19. 그림과 같은 트러스에서 무응력 부재의 총 개수는? (단, 구조물의 자중은 무시하며, 모든 부재의 축강성 EA는 일정하다)



① 3개

② 4개

③ 5개

④ 6개

정답 3번

간단한 해설

무응력 부재는 축력이 0인 부재이다. A절점에서 AB·AF가 무응력 부재로 결정되고, **B절점의 반력이 수직 방향뿐**이므로 BC도 축력이 0이다. G·D절점에서 CG·DH를 추가하면 총 5개이다.

NoteBase

계산 과정

트러스 부재는 축방향 힘만 전달하며, 무응력 부재는 주어진 하중 상태에서 축력이 0인 부재이다. 자중을 무시하므로 그림에 표시된 하중 P와 지점반력만 고려하여 각 절점의 수평·수직 힘의 평형을 적용한다.

A절점: 외력이나 지점반력이 없고, 수평 부재 AB와 경사 부재 AF만 연결되어 있다. 수직 힘의 평형을 만족하려면 AF의 축력이 0이어야 한다. 이어 수평 힘의 평형에서 AB의 축력도 0이 된다. 따라서 AB·AF의 2개를 얻는다.

B절점: 롤러 지점이므로 **지점반력은 수직 방향**이고, BF도 수직 부재이다. AB의 축력이 이미 0이므로 수평 방향에는 BC의 축력만 남는다. 수평 힘의 평형에 따라 BC의 축력도 0이다. 여기서 1개가 추가된다.

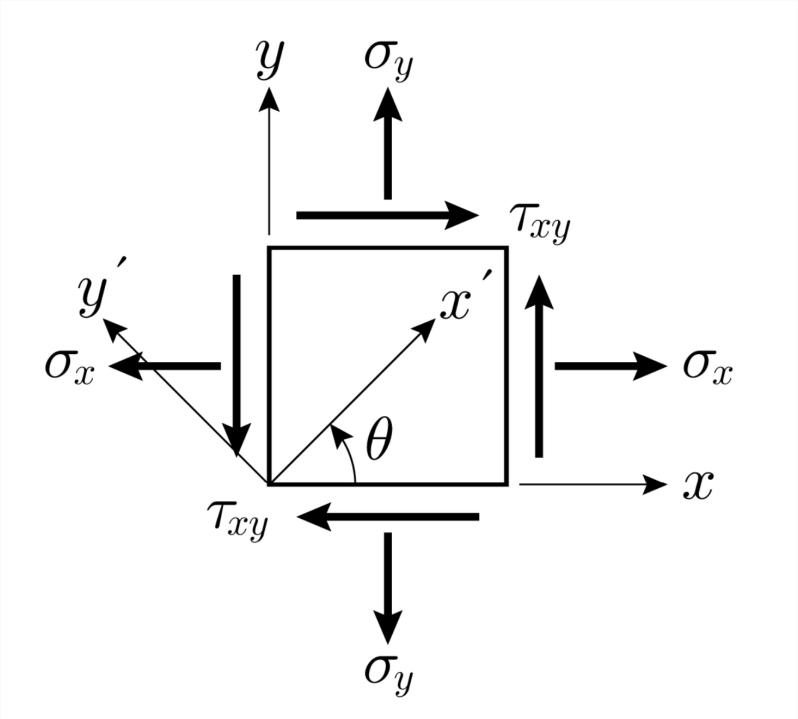
G절점: 외력이 없고 FG·GH가 수평의 한 직선 위에 놓여 있다. 이 두 부재는 수직 힘을 전달할 수 없으므로, 수직 힘의 평형에서 CG의 축력이 0이 된다. 여기서 1개가 추가된다. FG·GH는 서로의 수평 힘을 평형시킬 수 있으므로 **CG와 함께 무응력으로 판단하지 않는다**.

D절점: 외력이나 지점반력이 없고 CD·DE가 수평의 한 직선 위에 놓여 있다. 수직 방향의 힘은 DH의 축력뿐이므로 DH의 축력이 0이다. 여기서 1개가 추가된다.

무응력 부재는 AB·AF·BC·CG·DH이고, 총 개수는 2 + 1 + 1 + 1 = 5개이다. 이는 ③의 5개에 해당한다.

NoteBase

문 20. 그림과 같은 평면응력 상태에서 σ_x = 40 MPa, σ_y = −20 MPa, τ_{xy} = 30 MPa일 때, 최대 주응력의 방향(θ)은?



① 22.5°

② 30°

③ 42.5°

④ 60°

정답 1번

간단한 해설

주응력 방향에서는 **전단응력이 0**이므로 $\tan 2\theta = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = 1$이다. 두 주응력 방향 중 최대 주응력은 x축에서 반시계방향으로 22.5° 회전한 방향에 작용한다.

NoteBase

계산 과정

그림의 θ는 x축에서 $x\prime$축까지 반시계방향으로 잰 각이다. 주어진 응력은 $\sigma_x = 40$ MPa, $\sigma_y = -20$ MPa, $\tau_{xy} = 30$ MPa이다. σ_y의 음수는 압축응력을 뜻하므로 계산에 **−20 MPa를 그대로 대입**한다.

주응력은 전단응력이 0인 면에 수직으로 작용하는 응력이다. 평면응력 변환식에서 전단응력을 0으로 두면 $\tan 2\theta = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$를 얻는다. 주어진 값을 대입하면 $\tan 2\theta = \frac{2 \cdot 30}{40 - (-20)} = 1$이다. 분모의 60 MPa는 두 수직응력의 차이이며, 분자와 분모의 응력 단위는 약분된다.

따라서 $2\theta = 45^\circ + 180^\circ n$이고, $\theta = 22.5^\circ + 90^\circ n$이다. 여기서 n은 정수이며, 서로 직교하는 두 주응력 방향은 22.5°와 112.5°이다. 응력 변환식에 들어가는 각은 **실제 회전각의 두 배**이므로 45°를 다시 2로 나누어야 한다.

최대 주응력 방향인지 확인하기 위해 회전 후 수직응력을 구한다. 이 문제의 응력 변환식은 $\sigma_{x\prime} = 10 + 30\cos 2\theta + 30\sin 2\theta$이며, 응력 단위는 MPa이다. 10 MPa는 두 수직응력의 평균이고 30 MPa는 그 차이의 절반이다. 22.5°를 대입하면 $\sigma_{x\prime} = 10 + 30\sqrt{2} \approx 52.4$ MPa이고, 직교하는 112.5°에서는 $10 - 30\sqrt{2} \approx -32.4$ MPa이다. 따라서 더 큰 주응력이 작용하는 방향은 22.5°로, ①의 값과 일치한다.

NoteBase