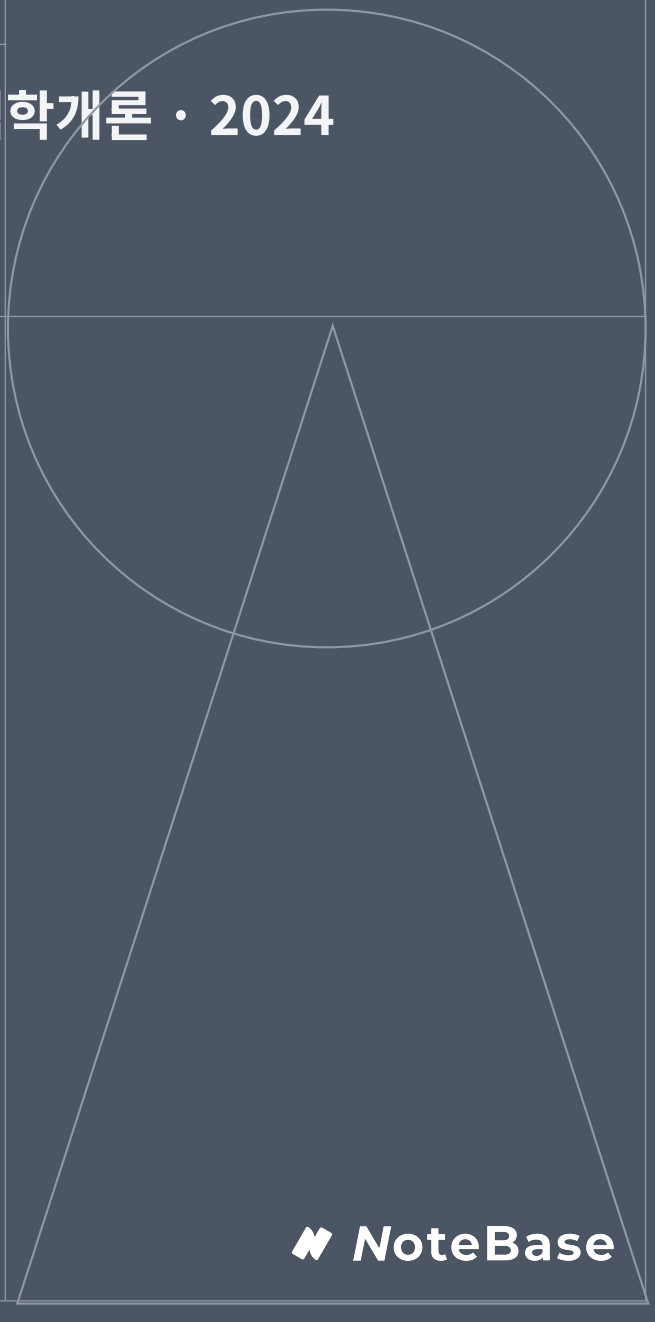
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2024



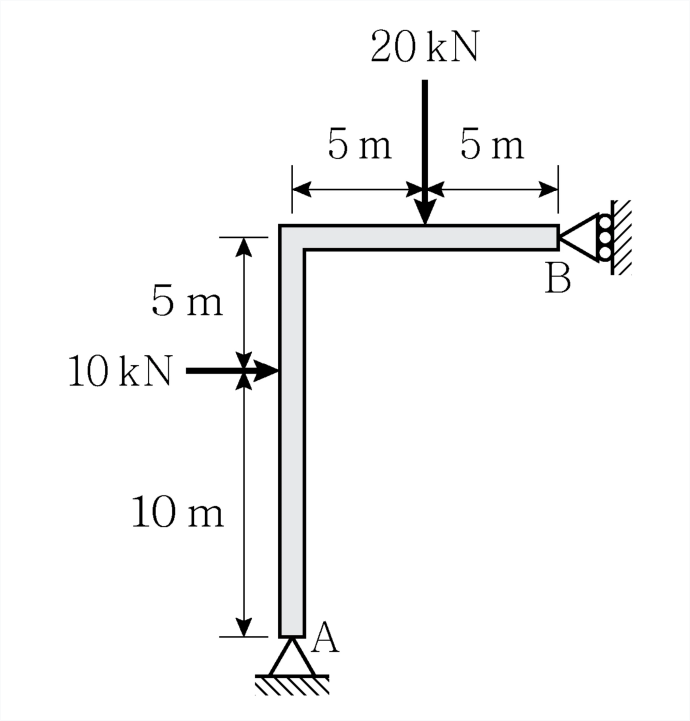
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2024

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2024

문 1. 그림과 같은 구조물에서 지점 B의 수평반력[kN]의 크기와 방향은? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{40}{3}$ (←)
② $\frac{10}{3}$ (←)
③ $\frac{40}{3}$ (→)
④ $\frac{10}{3}$ (→)

정답 1번

간단한 해설

A점에 대한 두 외력의 시계방향 모멘트 합은 200 kN·m이다. 이를 B점의 **왼쪽 수평반력**이 높이 15 m에서 만드는 반시계방향 모멘트로 상쇄하므로, 반력의 크기는 $\frac{40}{3}$kN이다.

NoteBase

계산 과정

지점과 거리: A는 힌지 지점이고 B는 수직 벽면의 롤러 지점이므로, B의 반력은 수평방향으로 작용한다. 구조물의 자중은 무시한다. A에서 B까지의 높이는 10 + 5 = 15 m이고, 20 kN 하중의 작용선은 A에서 수평으로 5 m 떨어져 있다.

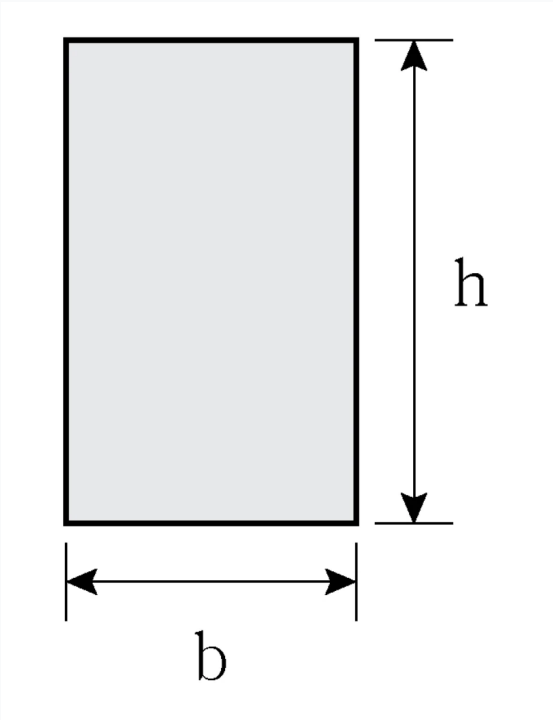
A점에 대한 외력의 모멘트: 모멘트의 크기는 힘과 **기준점에서 힘의 작용선까지의 수직거리**를 곱한 값이다. 오른쪽으로 작용하는 10 kN 하중은 A보다 10 m 위에 있으므로 시계방향으로 $10 \times 10 = 100$ kN·m의 모멘트를 만든다. 아래로 작용하는 20 kN 하중도 시계방향으로 $20 \times 5 = 100$ kN·m의 모멘트를 만든다. 두 모멘트의 합은 200 kN·m이다.

모멘트 평형: A의 반력은 A를 지나므로 A점에 대한 모멘트가 0이다. 따라서 **A점을 기준으로 모멘트 평형**을 세우면 A의 반력을 구하지 않고 B의 수평반력을 계산할 수 있다. B의 수평반력을 왼쪽 방향으로 가정하여 그 크기를 H_B라 두면, 이 반력은 반시계방향 모멘트를 만든다. 반시계방향을 양(+)으로 잡으면 $\sum M_A = 15H_B - 100 - 100 = 0$이다. 따라서 $H_B = \frac{200}{15} = \frac{40}{3}$kN이다.

크기와 방향: 계산값이 양수이므로 처음 가정한 왼쪽 방향이 실제 반력의 방향이다. B의 수평반력은 $\frac{40}{3}$kN (←)이며, ①의 크기와 방향에 해당한다.

NoteBase

문 2. 그림과 같은 탄성-완전소성 재료로 만들어진 보 단면의 형상계수(shape factor)는?



① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 3번

간단한 해설

직사각형 단면은 처음 항복할 때 응력이 삼각형으로 분포하고, 완전소성 상태에서는 각 반쪽에 항복응력이 일정하게 분포한다. 형상계수는 **최초 항복모멘트에 대한 전소성모멘트의 비**이며, 이 단면에서는 $f = \frac{M_p}{M_y} = 1.5$ 이다.

NoteBase

계산 과정

형상계수의 의미: 그림은 폭 b, 높이 h인 직사각형 단면이다. 재료의 항복응력을 σ_y, 최초 항복모멘트를 M_y, 전소성모멘트를 M_p라 하면, 형상계수는 $f = \frac{M_p}{M_y}$이다. 탄성-완전소성 재료는 항복한 뒤에도 응력이 항복응력으로 유지되므로, 가장 바깥 섬유가 항복한 뒤에도 내부가 차례로 항복하면서 휨모멘트를 더 부담할 수 있다.

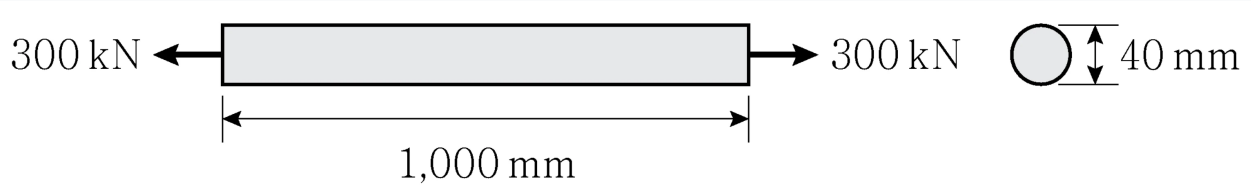
최초 항복모멘트: 높이 방향으로 휨응력이 변할 때 중립축은 단면 중앙을 지나고, 최외단까지의 거리는 $c = \frac{h}{2}$이다. 탄성 상태의 응력은 중립축에서 0이고 최외단에서 가장 크므로, **최외단 응력이 항복응력에 도달할 때** 처음 항복한다. 단면2차모멘트는 $I = \frac{bh^3}{12}$, 탄성단면계수는 $Z_e = \frac{I}{c} = \frac{bh^2}{6}$이다. 따라서 $M_y = \sigma_y Z_e = \frac{\sigma_y bh^2}{6}$이다.

전소성모멘트: 단면 전체가 항복하면 위아래 반쪽은 각각 압축과 인장을 받으며, **각 반쪽의 응력 크기는 항복응력으로 일정**하다. 각 반쪽의 합력은 $F = \frac{\sigma_y bh}{2}$이고, 그 작용점은 각 반쪽의 도심이므로 중립축에서 $\frac{h}{4}$만큼 떨어진다. 두 합력 사이 거리가 $\frac{h}{2}$이므로 전소성모멘트는 $M_p = F \cdot \frac{h}{2} = \frac{\sigma_y bh^2}{4}$이다.

형상계수 계산: $f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{\sigma_y bh^2/4}{\sigma_y bh^2/6} = \frac{6}{4} = 1.5$이다. 두 모멘트의 비이므로 단위가 없고, 폭·높이와 항복응력은 약분된다. 계산값 1.5는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 3. 그림과 같이 원형단면을 가지는 부재에 중심축하중 300 kN이 작용하여 길이가 5 mm 늘어났을 때, 부재의 전단탄성계수[GPa]는? (단, π는 3으로 가정하고, 포아송비는 0.25이다)



① 10

② 20

③ 30

④ 40

정답 2번

간단한 해설

축방향 늘어남으로 구한 **탄성계수 E는 50 GPa**이다. 포아송비가 0.25이므로 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$를 적용하면 **전단탄성계수는 20 GPa**이다.

계산 과정

단면적: 그림의 40 mm는 원형단면의 **지름**이다. 지름을 d, 단면적을 A라 하면 $A = \frac{\pi d^2}{4}$이므로, π = 3을 적용하여 $A = \frac{3 \times 40^2}{4} = 1200\text{mm}^2$이다.

축방향 탄성계수: 부재의 길이 L은 1000 mm, 늘어난 길이 ΔL은 5 mm이다. 양 끝의 하중은 부재를 서로 반대 방향으로 당기는 힘이므로 **내부 축력 P는 300 kN**이며, 두 힘을 더하지 않는다. 균일한 단면의 부재가 선형 탄성 거동을 할 때 응력은 $\sigma = \frac{P}{A}$, 변형률은 $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$이다. 따라서 탄성계수는 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{PL}{A\Delta L}$이다. 하중을 300000 N으로 환산하여 대입하면 $E = \frac{300000 \times 1000}{1200 \times 5}$이므로 50000 N/mm^{2}이다. 1 N/mm^2 = 1 MPa이므로 E는 50 GPa이다.

전단탄성계수: 등방성 선형 탄성체에서는 탄성계수 E, 전단탄성계수 G, 포아송비 ν 사이에 $E = 2G(1+\nu)$가 성립한다. **축방향 탄성계수를 전단탄성계수로 바꾸기 위해** 이 관계를 사용한다. $\nu = 0.25$를 대입하면 $G = \frac{50}{2(1+0.25)} = 20\text{GPa}$이다. 이는 ②의 20 GPa에 해당한다.

NoteBase

문 4. 휨을 받는 보의 단면계수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 원형단면에서 반지름이 2배가 되면 단면계수는 8배가 된다.

② 직사각형단면의 폭을 2배로 증가시키면 단면계수도 2배로 증가한다.

③ 직사각형단면의 항복모멘트는 단면계수에 항복응력을 곱하여 구한다.

④ 면적이 같고 높이의 비가 1:2인 두 직사각형 단면의 단면계수비는 1:4이다.

정답 4번

간단한 해설

면적이 같은 직사각형은 단면계수가 $Z = \frac{Ah}{6}$이므로 **높이에 비례**한다. 높이의 비가 1:2이면 단면계수비도 **1:2**이므로, ④의 '1:4'는 잘못된 설명이다.

선지별 해설

단면계수는 $Z = \frac{I}{c}$이다. 여기서 I는 중립축에 대한 단면2차모멘트, c는 중립축에서 가장 먼 가장자리까지의 거리이다. 직사각형의 폭 b는 중립축에 평행한 치수, 높이 h는 중립축에 수직인 치수로 둔다.

① O: 반지름 r인 원형단면은 $I = \frac{\pi r^4}{4}$, c = r이므로 $Z = \frac{\pi r^3}{4}$이다. 단면계수는 **반지름의 세제곱에 비례**하므로 반지름이 2배가 되면 $2^3 = 8$배가 된다.

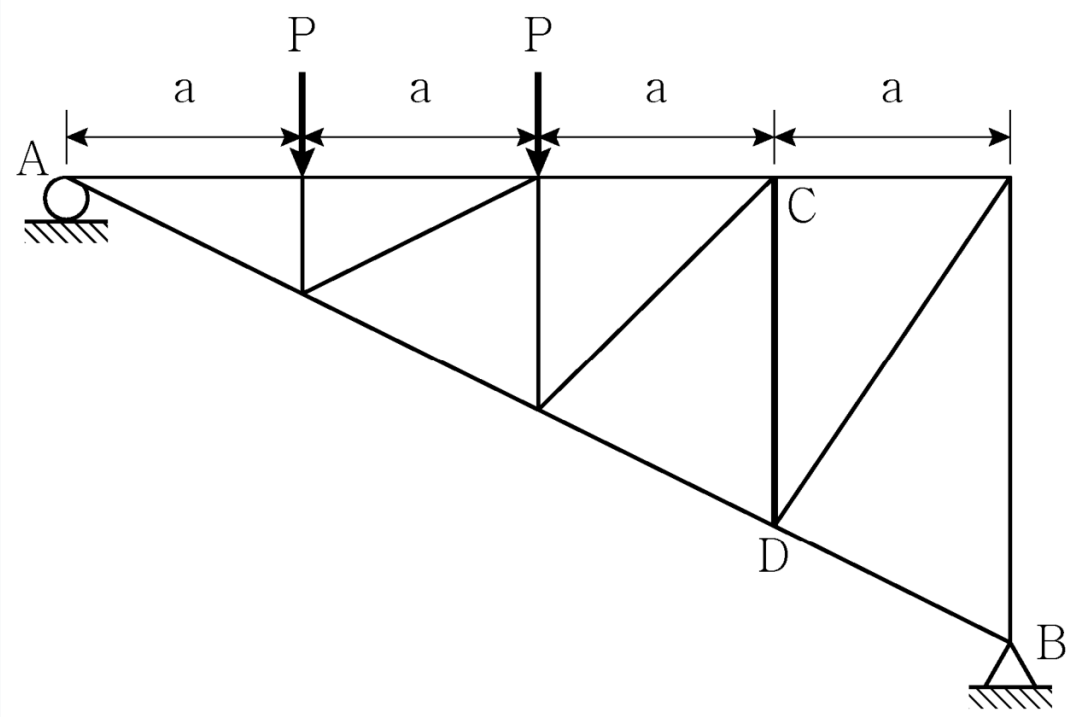
② O: 직사각형단면은 $I = \frac{bh^3}{12}$, $c = \frac{h}{2}$이므로 $Z = \frac{bh^2}{6}$이다. **높이를 일정하게 두고 폭만 2배**로 늘리면 단면계수도 2배가 된다.

③ O: 탄성 휨에서 최대 휨응력은 $\sigma_{\max} = \frac{M}{Z}$이다. 가장자리의 응력이 **항복응력에 처음 도달**할 때의 모멘트가 항복모멘트이므로, 항복응력을 σ_y라 하면 $M_y = \sigma_y Z$이다.

④ X: 직사각형의 면적은 A = bh이므로 단면계수는 $Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{Ah}{6}$이다. **면적이 같으면 높이에 비례**하므로 높이의 비가 1:2일 때 단면계수비는 1:2이다. 높이가 2배가 되면 폭은 1/2로 줄어들므로, 높이의 제곱만 고려하여 1:4로 계산할 수 없다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 트러스의 수직부재 CD의 부재력은? (단, 부재의 자중은 무시한다)



① P(인장력)

② P(압축력)

③ 2P(인장력)

④ 2P(압축력)

정답 2번

간단한 해설

C에 연결된 대각부재가 C를 아래로 당기는 힘의 수직성분은 P이다. 이를 평형시키려면 CD가 C를 위로 밀어야 하므로, CD에는 **크기 P의 압축력**이 작용한다.

NoteBase

계산 과정

절단면 설정: 자중을 무시한 이상적인 트러스에서 부재력은 부재의 축을 따라 작용한다. 두 번째 하중 P 바로 아래의 하단 절점을 E라고 두고, C 바로 왼쪽의 수평부재와 대각부재 EC, 하단부재 ED를 절단하여 왼쪽 부분을 살펴본다. 절단한 수평부재의 작용선과 ED의 연장선은 모두 A를 지나며, A의 반력도 A에 작용한다. 따라서 이 힘들은 **A점에 대한 모멘트가 0**이다.

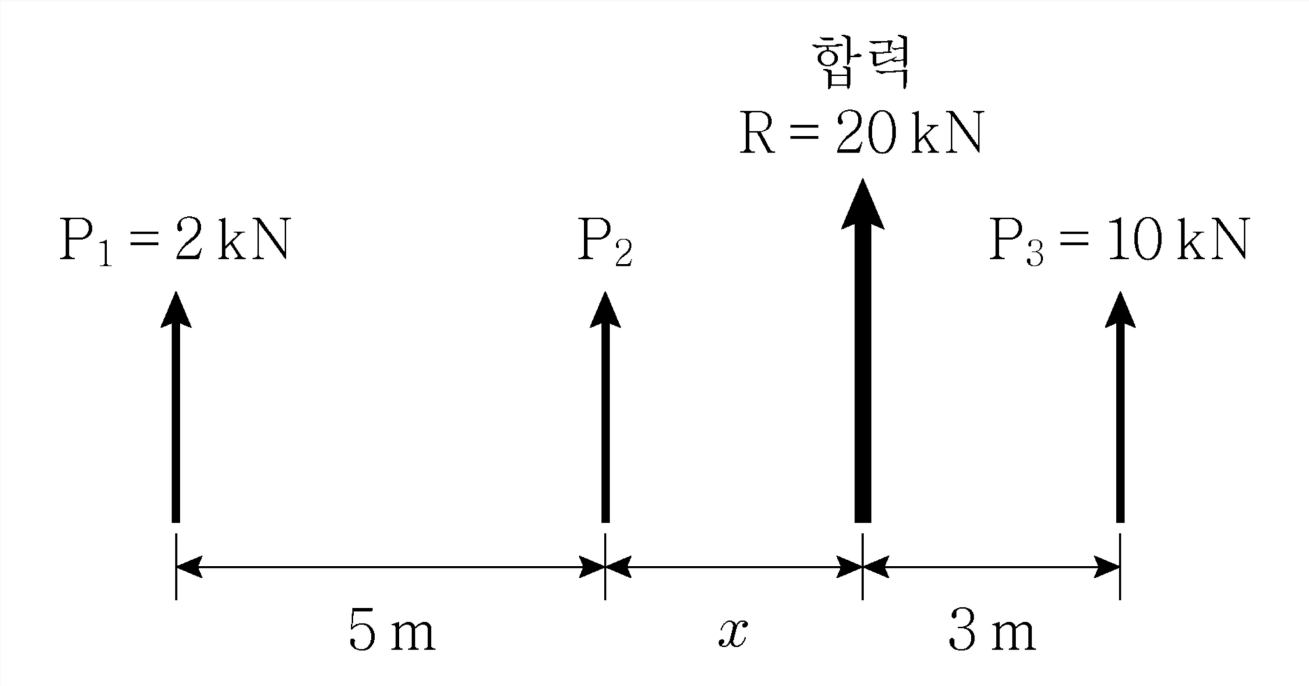
대각부재 EC의 수직성분: EC가 왼쪽 부분에 가하는 힘의 위쪽 수직성분을 V라고 한다. 이 힘을 같은 작용선 위의 C로 옮겨 생각해도 모멘트는 같다. C는 A와 같은 높이에 있고 A에서 수평거리 3a만큼 떨어져 있으므로, 수평성분의 모멘트는 0이고 수직성분의 모멘트는 3aV이다. 두 하중의 A로부터의 거리는 각각 a, 2a이다. 반시계방향을 양으로 잡아 모멘트 평형을 적용하면 $3aV - Pa - 2Pa = 0$이므로 $V = \frac{3Pa}{3a} = P$이다.

절점 C의 평형: EC는 왼쪽 부분을 위쪽으로 당기므로, 반대쪽 끝인 C에는 아래쪽 수직성분 P를 가한다. C에 연결된 두 수평부재에는 수직성분이 없고 C에는 외부하중도 없다. 따라서 **CD가 C에 가하는 힘은 위쪽 P**여야 한다. CD의 부재력을 인장일 때 양인 N_{CD}로 두면, 인장력은 C에서 아래쪽을 향하므로 $-P - N_{CD} = 0$, 즉 $N_{CD} = -P$이다. 음의 부호는 가정한 인장 방향과 반대인 압축을 뜻한다.

CD의 부재력은 크기가 P인 압축력으로, ②의 P(압축력)에 해당한다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 하중 P_1, P_2, P_3의 합력 R이 20 kN인 평면력계에서 x [m]는?



① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 1번

간단한 해설

합력은 원래 세 힘과 **같은 점에 대한 모멘트가 같아야** 한다. P_2의 작용점을 기준으로 모멘트를 계산하면, 합력의 위치를 나타내는 거리는 x = 2 m이다.

NoteBase

계산 과정

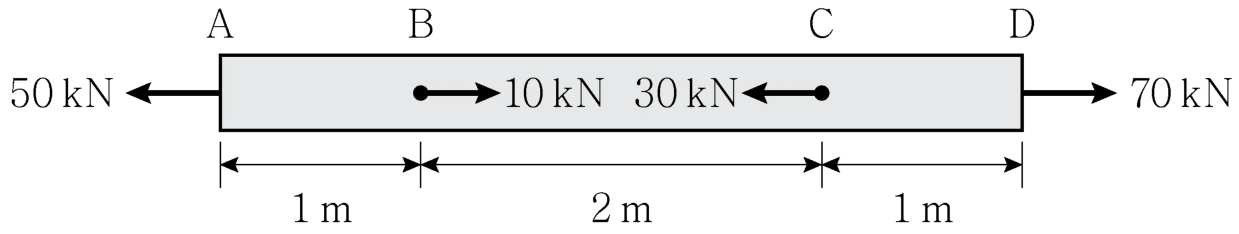
1. 기준점과 거리: 합력은 세 힘을 하나의 힘으로 대체한 것이므로, 어느 점에 대해서도 원래 힘들의 모멘트 합과 합력의 모멘트가 같다. 모멘트는 힘과 그 작용선까지의 수직거리의 곱이다. P_2**의 작용점을 기준**으로 잡으면 P_2의 모멘트는 0이어서 그 크기를 구할 필요가 없다. 그림에서 이 기준점으로부터 P_1은 왼쪽 5 m, 합력 R은 오른쪽 x m, P_3은 오른쪽 $(x+3)$ m에 있다.

2. 모멘트 식: 반시계방향을 양으로 정한다. 위쪽으로 작용하는 P_1은 기준점 왼쪽에 있으므로 시계방향, P_3과 합력 R은 오른쪽에 있으므로 반시계방향 모멘트를 만든다. 힘을 kN, 거리를 m로 넣으면 모멘트의 단위는 kN·m이며, 다음 관계가 성립한다.
$20x = -2 \cdot 5 + 10(x+3)$

3. 거리 계산: 우변을 정리하면 $20x = 10x + 20$, 따라서 $10x = 20$이다. 구하는 거리는 x = 2 m이며, ①의 2에 해당한다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 중심축하중이 작용하는 원형 강봉 AD의 총 변형량 [mm]은? (단, 단면적 A = 200 mm^2, 탄성계수 E = 200 GPa이며, 강봉의 자중은 무시한다)



① 2

② 5

③ 7

④ 12

정답 2번

간단한 해설

강봉의 변형은 각 구간의 **축력과 길이의 곱**에 비례한다. AB·BC·CD의 인장축력은 각각 50·40·70 kN이므로 구간별 신장량을 합하면 **총 5 mm 늘어난다**.

NoteBase

계산 과정

변형식과 단위: 중심축하중을 받는 봉의 탄성 범위에서 축응력은 $\sigma = N/A$, 축변형률은 $\varepsilon = \sigma/E$이다. 따라서 축력 N과 단면적 A가 일정한 길이 L의 구간은 $\delta = \varepsilon L = \frac{NL}{AE}$만큼 변형된다. 인장은 양수, 압축은 음수로 두고 각 구간의 변형량을 더한다. 주어진 A = 200 mm^2, E = 200 GPa = 200 kN/mm^2를 쓰면 AE = 40,000 kN이다. 그림의 AB · BC · CD 길이는 각각 1,000 · 2,000 · 1,000 mm이고 자중은 무시한다.

AB 구간: 구간 내부를 절단하여 왼쪽 부분의 평형을 보면, A의 왼쪽 방향 하중 50 kN과 균형을 이루도록 절단면에는 오른쪽으로 50 kN이 작용한다. 따라서 AB의 축력은 50 kN의 인장력이다. 신장량은 $\delta_{AB} = \frac{50 \cdot 1000}{40000} = 1.25$ mm이다.

BC 구간: 절단면 왼쪽에는 A에서 왼쪽으로 50 kN, B에서 오른쪽으로 10 kN이 작용한다. 이 합력은 왼쪽으로 40 kN이므로 BC의 인장축력은 50 − 10 = 40 kN이다. B에서 오른쪽으로 작용하는 10 kN 때문에 **BC의 인장축력은 AB보다 10 kN 작다**. 신장량은 $\delta_{BC} = \frac{40 \cdot 2000}{40000} = 2$ mm이다.

CD 구간: 절단면 왼쪽 외력의 합은 왼쪽으로 50 − 10 + 30 = 70 kN이다. 따라서 CD의 인장축력은 70 kN이며, 오른쪽 부분만 보아도 D의 오른쪽 방향 하중 70 kN과 평형을 이룬다. 신장량은 $\delta_{CD} = \frac{70 \cdot 1000}{40000} = 1.75$ mm이다.

총 변형량: **세 구간이 모두 인장 상태**이므로 신장량을 모두 양수로 더한다. $\delta_{AD} = \delta_{AB} + \delta_{BC} + \delta_{CD}$이므로 총 변형량은 1.25 + 2 + 1.75 = 5 mm이다. 이는 선택지 ②의 5 mm에 해당한다.

NoteBase

문 8. 길이가 500 mm, 지름이 50 mm인 강봉 양단에 축하중이 작용하여 길이가 0.1 mm, 지름이 0.001 mm 변형되었을 때 강봉부재의 포아송비는?

① 0.1

② 0.2

③ 0.3

④ 0.4

정답 1번

간단한 해설

포아송비는 변형량 자체의 비가 아니라 **가로변형률 크기를 세로변형률 크기로 나눈 값**이다. 지름과 길이의 변형률 크기가 각각 0.00002와 0.0002이므로 포아송비는 0.1이다.

계산 과정

포아송비 ν는 축하중에 의한 세로변형률에 대한 가로변형률의 음의 비이다. 강봉은 축방향으로 늘어나면 지름이 줄고, 축방향으로 줄어들면 지름이 늘어나므로 두 변형률의 부호가 반대이다. 주어진 변형량을 크기로 사용하면 가로변형률 크기를 세로변형률 크기로 나누어 계산한다.

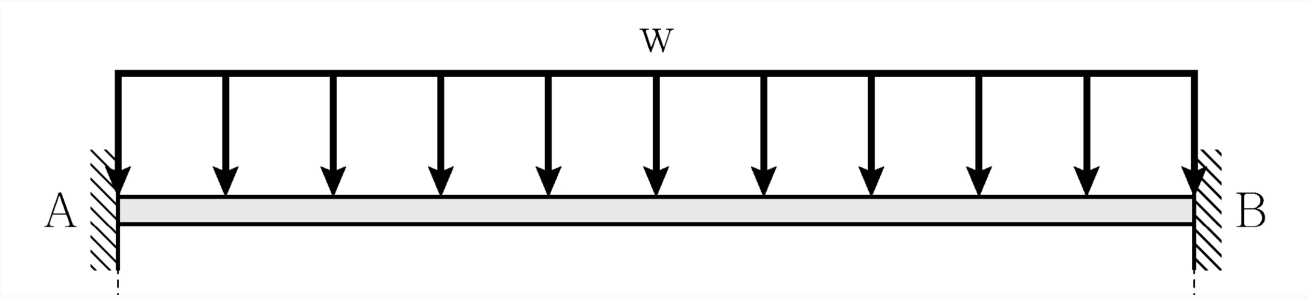
세로변형률: 원래 길이 $L = 500\text{mm}$, 길이 변화량의 크기 $|\Delta L| = 0.1\text{mm}$이다. 변형률은 **변형량을 원래 치수로 나눈 값**이므로 세로변형률의 크기는 $|\varepsilon_L| = \frac{0.1}{500} = 0.0002$이다.

가로변형률: 원래 지름 $d = 50\text{mm}$, 지름 변화량의 크기 $|\Delta d| = 0.001\text{mm}$이다. 지름 방향의 변형률이므로 **원래 지름 50 mm**를 분모로 사용한다. 가로변형률의 크기는 $|\varepsilon_d| = \frac{0.001}{50} = 0.00002$이다.

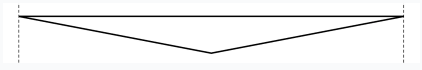
포아송비: $\nu = \frac{|\varepsilon_d|}{|\varepsilon_L|} = \frac{0.00002}{0.0002} = 0.1$이다. 각 변형률에서 길이 단위가 소거되므로 포아송비도 단위가 없는 값이며, ①의 0.1에 해당한다.

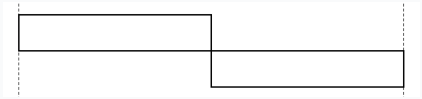
NoteBase

문 9. 다음과 같은 양단 고정보의 정성적 전단력 선도는?



① 

② 

③ 

④ 

정답 4번

간단한 해설

아래 방향의 등분포하중에서는 전단력이 **왼쪽에서 오른쪽으로 일정한 기울기로 감소**한다. 구조와 하중이 좌우 대칭이므로 중앙에서 0이 되고, 왼쪽은 양수·오른쪽은 음수인 직선 선도가 된다.

NoteBase

도식 해설

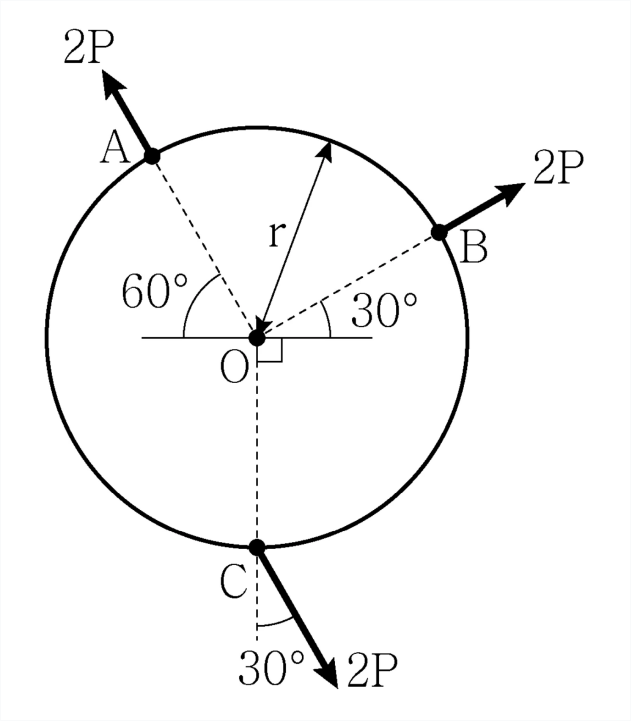
전단력의 변화: 보를 임의의 위치에서 잘라 왼쪽 부분의 수직력 평형을 생각하면, 전단력은 왼쪽 지점의 수직반력에서 절단면까지 작용하는 아래 방향 하중을 뺀 값이다. 그림은 전 구간에 일정한 크기의 등분포하중이 작용하므로, 오른쪽으로 같은 거리만큼 이동할 때 누적 하중이 같은 양만큼 증가한다. 따라서 전단력 선도는 **일정한 기울기로 내려가는 직선**이다.

중앙과 양끝: 구조와 하중이 좌우 대칭이므로 양쪽 수직반력은 같고, 각각 전체 하중의 절반을 부담한다. 왼쪽 고정단 바로 안쪽의 전단력은 양수이며, 중앙까지의 누적 하중이 왼쪽 반력과 같아지는 **중앙에서 전단력이 0**이 된다. 이후에는 음수가 되어 오른쪽 고정단 바로 안쪽에서 왼쪽 끝과 크기가 같고 부호가 반대가 된다. 이처럼 중앙에서 기준선을 통과하며 내려가는 직선이 ④의 선도이다.

다른 선도와의 구별: ①의 곡선은 기울기가 위치에 따라 변하므로 일정한 등분포하중의 전단력 선도와 다르다. ②는 중앙을 지나면서 기울기의 부호가 바뀌지만, 주어진 하중은 전 구간에서 아래 방향이므로 전단력이 계속 감소해야 한다. ③은 구간별로 전단력이 일정하고 중앙에서 급변하는 계단형으로, 중앙에 집중하중이 작용하는 경우의 형태이다. 주어진 등분포하중에서는 **중앙에서 급변하지 않고 연속적으로 감소**한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같은 반경이 r인 강체원판의 세 점 A, B, C에 각각 2P의 힘이 작용하는 평면력계에서 O점에 대한 합 모멘트는? (단, 원판은 O점에 고정되어 있고, 강체원판의 자중은 무시한다)



① $\sqrt{3}Pr$

② 0.5Pr

③ Pr

④ $(2+\sqrt{3})Pr$

정답 3번

간단한 해설

A와 B의 힘은 **작용선이 O점을 지나므로** 모멘트가 0이다. C에서는 수평 성분 P만 회전에 기여하므로 합 모멘트는 반시계방향으로 Pr이다.

NoteBase

계산 과정

O점에 대한 모멘트는 힘의 크기와 O점에서 그 작용선까지의 수직거리를 곱해 구한다. 원주의 한 점에 작용하는 힘을 분해하면, 반경 방향 성분은 모멘트를 만들지 않고 **반경에 수직인 성분**만 모멘트를 만든다. 반시계방향을 양(+)으로 정한다.

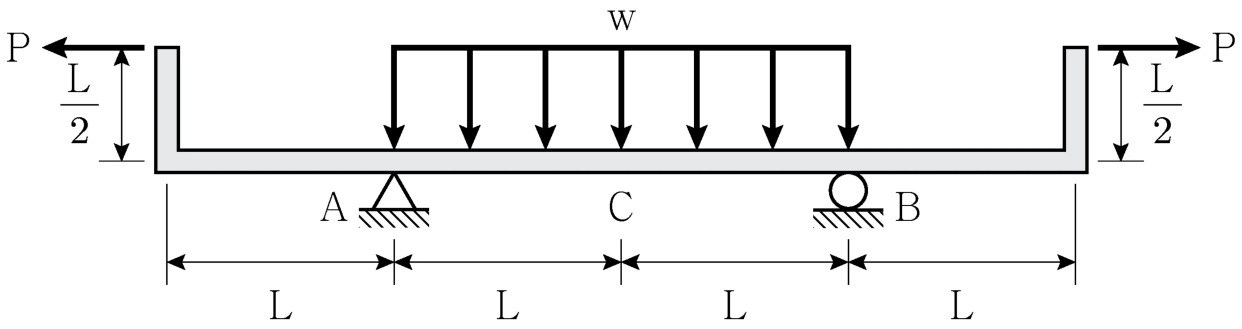
A와 B: 그림에서 두 힘은 각각 OA와 OB의 연장선 방향으로 작용한다. 따라서 두 힘의 **작용선을 연장하면 O점을 지나며**, O점에서 작용선까지의 수직거리는 0이다. 두 힘의 크기가 각각 2P이더라도 $M_A = M_B = 0$이다.

C: 반경 OC는 수직 아래쪽이고, 힘 2P는 그 방향에서 오른쪽으로 30° 기울어져 있다. 수직 성분은 작용선이 O점을 지나므로 모멘트가 0이다. 반경에 수직인 수평 성분은 $F_x = 2P\sin 30^\circ = P$이다. 이 성분은 O점 아래의 C를 오른쪽으로 밀어 **반시계방향** 모멘트를 만들며, 작용선까지의 수직거리는 r이므로 $M_C = Pr$이다.

합 모멘트: 세 힘의 모멘트를 더하면 $M_O = 0 + 0 + Pr = Pr$이다. 따라서 합 모멘트의 크기는 Pr로 ③에 해당하며, 방향은 반시계방향이다. 모멘트의 단위는 힘의 단위와 길이의 단위를 곱한 것이다.

NoteBase

문 11. 그림과 같은 양단 내민보의 중앙 C점에서 휨모멘트가 0이 되기 위한 하중 P의 크기는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{1}{8}wL$

② $\frac{1}{4}wL$

③ $\frac{1}{2}wL$

④ wL

정답 4번

간단한 해설

중앙 C점에서는 등분포하중이 만드는 양의 휨모멘트와, 보 위쪽에서 작용하는 수평하중 P가 만드는 음의 휨모멘트가 **서로 상쇄**되어야 한다. 두 모멘트를 같게 놓으면 필요한 하중은 $P = wL$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 하중과 길이: 그림에서 지점 사이의 길이는 $AB = 2L$, 중앙까지의 거리는 $AC = CB = L$이다. 등분포하중의 강도 w는 단위길이당 힘이며, **A~B 구간에만** 작용하므로 전체 하중은 $2wL$이다. 양 끝의 수평하중 P는 수평보보다 $\frac{L}{2}$ 높은 위치에 작용한다. 보의 자중은 무시한다.

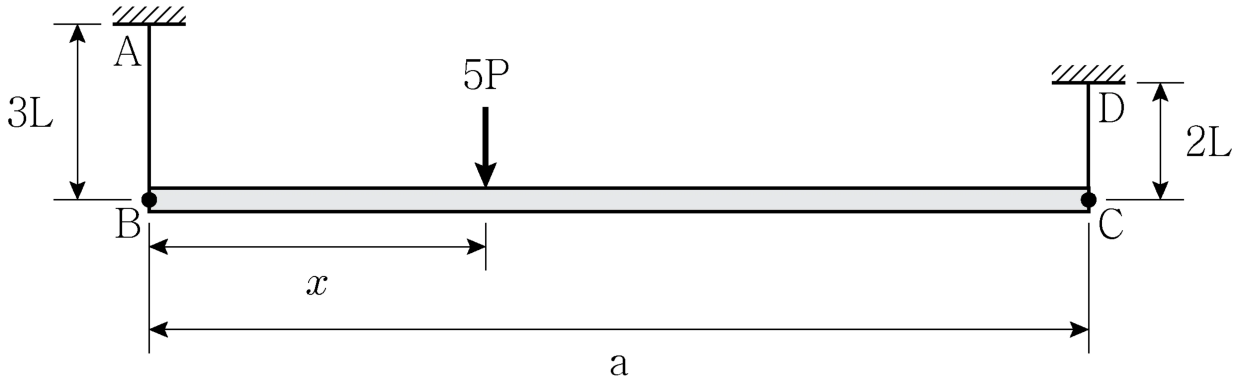
2. 지점반력: 양 끝의 수평하중은 크기가 같고 방향이 반대이며 작용선도 같아, 보 전체에 대한 합력과 합모멘트가 모두 0이다. 등분포하중은 A와 B 사이에 대칭으로 작용하므로 두 지점의 수직반력은 같다. 따라서 $R_A = R_B = \frac{2wL}{2} = wL$이다.

3. C점의 휨모멘트: C에서 절단한 왼쪽 부분을 생각하고, 보의 아랫면이 인장되는 휨모멘트를 양(+)으로 둔다. A점 반력의 C점에 대한 모멘트는 $R_A L$이다. A~C의 등분포하중은 합력 wL로 바꿀 수 있으며, 그 작용점은 구간 중앙이므로 C에서 $\frac{L}{2}$ 떨어져 있다. 왼쪽 끝의 수평하중 P도 C에서 작용선까지의 수직거리가 $\frac{L}{2}$이므로, **수평하중도 휨모멘트에 기여**한다. 따라서 $M_C = R_A L - (wL)\frac{L}{2} - P\frac{L}{2}$이고, 반력을 대입하면 $M_C = \frac{wL^2}{2} - \frac{PL}{2}$이다.

4. 휨모멘트가 0인 조건: $\frac{wL^2}{2} - \frac{PL}{2} = 0$에서 $PL = wL^2$이므로 $P = wL$이다. w는 힘/길이, L은 길이이므로 wL은 힘의 단위를 가지며, 이 값은 ④의 wL에 해당한다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 케이블로 지지된 강체 보 BC에 5P의 집중하중이 작용할 때, 강체 보 BC가 수평을 유지하기 위한 x는? (단, 모든 부재의 자중은 무시하고, 케이블 AB와 케이블 CD의 재료와 단면적은 동일하다)



① 0.4a

② 0.5a

③ 0.6a

④ 0.7a

정답 3번

간단한 해설

강체 보가 수평을 유지하려면 두 케이블의 **늘어난 길이가 같아야** 한다. 길이가 3L인 AB와 2L인 CD의 장력비는 2 : 3이므로, 모멘트 평형에서 하중 위치는 x = 0.6a가 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 수평 유지 조건: 그림에서 케이블 AB의 길이는 3L, CD의 길이는 2L이며, 보 BC의 길이는 a이다. x는 B점에서 집중하중 5P의 작용점까지의 거리이다. 강체 보는 휘어지지 않으므로 수평을 유지하려면 B점과 C점의 하강량이 같아야 한다. 두 케이블의 윗부분은 고정되어 있으므로 이는 **두 케이블의 신장량이 같다는 조건**이다.

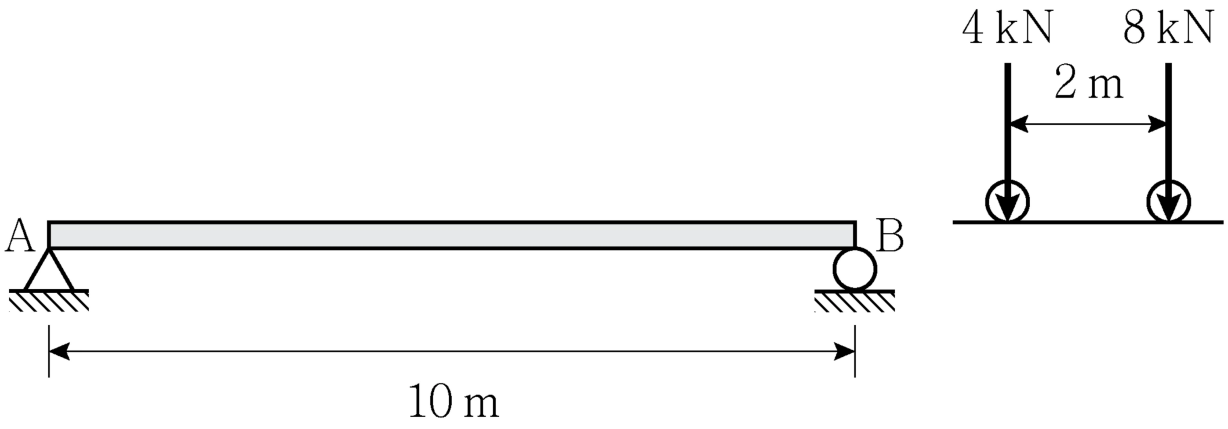
2. 장력비 구하기: AB와 CD의 장력을 각각 T_{AB}, T_{CD}, 공통 탄성계수를 E, 공통 단면적을 S라 하자. 축방향 탄성변형식 $\delta = \frac{T\ell}{ES}$에 따라 신장량은 장력과 케이블 길이의 곱에 비례한다. 따라서 $\frac{T_{AB} \cdot 3L}{ES} = \frac{T_{CD} \cdot 2L}{ES}$이고, $3T_{AB} = 2T_{CD}$에서 장력비는 $T_{AB} : T_{CD} = 2 : 3$이다. 같은 신장량을 만들 때 **짧은 CD에 더 큰 장력**이 작용한다.

3. 수직방향 힘의 평형: 자중을 무시하면 위쪽으로 작용하는 두 장력의 합이 아래쪽 집중하중 5P와 같아야 한다. 따라서 $T_{AB} + T_{CD} = 5P$이며, 장력비 2 : 3을 적용하면 $T_{AB} = 2P$, $T_{CD} = 3P$이다. 이 장력들은 보의 양 끝을 위로 지지하는 힘이다.

4. 하중 위치 구하기: B점을 기준으로 모멘트 평형을 세우면 AB의 장력은 B점을 지나므로 모멘트를 만들지 않는다. CD의 장력은 팔길이 a로 반시계방향 모멘트를, 집중하중 5P는 팔길이 x로 시계방향 모멘트를 만든다. 따라서 $T_{CD} \cdot a = 5P \cdot x$이다. $T_{CD} = 3P$를 대입하면 $x = \frac{3P \cdot a}{5P} = \frac{3}{5}a = 0.6a$이며, 이는 ③의 0.6a와 일치한다.

NoteBase

문 13. 그림과 같이 단순보에 연행하중이 이동할 때, 지점 A에서의 최대 반력 [kN]은? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 10.0

② 10.4

③ 11.2

④ 12.4

정답 2번

간단한 해설

단순보의 A 반력은 하중이 A에 가까울수록 커진다. 그림의 하중 배열에서는 **4 kN을 A에, 8 kN을 A에서 오른쪽 2 m에** 놓을 때 두 하중의 반력 기여분 합이 최대가 되어 10.4 kN이다.

NoteBase

계산 과정

하중과 반력 관계: 보의 경간은 10 m이고, 4 kN 하중의 오른쪽 2 m에 8 kN 하중이 있다. 보의 자중은 무시한다. 경간을 L, A에서 집중하중 P까지의 거리를 x라 하면, B점에 대한 모멘트 평형은 $R_A L = P(L - x)$이므로 $R_A = P\frac{L-x}{L}$이다. 따라서 보 위의 하중이 A에 가까울수록 A의 위쪽 반력 기여분이 커진다.

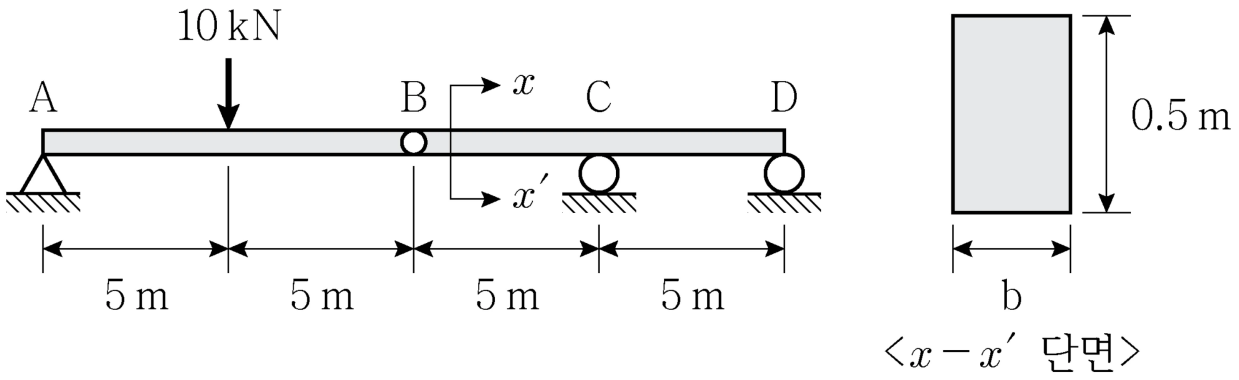
최대 반력의 하중 위치: 두 하중이 모두 보 위에 있는 동안에는 함께 왼쪽으로 이동할수록 A 반력이 커지므로, **왼쪽의 4 kN 하중이 A에 도달할 때**가 최대이다. 이때 8 kN 하중은 A에서 오른쪽 2 m에 있다. 더 왼쪽으로 이동하여 4 kN 하중이 보를 벗어나면 8 kN 하중만 작용하므로 A 반력은 최대 8 kN이다. 4 kN 하중만 보 위에 있는 경우에도 A 반력은 4 kN을 넘지 않는다.

각 하중의 기여분: 4 kN 하중은 A에 직접 작용하므로 전부 A 반력에 기여한다. 8 kN 하중은 B에서 8 m 떨어져 있으므로 A 반력에 기여하는 값은 $8 \cdot \frac{8}{10} = 6.4\text{kN}$이다. 이는 8 kN 중 A가 부담하는 부분이다.

최대 반력: 두 기여분을 더하면 $R_{A,\,\max} = 4 + 6.4 = 10.4\text{kN}$이다. 한 하중만 작용할 때의 최대값보다 크므로 전체 이동 과정에서의 최대 반력이며, ②의 10.4에 해당한다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 게르버보에 10 kN의 집중하중이 작용할 때, 허용전단응력을 고려한 b의 최솟값[m]은? (단, 보의 허용전단응력은 300 kPa이며, 보의 자중은 무시한다)



① 0.5

② 0.15

③ 0.05

④ 0.015

정답 3번

간단한 해설

직사각형 단면의 **최대전단응력은 평균전단응력의 1.5배**이며, 이 보의 최대전단력 크기는 5 kN이다. 높이 0.5 m인 단면에 허용전단응력 300 kPa를 적용하면 b의 최솟값은 **0.05 m**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 내부힌지 B에서 보를 나누어 반력을 구한다. **내부힌지는 휨모멘트를 전달하지 않으므로** AB 부분을 따로 평형 계산할 수 있다. AB의 길이는 10 m이고 10 kN 하중은 중앙에 작용한다. A점에 대한 모멘트 평형은 $R_B \cdot 10 = 10 \cdot 5$이므로, AB 부분의 B점 반력은 위쪽으로 5 kN이다. 수직력 평형에서 A점 반력도 위쪽으로 5 kN이다.

2. 오른쪽 부분 BCD에는 B점에서 아래쪽으로 5 kN이 작용한다. 위쪽 반력을 양으로 두면 C점에 대한 모멘트 평형은 $5 \cdot 5 + R_D \cdot 5 = 0$이므로 $R_D = -5\text{kN}$이고, 수직력 평형에서 $R_C = 10\text{kN}$이다. 따라서 전단력은 A에서 집중하중 직전까지 +5 kN, 집중하중 직후부터 C 직전까지 −5 kN, C 직후부터 D 직전까지 +5 kN이다. **최대전단력의 크기는 5 kN**이며, C점 반력 10 kN과 구별한다.

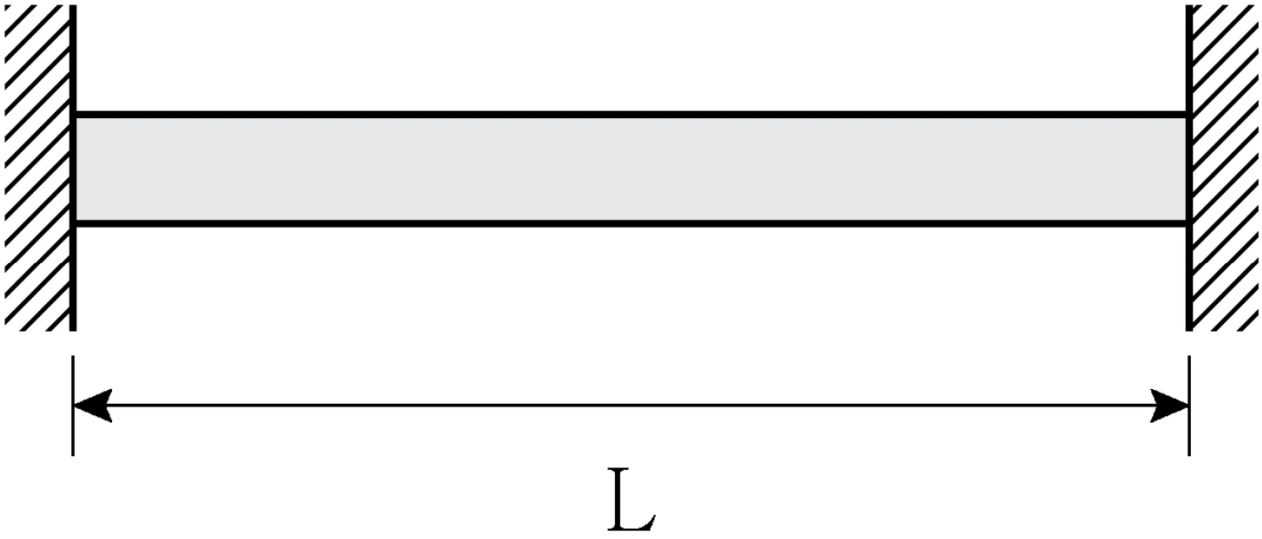
3. 그림의 단면은 폭 b, 높이 0.5 m인 직사각형이다. 직사각형 단면에서는 전단응력이 높이에 따라 달라지고, **중립축에서 최대**가 된다. 단면적을 A라 하면 최대전단응력은 $\tau_{\max} = \frac{3V_{\max}}{2A}$이다. 평균전단응력 $V_{\max}/A$만으로 계산하면 최대전단응력을 작게 평가한다.

4. b를 m 단위로 나타내면 단면적은 $A = 0.5b\text{m}^2$이다. 1 kPa = 1 kN/m^{2}이므로 전단력을 kN, 단면적을 m^{2}로 넣어 계산한다. 허용조건은 $(3\cdot5)/(2\cdot0.5\text{b}) \le 300$이고, 이를 정리하면 $b \ge \frac{15}{300} = 0.05\text{m}$이다.

따라서 b의 최솟값은 0.05 m이며, ③의 값에 해당한다.

NoteBase

문 15. 그림과 같은 초기응력이 없는 양단 고정보에 20°C의 온도상승이 있을 때, 보에 발생하는 축력[kN]은? (단, 보의 단면적 A = 5,000 mm^2, 탄성계수 E = 2.0 × 10^5 MPa, 열팽창계수 α = 2.0 × 10^{-5}/°C이다)



① 200(인장력)

② 200(압축력)

③ 400(인장력)

④ 400(압축력)

정답 4번

간단한 해설

양단이 고정되어 **열팽창이 구속**되므로, 팽창하려는 변형을 상쇄하는 압축력이 생긴다. 그 크기는 $EA\alpha\Delta T$로 계산하며, 이 보에는 **400 kN의 압축력**이 발생한다.

NoteBase

계산 과정

고정 조건: 그림에서 길이 L인 보의 양쪽 끝이 벽에 고정되어 있으므로 **전체 축방향 변형률은 0**이다. 인장을 양(+)으로 정하면 응력 σ에 의한 탄성변형률은 σ/E, 온도상승에 의한 열변형률은 $\alpha\Delta T$이다. 따라서 $\frac{\sigma}{E} + \alpha\Delta T = 0$이 성립한다.

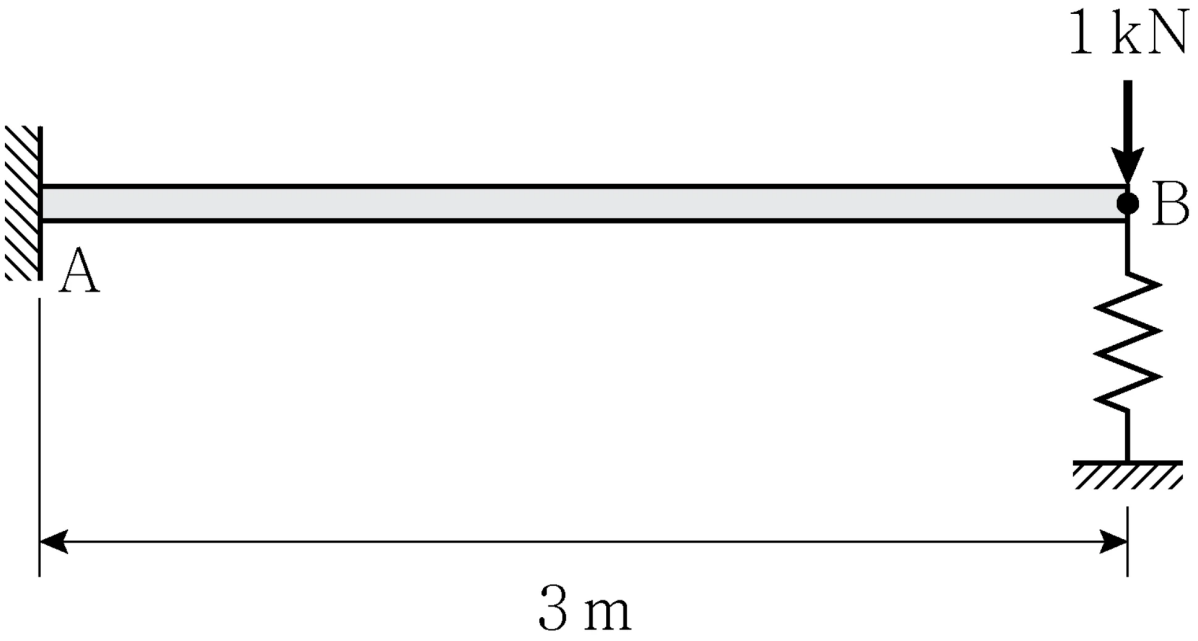
열변형률: 열팽창계수에 온도상승 20°C를 곱하면 $\varepsilon_T = (2.0 \times 10^{-5}) \cdot 20 = 0.0004$이다. 이는 구속이 없다면 보의 길이가 원래 길이의 0.0004배만큼 늘어난다는 뜻이다.

열응력: 전체 변형률을 0으로 만들려면 탄성변형률이 −0.0004이어야 한다. 따라서 $\sigma = -E\varepsilon_T$에 주어진 탄성계수를 대입하면 $\sigma = -(2.0 \times 10^5) \cdot 0.0004$이므로 σ = −80 MPa이다. 음의 부호는 **팽창을 억제하는 압축응력**을 뜻한다. 초기응력이 없으므로 이것이 온도상승 후의 전체 축응력이다.

축력: 축력 N은 응력에 단면적을 곱한 $N = \sigma A$이다. 1 MPa는 1 mm^2당 1 N이므로, 단면적 5,000 mm^2를 곱하면 −80 × 5,000 = −400,000 N, 즉 −400 kN이다. 따라서 축력의 크기는 400 kN이고 압축력이므로 ④의 400(압축력)에 해당한다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 스프링으로 지지되어 있는 외팔보의 B점에 수직하중 1 kN이 작용할 때, B점의 수직처짐[mm]은? (단, 보의 휨강성 EI = 100 kN · m^2, 스프링 강성 k = 100 kN/m이며, 모든 부재의 자중은 무시한다)



① 9

② 10

③ 90

④ 100

정답 1번

간단한 해설

보와 스프링은 **B점에서 같은 처짐으로 하중을 나누어 받으므로** 외팔보의 끝단 강성과 스프링 강성을 더해 전체 강성을 구한다. 하중 1 kN을 이 전체 강성으로 나누면 B점의 아래쪽 처짐은 9 mm이다.

NoteBase

계산 과정

지지 조건과 변수: 그림에서 A점은 고정되어 있고, 길이 L = 3 m인 보의 끝 B점에 하중 P = 1 kN이 아래로 작용한다. B점의 아래쪽 처짐을 δ, 스프링이 보를 위로 미는 힘을 R이라 둔다. 자중은 무시하므로 보 끝에 작용하는 순하중은 $Q = P - R$이다.

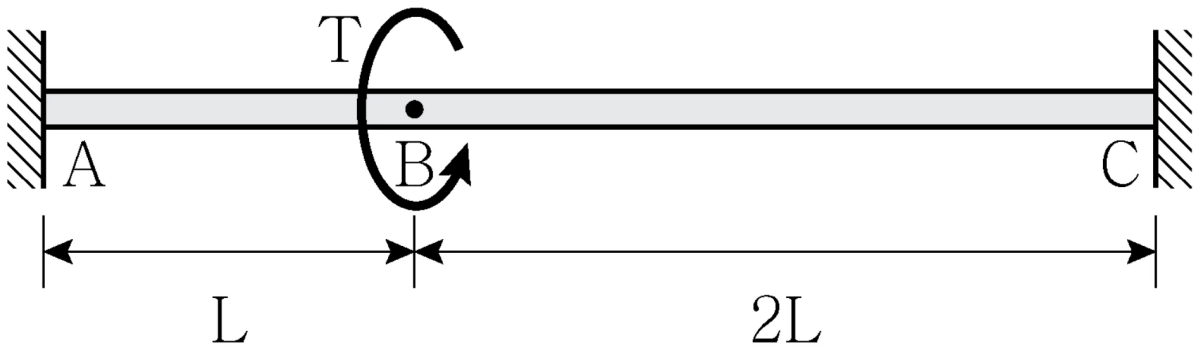
외팔보의 끝단 강성: 끝단 순하중 Q를 받는 외팔보의 휨에 의한 끝단 처짐은 $\delta = \frac{QL^3}{3EI}$이다. 이를 하중과 처짐의 관계로 바꾸면 $Q = K\delta$이며, 보의 끝단 강성은 $K = \frac{3EI}{L^3}$이다. 주어진 휨강성 EI = 100 kN·m^{2}와 길이를 대입하면 $K = \frac{3 \cdot 100}{3^3} = \frac{100}{9}$kN/m이다.

스프링과 보의 변형 적합: 스프링 아래쪽은 고정되어 있으므로 **스프링 압축량은 B점 처짐과 같다**. 따라서 스프링 반력은 $R = k\delta$이다. 외력 P를 보의 저항 Q와 스프링 반력 R이 나누어 받으므로 $P = Q + R = (K + k)\delta$가 성립한다. 즉, 같은 변위를 갖는 보와 스프링의 강성을 더해 전체 강성을 구한다.

B점 처짐 계산: 스프링 강성 k = 100 kN/m를 더하면 전체 강성은 $K + k = \frac{1000}{9}$kN/m이다. 따라서 $\delta = \frac{P}{K+k} = \frac{9}{1000}$m이다. 1 m = 1000 mm이므로 B점은 아래로 9 mm 처지며, 이는 ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 길이가 3L인 양단 고정보의 B점에 비틀림모멘트 T가 작용할 때, B점의 비틀림각의 크기는? (단, 보의 비틀림강성은 GJ이며, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{TL}{GJ}$
② $\frac{1}{2}\frac{TL}{GJ}$
③ $\frac{2}{3}\frac{TL}{GJ}$
④ $\frac{3}{4}\frac{TL}{GJ}$

정답 3번

간단한 해설

양끝이 고정되어 있으므로 AB와 BC는 **같은 크기의 B점 회전각**을 가져야 한다. 이에 따라 길이가 짧은 AB가 비틀림모멘트의 2/3를 부담하며, B점의 비틀림각은 $\frac{2TL}{3GJ}$ rad이다.

NoteBase

계산 과정

1. 조건과 비틀림 관계: 그림에서 AB의 길이는 L, BC의 길이는 2L이며, A와 C는 고정되어 회전각이 0이다. 각 구간에서 비틀림강성 GJ와 내부 비틀림모멘트가 일정하므로, 양 끝의 상대 비틀림각 크기는 $\theta = \frac{M\ell}{GJ}$이다. 여기서 M은 해당 구간이 전달하는 비틀림모멘트의 크기, ℓ은 구간 길이이다.

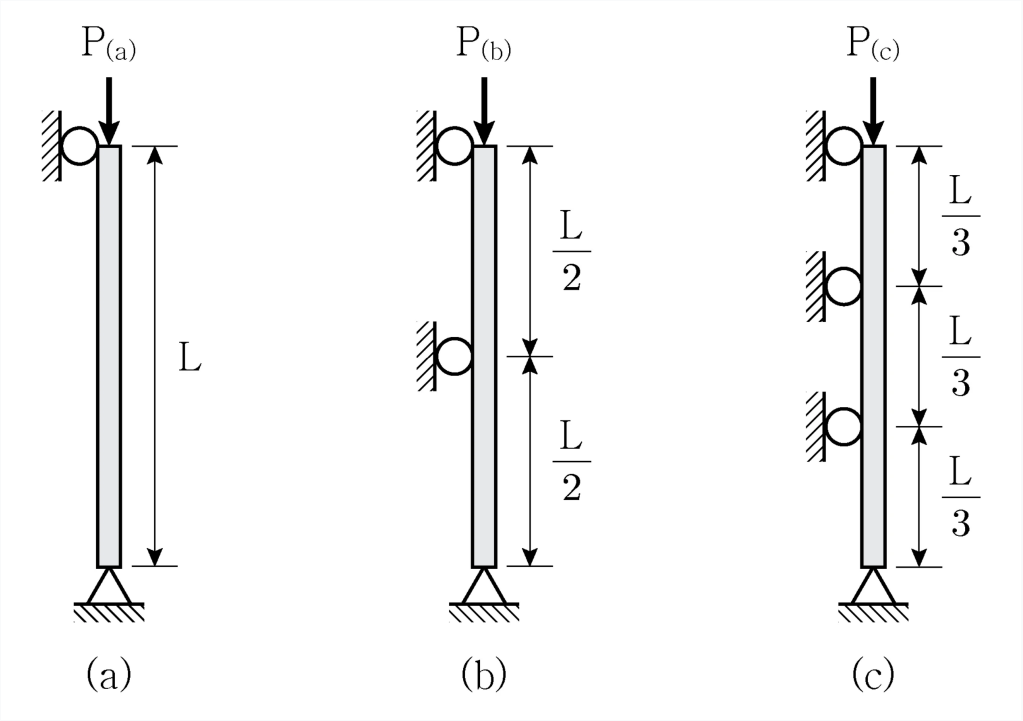
2. 변형의 적합조건: A와 C에서 발생하는 반력 비틀림모멘트의 크기를 각각 T_A, T_C라 하자. 두 반력은 외력 T의 회전을 억제하는 방향으로 작용한다. AB와 BC의 고정단을 기준으로 구한 **B점 회전각의 크기는 같아야** 하므로 $\frac{T_A L}{GJ} = \frac{T_C(2L)}{GJ}$이다. 따라서 $T_A = 2T_C$이며, 짧은 AB가 긴 BC보다 두 배의 비틀림모멘트를 전달한다.

3. 모멘트 평형: 두 고정단의 반력 비틀림모멘트가 외력 T와 평형을 이루므로 $T_A + T_C = T$이다. 적합조건을 대입하면 $3T_C = T$이므로 $T_C = \frac{T}{3}$, $T_A = \frac{2T}{3}$이다. 이는 **전체 모멘트 T가 두 구간에 나뉘어 전달**된다는 뜻이다.

4. B점의 비틀림각: 회전각이 0인 A를 기준으로 AB의 비틀림각을 구하면 $\theta_B = \frac{T_A L}{GJ}$이다. 따라서 $\theta_B = \frac{2T}{3} \cdot \frac{L}{GJ} = \frac{2TL}{3GJ}$ rad이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이 수평변위 구속조건이 서로 다른 3개의 장주에 대한 오일러 좌굴하중의 비 $P_{(a)} : P_{(b)} : P_{(c)}$는? (단, 평면 내의 좌굴만을 고려하며, 부재의 휨강성 EI는 동일하고 장주의 자중은 무시한다)



① 1 : 2 : 3

② 1 : 4 : 9

③ 3 : 2 : 1

④ 9 : 4 : 1

정답 2번

간단한 해설

오일러 좌굴하중은 **유효좌굴길이의 제곱에 반비례**한다. 수평변위 구속점 간 거리가 각각 L, $L/2$, $L/3$이므로 좌굴하중의 비는 1 : 4 : 9이다.

NoteBase

계산 과정

오일러 좌굴하중은 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$이다. 여기서 EI는 휨강성, L_e는 유효좌굴길이이다. 그림의 하단 힌지와 측면 롤러는 **수평변위를 구속하지만 회전은 고정하지 않는다**. 등간격으로 구속된 이 장주의 최저 좌굴모드에서는 인접 구속점 사이에 반파형이 형성되므로, 구속점 간 거리가 유효좌굴길이가 된다. 자중을 무시하므로 각 장주의 축력은 높이에 따라 달라지지 않는다.

(a) 중간에 수평변위 구속점이 없으므로 유효좌굴길이는 $L_e = L$이다. 따라서 $P_{(a)} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$이다. 이 값을 비교의 기준인 P_0로 둔다.

(b) 중앙의 롤러가 수평변위를 구속하여 구속점 간 거리는 $L/2$이다. 따라서 $L_e = L/2$이고, $P_{(b)} = \frac{\pi^2 EI}{(L/2)^2} = 4P_0$이다. 길이가 절반으로 줄어 좌굴하중은 4배가 된다.

(c) 두 중간 롤러가 장주를 같은 길이의 세 구간으로 나누어 구속점 간 거리는 $L/3$이다. 따라서 $L_e = L/3$이고, $P_{(c)} = \frac{\pi^2 EI}{(L/3)^2} = 9P_0$이다. 길이가 3분의 1로 줄어 좌굴하중은 9배가 된다.

세 장주의 휨강성 EI가 같으므로 공통인 P_0를 약분하면 $P_{(a)} : P_{(b)} : P_{(c)} = 1 : 4 : 9$이다. 이는 ②의 비와 일치하며, 하중의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 19. 재료의 응력-변형률 관계에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 모든 탄성재료의 응력-변형률 선도는 직선이다.

② 재료의 탄성계수 단위와 응력의 단위는 동일하다.

③ 연성재료의 경우 항복과 동시에 파괴되지는 않는다.

④ 소성구간에서 하중을 제거하면 영구변형이 발생한다.

정답 1번

간단한 해설

탄성은 하중을 제거하면 변형이 회복되는 성질이며, 응력과 변형률이 반드시 비례한다는 뜻은 아니다.
응력-변형률 선도가 직선인 것은 **선형 탄성**인 경우이고, 비선형 탄성재료의 선도는 곡선일 수 있다.

선지별 해설

① X: 탄성재료는 하중을 제거하면 원래의 형상으로 돌아오는 재료이다. 이 회복 성질과 응력-변형률 관계가 직선인지 여부는 구별해야 한다. 응력과 변형률이 비례하는 **선형 탄성재료**에서는 선도가 직선이지만, 비선형 탄성재료에서는 곡선이므로 '모든 탄성재료'라는 표현이 잘못되었다.

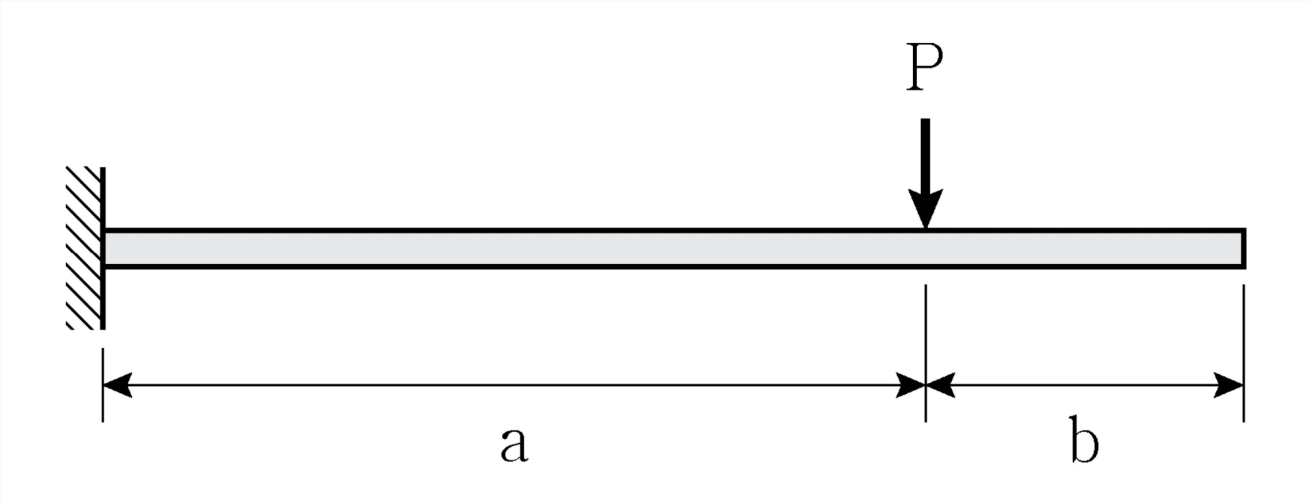
② O: 선형 탄성구간에서 탄성계수는 응력과 변형률의 비인 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$로 나타낸다. 변형률은 길이 변화량을 원래 길이로 나눈 값이므로 **무차원**이다. 따라서 탄성계수는 응력과 같은 단위인 Pa 또는 MPa 등을 사용한다.

③ O: 항복은 재료에 소성변형이 뚜렷하게 진행되기 시작하는 것을 뜻하며, 파괴와는 구별된다. 연성재료는 **항복 후에도 큰 소성변형**을 겪으며 하중을 지탱할 수 있으므로 항복과 동시에 파괴되지 않는다.

④ O: 소성구간의 전체 변형에는 회복 가능한 탄성변형과 회복되지 않는 소성변형이 함께 포함된다. 하중을 제거하면 탄성변형은 회복되지만 **소성변형은 영구변형으로 남는다**.

NoteBase

문 20. 그림과 같은 외팔보에서 자유단의 처짐은? (단, 보의 휨강성은 EI이며, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{Pa^2}{6EI}(2a+3b)$
② $\frac{Pa^2}{6EI}(3a+2b)$
③ $\frac{Pa^2}{3EI}(a+2b)$
④ $\frac{Pa^2}{3EI}(2a+b)$

정답 1번

간단한 해설

자유단 처짐은 **하중점의 처짐과 하중점 회전에 따른 추가 처짐의 합**이다. 하중점 오른쪽 구간은 휨모멘트가 없어 직선을 유지하므로, 아래쪽 처짐의 크기는 $\frac{Pa^2}{6EI}(2a+3b)$이다.

NoteBase

계산 과정

조건과 구간: 고정단에서 하중점까지의 길이는 a, 하중점에서 자유단까지의 길이는 b이고, 집중하중 P는 아래쪽으로 작용한다. 자중을 무시하고 휨강성 EI가 일정한 보의 작은 처짐을 구한다. 처짐과 회전각은 각각 아래쪽과 시계방향의 크기로 나타낸다.

하중점의 처짐과 회전각: 하중점 오른쪽에는 외력이 없으므로, 고정단부터 하중점까지는 **길이 a인 외팔보의 끝에 P가 작용하는 경우**와 같다. 이때 하중점의 처짐은 $\delta_a = \frac{Pa^3}{3EI}$, 회전각은 $\theta_a = \frac{Pa^2}{2EI}$이다. 앞의 값은 하중점 자체가 내려간 거리이고, 뒤의 값은 그 지점에서 보가 기울어진 각도이다.

길이 b 구간의 추가 처짐: 이 구간은 휨모멘트가 0이므로 곡률도 0이다. 따라서 **휘어지지는 않지만 하중점의 회전각만큼 기울어진 직선**이 된다. 작은 회전각에서는 기울기를 회전각으로 나타낼 수 있으므로, 자유단은 하중점보다 $b\theta_a = \frac{Pa^2b}{2EI}$만큼 더 내려간다.

자유단의 처짐: 두 처짐을 더하면 $\delta = \delta_a + b\theta_a$이다. 따라서 $\delta = \frac{Pa^3}{3EI} + \frac{Pa^2b}{2EI}$이고, 공통인수를 묶으면 $\delta = \frac{Pa^2}{6EI}(2a + 3b)$이다. 이는 ①의 식과 일치한다. 처짐 방향은 아래쪽이며, 각 물리량의 단위를 일관되게 쓰면 결과는 길이 단위이다.

NoteBase