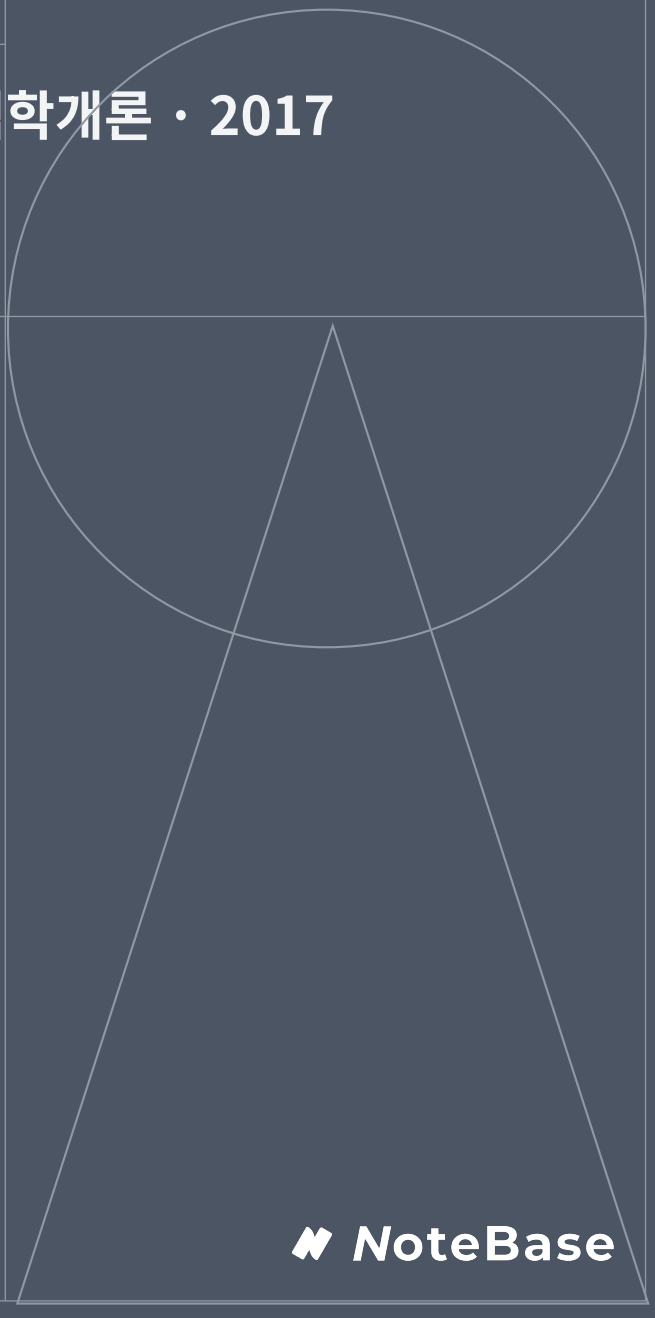
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 응용역학개론 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 응용역학개론 · 2017

공무원/국가직/9급 · 응용역학개론 · 2017

문 1. 균일원형 단면 강봉에 인장력이 작용할 때, 강봉의 지름을 3배로 증가시키면 응력은 몇 배가 되는가? (단, 강봉의 자중은 무시한다)

① $\frac{1}{27}$
② $\frac{1}{9}$
③ 3
④ 9

정답 2번

간단한 해설

같은 인장력이 작용할 때 응력은 **단면적에 반비례**한다. 원형 단면의 지름이 3배가 되면 단면적은 9배가 되므로, 응력은 처음의 $\frac{1}{9}$배가 된다.

계산 과정

인장력 P가 작용하는 균일한 봉의 축방향 응력은 $\sigma = \frac{P}{A}$이다. 여기서 A는 단면적이다. 자중은 무시하고, 지름을 바꾸기 전후에 **인장력 P는 동일하게** 두어 응력을 비교한다.

원형 단면의 지름을 d라 하면 단면적은 $A = \frac{\pi d^2}{4}$이다. 지름이 3배가 된 뒤의 단면적은 $A' = \frac{\pi(3d)^2}{4} = 9A$이다. 즉, 같은 힘을 나누어 받는 단면적이 9배로 커진다.

변경 후 응력은 $\sigma' = \frac{P}{9A} = \frac{\sigma}{9}$이다. 따라서 응력의 비는 $\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1}{9}$이며, 응력은 처음의 $\frac{1}{9}$배로 줄어든다. 이는 ②에 해당한다.

NoteBase

문 2. 단위가 나머지 셋과 다른 것은?

① 인장 응력

② 비틀림 응력

③ 전단 변형률

④ 철근의 탄성계수

정답 3번

간단한 해설

전단 변형률은 각도의 변화를 나타내는 **무차원량**이다. 응력과 탄성계수는 단위면적당 힘의 차원을 가지며 SI 단위는 Pa이다.

선지별 해설

① 인장 응력: 인장력 P를 단면적 A로 나눈 값으로, $\sigma = \frac{P}{A}$이다. **단위면적당 힘**이므로 SI 단위는 $\mathrm{N/m^2}$, 즉 Pa이다.

② 비틀림 응력: 부재가 비틀릴 때 생기는 전단응력이다. 전단응력도 단위면적당 작용하는 힘이므로 단위는 Pa이다. 비틀림을 일으키는 **토크의 단위 N·m와 구별**한다.

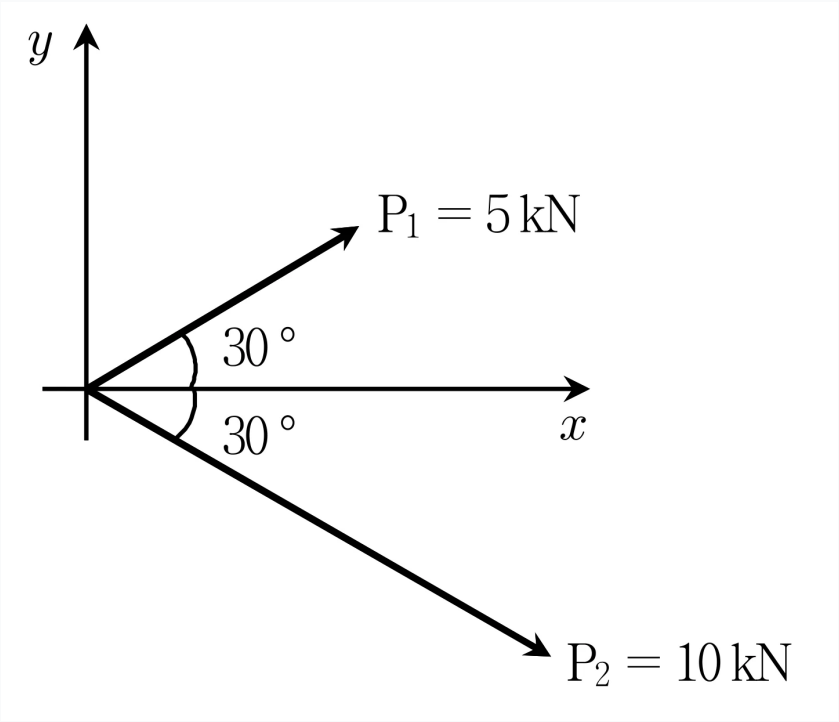
③ 전단 변형률: 전단변형으로 처음에 직각이던 두 선 사이의 각도가 얼마나 변했는지를 나타낸다. 미소변형에서 높이 h에 대한 상대적인 옆방향 변위 δ의 비로 $\gamma = \frac{\delta}{h}$라고 나타낼 수 있다. 길이를 길이로 나누므로 **무차원량**이며, 각도로 표시할 때 쓰는 rad도 무차원 단위이다.

④ 철근의 탄성계수: 일축 인장의 선형 탄성 범위에서 응력과 축방향 변형률의 비인 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$이다. 축방향 변형률은 늘어난 길이를 원래 길이로 나눈 무차원량이므로 탄성계수는 **응력과 같은 단위**인 Pa를 갖는다.

인장 응력·비틀림 응력·철근의 탄성계수는 모두 Pa로 나타내지만, ③ 전단 변형률은 무차원량이므로 나머지 셋과 단위가 다르다.

NoteBase

문 3. 그림과 같은 xy 평면상의 두 힘 P_1, P_2의 합력의 크기[kN]는?



① 5

② $5\sqrt{7}$

③ 10

④ $10\sqrt{7}$

정답 2번

간단한 해설

두 힘은 양의 x축을 기준으로 위아래로 각각 30° 기울어져 있어 **두 힘 사이의 각은 60°**이다. 이 각을 이용해 벡터를 합성하면 합력의 크기는 $5\sqrt{7}$ kN이다.

NoteBase

계산 과정

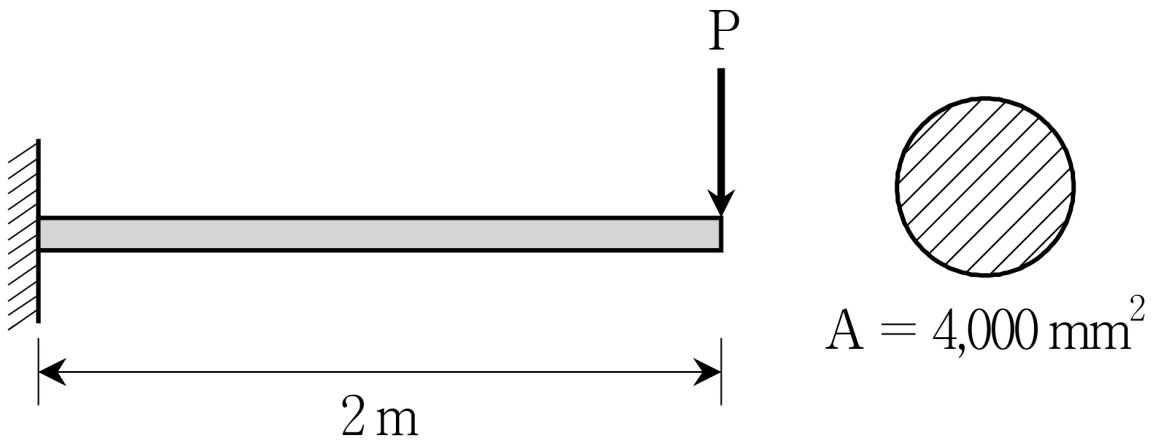
두 힘 사이의 각: 그림에서 $P_1 = 5$ kN은 양의 x축 위쪽으로 30°, $P_2 = 10$ kN은 아래쪽으로 30° 방향이다. 따라서 두 힘이 이루는 각은 $\theta = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$이다.

합력의 크기 계산: 합력은 두 힘의 **벡터 합**이므로 크기만 단순히 더하지 않고 방향 차이를 반영한다. 두 힘 사이의 각을 θ라 하면 합력 R은 $R^2 = P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos\theta$를 만족한다. 여기서 $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$이므로 방향 차이를 반영하는 항은 $2 \cdot 5 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} = 50$이다. 따라서 $R^2 = 25 + 100 + 50 = 175$이며, 이는 합력 크기의 제곱값이다.

결과: 힘의 크기는 음수가 아니므로 $R = \sqrt{175} = 5\sqrt{7}$ kN이다. 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. 그림과 같이 단면적 A = 4,000 mm^2인 원형단면을 가진 캔틸레버 보의 자유단에 수직하중 P가 작용한다. 이 보의 전단에 대하여 허용할 수 있는 최대하중 P [kN]는? (단, 허용전단응력은 1 N/mm^2이다)



① 2.25

② 3.00

③ 3.50

④ 4.50

정답 2번

간단한 해설

원형 실체단면의 최대전단응력은 **평균전단응력의 4/3배**이므로, 단순히 하중을 단면적으로 나눈 값으로 허용하중을 정하면 안 된다. 최대전단응력이 허용값 1 N/mm^2에 도달하는 하중은 3.00 kN이다.

NoteBase

계산 과정

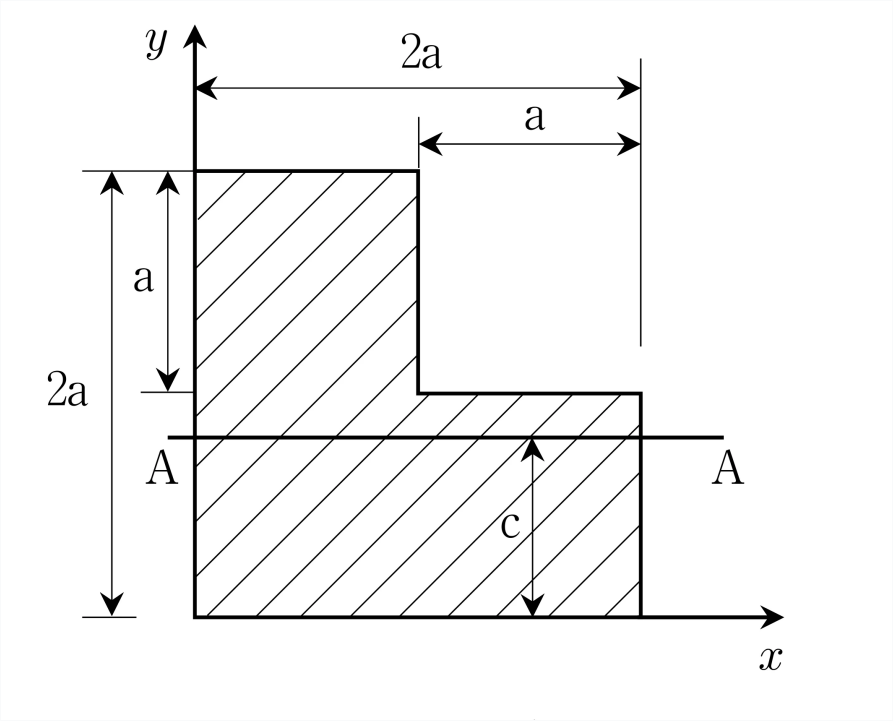
전단력: 그림처럼 자유단에 수직하중 P만 작용하므로, 보의 어느 단면을 잘라도 자유단 쪽 부분의 수직방향 평형에서 전단력의 크기는 $V = P$이다. 따라서 보의 길이 2 m는 이 전단력 계산에 들어가지 않는다.

최대전단응력: 그림의 단면은 내부가 채워진 원형 실체단면이다. 이 단면의 전단응력은 균일하지 않으며 **중립축에서 최대**가 된다. 단면적을 A라 하면 평균전단응력은 $\tau_{avg} = V/A$, 최대전단응력은 $\tau_{max} = \frac{4V}{3A}$이다. 따라서 이 보에는 $\tau_{max} = \frac{4P}{3A}$를 적용한다.

허용 최대하중: 단면 내 어느 곳에서도 허용전단응력을 넘지 않으려면 **최대전단응력을 허용값과 비교**해야 한다. 하중의 한계에서는 $\tau_{max} = \tau_{allow}$이므로 $P_{max} = \frac{3}{4}A\tau_{allow}$이다. 단면적 4,000 mm^2와 허용전단응력 1 N/mm^2를 대입하면 $P_{max} = \frac{3}{4} \cdot 4{,}000 \cdot 1 = 3{,}000$N이다. 1 kN = 1,000 N이므로 최대하중은 3.00 kN이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 5. 문 5. 그림과 같이 빗금친 단면의 도심이 x축과 평행한 직선 $A-A$를 통과한다고 하면, x축으로부터의 거리 c의 값은?



① $\frac{3}{4}a$

② $\frac{4}{5}a$

③ $\frac{5}{6}a$

④ $\frac{6}{7}a$

정답 3번

간단한 해설

빗금친 단면의 도심 높이는 각 부분의 높이를 **면적으로 가중평균**하여 구한다. 아래쪽 직사각형과 왼쪽 위 정사각형으로 나누어 계산하면 $c=\frac{5}{6}a$이다.

NoteBase

계산 과정

도심을 지나는 직선 $A-A$가 x축과 평행하므로, c는 단면 도심의 y좌표이다. 겹치지 않는 두 부분의 면적을 S_1, S_2, 각 도심의 x축으로부터 높이를 y_1, y_2라 하면 $c = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2}{S_1 + S_2}$이다. 분자의 각 항은 x축에 대한 면적 1차 모멘트이며, 이를 전체 면적으로 나누면 도심의 높이가 된다.

아래쪽 직사각형: 그림에서 전체 높이는 2a, 위쪽으로 돌출된 부분의 높이는 a이므로 아래쪽 높이는 a이다. 폭은 2a이므로 면적은 $S_1 = 2a^2$이다. 직사각형의 도심은 높이의 중앙에 있으므로 $y_1 = \frac{a}{2}$이다.

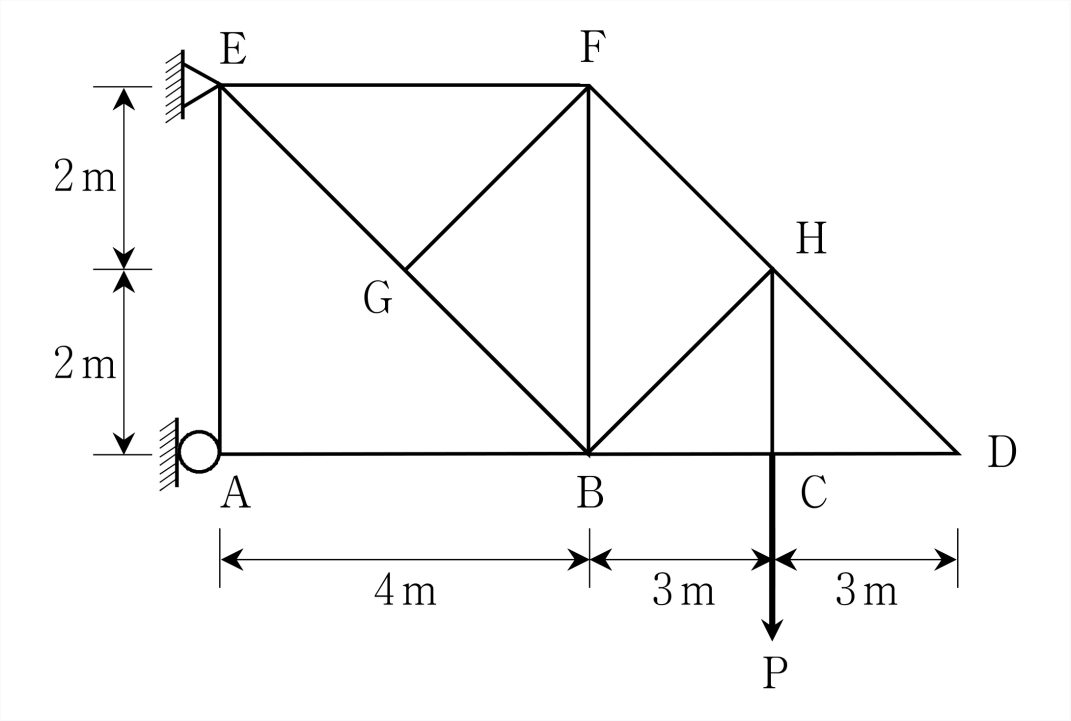
왼쪽 위 정사각형: 전체 폭 2a에서 오른쪽으로 나온 폭 a를 빼면 왼쪽 폭은 a이고, 이 부분의 높이도 a이다. 따라서 면적은 $S_2 = a^2$이다. 도심의 높이는 **x축에서부터** 재야 하므로, 아래쪽 높이 a를 더한 $y_2 = a + \frac{a}{2} = \frac{3a}{2}$이다.

면적과 면적 1차 모멘트: 전체 면적은 $S_1 + S_2 = 3a^2$이다. 아래쪽 부분은 $S_1 y_1 = 2a^2 \cdot \frac{a}{2} = a^3$, 위쪽 부분은 $S_2 y_2 = a^2 \cdot \frac{3a}{2} = \frac{3}{2}a^3$이므로, 면적 1차 모멘트의 합은 $\frac{5}{2}a^3$이다.

도심의 높이: $c = \frac{\frac{5}{2}a^3}{3a^2} = \frac{5}{6}a$이다. 면적 1차 모멘트를 면적으로 나누었으므로 c는 a와 같은 길이 단위를 갖는다. 이 값은 ③의 $\frac{5}{6}a$와 일치한다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 집중하중 P가 작용하는 트러스 구조물에서 부재력이 발생하지 않는 부재의 총 개수는? (단, 트러스의 자중은 무시한다)



① 0

② 1

③ 3

④ 5

정답 4번

간단한 해설

하중이 없는 D에서 CD·DH의 부재력이 0이므로, C의 수평평형에 따라 **BC의 부재력도 0**이다. G와 A에서도 각각 GF와 AE가 영부재로 판별되어 총 5개가 된다.

NoteBase

도식 해설

영부재는 주어진 하중 상태에서 축방향 부재력이 0인 부재이다. 트러스의 자중을 무시하므로 각 절점에서 외력·지점반력과 연결된 부재력의 평형을 살펴본다.

D 절점 — CD·DH: D에는 외력이나 지점반력이 없고, 수평부재 CD와 경사부재 DH만 연결되어 있다. **일직선이 아닌 두 부재만으로는 서로의 힘을 상쇄할 수 없으므로** 두 부재의 부재력은 모두 0이다.

C 절점 — BC: C에는 아래쪽 집중하중 P와 수직부재 CH, 수평부재 BC·CD가 연결되어 있다. CD의 부재력이 이미 0이고, P와 CH의 부재력은 모두 수직방향이므로 **수평방향의 평형을 위해 BC의 부재력도 0**이어야 한다. CH는 P를 지탱하므로 영부재가 아니다.

G 절점 — GF: G에는 외력이나 지점반력이 없으며, EG와 GB가 일직선으로 연결되어 있다. 두 부재는 그 직선에 수직인 방향의 힘을 낼 수 없으므로, **일직선에서 벗어난 GF의 부재력은 0**이어야 한다. EG와 GB까지 영부재라는 뜻은 아니다.

A 절점 — AE: A의 롤러지점은 수직 벽면에 접하므로 **지점반력은 수평방향**으로만 작용한다. AB도 수평부재이므로 A의 수직방향 힘은 AE의 부재력뿐이다. 수직평형을 만족하려면 AE의 부재력이 0이어야 한다.

영부재는 CD·DH·BC·GF·AE로 총 5개이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 7. 한 변이 40 mm인 정사각형 단면의 강봉에 100 kN의 인장력을 가하였더니 강봉의 길이가 1 mm 증가하였다. 이때, 강봉에 저장된 변형에너지[N · m]의 크기는? (단, 강봉은 선형탄성 거동하는 것으로 가정하며, 자중은 무시한다)

① 4

② 10

③ 30

④ 50

정답 4번

간단한 해설

선형탄성 강봉의 변형에너지는 **하중–변위 선도에서 삼각형의 면적**이므로 $U = \frac{1}{2}P\delta$이다. 인장력 100 kN과 늘어난 길이 1 mm를 적용하면 50 N·m가 저장된다.

계산 과정

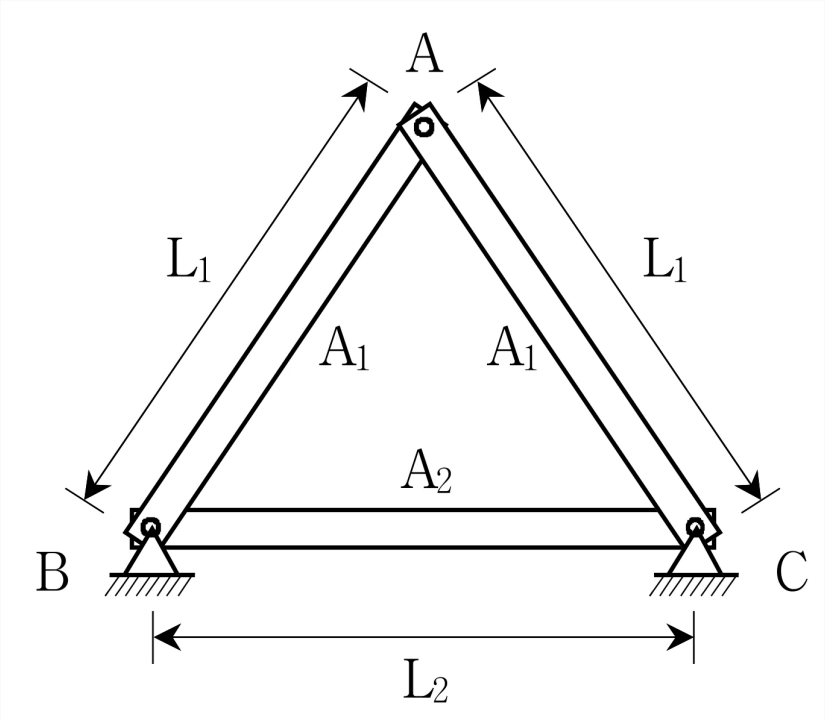
인장력을 P, 늘어난 길이를 δ, 저장된 변형에너지를 U라 한다. 단위를 N과 m로 맞추면 P = 100000 N, δ = 0.001 m이다. 자중은 무시하므로 주어진 인장력에 의한 변형에너지를 구한다.

선형탄성 거동에서는 인장력이 늘어난 길이에 비례하므로 하중–변위 선도는 원점을 지나는 직선이다. 변형에너지는 이 직선 아래의 면적이며, **평균 하중은 최종 하중의 1/2**이다. 따라서 $U = \frac{1}{2}P\delta$를 적용한다. 인장력과 늘어난 길이가 모두 주어졌으므로 단면의 한 변 40 mm로 단면적을 따로 계산할 필요는 없다.

값을 대입하면 $U = \frac{1}{2} \cdot 100000 \cdot 0.001 = 50$ N·m이다. 이는 강봉에 저장된 에너지이며, 선택지 ④의 50에 해당한다.

NoteBase

문 8. 그림과 같은 트러스 구조물에서 모든 부재의 온도가 20°C 상승할 경우 각 부재의 부재력은? (단, 모든 부재의 열팽창계수는 α[1/°C]이고, 탄성계수는 E로 동일하다. AB, AC 부재의 단면적은 A_1, BC부재의 단면적은 A_2이다. 모든 부재의 초기 부재력은 0으로 가정하고, 자중은 무시한다)



① AB: 0, BC: 0, AC: 0

② AB: 0, BC: $20\alpha EA_2$ (압축), AC: 0

③ AB: $20\alpha EA_1$ (인장), BC: 0, AC: $20\alpha EA_1$ (인장)

④ AB: 0, BC: $20\alpha EA_2$ (인장), AC: 0

정답 2번

간단한 해설

BC는 양 끝 지점 사이의 거리가 고정되어 **열팽창이 구속**되므로 크기가 $20\alpha EA_2$인 압축력이 생긴다. AB와 AC는 외력이 없는 A절점의 평형에 따라 부재력이 모두 0이다.

NoteBase

계산 과정

지점 조건: 그림에서 B와 C는 모두 이동을 막는 힌지 지점이므로 **BC의 길이 변화는 0**이다. 온도 상승량은 20°C이며, 초기 부재력과 자중은 없다. 부재력은 인장을 양(+)으로 정한다.

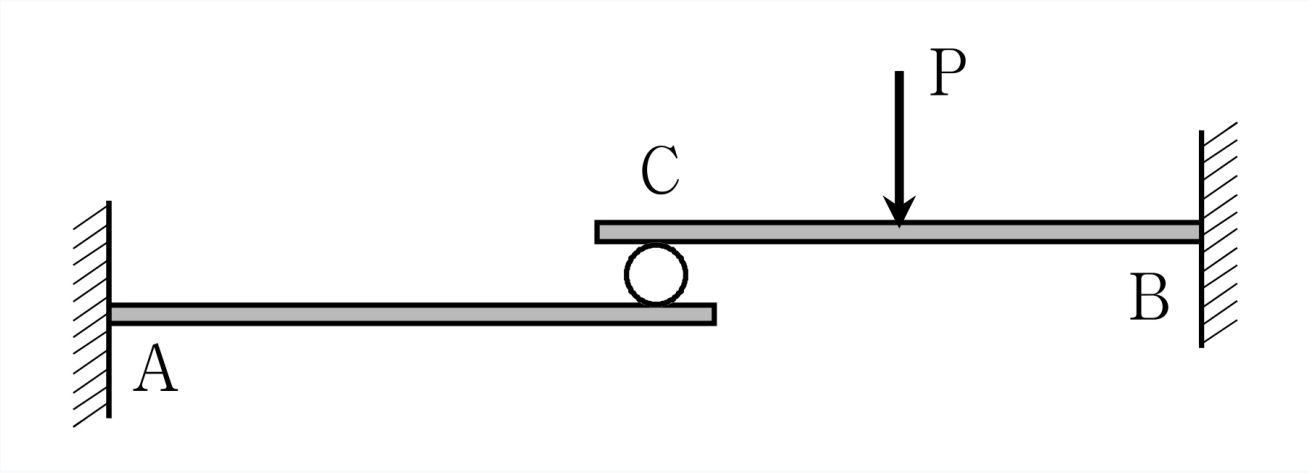
AB·AC 부재: A절점에는 외력이나 지점반력이 없고, 서로 일직선상에 있지 않은 AB와 AC 두 부재만 연결되어 있다. 두 부재력만으로 절점의 수평·수직 평형을 동시에 만족하려면 $N_{AB} = N_{AC} = 0$이어야 한다. 두 부재의 열팽창은 **A절점이 위로 이동**하면서 허용되므로 축력이 발생하지 않는다.

BC 부재: 길이가 L_2인 BC가 자유롭게 팽창한다면 열팽창량은 $\alpha \Delta T L_2 = 20\alpha L_2$이다. 그러나 양 끝의 이동이 막혀 있으므로 이만큼의 팽창을 상쇄하는 **탄성 압축변형**이 필요하다. 축력에 의한 탄성변형량이 $\frac{N_{BC}L_2}{EA_2}$이므로 변형 적합조건은 $\frac{N_{BC}L_2}{EA_2} + 20\alpha L_2 = 0$이다. 이를 풀면 $N_{BC} = -20\alpha EA_2$이며, 음수는 압축력을 뜻한다.

따라서 AB와 AC의 부재력은 0이고, BC에는 크기가 $20\alpha EA_2$인 압축력이 작용하므로 ②와 일치한다. 여기서 $\alpha \Delta T$는 무차원이고, E와 단면적의 곱은 힘의 단위를 갖는다.

NoteBase

문 9. 그림과 같은 구조물의 부정정 차수는? (단, C점은 로울러 연결 지점이다)



① 1
② 2
③ 3
④ 4

정답 1번

간단한 해설

C점의 로울러는 두 보 사이에 **수직력 하나만 전달**한다. 두 보를 분리하면 미지수는 7개, 독립 평형방정식은 6개이므로 부정정 차수는 1이다.

계산 과정

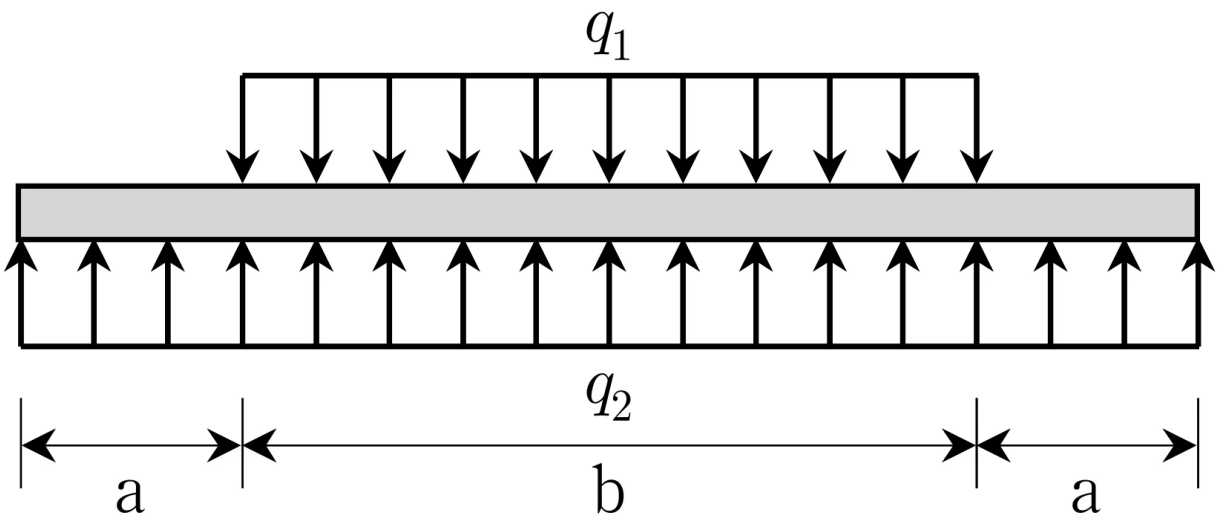
미지수의 수: 그림의 A와 B는 고정단이므로 각각 수평반력·수직반력·반력모멘트의 3개 미지수를 갖는다. C는 수평인 두 보 사이의 로울러 연결이므로 **수직력만 전달하고 수평력과 모멘트는 전달하지 않는다**. 두 보에 작용하는 C점의 힘은 작용·반작용으로 크기가 같고 방향이 반대이므로 독립 미지수는 1개이다. 따라서 두 보를 분리하여 세는 미지수는 3 + 3 + 1 = 7개이다.

평형방정식의 수: 평면에 놓인 각 보에 대해 수평방향 힘의 평형, 수직방향 힘의 평형, 모멘트 평형의 3개 식을 세울 수 있다. 두 보를 각각 분리하므로 독립 평형방정식은 3 × 2 = 6개이다. 하중 P는 주어진 외력이므로 미지수에 포함하지 않는다.

부정정 차수: 각 보는 고정단으로 지지되어 안정하므로, 미지수의 수에서 독립 평형방정식의 수를 빼면 7 − 6 = 1이다. 이는 평형조건만으로 힘을 모두 결정할 수 없어 **변형의 적합조건 하나가 더 필요**하다는 뜻이다. 따라서 부정정 차수는 1이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 보는 등분포하중 q_1과 q_2에 의해 힘의 평형상태에 있다. 이 보의 최대 휨모멘트 크기[kN · m]는? (단, $a = 2$ m, $b = 6$ m, $q_1 = 10$ kN/m이며, 보의 자중은 무시한다)



① 25

② 30

③ 35

④ 40

정답 2번

간단한 해설

전체 수직력의 평형에서 위쪽 등분포하중은 $q_2 = 6$ kN/m이다. **전단력이 0이 되는 보의 중앙**에서 휨모멘트가 최대이며, 그 크기는 30 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

1. 위쪽 하중의 크기: 그림에서 아래쪽 하중 q_1은 중앙 6 m 구간에, 위쪽 하중 q_2는 보 전체에 작용한다. 전체 길이는 $2 \times 2 + 6 = 10$ m이다. 자중을 무시하고 **전체 수직력의 합이 0**이라는 조건을 적용하면 $q_2(2a + b) = q_1 b$이므로, $q_2 = \frac{10 \cdot 6}{10} = 6$ kN/m이다.

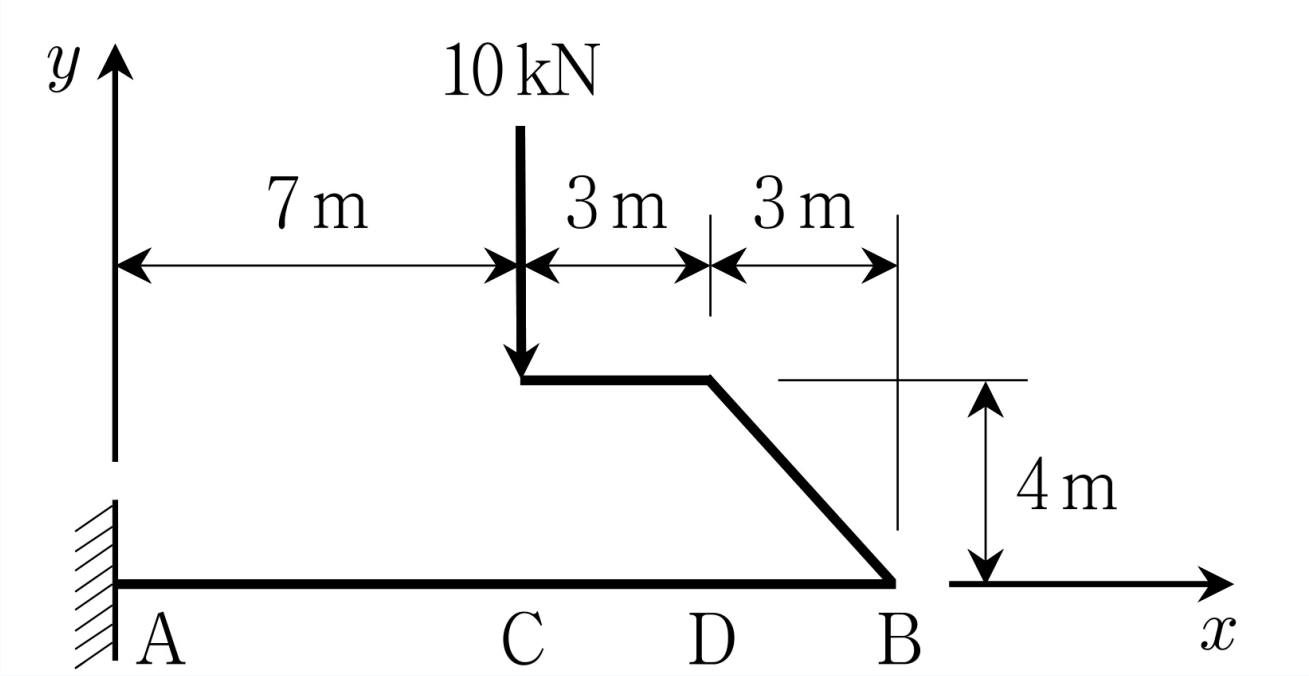
2. 최대 휨모멘트의 위치: 양 끝의 2 m 구간에는 위쪽으로 6 kN/m가 작용하고, 중앙 6 m 구간에는 아래쪽으로 $10 - 6 = 4$ kN/m가 작용한다. 왼쪽 자유단의 전단력은 0이며, 왼쪽 2 m 구간을 지나면 $6 \times 2 = 12$ kN이 된다. 중앙 하중 구간의 시작점에서 오른쪽으로 잰 거리를 s라 하면 전단력은 $V(s) = 12 - 4s$이다. $V = 0$을 풀면 $s = \frac{12}{4} = 3$ m이므로 해당 단면은 보의 중앙이다. **휨모멘트의 기울기는 전단력**이며, 전단력은 중앙의 왼쪽에서 양수, 오른쪽에서 음수이다. 따라서 휨모멘트는 왼쪽 끝에서 중앙까지 증가한 뒤 오른쪽 끝까지 감소한다. 양쪽 자유단의 휨모멘트가 0이므로 중앙에서 크기가 최대이다.

3. 중앙 단면의 휨모멘트: 중앙에서 보를 절단하고 왼쪽 부분을 살펴본다. 위쪽 하중은 길이 5 m에 걸쳐 작용하므로 합력은 $6 \times 5 = 30$ kN이고, 중앙 단면까지의 거리는 2.5 m이다. 아래쪽 하중은 길이 3 m에 걸쳐 작용하므로 합력은 $10 \times 3 = 30$ kN이고, 단면까지의 거리는 1.5 m이다. 등분포하중의 합력은 **각 하중 구간의 중점**에 작용하므로, 두 합력이 단면에 만드는 모멘트의 차를 구하면 $M_{\max} = 30 \cdot 2.5 - 30 \cdot 1.5 = 30$ kN·m이다.

따라서 최대 휨모멘트의 크기는 30 kN·m이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. 그림과 같은 xy 평면상의 구조물에서 지점 A의 반력모멘트 [kN · m]의 크기는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① 70

② 100

③ 104

④ 130

정답 1번

간단한 해설

10 kN의 연직하중에 대한 모멘트팔은 A에서 하중의 작용선까지의 **수평거리 7 m**이다. 하중이 만드는 시계방향 모멘트를 지점 A가 상쇄하므로 반력모멘트의 크기는 $10 \times 7 = 70$ kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

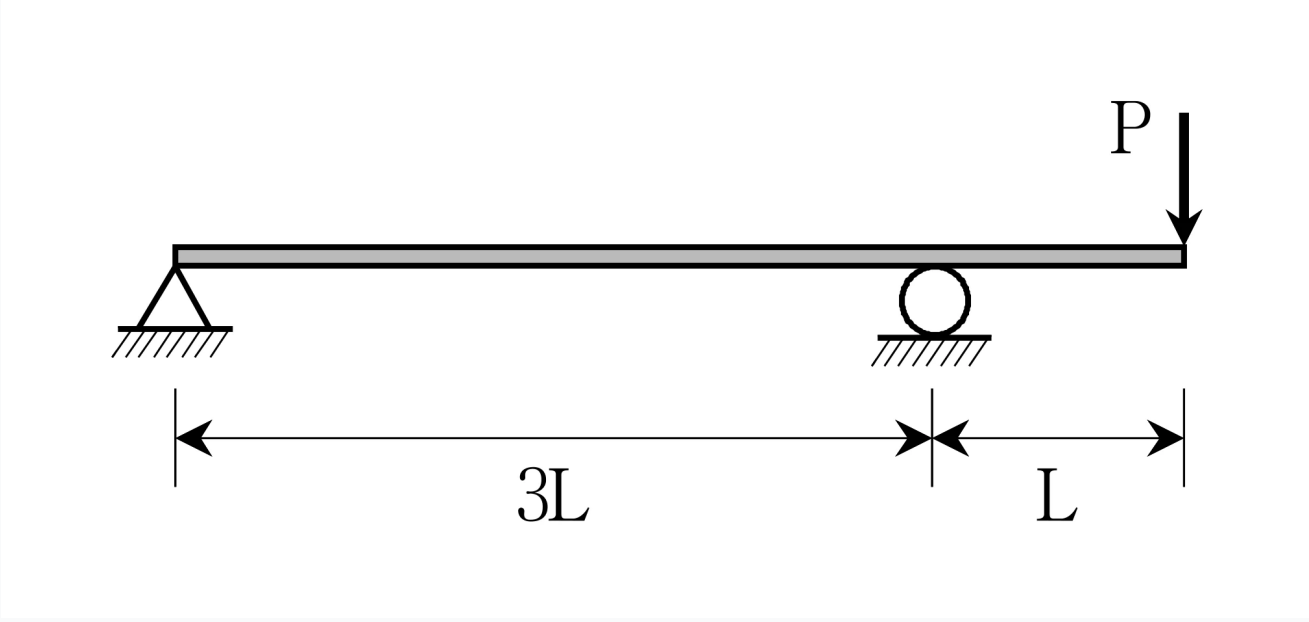
평형 조건: 구조물 전체를 하나의 자유물체로 보면, 고정지점 A에는 수평·수직 반력과 반력모멘트가 작용한다. 자중은 무시하며, 구조물이 평형을 이루려면 A에 대한 모멘트의 합이 0이어야 한다. A의 수평·수직 반력은 **작용선이 A를 지나므로** A에 대한 모멘트를 만들지 않는다.

모멘트팔: 힘의 모멘트는 힘의 크기에 기준점에서 힘의 작용선까지의 수직거리를 곱한다. 그림의 10 kN 하중은 연직 아래쪽으로 작용하므로, A에서 그 작용선까지의 수평거리 7 m를 사용한다. 높이 4 m나 꺾인 부재를 따라 잰 길이는 이 힘의 모멘트팔이 아니다.

반력모멘트 계산: 반시계방향을 양으로 정하고 A의 반력모멘트를 M_A라 한다. A의 오른쪽에서 아래로 작용하는 하중은 시계방향 모멘트를 만들므로, 힘을 kN, 거리를 m로 대입한 평형식은 $M_A - 10 \cdot 7 = 0$이다. 따라서 A의 반력모멘트는 반시계방향으로 70 kN·m이며, 그 크기는 ①의 70 kN·m에 해당한다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 휨강성 EI가 일정한 내민보의 자유단에 수직하중 P가 작용하고 있을 때, 하중작용점에서 수직 처짐의 크기는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{PL^3}{3EI}$
② $\frac{4PL^3}{3EI}$
③ $\frac{7PL^3}{3EI}$
④ $\frac{10PL^3}{3EI}$

정답 2번

간단한 해설

자유단의 처짐에는 **내민 구간뿐 아니라 지점 사이 구간의 휨**도 영향을 준다. 두 구간의 기여를 합하면 하중작용점은 아래쪽으로 $\frac{4PL^3}{3EI}$만큼 처진다.

NoteBase

계산 과정

지점과 반력: 왼쪽 지점을 A, 오른쪽 지점을 B, 하중작용점인 자유단을 C라 하면, 그림에서 AB = 3L, BC = L이다. 휨강성 EI는 일정하고 자중은 무시한다. 위쪽 반력을 양으로 두면 A점에 대한 모멘트 평형은 $R_B(3L) = P(4L)$ 이므로 $R_B = \frac{4P}{3}$이다. 수직력 평형에서 $R_A = P - R_B = -\frac{P}{3}$이므로 A점 반력은 아래쪽이다.

구간별 휨모멘트: 처짐 계산을 위해 아래로 볼록하게 휘게 하는 모멘트를 양으로 둔다. AB 구간에서 A로부터의 거리를 x라 하면 $M_{AB}(x) = -\frac{Px}{3}$이고, 범위는 $0 \le x \le 3L$이다. BC 구간에서 B로부터의 거리를 s라 하면, 절단면 오른쪽 하중 P의 모멘트로부터 $M_{BC}(s) = -P(L - s)$이며 $0 \le s \le L$이다. 두 식은 B에서 모두 −PL, 자유단 C에서는 0이 되는 모멘트 분포를 나타낸다.

단위하중법의 적용: C점에 아래쪽 단위하중을 가했을 때의 휨모멘트를 m이라 한다. 실제 하중과 위치·방향이 같으므로 $m = \frac{M}{P}$이다. 휨에 의한 하중방향 처짐은 $\delta_C = \int \frac{Mm}{EI} d\ell$로 구한다. 따라서 **휨모멘트가 생기는 AB와 BC 두 구간**을 모두 적분해야 한다.

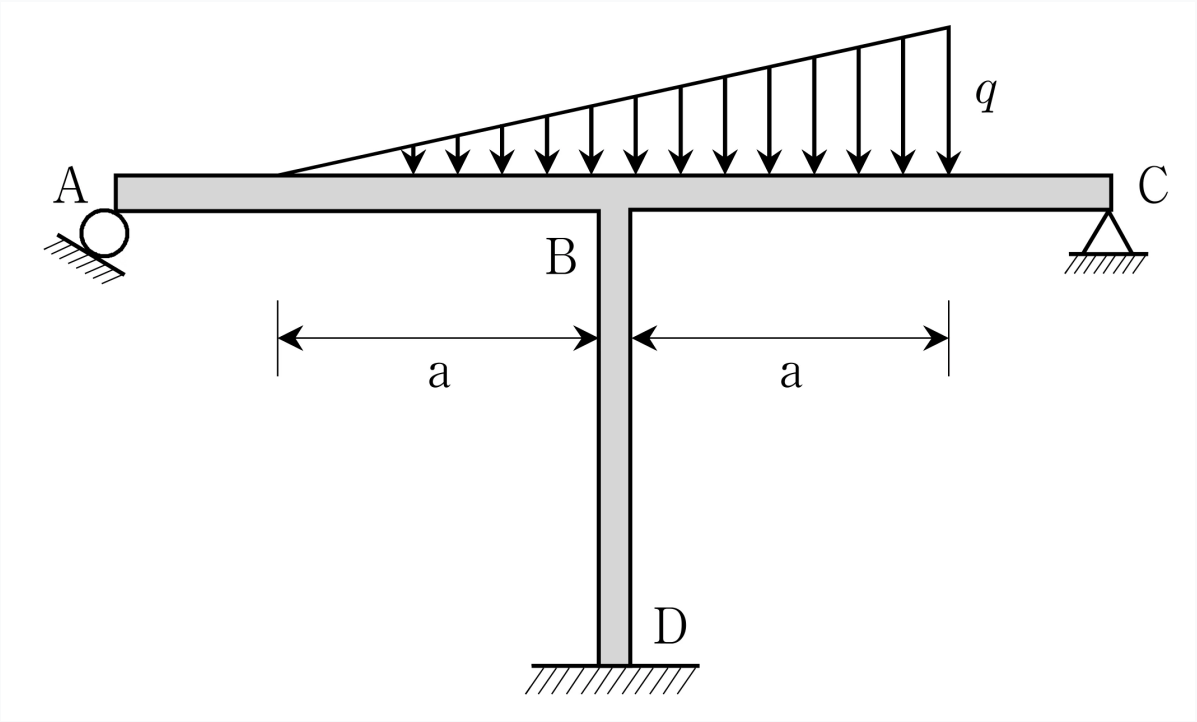
AB 구간의 기여: 실제 모멘트와 단위하중 모멘트를 곱하면 $Mm = \frac{Px^2}{9}$이다. 따라서 $\delta_{AB} = \frac{P}{9EI}\int_0^{3L} x^2 dx$이고, 적분하면 $\delta_{AB} = \frac{PL^3}{EI}$이다. 이 값은 AB 구간의 휨이 C점 처짐에 기여하는 양이다.

BC 구간의 기여: 이 구간에서는 $Mm = P(L - s)^2$이므로 $\delta_{BC} = \frac{P}{EI}\int_0^{L} (L - s)^2 ds$이다. 적분하면 $\delta_{BC} = \frac{PL^3}{3EI}$이다.

처짐의 크기: 두 구간의 기여를 더하면 $\delta_C = \frac{PL^3}{EI} + \frac{PL^3}{3EI} = \frac{4PL^3}{3EI}$이다. 아래쪽 단위하중 방향으로 양의 값이므로 C점은 아래로 처지며, 그 크기는 ②의 식과 같다. P를 힘, L을 길이, EI를 힘×길이^2 단위로 쓰면 처짐의 단위는 길이이다.

NoteBase

문 13. 그림과 같은 부정정 구조물에 등변분포 하중이 작용할 때, 반력의 총 개수는? (단, B점은 강결되어 있다)



① 4

② 5

③ 6

④ 7

정답 3번

간단한 해설

A의 경사면 위 롤러는 반력 1개, C의 힌지는 2개, D의 고정단은 3개를 가지므로 **반력의 총 개수는 6개**이다. B의 강결은 부재 사이의 연결 조건이므로 외부 지점반력을 추가하지 않는다.

NoteBase

계산 과정

평면 구조물의 반력 개수는 지점이 구속하는 운동에 대응하는 독립적인 반력 미지수의 수로 센다. 이때 힘뿐 아니라 회전을 구속하는 반력모멘트도 포함한다.

A: 경사면 위의 롤러 지점이다. 면을 따라 이동하거나 회전할 수 있고, 면에 수직인 이동만 구속하므로 **경사면에 수직인 반력 1개**가 생긴다. 이 힘을 수평·수직 성분으로 나누어도 방향이 정해져 있어 두 성분이 독립적인 미지수는 아니다.

C: 힌지 지점은 수평·수직 이동을 구속하고 회전은 허용한다. 따라서 수평반력과 수직반력의 2개를 가지며, 반력모멘트는 없다.

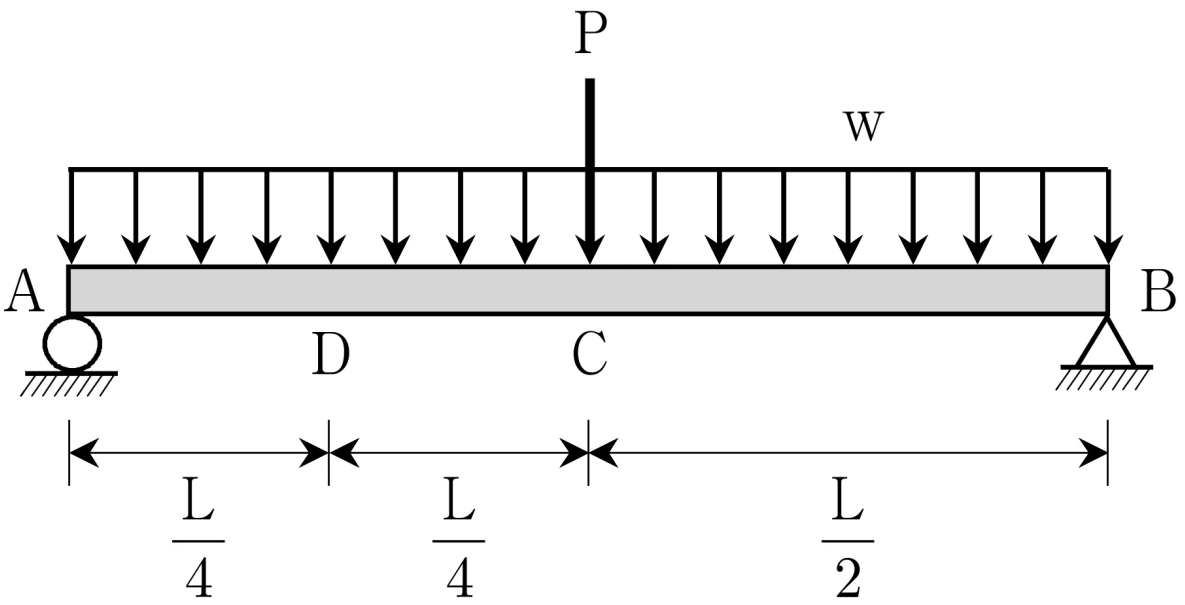
D: 기둥 아래의 고정단은 수평·수직 이동과 회전을 모두 구속한다. 따라서 수평반력, 수직반력, **반력모멘트**의 3개를 가진다.

B: 보와 기둥이 강결된 내부 접합부이다. 부재 사이에 힘과 모멘트를 전달하지만, 구조물 전체를 하나로 보면 내력이므로 외부 지점반력 개수에 더하지 않는다.

총 개수: A, C, D의 반력을 합하면 1 + 2 + 3 = 6개이며, ③의 값과 일치한다. 등변분포 하중의 크기와 분포는 반력의 값을 구할 때 필요하지만, 지점의 구속 조건으로 정해지는 반력 개수에는 영향을 주지 않는다.

NoteBase

문 14. 그림과 같은 단순보에서 D점의 전단력은? (단, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{P}{2}+\frac{wL}{2}$

② $\frac{wL}{2}$

③ $\frac{P}{2}+\frac{wL}{4}$

④ $\frac{P}{2}$

정답 3번

간단한 해설

D점의 전단력은 **A점의 반력에서 AD 구간의 등분포하중 합력을 뺀 값**이다. AD의 길이가 $\frac{L}{4}$이므로, 전단력은 $\frac{P}{2}+\frac{wL}{4}$이다.

NoteBase

계산 과정

하중과 위치: 보 전체 길이는 L이고, 중앙 C점에 집중하중 P가 아래로 작용한다. 보 전체에는 단위 길이당 하중 w가 등분포하며, A점에서 D점까지의 거리는 $\frac{L}{4}$이다. 보의 자중은 무시한다.

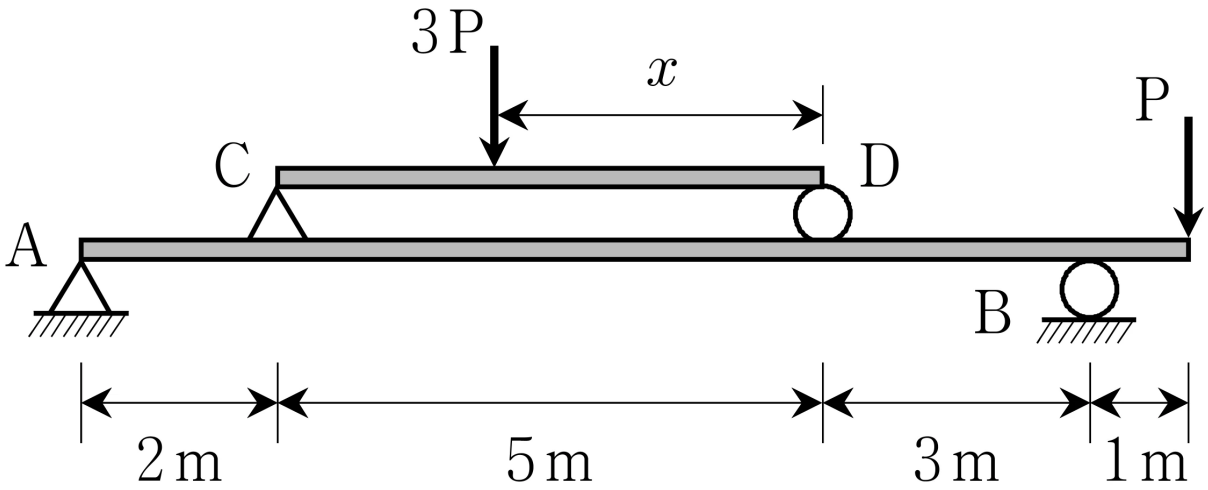
지점 반력: 등분포하중의 전체 합력은 wL이고 보의 중앙에 작용한다. 집중하중도 중앙에 있으므로 **하중이 좌우 대칭**이다. 수직력 평형에 따라 두 지점은 전체 하중을 절반씩 부담하므로, 위쪽 반력은 $R_A = R_B = \frac{P + wL}{2}$이다.

AD 구간의 하중: D점에서 보를 절단하고 왼쪽 부분을 보면, 아래쪽 하중은 AD 구간의 등분포하중뿐이다. 그 합력은 하중강도에 구간 길이를 곱한 $w \cdot \frac{L}{4} = \frac{wL}{4}$이다. 집중하중 P는 **D점 오른쪽의 C점에 작용**하므로 이 부분의 외력에 직접 포함하지 않는다. 다만 P의 영향은 A점 반력에 이미 반영되어 있다.

D점 전단력: 단면 왼쪽 외력의 위쪽 합력을 양(+)의 전단력으로 두면, $V_D = R_A - \frac{wL}{4}$이다. 반력을 대입하여 정리하면 $V_D = \frac{P}{2} + \frac{wL}{4}$이다. 두 항 모두 힘의 단위를 가지며, 이 식은 선택지 ③과 일치한다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 길이 11 m인 단순보 위에 길이 5 m의 또 다른 단순보(CD)가 놓여 있다. 지점 A와 B에 동일한 수직 반력이 발생하도록 만들기 원한다면, 3P의 크기를 갖는 집중하중을 보 CD 위의 어느 위치에 작용시켜야 하나? (단, 지점 D에서 떨어진 거리 x(m)를 결정하며, 모든 자중은 무시한다)



① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 4번

간단한 해설

두 보를 하나의 구조물로 보면 C·D의 접촉력은 내부력으로 상쇄된다. **A·B의 반력이 각각 2P**가 되도록 A점에 대한 모멘트 평형을 적용하면, 집중하중의 위치는 **D에서 왼쪽으로 4 m**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 거리와 하중 위치: 그림에서 A와 B 사이의 거리는 2 + 5 + 3 = 10 m이고, 오른쪽 끝은 A에서 11 m 떨어져 있다. D는 A에서 2 + 5 = 7 m 떨어져 있으므로, 3P 하중의 작용점은 A에서 $7 - x$ m인 위치이다. 자중은 무시한다.

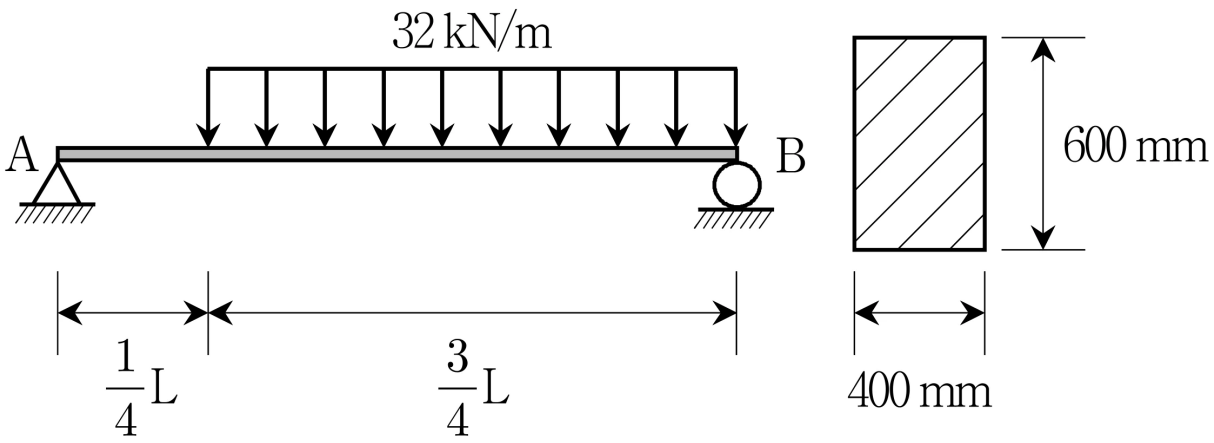
2. 같은 크기의 지점 반력: 두 보를 함께 떼어 생각하면 C·D에서 주고받는 힘은 **내부력으로 상쇄**된다. 따라서 외부 수직하중은 아래로 작용하는 3P와 P뿐이다. 위쪽 반력을 각각 R_A, R_B라 하면 수직력 평형에서 $R_A + R_B = 4P$이다. 두 반력이 같아야 하므로 $R_A = R_B = 2P$이다.

3. A점에 대한 모멘트 평형: 힘의 모멘트는 힘과 작용선까지의 수직거리를 곱하여 구한다. A의 반력은 A점을 지나므로 모멘트가 0이다. B의 반력은 반시계방향으로 $2P \cdot 10 = 20P$, 두 하중은 시계방향으로 $3P(7 - x) + 11P$의 모멘트를 만든다. 여기서 거리의 수치는 m 단위이며 모멘트의 단위는 힘의 단위에 m를 곱한 것이다. 양방향 모멘트가 같아야 하므로 P를 약분하면 $3(7 - x) + 11 = 20$이다.

4. 거리 x 결정: 위 식을 정리하면 $32 - 3x = 20$, $3x = 12$이므로 x = 4 m이다. 이는 **D에서 왼쪽으로 잰 거리**이며, C에서는 오른쪽으로 1 m인 위치이다. 따라서 구한 거리 4 m는 ④의 값에 해당한다.

NoteBase

문 16. 그림과 같은 하중이 작용하는 직사각형 단면의 단순보에서 전단력을 지지할 수 있는 지간 L의 최대 길이[m]는? (단, 보의 자중은 무시하고, 허용전단응력은 1.5 MPa이다)



① 8

② 12

③ 16

④ 20

정답 3번

간단한 해설

직사각형 단면에서는 **최대전단응력이 평균전단응력의 1.5배**이므로 허용전단력은 240 kN이다. 하중이 치우쳐 있어 B측의 전단력이 더 크며, 이를 허용전단력 이하로 제한하면 최대 지간은 16 m이다.

NoteBase

계산 과정

1. 분포하중의 합력: 보의 자중은 무시하며, 32 kN/m의 등분포하중은 A에서 L/4 떨어진 곳부터 B까지 작용한다. 이하 L을 m 단위의 수치로 나타내면 합력은 $W = 32 \cdot \frac{3L}{4} = 24L$ kN이다. 합력은 **하중이 작용하는 구간의 중앙**에 작용하므로 A에서의 거리는 $\frac{L}{4} + \frac{3L}{8} = \frac{5L}{8}$이다.

2. 지점반력: 위쪽 반력을 양으로 두고 A에 대한 모멘트 평형을 적용하면 $R_B L = W \cdot \frac{5L}{8}$이다. 따라서 $R_B = \frac{5W}{8} = 15L$ kN이고, 수직력 평형에서 $R_A = W - R_B = 9L$ kN이다.

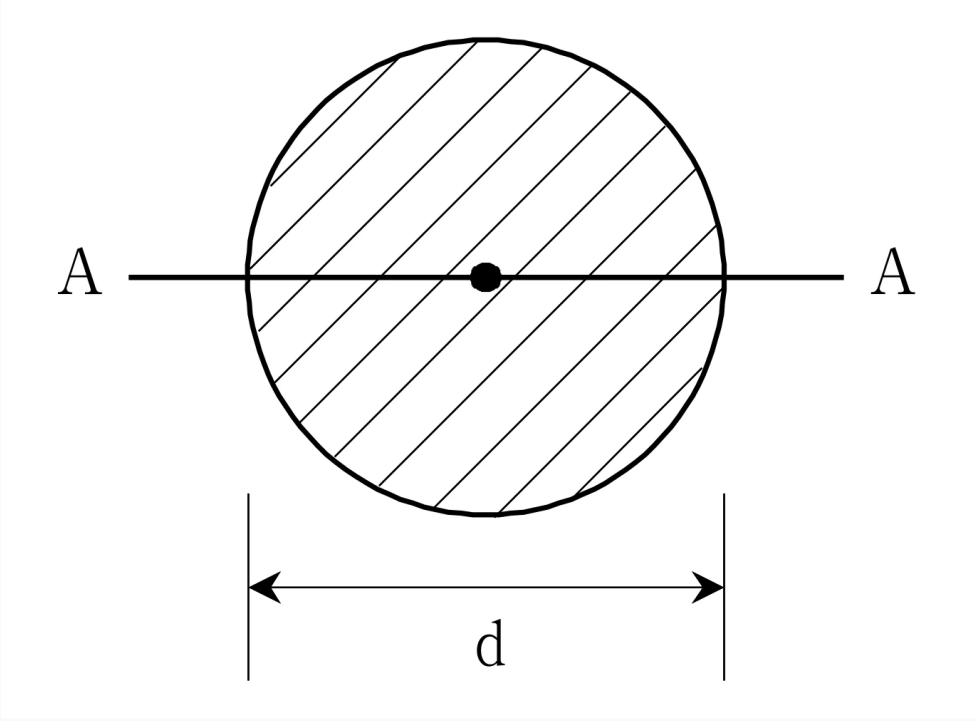
3. 최대전단력: A와 하중 시작점 사이의 전단력은 9L kN으로 일정하다. 하중 구간에서는 아래쪽 분포하중 때문에 전단력이 직선적으로 감소하여 B 바로 왼쪽에서 −15L kN이 된다. 따라서 **전단력의 절댓값이 가장 큰 곳은 B 바로 왼쪽**이며, 그 크기는 $V_{\max} = 15L$ kN이다.

4. 단면의 허용전단력: 단면적은 A = 0.4 × 0.6 = 0.24 m^2이고, 허용전단응력은 1.5 MPa = 1500 kN/m^2이다. 직사각형 단면의 전단응력은 높이에 따라 포물선으로 분포하며 **중립축에서 최대**가 된다. 최대값은 $\tau_{\max} = \frac{3V}{2A}$이므로 허용전단력은 $V_a = \frac{2}{3}\tau_a A$이다. 수치를 대입하면 $V_a = \frac{2}{3} \cdot 1500 \cdot 0.24 = 240$ kN이다.

5. 지간의 한계: 어느 단면에서도 허용전단응력을 넘지 않으려면 최대전단력이 허용전단력 이하여야 한다. 따라서 $15L \le 240$에서 $L \le 16$ m이다. 최대 지간은 16 m로, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 문 17. 그림과 같이 길이가 L인 기둥의 중실원형 단면이 있다. 단면의 도심을 지나는 $A-A$ 축에 대한 세장비는?



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

정답 4번

간단한 해설

중실원형 단면의 도심축에 대한 **단면2차반지름**은 $i=\frac{d}{4}$이다. 세장비는 기둥 길이를 이 값으로 나눈 $\lambda=\frac{4L}{d}$이다.

NoteBase

계산 과정

세장비는 기둥 길이 L을 해당 축에 대한 단면2차반지름 i로 나눈 값으로, $\lambda = \frac{L}{i}$이다. 그림에서 d는 중실원형 단면의 지름이며, $A-A$축은 **단면의 도심을 지나는 축**이다.

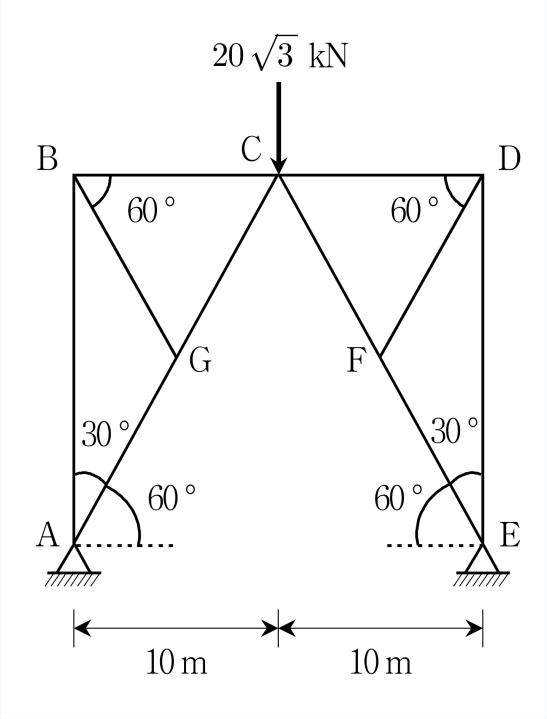
단면적을 A, $A-A$축에 대한 단면2차모멘트를 I라 하면, 중실원형 단면에서는 $A = \frac{\pi d^2}{4}$, $I = \frac{\pi d^4}{64}$이다. 여기서 I는 원의 평면 안에 있는 도심축에 대한 값이다.

단면2차반지름은 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$로 구한다. 위 값을 대입하면 $\frac{I}{A} = \frac{d^2}{16}$이므로 $i = \frac{d}{4}$이다. 이는 단면의 기하학적 반지름인 $\frac{d}{2}$와 구별해야 한다.

따라서 세장비는 $\lambda = \frac{L}{d/4} = \frac{4L}{d}$로, ④의 식과 일치한다. L과 d를 같은 길이 단위로 나타내면 **세장비는 단위가 없는 값**이다.

NoteBase

문 18. 그림과 같은 트러스 구조물에서 C점에 수직하중이 작용할 때, 부재 CG와 BG의 부재력(F_{CG}, F_{BG})[kN]은? (단, 트러스의 자중은 무시한다)



① F_{CG}: 20 (압축), F_{BG}: 0

② F_{CG}: 0, F_{BG}: 20 (압축)

③ F_{CG}: 30 (압축), F_{BG}: 0

④ F_{CG}: 20 (압축), F_{BG}: 30 (압축)

정답 1번

간단한 해설

G점에서는 AG와 CG가 일직선이고 외력이 없으므로 BG는 **영부재**이다. C점의 수직하중을 수평면과 60°를 이루는 두 경사 부재가 나누어 지지하므로 CG에는 **20 kN의 압축력**이 작용한다.

NoteBase

계산 과정

트러스 부재는 절점에서 부재 축 방향의 힘을 전달하므로 각 절점의 수평·수직 힘의 합이 0이어야 한다. 자중을 무시하므로 그림에 표시된 C점의 하향하중 $20\sqrt{3}\,\mathrm{kN}$과 지점반력 이외의 외력은 없다.

G점의 평형: AG와 CG는 일직선이고 BG만 그 직선과 다른 방향으로 연결되어 있다. G점에 외력이 없으므로 **AG·CG에 수직인 방향의 평형**에 의해 $F_{BG} = 0$이다. 같은 이유로 F점에서는 CF와 FE가 일직선이므로 DF도 영부재이다.

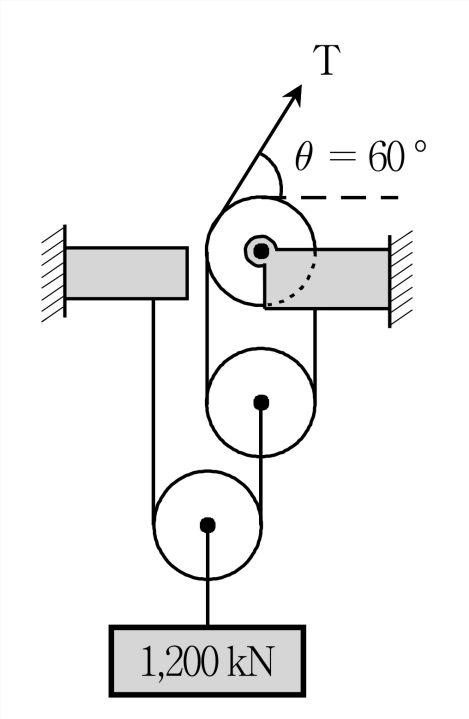
B·D점의 평형: B점에서는 BG의 부재력이 0이고 AB는 수직, BC는 수평이다. 외력이 없는 B점의 수평 평형에서 $F_{BC} = 0$이다. D점에서도 DF의 부재력이 0이므로 수평 평형에 의해 $F_{CD} = 0$이다. 따라서 C점에서는 두 경사 부재 CG·CF가 수직하중을 지지한다.

C점의 평형: CG와 CF는 각각 수평면과 60°를 이루며 좌우로 기울어져 있다. 수평 평형에서 두 부재력의 크기가 같아야 한다. 하향하중을 지지하려면 두 부재가 **C점을 위로 밀어야 하므로 압축**이며, 그 크기를 N이라 하면 수직 평형식은 $2N\sin 60^\circ = 20\sqrt{3}$이다. 각 부재의 수직성분이 전체 하중의 절반을 부담하므로 $N = \frac{20\sqrt{3}}{2\sin 60^\circ} = 20\mathrm{kN}$이다.

따라서 CG는 20 kN의 압축부재이고 BG의 부재력은 0 kN이므로 ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 배열된 무게 1,200 kN을 지지하는 도르래 연결 구조에서 수평방향에 대해 60°로 작용하는 케이블의 장력 T [kN]는? (단, 도르래와 베어링 사이의 마찰은 무시하고, 도르래와 케이블의 자중은 무시한다)



① $150\sqrt{3}$

② 300

③ $300\sqrt{3}$

④ 600

정답 2번

간단한 해설

두 움직도르래가 차례로 하중을 나누어 지지하므로 필요한 장력은 **하중의 1/4**인 300 kN이다. 60°는 고정도르래를 지난 케이블의 방향이며 장력의 크기를 바꾸지 않는다.

NoteBase

계산 과정

마찰과 케이블의 자중을 무시하므로 **하나의 연속된 케이블에서는 장력의 크기가 일정**하다. 아래쪽 움직도르래를 감싼 케이블의 장력을 S, 가운데 움직도르래를 감싸고 위쪽 고정도르래를 지나는 케이블의 장력을 T라 둔다.

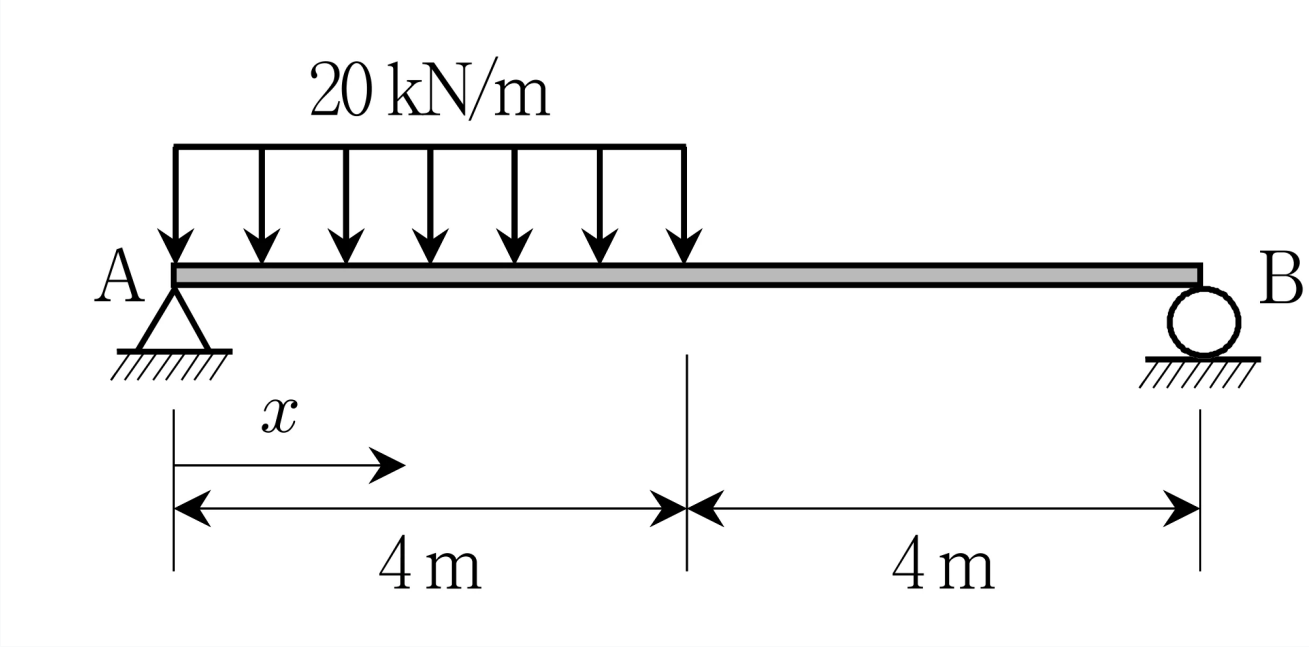
아래쪽 움직도르래: 왼쪽은 고정 지점에, 오른쪽은 가운데 움직도르래의 축에 연결된 케이블이 아래쪽 도르래를 감싸고 있다. 두 수직 가닥이 각각 S의 힘으로 1,200 kN을 지지하므로 $2S = 1{,}200\text{kN}$이다. 따라서 $S = \frac{1{,}200}{2} = 600\text{kN}$이다. 이 값은 아래쪽 케이블이 **가운데 움직도르래의 축을 아래로 당기는 힘**이기도 하다.

가운데 움직도르래: 축에는 아래로 600 kN이 작용하고, 도르래 양쪽의 수직 케이블은 각각 T의 힘으로 위로 당긴다. 도르래의 자중도 무시하므로 수직방향 평형식은 $2T = S$이다. 따라서 $T = \frac{600}{2} = 300\text{kN}$이다.

위쪽 고정도르래는 **케이블의 방향만 바꾸며** 양쪽 장력의 크기는 같다. 따라서 수평방향에 대해 60°인 끝부분의 장력도 300 kN이고, 이는 ②의 값과 일치한다. 가운데 움직도르래를 지지하는 두 가닥은 수직이므로 그 평형식에 60°의 삼각함수를 곱하지 않는다.

NoteBase

문 20. 그림과 같은 단순보에서 최대 휨모멘트가 발생하는 단면까지의 A로부터의 거리 x[m]와 최대 휨모멘트 M_{max}[kN · m]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① x: 2, M_{max}: 80

② x: 2, M_{max}: 90

③ x: 3, M_{max}: 80

④ x: 3, M_{max}: 90

정답 4번

간단한 해설

최대 휨모멘트는 **전단력이 양에서 음으로 바뀌는 단면**에서 발생한다. A의 반력 60 kN과 등분포하중에 의한 전단력 감소량이 같아지는 위치는 A에서 3 m이며, 이곳의 휨모멘트는 90 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

하중과 조건: 보의 전체 길이는 8 m이고, 20 kN/m의 등분포하중은 **A부터 4 m 구간에만** 작용한다. 보의 자중은 무시한다. 등분포하중의 합력은 $20 \times 4 = 80$ kN이며, 작용점은 하중 구간의 중앙인 A에서 2 m 지점이다.

지점반력: A와 B의 위쪽 수직반력을 각각 R_A, R_B라 한다. A점에 대한 모멘트 평형에서 $8R_B = 80 \cdot 2$이므로 $R_B = 20$kN이다. 수직력 평형에 따라 $R_A = 80 - 20 = 60$kN이다.

최대 휨모멘트의 위치: A에서 오른쪽으로 잰 거리를 x[m]라 하면, 하중 구간 $0 \leq x \leq 4$의 전단력은 $V(x) = 60 - 20x$[kN]이다. 휨모멘트의 기울기가 전단력이므로, **전단력이 양에서 음으로 바뀌는 곳**에서 휨모멘트가 최대가 된다. $60 - 20x = 0$을 풀면 $x = 3$m이다. 4 m 지점의 전단력은 −20 kN이고, 이후 B까지도 −20 kN으로 일정하므로 휨모멘트는 계속 감소한다.

최대 휨모멘트의 크기: A에서 3 m인 단면의 왼쪽 부분을 보면, A의 반력 60 kN과 길이 3 m 구간의 등분포하중이 작용한다. 이 구간 하중의 합력은 $20 \times 3 = 60$ kN이며, **절단면에서 1.5 m 떨어진 곳**에 작용한다. 따라서 $M_{\max} = 60 \cdot 3 - (20 \cdot 3) \cdot \frac{3}{2} = 90$ kN·m이다.

구한 거리 3 m와 최대 휨모멘트 90 kN·m는 ④의 값과 일치한다.

NoteBase