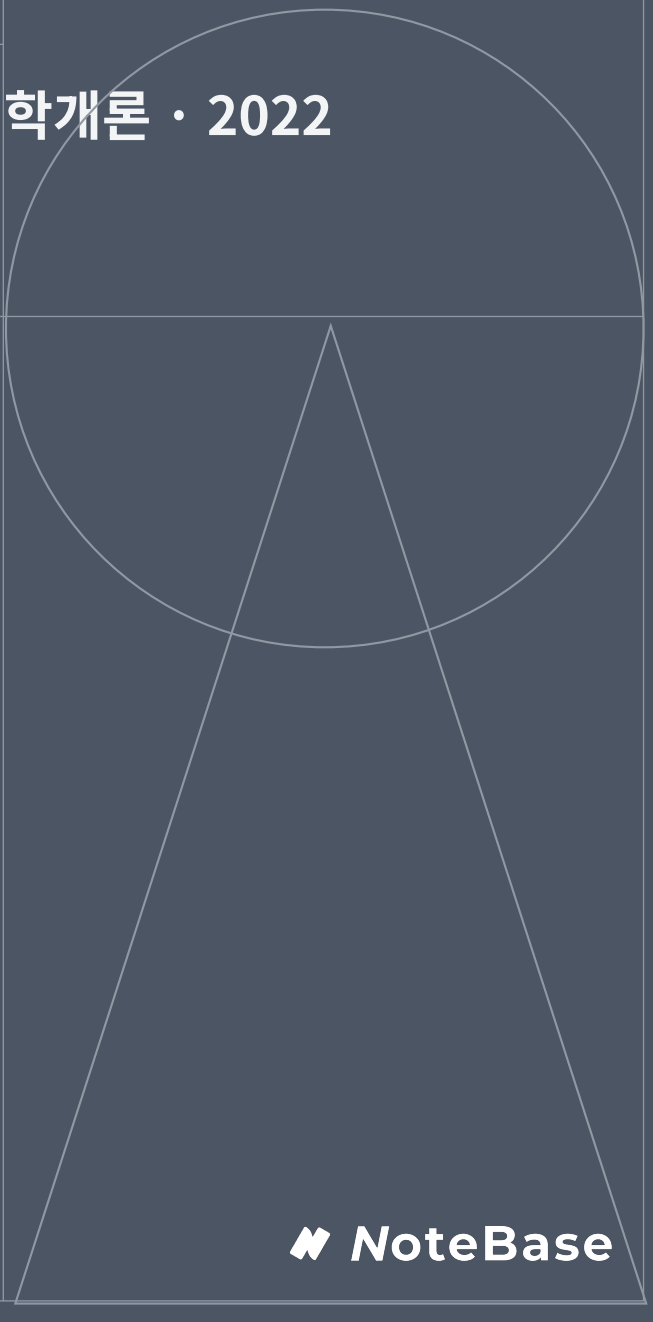
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2022



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2022

공무원/지방직/9급 · 응용역학개론 · 2022

문 1. 전단탄성계수 G에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 포아송비 ν는 $0 \le \nu \le 0.5$이다)

① 탄성계수 E보다 크고, 포아송비 ν가 커짐에 따라 증가한다.

② 탄성계수 E보다 작고, 포아송비 ν가 커짐에 따라 증가한다.

③ 탄성계수 E보다 크고, 포아송비 ν가 커짐에 따라 감소한다.

④ 탄성계수 E보다 작고, 포아송비 ν가 커짐에 따라 감소한다.

정답 4번

간단한 해설

전단탄성계수는 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$이므로, 주어진 포아송비 범위에서 **E보다 작다**. E가 일정하면 포아송비가 커질수록 분모가 커져 **G는 감소한다**.

공통 해설

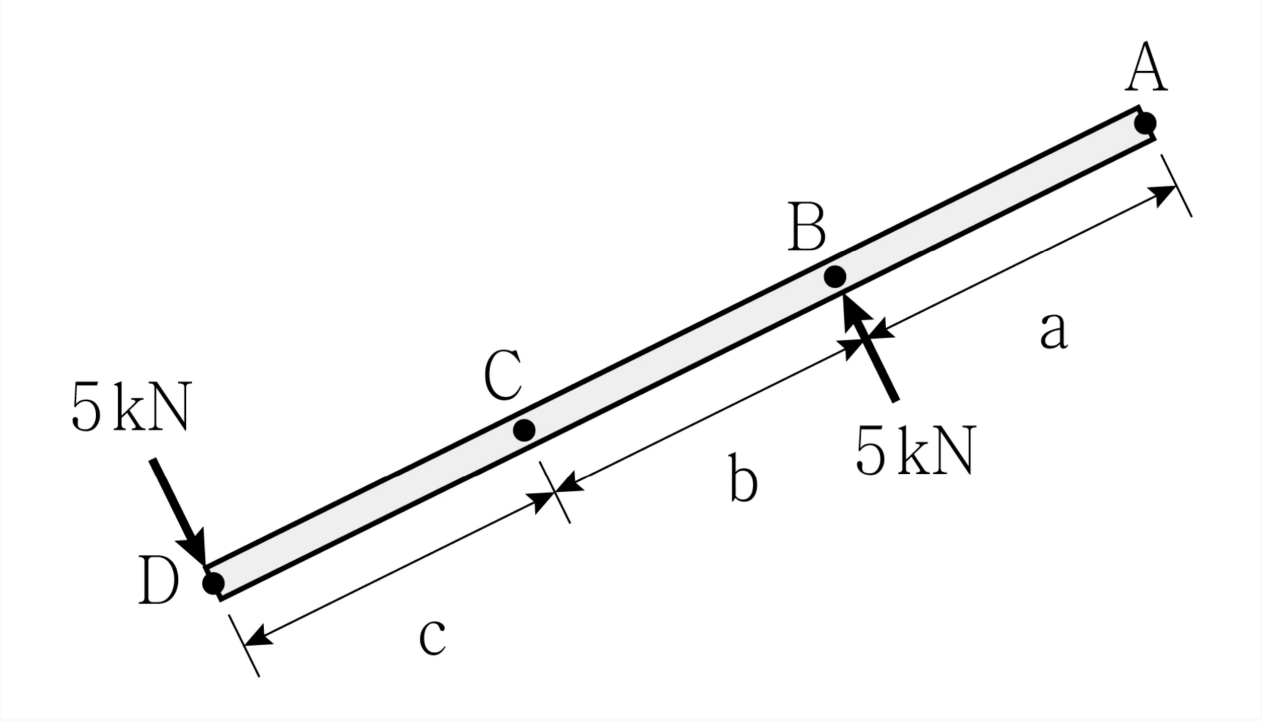
등방성 선형 탄성재료에서 탄성계수 E와 전단탄성계수 G의 관계는 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$이다. E는 인장·압축 변형에 대한 강성을, G는 전단변형에 대한 강성을 나타내며, ν는 포아송비이다.

주어진 $0 \le \nu \le 0.5$에서 분모 $2(1+\nu)$는 2 이상 3 이하이다. 따라서 $\frac{E}{3} \le G \le \frac{E}{2}$이므로 G는 항상 **E보다 작다**. E보다 크다는 설명은 이 관계에 어긋난다.

E가 일정할 때 포아송비 ν가 증가하면 분모 $2(1+\nu)$가 증가하므로 G는 감소한다. 따라서 전단탄성계수의 특성은 'E보다 작고, 포아송비가 커짐에 따라 감소한다'이다.

NoteBase

문 2. 그림과 같이 크기가 같고 방향이 반대인 우력이 작용할 때, 옳지 않은 설명은? (단, a, b, c는 0보다 큰 상수이다)



① A점 C점의 모멘트의 크기가 같다.

② B점 D점의 모멘트의 방향이 같다.

③ A점 D점의 모멘트의 크기와 방향이 모두 같다.

④ B점 C점의 모멘트의 크기는 다르나 방향은 같다.

정답 4번

간단한 해설

우력의 모멘트는 기준점이 달라져도 **크기와 방향이 모두 같다**. 따라서 B점과 C점에서도 방향뿐 아니라 크기까지 같으므로, '크기는 다르다'는 설명이 잘못되었다.

NoteBase

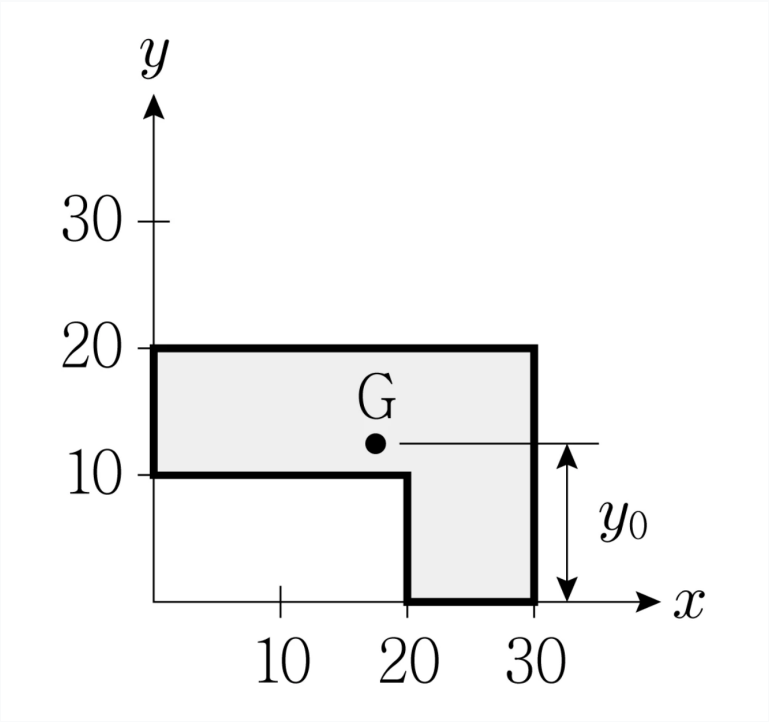
공통 해설

우력은 크기가 같고 방향이 반대인 두 평행한 힘이 서로 다른 작용선에 작용하는 것이다. 두 힘의 합력은 0이지만 물체를 회전시키는 모멘트는 남는다. 각 힘의 모멘트는 기준점에 따라 달라질 수 있으나, 두 힘의 모멘트를 합한 **우력모멘트는 기준점에 관계없이 일정하다**. 기준점을 옮길 때 생기는 두 힘의 모멘트 변화가 서로 상쇄되기 때문이다.

그림에서 D점과 B점에 작용하는 두 힘은 각각 5 kN이며 서로 반대 방향이다. D점을 기준으로 보면 D점에 작용하는 힘의 모멘트는 0이고, B점에 작용하는 힘은 막대를 반시계방향으로 돌린다. 따라서 이 우력의 모멘트는 A·B·C·D 어느 점을 기준으로 해도 같은 크기이고 반시계방향이다. A점과 C점의 크기, B점과 D점의 방향, A점과 D점의 크기와 방향은 각각 같다. B점과 C점 역시 **크기와 방향이 모두 같으므로** '크기는 다르나 방향은 같다'를 '크기와 방향이 모두 같다'로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 3. 그림과 같이 음영으로 표시된 도형에서 도심까지의 거리 y_0는?



① 11.5

② 12.5

③ 13.5

④ 14.5

정답 2번

간단한 해설

음영 도형을 위쪽과 오른쪽 아래의 두 직사각형으로 나누면, 도심의 높이는 각 부분 도심 높이의 **면적 가중평균**이다. 면적 300인 부분의 도심 높이가 15, 면적 100인 부분의 도심 높이가 5이므로 $y_0 = 12.5$이다.

NoteBase

계산 과정

기준과 분할: y_0는 x축에서 전체 도심 G까지의 수직거리이다. 음영 부분을 y = 10에서 나누면, 위쪽은 가로 30·세로 10인 직사각형이고 오른쪽 아래는 가로 10·세로 10인 직사각형이다. 두 부분은 **면적이 겹치지 않는다**.

위쪽 직사각형: 면적은 $A_1 = 30 \cdot 10 = 300$이다. 직사각형의 도심은 중앙에 있으므로, x축에서 이 부분 도심까지의 높이는 $y_1 = \frac{10+20}{2} = 15$이다. 여기서 15는 높이 10의 절반에 **밑변의 높이 10을 더한 값**이다.

오른쪽 아래 직사각형: 면적은 $A_2 = 10 \cdot 10 = 100$이고, y = 0부터 y = 10까지 놓여 있으므로 도심 높이는 $y_2 = \frac{0+10}{2} = 5$이다.

전체 도심 계산: 전체 면적의 x축에 대한 단면 1차 모멘트는 각 부분의 면적과 도심 높이를 곱한 값의 합이다. 따라서 도심 높이는 **단면 1차 모멘트를 전체 면적으로 나누어** 구한다.

$$y_0 = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2}$$

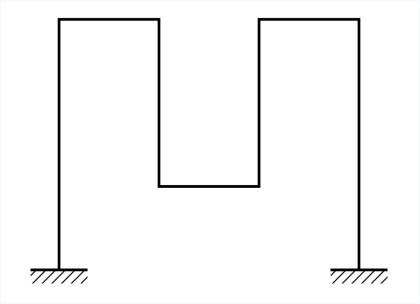
$$y_0 = \frac{300 \cdot 15 + 100 \cdot 5}{300 + 100}$$

분자의 5000은 전체 단면 1차 모멘트이고, 분모의 400은 전체 면적이다. 따라서 $y_0 = \frac{5000}{400} = 12.5$이며, ②의 12.5에 해당한다. 거리의 단위는 그림의 좌표에 사용된 길이 단위와 같다.

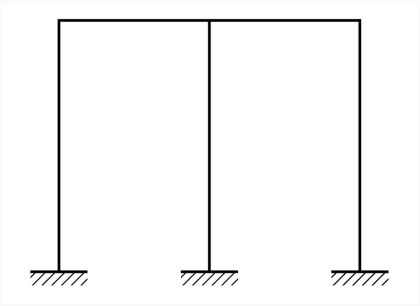
NoteBase

문 4. 다음은 부정정 라멘 구조물이다. 부정정 차수가 다른 하나는?

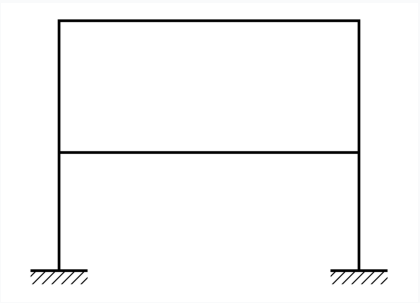
①



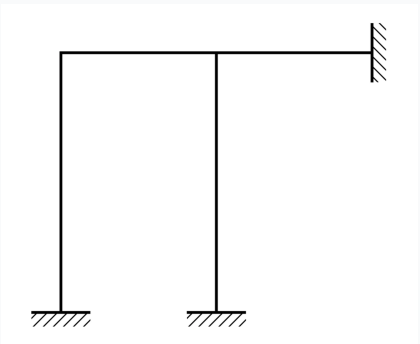
②



③



④



정답 1번

간단한 해설

①은 중간이 꺾여 있어도 양 끝만 고정된 하나의 연속된 라멘으로, **3차 부정정**이다. 부정정 차수는 외형의 복잡함이 아니라 **지점의 구속과 부재의 연결 관계**로 결정된다.

NoteBase

선지별 해설

부정정 차수는 평형조건만으로 결정할 수 없는 여분의 미지력 수이다. 내부 힌지가 없는 안정한 평면 강절 라멘에서는 $D = 3m + r - 3j$로 구한다. m은 부재 수, r은 지점반력 성분 수, j는 지점을 포함한 절점 수이다. 각 부재의 독립적인 힘 성분 3개와 지점반력 성분을 더한 뒤, 각 절점의 수평력·수직력·모멘트 평형식 3개씩을 뺀 것이다. 고정지점 하나의 반력은 수평반력·수직반력·모멘트반력의 3개이다. 부재는 절점 사이의 구간으로 세며, 꺾이는 곳과 보·기둥의 접합부도 절점에 포함한다.

①: 고정지점이 양 끝의 **2개**이므로 r = 6이다. 두 지점과 꺾이는 곳 6개를 합쳐 j = 8이고, 그 사이의 부재는 m = 7이다. 따라서 D = 3 × 7 + 6 − 3 × 8 = 3으로, 3차 부정정이다. 중간이 아래로 꺾여 있어도 추가 지점이나 폐합된 고리는 없다.

②: 왼쪽·가운데·오른쪽 기둥 아래에 **고정지점이 3개**이므로 r = 9이다. 지점 3개와 위쪽 접합부 3개를 합쳐 j = 6이며, 기둥 3개와 보 2개로 m = 5이다. 따라서 D = 3 × 5 + 9 − 3 × 6 = 6으로, 6차 부정정이다.

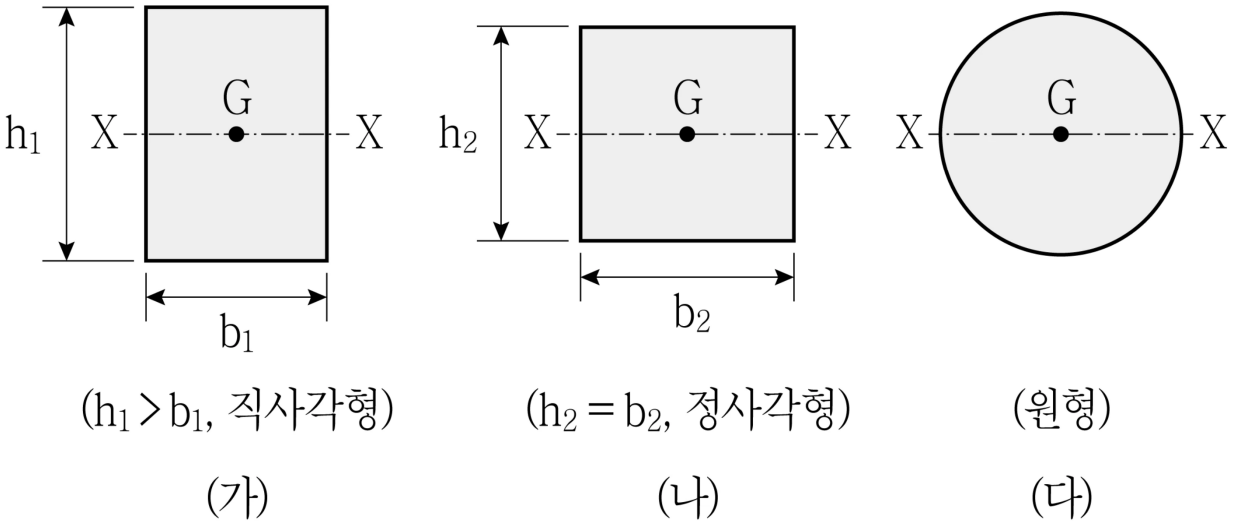
③: 고정지점이 2개이므로 r = 6이다. 지점 2개, 중간 보의 접합부 2개, 위쪽 모서리 2개로 j = 6이다. **중간 보의 접합부에서 기둥을 나누어** 세면 기둥 구간 4개와 보 2개로 m = 6이다. 따라서 D = 3 × 6 + 6 − 3 × 6 = 6으로, 6차 부정정이다.

④: 기둥 아래의 고정지점 2개에 **보 오른쪽 끝의 벽 고정지점**을 더하면 고정지점은 3개이므로 r = 9이다. 지점 3개와 위쪽 보·기둥 접합부 2개로 j = 5이며, 기둥 2개와 보 2개로 m = 4이다. 따라서 D = 3 × 4 + 9 − 3 × 5 = 6으로, 6차 부정정이다.

②·③·④는 모두 6차 부정정이고, ①만 3차 부정정으로 차수가 다르다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 단면적이 동일한 3개의 단면에 대하여 도심축(X축)에 대한 단면2차모멘트의 크기 순서로 옳게 표현된 것은?



($h_1 > b_1$, 직사각형) (가)

($h_2 = b_2$, 정사각형) (나)

(원형) (다)

① (가)>(다)>(나)

② (가)>(나)>(다)

③ (나)>(다)>(가)

④ (나)>(가)>(다)

정답 2번

간단한 해설

같은 면적의 직사각형은 X축에 대한 단면2차모멘트가 **높이의 제곱에 비례**하므로 세로로 긴 (가)가 (나)보다 크다. 정사각형의 단면2차모멘트는 같은 면적의 원형보다 $\frac{\pi}{3}$배 크므로 (나)가 (다)보다 크다.

NoteBase

선지별 해설

공통 단면적을 A라 한다. X축에 대한 단면2차모멘트는 각 미소면적에 X축으로부터의 수직거리 y의 제곱을 곱해 합한 값으로, $I_X = \int_A y^2 dA$이다. 따라서 면적이 같다는 조건만으로 단면2차모멘트가 같아지지는 않는다.

(가) 직사각형: 도심을 지나는 수평축에 대한 공식은 I_X,가=(b_1h_1^3)/(12)이다. $A = b_1 h_1$을 대입하면 I_X,가=(Ah_1^2)/(12)이다. 그림에서 **높이가 폭보다 크므로** $h_1^2 > b_1 h_1 = A$이고, 이에 따라 I_X,가>(A^2)/(12)이다.

(나) 정사각형: $h_2 = b_2$이므로 $A = h_2^2$이다. 직사각형의 도심축 공식을 적용하면 I_X,나=(b_2h_2^3)/(12)=(A^2)/(12)이다. 따라서 (가)보다 작다.

(다) 원형: 반지름을 r이라 하면 $A = \pi r^2$이고, 도심을 지나는 지름축에 대한 단면2차모멘트는 I_X,다=(π r^4)/(4)이다. 이를 공통 면적 A로 나타내면 I_X,다=(A^2)/(4π)이다. **같은 분자에서 분모가 클수록 값은 작으므로**, $4\pi > 12$에 따라 (다)는 (나)보다 작다.

따라서 X축에 대한 단면2차모멘트의 크기는 (가) > (나) > (다)이며, ②의 배열과 일치한다.

NoteBase

문 6. 길이 L인 단순보에 대하여, 부재 중앙에 수직집중하중 P가 작용할 때의 최대휨모멘트($M_{\max(P)}$)와 수직등분포하중 w가 전체 보에 작용할 때의 최대휨모멘트($M_{\max(w)}$)가 같다면, 등분포하중 w의 크기는?

① $\frac{P}{2L}$
② $\frac{P}{L}$
③ $\frac{2P}{L}$
④ $\frac{3P}{L}$

정답 3번

간단한 해설

단순보의 최대휨모멘트는 중앙 집중하중에서 $\frac{PL}{4}$, 전 구간 등분포하중에서 $\frac{wL^2}{8}$이다. **두 최대휨모멘트를 같게 두면** $w=\frac{2P}{L}$이 된다.

계산 과정

하중 조건: 길이 L인 단순보에 중앙 집중하중 P만 작용하는 경우와 전 구간에 등분포하중 w만 작용하는 경우를 따로 비교한다. P는 힘이고, w는 **단위 길이당 하중**이므로 등분포하중의 전체 합력은 wL이다. 두 경우 모두 하중이 좌우 대칭이어서 양쪽 지점반력이 같고, 전단력이 양에서 음으로 바뀌는 보 중앙에서 휨모멘트가 최대가 된다.

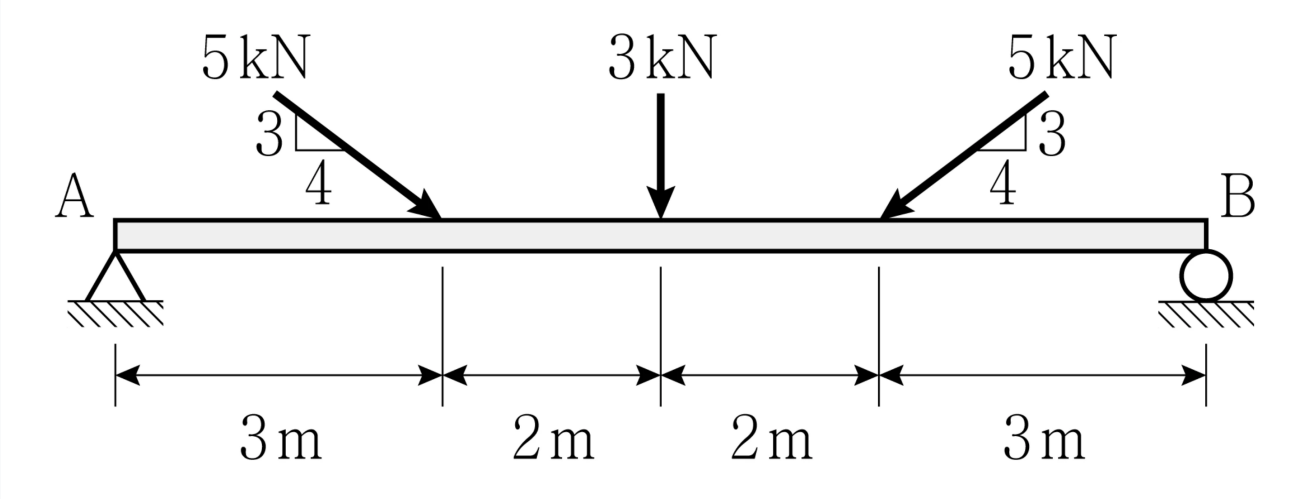
중앙 집중하중: 각 지점반력은 $\frac{P}{2}$이다. 중앙 단면의 왼쪽 부분에 대해 모멘트를 구하면, 지점반력의 팔길이가 $\frac{L}{2}$이므로 최대휨모멘트는 $M_P=\frac{P}{2}\cdot\frac{L}{2}=\frac{PL}{4}$이다.

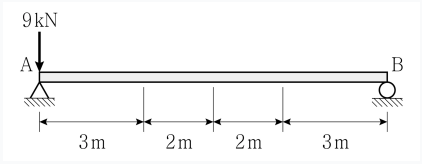
전 구간 등분포하중: 각 지점반력은 $\frac{wL}{2}$이다. 중앙 단면 왼쪽 절반에 작용하는 하중의 합력도 $\frac{wL}{2}$이며, 그 작용점은 왼쪽 절반 구간의 중앙이므로 중앙 단면에서 $\frac{L}{4}$ 떨어져 있다. 중앙 단면의 휨모멘트는 **지점반력의 모멘트에서 왼쪽 분포하중의 모멘트를 뺀 값**이다. 따라서 $M_w=\frac{wL^2}{4}-\frac{wL^2}{8}=\frac{wL^2}{8}$이다.

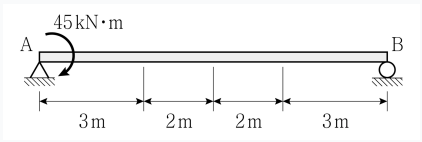
등분포하중의 크기: 두 최대휨모멘트가 같다는 조건에 따라 $\frac{PL}{4}=\frac{wL^2}{8}$이다. 양변에 8을 곱하면 $2PL=wL^2$이므로 $w=\frac{2P}{L}$을 얻는다. 단위는 힘/길이이며, 이 값은 ③에 해당한다.

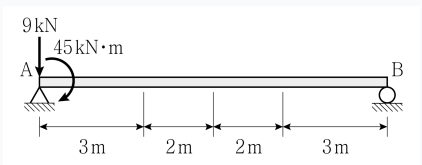
NoteBase

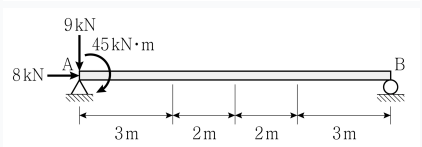
문 7. 그림과 같이 단순보에 하중이 작용할 때, A점에 작용하는 등가의 힘－우력계로 옳게 나타낸 것은?



① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

간단한 해설

두 경사하중의 수평성분은 서로 상쇄되고, 수직성분을 합하면 **아래쪽 9 kN**이다. A점에 힘을 모을 때는 원래 하중의 회전 효과도 보존해야 하므로 **시계방향 45 kN·m의 우력**을 함께 둔다.

NoteBase

계산 과정

등가의 힘－우력계는 원래 하중과 **합력 및 A점에 대한 모멘트가 모두 같아야** 한다. 따라서 주어진 세 하중의 합력을 구해 A점에 작용시키고, 원래 하중이 A점에 만드는 모멘트를 우력으로 더한다.

경사하중의 성분: 그림의 방향비는 수평 4, 수직 3인 3－4－5 삼각형이다. 각 5 kN 하중의 수평성분은 $5 \times \frac{4}{5} = 4\text{kN}$, 수직성분은 $5 \times \frac{3}{5} = 3\text{kN}$이다. 왼쪽 하중은 오른쪽 4 kN과 아래쪽 3 kN으로, 오른쪽 하중은 왼쪽 4 kN과 아래쪽 3 kN으로 분해된다.

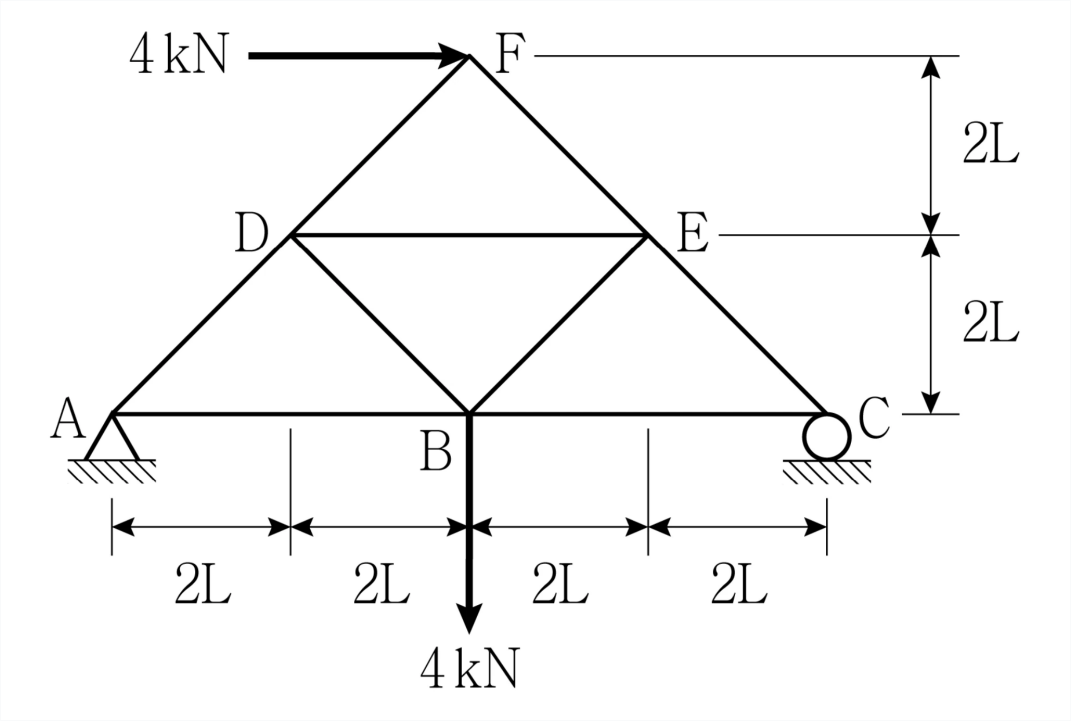
합력: 수평성분은 방향이 반대이므로 $4 - 4 = 0$ kN이다. 수직성분은 모두 아래쪽이므로 가운데 하중까지 합하면 $3 + 3 + 3 = 9$ kN이다. 따라서 A점에 작용시킬 힘은 아래쪽 9 kN이다.

A점에 대한 모멘트: 세 수직하중의 작용점은 A점에서 각각 3 m, $3 + 2 = 5$ m, $3 + 2 + 2 = 7$ m 떨어져 있다. 모멘트는 힘에 작용선까지의 수직거리를 곱하므로, 각 하중의 모멘트 크기는 9 kN·m, 15 kN·m, 21 kN·m이다. 모두 A점의 오른쪽에서 아래로 작용하므로 **회전방향은 모두 시계방향**이며, 합은 $9 + 15 + 21 = 45$ kN·m이다. 수평성분의 작용선은 A점을 지나므로 A점에 대한 모멘트를 만들지 않는다.

등가계의 구성: A점에 옮겨 놓은 아래쪽 9 kN의 힘은 A점에 대한 모멘트가 0이므로, 시계방향 45 kN·m의 우력을 별도로 더해야 원래 하중의 회전 효과가 유지된다. 이 두 요소를 함께 나타낸 그림은 ③이다.

NoteBase

문 8. 그림과 같은 하중을 받는 트러스 구조물에서 부재 AB의 부재력 [kN]은? (단, 부재의 축강성 EA는 일정하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① 0

② $2\sqrt{2}$(압축)

③ 4(압축)

④ 4(인장)

정답 4번

간단한 해설

절점 A의 수직반력이 0이므로 경사 부재 AD의 부재력도 0이다. 따라서 왼쪽으로 작용하는 수평반력 4 kN을 평형시키기 위해 AB에는 **4 kN의 인장력**이 작용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 조건과 부호: A는 힌지 지점이므로 수평·수직반력이 있고, C는 수평면 위의 롤러 지점이므로 수직반력만 있다. 이를 각각 A_x, A_y, C_y로 두고 오른쪽과 위쪽을 양으로 정한다. 그림에서 AC의 길이는 8L, A에서 B까지의 수평거리는 4L, F의 높이는 4L이다. AD는 수평·수직 길이가 각각 2L이므로 수평선과 45°를 이룬다. 부재력은 인장을 양으로 가정하며, 이하 평형식에서 힘의 수치는 kN 단위이다.

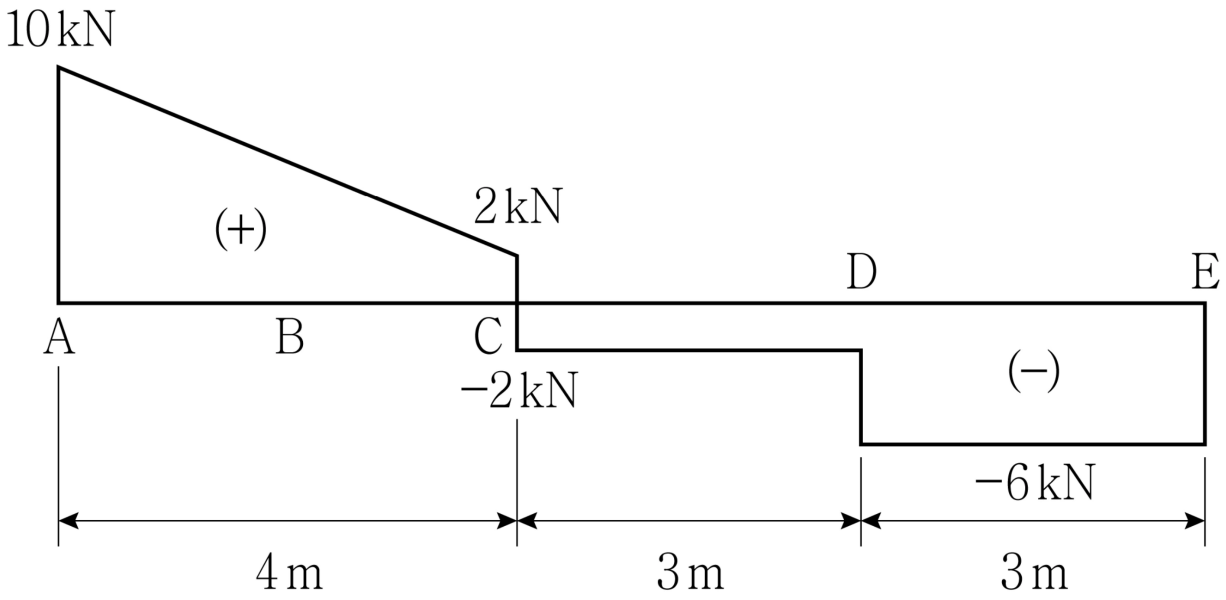
2. 지점반력: A점에 대한 모멘트 평형을 적용한다. B의 아래쪽 하중과 F의 오른쪽 하중은 모두 A에 대해 **시계방향 모멘트**를 만든다. 반시계방향을 양으로 두면 $8LC_y - 4 \cdot 4L - 4 \cdot 4L = 0$이므로 $C_y = 4$이다. 전체 수직력 평형에서 $A_y + C_y - 4 = 0$이므로 $A_y = 0$이다. 수평력 평형에서는 $A_x + 4 = 0$이므로 $A_x = -4$이며, A의 수평반력은 왼쪽으로 4 kN이다.

3. AD의 부재력: 절점 A에는 지점반력과 부재 AB·AD의 힘이 작용한다. AB는 수평이므로 수직성분이 없고, 수직반력도 0이다. 따라서 수직력 평형은 $N_{AD}\sin 45^\circ = 0$이며, **AD의 부재력은 0**이다.

4. AB의 부재력: 절점 A의 수평력 평형은 $N_{AB} + N_{AD}\cos 45^\circ - 4 = 0$이다. $N_{AD} = 0$을 대입하면 $N_{AB} = 4$이다. 인장을 양으로 가정한 값이 양수이므로 AB의 부재력은 **4 kN의 인장력**이며, ④의 4(인장)에 해당한다.

NoteBase

문 9. 그림은 단순보의 전단력도(S.F.D.)를 나타낸 것이다. 단순보에 발생하는 최대휨모멘트의 크기[kN · m]는?



① 18

② 20

③ 24

④ 30

정답 3번

간단한 해설

C점에서 전단력이 양수에서 음수로 바뀌므로 **휨모멘트는 C점에서 최대**가 된다. A점부터 C점까지 전단력도의 사다리꼴 면적을 구하면 최대휨모멘트는 24 kN·m이다.

NoteBase

계산 과정

전단력 V는 휨모멘트 M의 기울기이므로 $\frac{dM}{dx} = V$이다. 따라서 **전단력도의 부호를 고려한 면적**은 해당 구간의 휨모멘트 변화량이다. 단순보의 양 끝 지점 A와 E에서는 휨모멘트가 0이다.

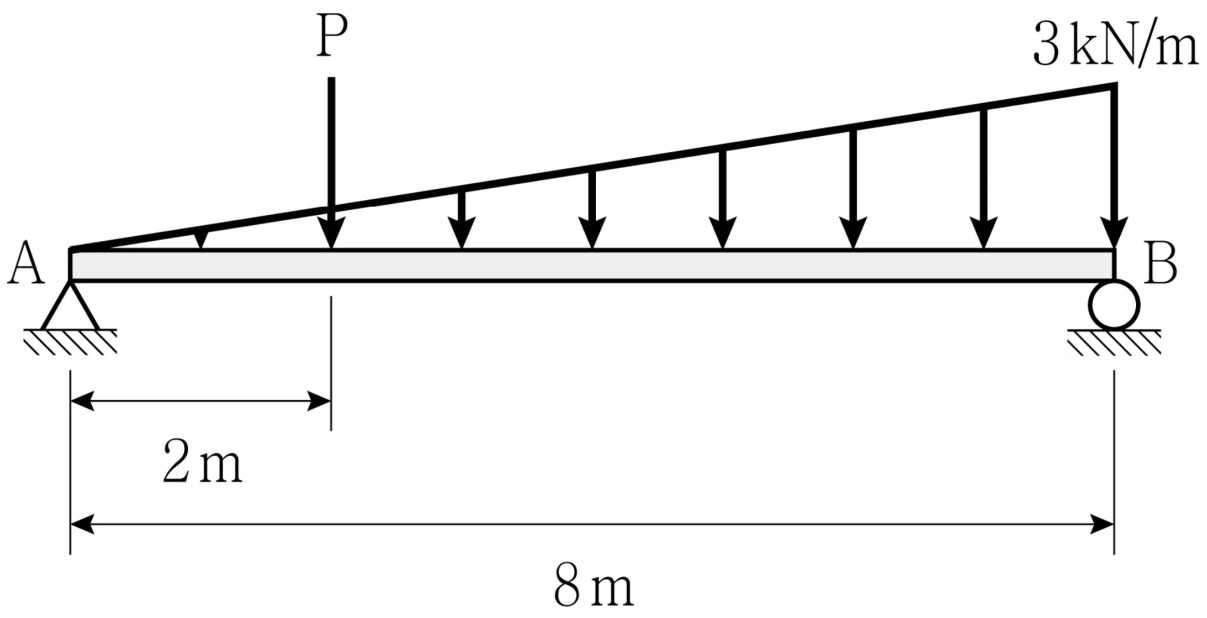
최대 위치: A~C 구간에서는 전단력이 +10 kN에서 +2 kN으로 줄어들지만 계속 양수이므로 휨모멘트가 증가한다. C점에서 전단력이 +2 kN에서 −2 kN으로 바뀌고, C~E 구간에서는 음수이므로 휨모멘트가 감소한다. 따라서 **전단력의 부호가 바뀌는 C점**에서 휨모멘트가 최대가 된다.

C점의 휨모멘트: A~C 구간은 길이 4 m, 양 끝 전단력이 10 kN과 2 kN인 사다리꼴이다. A점의 휨모멘트가 0이므로 사다리꼴 면적을 그대로 더하면 된다. $M_C = \frac{10+2}{2} \times 4 = 24\text{kN}\cdot\text{m}$이다. 전단력의 단위 kN에 길이의 단위 m를 곱하므로 결과의 단위는 kN·m이다.

나머지 구간 확인: C~D 구간의 전단력도 면적은 $-2 \times 3 = -6$ kN·m이므로 D점의 휨모멘트는 $24 - 6 = 18$ kN·m이다. D~E 구간에서는 $-6 \times 3 = -18$ kN·m만큼 더 감소하여 E점에서 0이 된다. 휨모멘트가 전 구간에서 0 이상이므로 크기의 최댓값도 24 kN·m이며, ③의 24에 해당한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 단순보에 3각형 분포하중과 집중하중이 작용하고 있다. 두 지지점의 수직반력(R_A, R_B)이 같다면, 집중하중 P의 크기[kN]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 4

② 6

③ 8

④ 9

정답 3번

간단한 해설

두 수직반력이 같으면 **보 중앙에 대한 두 하중의 모멘트가 서로 상쇄**되어야 한다. 삼각형 분포하중의 합력 12 kN이 만드는 모멘트를 집중하중이 상쇄하는 조건에서 P는 8 kN이다.

NoteBase

계산 과정

하중과 거리: 보의 길이는 8 m이고, 집중하중 P는 A에서 2 m 떨어진 곳에 아래로 작용한다. 분포하중은 A에서 0, B에서 3 kN/m인 삼각형 모양이며 아래로 작용한다. 보의 자중은 무시한다.

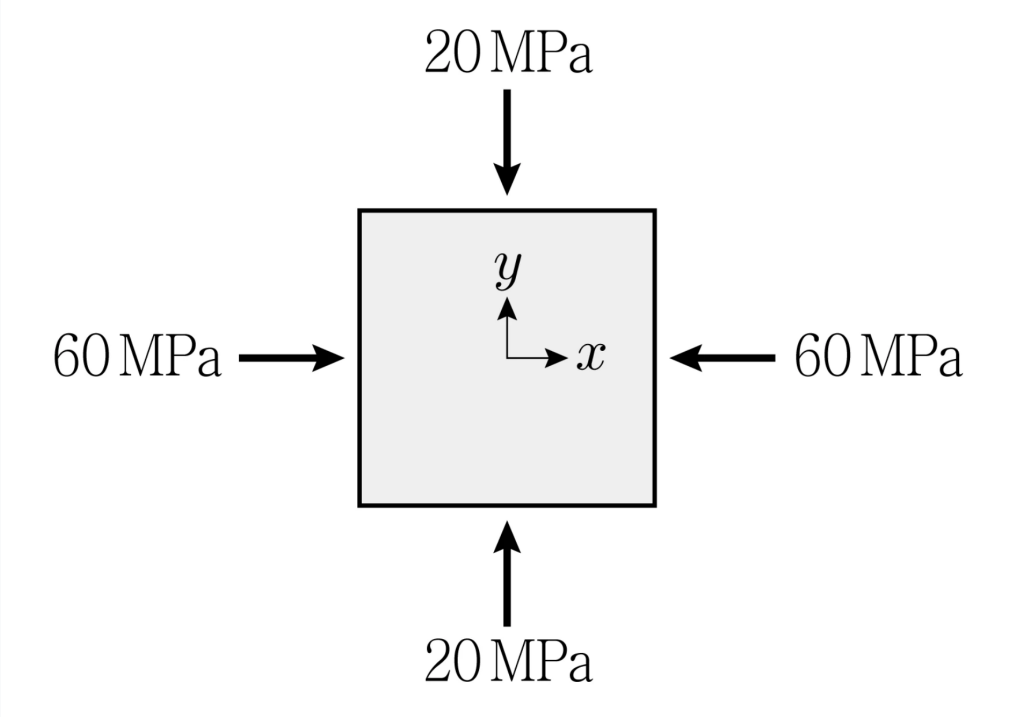
분포하중의 합력: 분포하중을 하나의 힘으로 바꾸면 그 크기는 **하중도형의 면적**과 같다. 따라서 합력 W는 $W = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 3 = 12\text{kN}$이다. 작용점은 삼각형의 도심이므로, 하중이 0인 A에서 $\frac{2}{3} \cdot 8 = \frac{16}{3}\text{m}$ 떨어져 있다.

보 중앙에 대한 모멘트: 중앙은 A에서 4 m인 지점이다. 두 반력은 크기가 같고 중앙에서 각각 4 m 떨어져 있으므로 서로 반대 방향의 모멘트를 만들어 상쇄된다. 따라서 **집중하중과 분포하중의 합력도 중앙에 대한 모멘트가 상쇄**되어야 한다. P는 중앙 왼쪽 2 m에서 반시계방향 모멘트를, W는 중앙 오른쪽 $\frac{16}{3} - 4 = \frac{4}{3}\text{m}$에서 시계방향 모멘트를 만든다.

집중하중의 크기: 힘에 중앙으로부터의 거리를 곱하여 두 모멘트의 크기를 같게 놓으면 $2P = 12 \cdot \frac{4}{3} = 16$이다. 우변은 분포하중이 만드는 16 kN·m의 모멘트이다. 이를 풀면 $P = \frac{16}{2} = 8\text{kN}$이므로 ③의 8 kN에 해당한다.

NoteBase

문 11. 그림과 같은 평면응력 상태($\sigma_x = -60$ MPa, $\sigma_y = -20$ MPa)일 때, 최대전단응력의 크기(τ_{max})는?



① 10 MPa

② 20 MPa

③ 30 MPa

④ 40 MPa

정답 2번

간단한 해설

그림에는 전단응력이 없으므로, 평면 내 최대전단응력은 **두 수직응력 차이의 절댓값의 절반**이다. 두 응력의 압축 부호를 유지하여 계산하면 20 MPa이다.

NoteBase

계산 과정

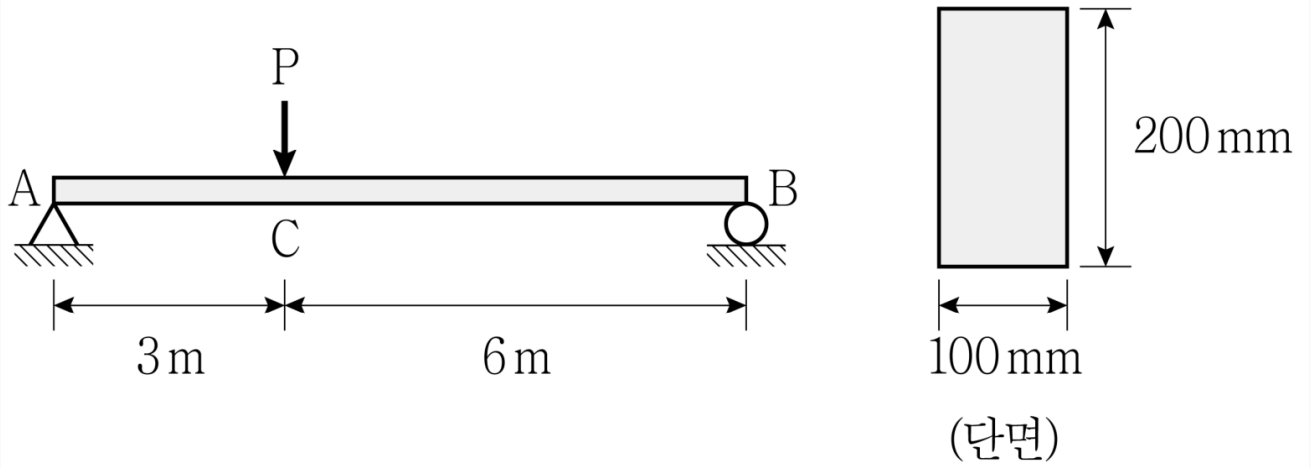
응력 상태: 그림의 화살표가 요소 안쪽을 향하므로 두 수직응력은 모두 압축응력이다. 인장을 양으로 잡으면 $\sigma_x = -60$ MPa, $\sigma_y = -20$ MPa이다. 면에 평행한 전단응력이 없으므로 $\tau_{xy} = 0$이며, x면과 y면은 **전단응력이 0인 주응력면**이다.

공식 적용: 평면 내 두 주응력은 -60 MPa와 -20 MPa이다. 모어 원에서 두 주응력은 지름의 양 끝에 놓이며, **평면 내 최대전단응력은 모어 원의 반지름**이다. 따라서 두 주응력 차이의 절댓값을 2로 나눈다. 이 경우에는 $\tau_{\max} = \frac{|\sigma_x - \sigma_y|}{2}$를 적용할 수 있다.

계산 및 선지 대응: $\tau_{\max} = \frac{|-60-(-20)|}{2}$이므로 $\tau_{\max} = \frac{40}{2} = 20$ MPa이다. 40 MPa는 두 주응력 사이의 차이, 즉 모어 원의 지름에 해당한다. 구하는 반지름은 그 절반인 20 MPa이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 단면 폭 100 mm, 높이가 200 mm의 직사각형 단면을 갖는 단순보가 있다. 허용휨응력(σ_a)이 60 MPa이고, 허용전단응력(τ_a)이 1 MPa이라면, 허용휨응력을 적용시킨 최대집중하중($P_{\max(\sigma_a)}$)과 허용전단응력을 적용시킨 최대집중하중($P_{\max(\tau_a)}$)과의 비($P_{\max(\sigma_a)} : P_{\max(\tau_a)}$)는? (단, 선형탄성이론을 적용하고, 휨강성 EI는 일정하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① 1 : 1

② 2 : 1

③ 3 : 1

④ 4 : 1

정답 1번

간단한 해설

휨응력 기준과 전단응력 기준으로 구한 허용 집중하중은 **모두 20 kN**이다. 직사각형 단면의 최대전단응력은 평균전단응력의 1.5배이므로 이를 적용하면 두 하중의 비는 1 : 1이 된다.

NoteBase

계산 과정

조건과 단위: 그림에서 AC = 3 m, CB = 6 m이므로 전체 경간은 9 m이다. 단면 폭 b = 100 mm, 높이 h = 200 mm이고, 단면적은 $A = bh = 20{,}000\ \text{mm}^2$이다. 선형탄성 보 이론을 적용하고 자중은 무시한다. 응력과 단면치수를 맞추기 위해 1 MPa = 1 N/mm^{2}를 사용하며, 아래에서 P의 수치는 N 단위로 둔다.

반력과 최대 단면력: A점에 대한 모멘트 평형에서 $R_B \cdot 9 = P \cdot 3$이므로 $R_B = \frac{P}{3}$, $R_A = \frac{2P}{3}$이다. AC 구간의 전단력은 $\frac{2P}{3}$, CB 구간은 $-\frac{P}{3}$이므로 최대 절댓값은 $V_{\max} = \frac{2P}{3}$이다. 휨모멘트는 C까지 증가한 뒤 감소하므로 **하중작용점 C에서 최대**이다. 따라서 $M_{\max} = \frac{2P}{3} \cdot 3 = 2P$ N·m, 즉 $M_{\max} = 2000P$ N·mm이다.

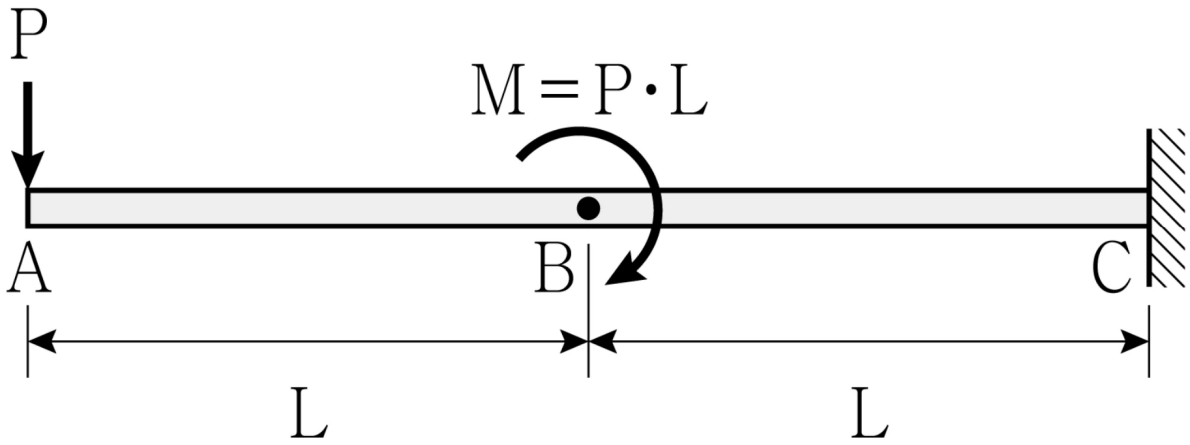
휨응력 기준의 허용하중: 직사각형 단면의 단면계수는 $Z = \frac{bh^2}{6}$이므로 $Z = \frac{2{,}000{,}000}{3}\ \text{mm}^3$이다. 최대휨응력은 중립축에서 가장 먼 상·하단에서 발생하며 $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z}$이다. 허용휨응력 60 MPa에 대응하는 허용휨모멘트는 $M_a = \sigma_a Z = 40{,}000{,}000$ N·mm이다. 이를 최대휨모멘트와 같게 두면 $P_\sigma = \frac{40{,}000{,}000}{2000} = 20{,}000$ N = 20 kN이다. 여기서 P_σ는 휨응력만을 기준으로 구한 최대집중하중이다.

전단응력 기준의 허용하중: 직사각형 단면에서는 전단응력이 높이 방향으로 포물선 분포를 이루며, **중립축에서의 최대값은 평균값의 1.5배**이다. 따라서 $\tau_{\max} = \frac{3V_{\max}}{2A}$에 $V_{\max} = \frac{2P}{3}$을 대입하면 $\tau_{\max} = \frac{P}{A}$이다. 허용전단응력 1 MPa를 적용하면 $P_\tau = \tau_a A = 1 \times 20{,}000 = 20{,}000$ N = 20 kN이다. 여기서 P_τ는 전단응력만을 기준으로 구한 최대집중하중이다.

두 허용하중의 비: $P_\sigma : P_\tau = 20 : 20 = 1 : 1$이므로 ①의 1 : 1에 해당한다.

NoteBase

문 13. 그림과 같은 캔틸레버보에 집중하중 P와 집중모멘트 M이 작용할 때, A점에 발생하는 처짐의 크기는? (단, 보의 휨강성 EI는 일정하고, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{7PL^3}{6EI}$
② $\frac{5PL^3}{3EI}$
③ $\frac{13PL^3}{6EI}$
④ $\frac{10PL^3}{3EI}$

정답 1번

간단한 해설

집중하중 P는 A점을 아래로 처지게 하고, B점의 시계방향 모멘트는 A점을 위로 처지게 한다. 두 효과는 **방향이 반대이므로 빼야 하며**, A점의 처짐 크기는 $\frac{7PL^3}{6EI}$이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 C는 고정단, A는 자유단이고 AB와 BC의 길이는 각각 L이므로 보의 전체 길이는 2L이다. B에는 시계방향 집중모멘트 $M = PL$이 작용한다. 휨강성 EI가 일정한 보의 선형 탄성·작은 처짐 해석에서는 각 하중에 의한 처짐을 따로 구한 뒤 방향을 고려하여 더할 수 있다. 보의 자중은 제외한다.

집중하중 P만 작용하는 경우: 길이가 ℓ인 캔틸레버보의 자유단에 집중하중 P가 작용하면 자유단 처짐은 $\frac{P\ell^3}{3EI}$이다. 여기서는 **전체 길이 2L**를 대입하므로 A점의 아래쪽 처짐은 $\delta_P = \frac{P(2L)^3}{3EI} = \frac{8PL^3}{3EI}$이다.

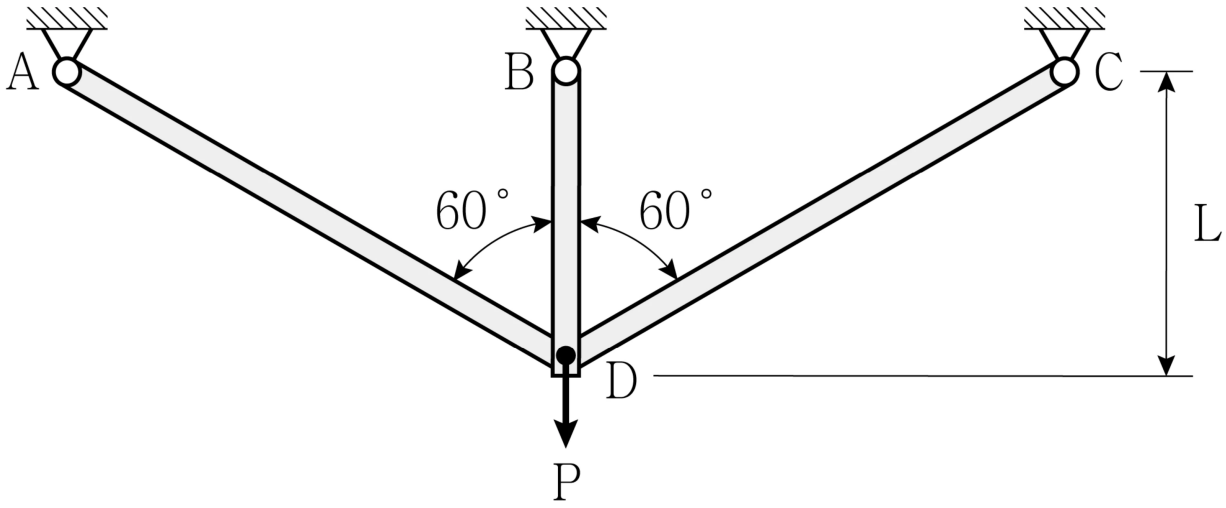
집중모멘트 M만 작용하는 경우: BC 구간에는 크기가 M인 일정한 휨모멘트가 생긴다. 곡률의 크기는 $\frac{M}{EI}$이고, C점의 처짐과 회전각이 모두 0이라는 조건으로 적분하면 B점의 시계방향 회전각 크기는 $\theta_B = \frac{ML}{EI}$, 위쪽 처짐 크기는 $\delta_B = \frac{ML^2}{2EI}$이다.

이때 AB 구간에는 휨모멘트가 없어 곡률이 0이다. 따라서 AB는 **B점에서 회전한 직선 상태로 이어지며**, A점은 B점보다 위쪽으로 $L\theta_B$만큼 더 이동한다. 모멘트에 의한 A점의 위쪽 처짐 크기는 $\delta_M = \delta_B + L\theta_B = \frac{3ML^2}{2EI}$이다. $M = PL$을 넣으면 $\delta_M = \frac{3PL^3}{2EI}$이다.

두 처짐의 합성: 집중하중에 의한 아래쪽 처짐이 더 크므로 아래쪽을 양으로 잡으면 $\delta_A = \delta_P - \delta_M$이다. 따라서 $\delta_A = \left(\frac{8}{3} - \frac{3}{2}\right)\frac{PL^3}{EI} = \frac{7PL^3}{6EI}$이며, A점은 아래로 처진다. 이 크기는 ①과 일치한다. P, L, E, I에 일관된 단위를 사용하면 처짐은 길이 단위로 얻어진다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 축강성(EA)이 일정한 트러스 구조물에 수직하중 P가 작용하고 있다. 부재 BD와 부재 CD의 부재력의 비 $\left(\frac{F_{BD}}{F_{CD}}\right)$는? (단, 미소변형이론을 적용하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① 4

② 2

③ $2\sqrt{3}$

④ $\frac{1}{\sqrt{3}}$

정답 1번

간단한 해설

좌우 대칭이므로 D는 수직으로만 이동하며, CD의 축방향 늘음은 **BD의 절반**이다. CD의 길이는 BD의 두 배이고 부재력은 $F = EA\Delta/l$이므로, $F_{BD}/F_{CD} = 4$이다.

NoteBase

계산 과정

① 부재 길이: 그림에서 BD의 길이는 L이고, CD는 수직 부재 BD와 60°를 이룬다. CD의 수직 투영 길이가 L이므로 $l_{CD}\cos 60^\circ = L$에서 $l_{CD} = 2L$이다. 여기서 l은 변형 전 부재 길이를 뜻한다.

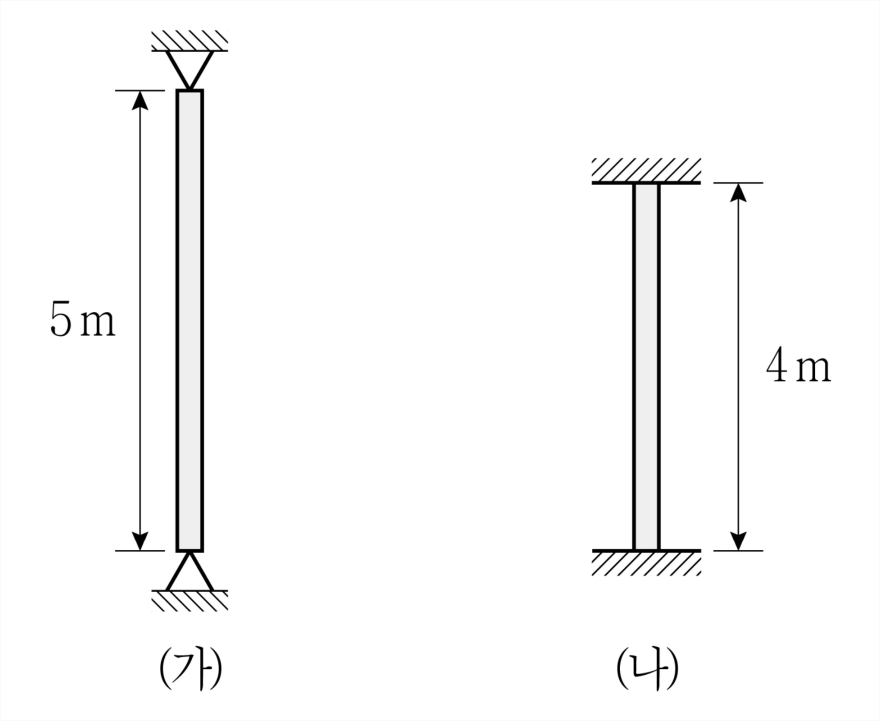
② 변형 적합조건: 절점 A·B·C의 위치가 고정되어 있고, 형상과 축강성이 좌우 대칭이며 하중도 수직으로 작용하므로 D는 수직으로만 이동한다. D의 아래쪽 변위를 δ라 하면 BD의 늘음은 $\Delta_{BD} = \delta$이다.
미소변형이론에서 CD의 늘음은 **D의 변위를 CD의 축방향으로 투영한 값**이므로 $\Delta_{CD} = \delta\cos 60^\circ = \frac{\delta}{2}$이다.
자중을 무시하므로 별도의 자중에 의한 변형은 고려하지 않는다.

③ 부재력: 축방향 늘음과 부재력의 관계는 $\Delta = \frac{Fl}{EA}$이므로 $F = \frac{EA\Delta}{l}$이다. 모든 부재의 EA가 같아도 **부재 길이가 다르면 같은 늘음에 필요한 부재력이 다르다**. 앞에서 구한 길이와 늘음을 대입하면 $F_{BD} = \frac{EA\delta}{L}$, $F_{CD} = \frac{EA\delta}{4L}$이다.
두 부재는 모두 늘어나므로 인장력을 받는다.

④ 부재력의 비: CD는 BD보다 늘음이 절반이고 길이는 두 배이므로, CD의 부재력은 BD의 1/4이다. 따라서 $\frac{F_{BD}}{F_{CD}} = 4$이며 ①의 값과 일치한다. 같은 힘 단위끼리 나눈 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 15. 그림 (가)와 같은 양단이 핀 지지된 길이 5 m 기둥의 오일러 좌굴하중(P_{cr})의 크기가 160 kN일 때, 그림 (나)와 같은 양단 고정된 길이 4 m 기둥의 오일러 좌굴하중의 크기[kN]는? (단, 두 기둥의 단면은 동일하고, 탄성계수는 같으며, 구조물의 자중은 무시한다)



① 200
② 250
③ 800
④ 1,000

정답 4번

간단한 해설

오일러 좌굴하중은 **유효길이의 제곱에 반비례**한다. 양단 고정인 (나)의 유효길이는 실제 길이의 절반인 2 m이므로, 유효길이가 5 m인 (가)보다 좌굴하중이 6.25배 커져 1,000 kN이 된다.

NoteBase

계산 과정

오일러 좌굴하중은 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$이다. 여기서 E는 탄성계수, I는 단면2차모멘트, $L_e = KL$은 지지조건을 반영한 유효길이이며 K는 유효길이계수, L은 실제 길이이다. 두 기둥은 단면과 탄성계수가 같으므로 **휨강성 EI가 같아** 유효길이만으로 좌굴하중의 비를 구할 수 있다. 자중은 문제 조건에 따라 무시한다.

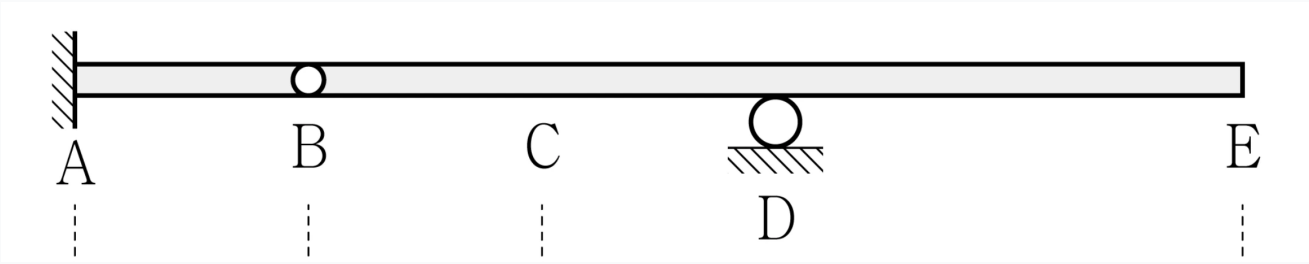
(가)의 유효길이: 양단 핀 지지는 양 끝의 회전을 허용하며 K = 1이다. 따라서 $L_{e1} = 1 \cdot 5 = 5\text{m}$이고, 이 기둥의 좌굴하중은 $P_1 = 160\text{kN}$이다.

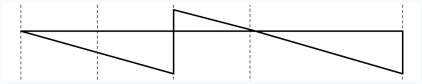
(나)의 유효길이: 양단 고정은 양 끝의 회전도 구속하므로 K = 0.5이다. 따라서 **실제 길이의 절반**을 유효길이로 사용하여 $L_{e2} = 0.5 \cdot 4 = 2\text{m}$가 된다. 실제 길이 4 m를 그대로 대입하면 지지조건의 차이를 반영하지 못한다.

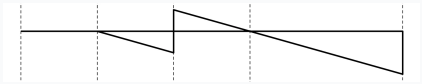
좌굴하중 계산: (나)의 좌굴하중을 P_2라 하면 $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{L_{e1}}{L_{e2}}\right)^2$이다. 따라서 $P_2 = 160 \cdot \left(\frac{5}{2}\right)^2 = 1{,}000\text{kN}$이다. 유효길이가 짧아진 만큼 좌굴하중은 6.25배가 되며, 계산값 1,000 kN은 ④의 값에 해당한다.

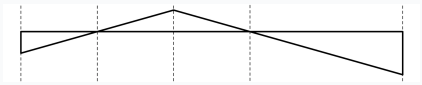
NoteBase

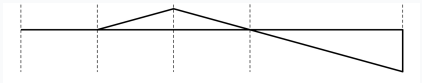
문 16. 그림과 같이 B점에 내부힌지가 있는 게르버보에서 C점에서의 휨모멘트의 영향선으로 옳은 것은?



① 

② 

③ 

④ 

정답 4번

간단한 해설

단위하중이 A~B에 있으면 C점의 휨모멘트는 **0**이고, B~D에서는 양수이며 C에서 최대가 된다. D를 지나 돌출부 D~E에 놓이면 **음의 휨모멘트**가 생기므로, 영향선은 D에서 기준선을 지나 아래로 이어진다.

NoteBase

도식 해설

영향선은 아래로 작용하는 단위하중의 위치를 옮길 때, 고정된 C점의 휨모멘트가 어떻게 달라지는지를 나타낸다. 처짐형 휨모멘트를 양수로 두며, 그림에서는 기준선 위가 양수, 아래가 음수이다. B의 내부힌지는 휨모멘트를 전달하지 않지만 수직력은 전달할 수 있다.

A~B: 하중이 이 구간에만 있으면 오른쪽 B~E 부분에는 외력이 없다. B와 D에 대한 평형으로 오른쪽 부분의 지지력이 모두 0이므로 C점의 휨모멘트도 0이다. 따라서 **A~B의 영향선은 기준선과 겹친다**.

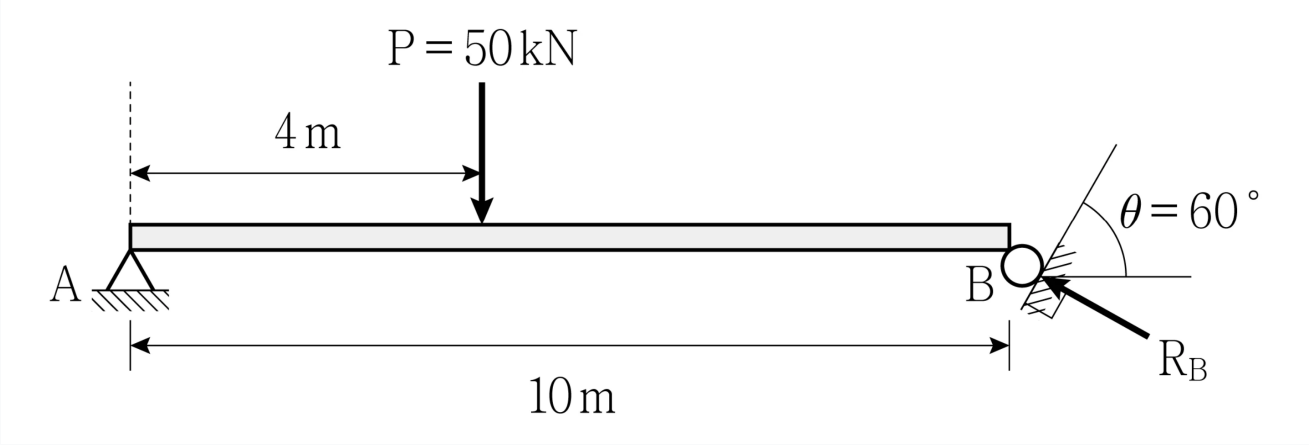
B~D: 이 구간에 하중이 있으면 B~E 부분을 B와 D에서 지지된 돌출보로 떼어 평형을 구할 수 있다. 하중이 B에 있을 때는 B가, D에 있을 때는 D가 하중을 직접 받아 C점의 휨모멘트는 각각 0이다. 두 점 사이에서는 C점에 양의 휨모멘트가 생기며, 하중이 B에서 C로 이동하면 직선적으로 증가하고 C에서 D로 이동하면 직선적으로 감소한다. 따라서 **C에서 꼭짓점을 갖는 양의 삼각형**이 된다.

D~E: 하중이 D의 오른쪽에 놓이면, D에 대한 모멘트 평형을 맞추기 위해 B에서 오른쪽 보에 작용하는 수직력은 아래쪽을 향한다. 이 힘이 C점에 음의 휨모멘트를 만든다. 하중이 D에서 멀어질수록 지렛팔이 커져 그 크기도 직선적으로 증가하므로, 영향선은 **D에서 0을 지나 E까지 아래로 내려간다**.

도식 대조: C점 휨모멘트의 영향선은 하중이 C를 지날 때 값이 연속이고 기울기만 바뀐다. ①·②처럼 C에서 위아래로 뛰는 모양은 이에 맞지 않는다. ③은 A~B에서도 음의 값이 있어 이 구간의 휨모멘트가 0이라는 조건에 맞지 않는다. A~B가 0이고, C에서 양의 꼭짓점을 이루며, D 이후 음의 직선으로 이어지는 도식은 ④이다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 집중하중 P가 작용하는 단순보에서, 지지점 B에서 $\theta = 60^\circ$ 경사면에 반력 R_B가 작용한다. 지지점 B에서 반력 R_B의 크기[kN]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 40.0

② 37.5

③ 35.0

④ 30.0

정답 1번

간단한 해설

경사면의 롤러 반력은 **경사면에 수직**하므로 수직성분은 $R_B\cos 60^\circ$이다. A점에 대한 모멘트 평형으로 구한 수직성분이 20 kN이므로, 전체 반력은 40.0 kN이다.

계산 과정

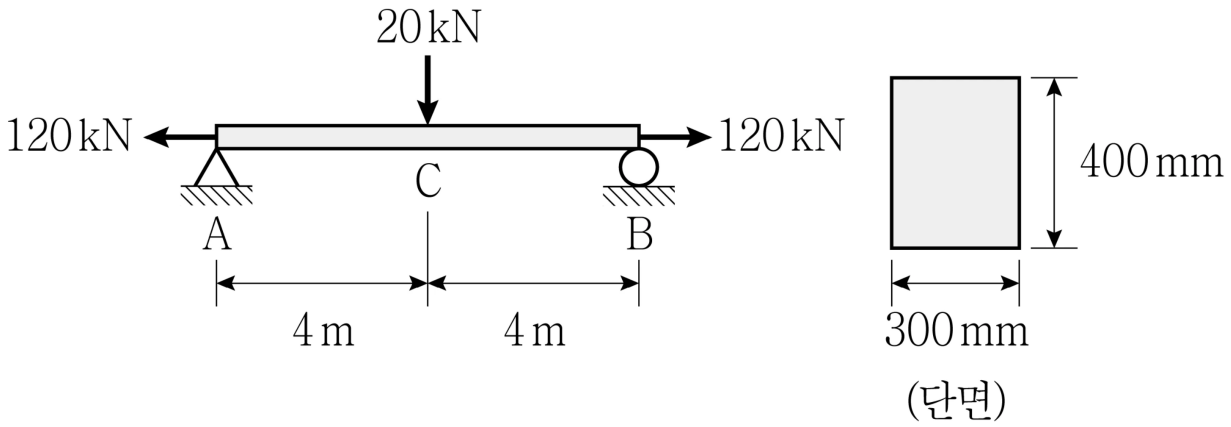
반력의 방향: 그림에서 B는 경사면 위의 롤러 지지점이므로 반력 R_B는 경사면에 수직인 왼쪽 위 방향으로 작용한다. 경사면이 수평선과 60°를 이루므로 반력은 연직선과 60°를 이룬다. 따라서 위쪽 수직성분을 B_y라 하면 $B_y = R_B\cos 60^\circ$이다.

수직성분 계산: 보의 길이는 10 m이고, 아래쪽 집중하중 50 kN은 A에서 4 m 떨어진 곳에 작용한다. 보의 자중은 무시한다. A점에 대한 모멘트를 취하면 A점 반력은 소거되고, B점 반력의 수평성분도 작용선이 A를 지나므로 모멘트를 만들지 않는다. 반시계방향을 양으로 두면 $B_y \cdot 10 - 50 \cdot 4 = 0$이다. 따라서 $B_y = \frac{50 \cdot 4}{10} = 20\text{kN}$이다. 이 값은 **전체 반력이 아니라 수직성분**이다.

전체 반력 계산: $R_B = \frac{B_y}{\cos 60^\circ}$에 수직성분을 대입하면 $R_B = \frac{20}{1/2} = 40.0\text{kN}$이다. 따라서 B점 반력의 크기는 ①의 40.0 kN에 해당한다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이 단면 폭 300 mm, 높이가 400 mm의 직사각형 단면을 갖는 단순보가 있다. 이 단순보가 축방향으로 120 kN의 인장력을 받고, 수직하중 20 kN을 받을 때, 보 중앙(C점)의 단면 최상부에 발생하는 응력의 크기[MPa]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 4(압축)

② 4(인장)

③ 2(압축)

④ 2(인장)

정답 1번

간단한 해설

중앙 단면 최상부에는 축력에 의한 인장응력 1 MPa와 휨에 의한 압축응력 5 MPa가 함께 작용한다. 두 응력은 **방향이 반대**이므로 합성응력은 **4 MPa의 압축응력**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 중앙 단면의 휨모멘트: 그림에서 AC와 CB는 각각 4 m이고, 중앙 C에 20 kN의 하중이 아래로 작용한다. 자중을 무시하면 좌우 대칭이므로 두 지점의 수직반력은 각각 10 kN이다. 따라서 중앙의 휨모멘트는 $M_C = 10 \cdot 4 = 40$ kN · m이다. 이 휨모멘트는 보를 아래로 처지게 하므로 **단면 상부에는 압축**이 생긴다.

2. 단면적과 단면계수: 폭 b = 300 mm, 높이 h = 400 mm이므로 단면적은 A = 300 × 400 = 120,000 mm^2이다. 직사각형 단면의 상단에 대한 단면계수는 $Z = \frac{bh^2}{6}$이므로 $Z = \frac{300 \cdot 400^2}{6} = 8 \cdot 10^6$ mm^3이다. 단면계수는 휨모멘트를 최상부의 휨응력으로 환산할 때 사용한다.

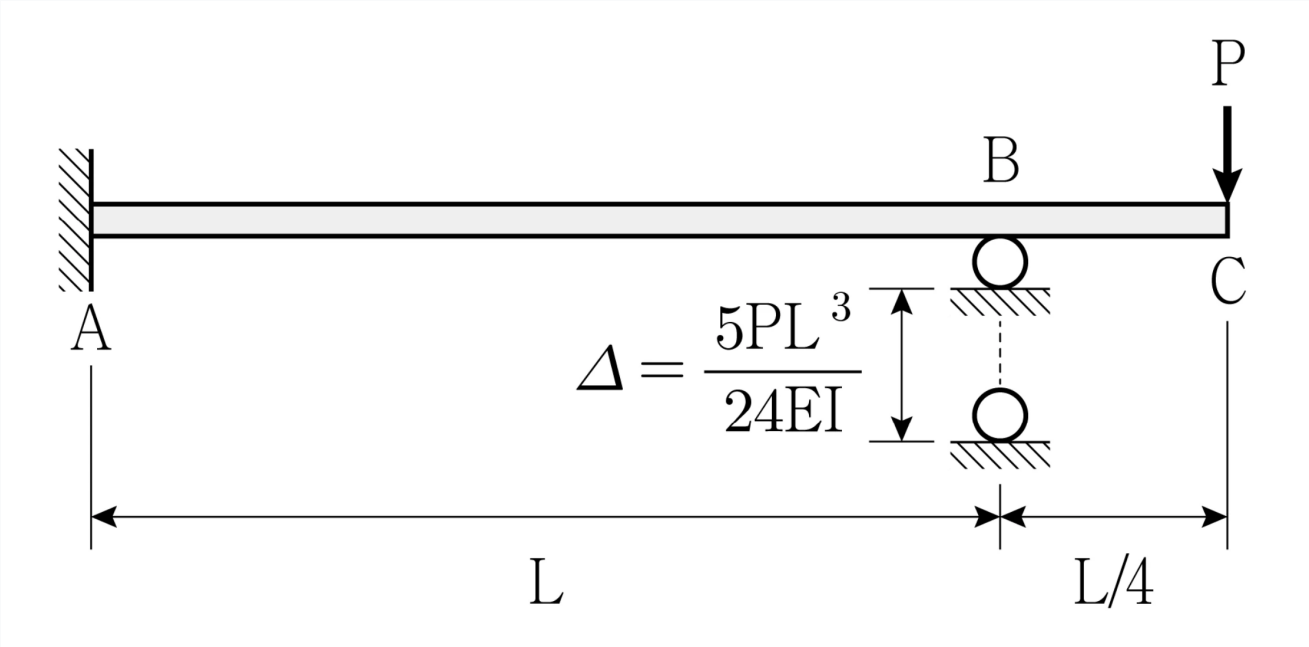
3. 축력에 의한 응력: 양 끝의 120 kN은 하나의 인장 축력을 이루므로 **단면에 작용하는 축력은 120 kN**이다. 두 끝의 힘을 더해 240 kN으로 계산하지 않는다. 축력은 단면 전체에 균일한 인장응력을 만들며, 인장을 양(+)으로 두면 $\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{120000}{120000} = 1$ MPa이다. 여기서 120 kN = 120,000 N이고, 1 N/mm^2 = 1 MPa이다.

4. 휨에 의한 최상부 응력: 휨응력의 크기는 휨모멘트를 단면계수로 나눈 값이다. 40 kN · m = 40,000,000 N · mm로 단위를 맞추고, 상부의 압축응력에 음(−)의 부호를 붙이면 $\sigma_b = -\frac{M_C}{Z} = -\frac{40 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^6} = -5$ MPa이다.

5. 응력의 합성: 같은 위치에서 작용하는 축응력과 휨응력을 **부호를 포함하여 더한다**. 따라서 $\sigma = \sigma_N + \sigma_b = 1 - 5 = -4$ MPa이다. 음의 부호는 압축을 뜻하므로 응력의 크기는 4 MPa이고, ①의 4(압축)에 해당한다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 구조물의 C점에 하중 P가 작용하여 지지점 B의 지점침하가 $\Delta = \frac{5PL^3}{24EI}$만큼 발생하였다. 이때 B점에서 발생하는 반력 R_B와 C점에서 작용하는 하중 P의 비 ($\frac{R_B}{P}$)는? (단, 보의 휨강성 EI는 일정하고, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{1}{2}$
② $\frac{2}{3}$
③ $\frac{3}{4}$
④ $\frac{5}{6}$

정답 3번

간단한 해설

B점의 처짐은 **주어진 지점침하량과 같아야 한다**. B지점을 해제한 외팔보에서 하중 P에 의한 아래쪽 처짐과 반력에 의한 위쪽 처짐을 중첩하면 $\frac{R_B}{P} = \frac{3}{4}$이다.

NoteBase

계산 과정

① 구조와 해석 방법: A는 고정단이고, 그림에서 $AB = L$, $BC = \frac{L}{4}$이므로 $AC = \frac{5L}{4}$이다. B의 수직 지지를 해제하여 외팔보로 만들고, 원래 지지작용을 위쪽 반력 R_B로 대신한다. 휨강성 EI가 일정한 보의 선형 휨변형을 중첩하며, 아래쪽 처짐을 양으로 둔다.

② 하중 P에 의한 B점 처짐: 외팔보의 고정단에서 거리 a인 위치에 집중하중 P가 작용할 때, 그보다 안쪽인 거리 L 위치의 처짐은 $\delta_P = \frac{PL^2(3a - L)}{6EI}$이다. 이 식은 고정단의 처짐과 회전각이 0이라는 조건으로 휨곡률을 적분한 결과이다. 여기서는 **하중 위치는 C, 처짐을 구할 위치는 B**이므로 $a = \frac{5L}{4}$를 대입하여 $\delta_P = \frac{11PL^3}{24EI}$를 얻는다.

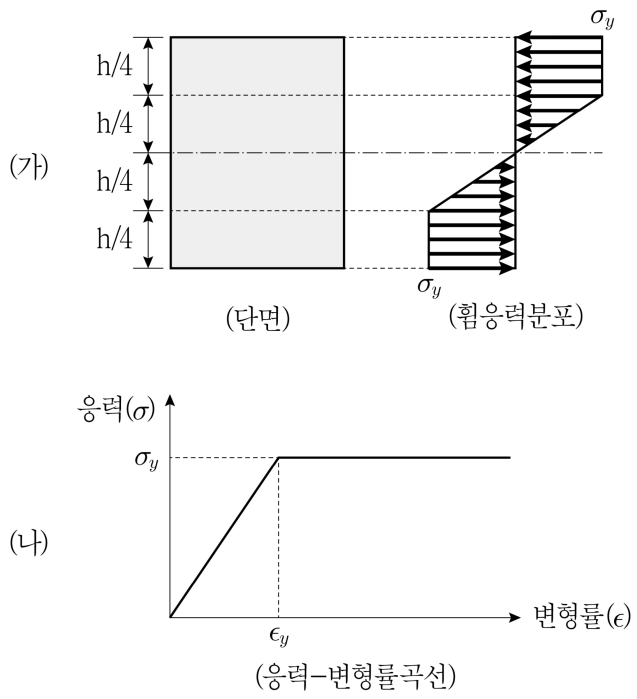
③ 반력에 의한 B점 처짐: 위쪽 반력 R_B는 A에서 거리 L인 B에 작용한다. 따라서 길이 L인 외팔보의 끝에 집중하중이 작용하는 처짐식을 적용한다. 반력은 위쪽 처짐을 일으키므로 $\delta_R = -\frac{R_B L^3}{3EI}$이다. B보다 바깥쪽인 BC에는 이 반력으로 인한 휨모멘트가 없어 B점 처짐 계산에 추가 항이 생기지 않는다.

④ 지점침하와의 적합조건: 보가 지지점 B와 함께 내려가므로 **B점의 합성 처짐은 침하량 Δ**이다. 따라서 $\delta_P + \delta_R = \Delta$에 주어진 $\Delta = \frac{5PL^3}{24EI}$를 대입한다. 양변을 $\frac{PL^3}{EI}$로 나누면 $\frac{11}{24} - \frac{R_B}{3P} = \frac{5}{24}$이다.

⑤ 반력비: 적합조건을 정리하면 $\frac{R_B}{3P} = \frac{1}{4}$, 즉 $\frac{R_B}{P} = \frac{3}{4}$이다. 반력은 위쪽으로 작용하고, 구한 비는 같은 힘 단위끼리 나눈 무차원량이며 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 20. 직사각형 단면을 가지는 보에 휨모멘트가 작용하여 그림 (가)와 같이 단면에 응력분포가 발생하였다. 보의 재료는 그림 (나)와 같이 완전탄소성거동을 한다고 가정하였을 때, 보의 단면에 발생하는 최대변형률의 크기는? (단, 그림 (나)는 압축과 인장에서 동일하게 적용되며, 항복응력(σ_y)은 200 MPa, 탄성계수(E)는 200 GPa이다.)



① 0.0025

② 0.0020

③ 0.0015

④ 0.0010

정답 2번

간단한 해설

탄성영역과 소성영역의 경계는 중립축에서 $h/4$, 최외단은 $h/2$만큼 떨어져 있다. 변형률은 **중립축에서의 거리에 비례**하므로, 최대변형률은 항복변형률 0.001의 두 배인 **0.0020**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 응력분포에서 위치 확인: 그림 (가)의 중앙 수평선은 응력이 0인 중립축이다. 중립축에서 위아래로 각각 $h/4$까지는 응력이 선형으로 증가하는 탄성영역이고, 그 바깥은 항복응력이 일정하게 작용하는 소성영역이다. 따라서 탄성·소성 경계까지의 거리는 $y_e = h/4$, 최외단까지의 거리는 $c = h/2$이다.

2. 항복변형률 계산: 그림 (나)에서 항복 전에는 응력과 변형률이 비례하므로 $\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E}$이다. 탄성계수 200 GPa를 200,000 MPa로 바꾸어 응력과 단위를 맞추면 $\varepsilon_y = \frac{200}{200{,}000} = 0.001$이다. 이는 탄성·소성 경계에서의 변형률 크기이다.

3. 변형률의 비례관계 적용: 보의 휨에서는 단면이 변형 후에도 평면을 유지한다는 가정을 적용하므로 **소성영역에서도 변형률은 중립축에서의 거리에 비례**한다. 따라서 최외단의 최대변형률과 경계의 항복변형률 사이에는 $\frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon_y} = \frac{c}{y_e}$가 성립한다. 거리비는 $\frac{h/2}{h/4} = 2$이다. 소성영역에서는 응력이 일정해도 변형률은 더 커지므로, 최외단에 탄성식만 적용하여 변형률을 0.001로 계산하면 안 된다.

4. 최대변형률 산출: $\varepsilon_{max} = 2\varepsilon_y$이므로 최대변형률의 크기는 $2 \times 0.001 = 0.0020$이다. 인장과 압축의 재료거동이 같고 응력분포도 대칭이므로 위아래 최외단의 변형률은 부호가 반대이고 크기는 같다. 변형률은 길이 변화량과 원래 길이의 비로서 무차원이며, 계산값은 ②의 0.0020과 일치한다.

NoteBase