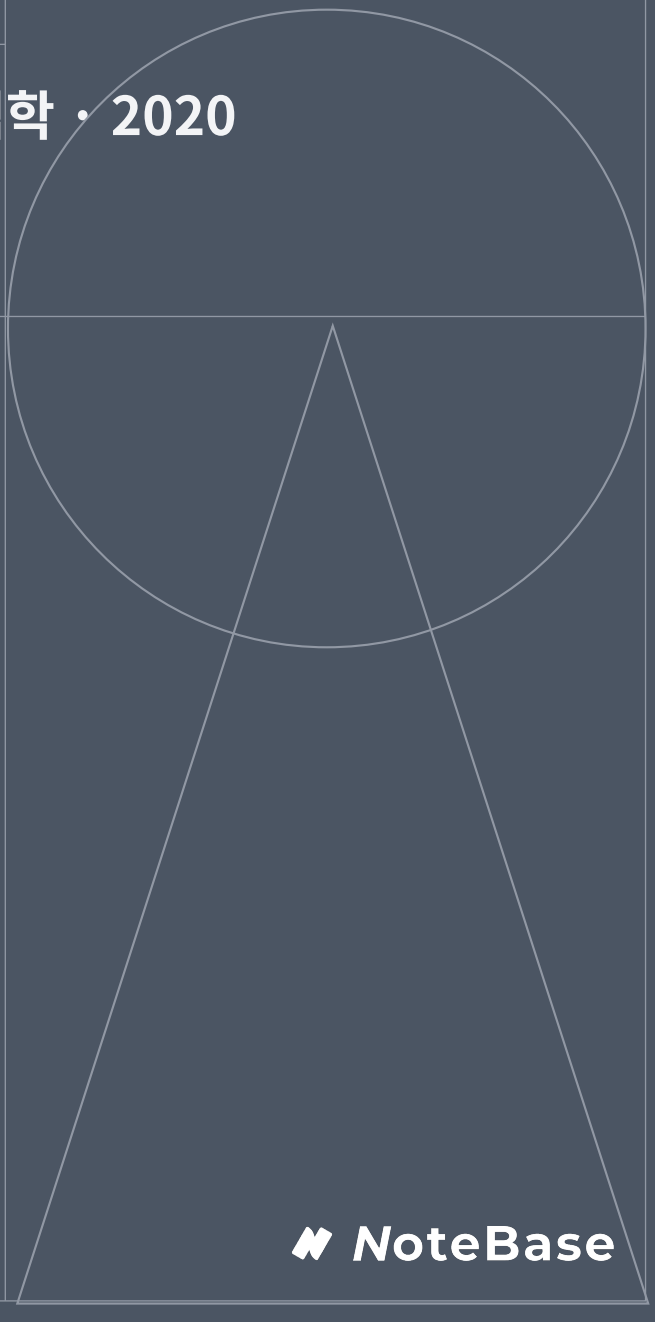
기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 응용역학 · 2020



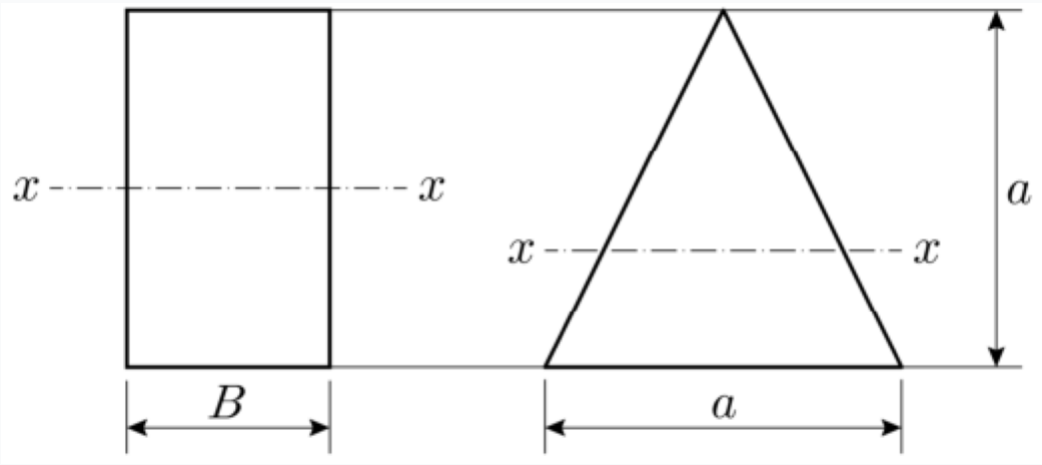
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 응용역학 · 2020

공무원/지방직/7급 · 응용역학 · 2020

문 1. 그림과 같이 높이가 a인 두 단면에서 도심을 지나는 $x-x$축에 대한 단면 2차 모멘트가 동일할 때, B의 값은?



① $\frac{2a}{3}$

② $\frac{a}{2}$

③ $\frac{a}{3}$

④ $\frac{a}{4}$

정답 3번

출제 포인트

직사각형과 삼각형의 도심을 지나는 수평축에 대한 단면2차모멘트를 같게 하여 직사각형의 폭 B를 구하는 문제이다.

조건 정리

직사각형의 높이는 a, 폭은 B이다. 삼각형의 밑변과 높이는 모두 a이다. 두 도형 모두 도심을 지나는 수평 $x-x$ 축에 대한 단면2차모멘트를 비교한다.

NoteBase

사용할 공식

직사각형의 도심축 단면2차모멘트는 $I_x = bh^3/12$이고, 삼각형의 밑변과 평행한 도심축 단면2차모멘트는 $I_x = bh^3/36$이다. 도심축이므로 밑변에 대한 모멘트가 아니라 위 공식을 사용한다.

계산 과정

직사각형은 I_x,직=Ba^3/12이다.
삼각형은 I_x,삼=a· a^3/36=a^4/36이다.
두 값이 같으므로 $Ba^3/12 = a^4/36$이다. 따라서 $B = a/3$이다.

선지 판단

① X: $2a/3$이면 직사각형의 단면2차모멘트가 삼각형의 값보다 커진다. 틀린 값 $2a/3$ → 올바르게는 $a/3$이다.
② X: $a/2$이면 $Ba^3/12 = a^4/24$가 되어 삼각형의 $a^4/36$과 같지 않다. 틀린 값 $a/2$ → 올바르게는 $a/3$이다.
③ O: $B = a/3$을 대입하면 직사각형은 $I_x = a^4/36$이므로 삼각형의 도심축 단면2차모멘트와 같다.
④ X: $a/4$이면 직사각형의 단면2차모멘트는 $a^4/48$로 삼각형보다 작다. 틀린 값 $a/4$ → 올바르게는 $a/3$이다.

오답 포인트

삼각형의 도심축 단면2차모멘트 계수를 1/12로 잘못 쓰는 것이 함정이다. 1/12는 직사각형의 도심축 계수이고, 삼각형의 도심축 계수는 1/36이다.

다시 나오면 이렇게 판단

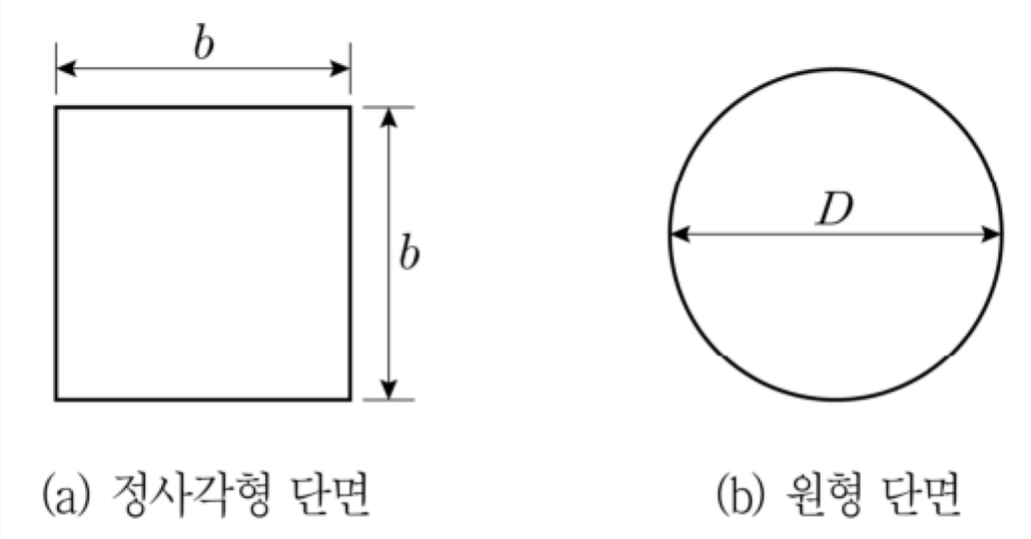
도형별 도심 위치와 기준축을 먼저 확인한 뒤, 해당 도심축 단면2차모멘트 공식을 대입하여 미지수를 정리한다. 밑변축 공식과 도심축 공식을 구분한다.

암기 포인트

도심축 기준: 직사각형 $bh^3/12$, 삼각형 $bh^3/36$이다.

NoteBase

문 2. 그림 (a)의 정사각형 단면의 최대 전단응력 τ_a와 그림 (b)의 원형 단면의 최대 전단응력 τ_b의 비(τ_a/τ_b)는? (단, 두 단면의 면적은 같으며, 작용하는 전단력의 크기도 같다)



① $\frac{5}{4}$
② $\frac{7}{6}$
③ $\frac{9}{8}$
④ $\frac{10}{9}$

정답 3번

출제 포인트

같은 전단력과 같은 단면적을 받는 정사각형 단면과 원형 단면의 최대 전단응력을 비교하는 문제이다.

조건 정리

두 단면의 면적을 A, 작용 전단력을 V라 둔다. 문제에서 A와 V가 각각 같으므로, 단면 형상에 따른 최대 전단응력 계수만 비교하면 된다.

사용할 공식

정사각형을 포함한 직사각형 단면의 최대 전단응력은 $\tau_{a,\max} = \frac{3V}{2A}$이고, 원형 단면의 최대 전단응력은 $\tau_{b,\max} = \frac{4V}{3A}$이다. 각 단면의 전단응력 분포가 서로 달라 최대값의 평균전단응력 V/A에 대한 계수가 다르므로 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

$\frac{\tau_a}{\tau_b} = \frac{3V/(2A)}{4V/(3A)} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$

따라서 $\tau_a/\tau_b = 9/8$이다.

선지 판단

① X: 제시값 5/4는 계산값 9/8과 다르다. 틀린 표현 5/4 → 올바르게는 9/8이다.

② X: 제시값 7/6는 계산값 9/8과 다르다. 틀린 표현 7/6 → 올바르게는 9/8이다.

③ O: $\tau_a/\tau_b = 9/8$이므로 옳다.

④ X: 제시값 10/9는 계산값 9/8과 다르다. 틀린 표현 10/9 → 올바르게는 9/8이다.

오답 포인트

두 단면의 면적이 같다는 조건 때문에 V/A가 같지만, 최대 전단응력 자체가 같아지는 것은 아니다. 정사각형의 계수 3/2와 원형의 계수 4/3를 서로 나누지 않고 비교하면 오답 선지의 값이 나오기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

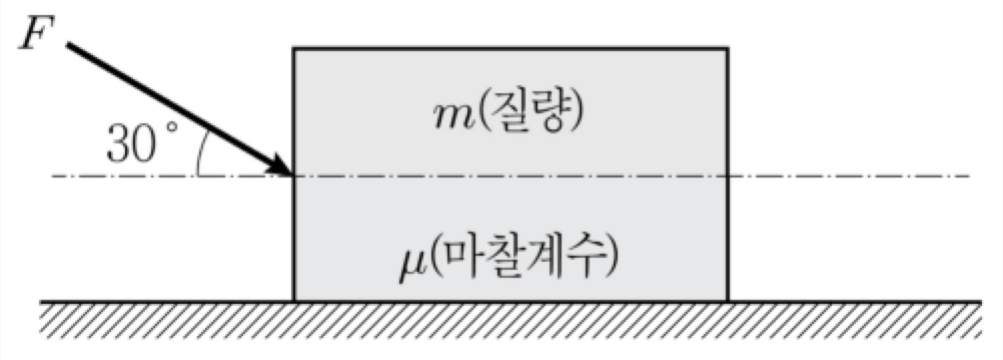
단면별 최대 전단응력 공식을 먼저 V/A의 계수 형태로 쓴 뒤, 공통인 V와 A를 약분하여 계수끼리의 비를 구한다.

암기 포인트

최대 전단응력: 정사각형 $3V/(2A)$, 원형 $4V/(3A)$이다. 같은 V, 같은 A이면 정사각형/원형의 비는 9/8이다.

NoteBase

문 3. 그림과 같이 정지 상태의 물체에 힘 F가 경사지게 작용하고 있다. 물체가 움직이지 않는 최대 힘 F는? (단, 물체 질량은 m, 중력가속도는 g, 물체와 지면 사이의 정지 마찰계수는 μ이다)



① $\frac{\sin 30^\circ + \mu mg}{\mu \tan 30^\circ}$
② $\frac{\mu mg}{\cos 30^\circ - \mu \sin 30^\circ}$
③ $\frac{\sin 30^\circ + \mu mg}{\mu(\sin 30^\circ + \cos 30^\circ)}$
④ $\frac{\mu(\cos 30^\circ + mg)}{\tan 30^\circ}$

정답 2번

출제 포인트

수평면 위 물체에 아래쪽으로 기울어진 힘이 작용할 때, 수직항력 변화까지 반영하여 정지 마찰의 한계 조건을 세우는 문제이다.

조건 정리

힘 F의 수평 성분은 $F\cos 30^\circ$로 물체를 오른쪽으로 민다. 아래방향 성분은 $F\sin 30^\circ$이므로 수직항력은 $N = mg + F\sin 30^\circ$이다. 물체가 막 움직이려는 순간 마찰력은 왼쪽으로 최대값 $f_s = \mu N$이 작용한다.

사용할 공식

정지 마찰력의 크기는 $f_s \le \mu N$이고, 미끄러지기 직전에는 $f_s = \mu N$이다. 이 문제에서는 F의 아래방향 성분이 N을 증가시키므로, 단순히 $N = mg$로 둘 수 없다.

NoteBase

계산 과정

미끄러지기 직전 수평방향 평형식은 다음과 같다.

$F\cos 30^\circ = \mu(mg + F\sin 30^\circ)$

이를 F에 대하여 정리하면

$F(\cos 30^\circ - \mu\sin 30^\circ) = \mu mg$

따라서 유한한 최대 힘이 존재하는 조건 $\cos 30^\circ - \mu\sin 30^\circ > 0$에서

$F_{\max} = \frac{\mu mg}{\cos 30^\circ - \mu\sin 30^\circ}$

가 된다.

선지 판단

① X. $\sin 30^\circ + \mu mg$에서 $\sin 30^\circ$는 무차원이고 mg는 힘이므로 서로 더할 수 없다. 틀린 표현 $\frac{\sin 30^\circ + \mu mg}{\mu\tan 30^\circ}$ → 올바르게는 $\frac{\mu mg}{\cos 30^\circ - \mu\sin 30^\circ}$이다.

② O. 수평 성분 $F\cos 30^\circ$과 최대 정지 마찰력 $\mu(mg + F\sin 30^\circ)$을 같게 놓아 정리한 값과 일치한다.

③ X. 이 식도 $\sin 30^\circ + \mu mg$처럼 차원이 다른 양을 더하고 있으며, 분모도 평형식을 F에 대해 이항한 결과가 아니다. 틀린 표현 $\frac{\sin 30^\circ + \mu mg}{\mu(\sin 30^\circ + \cos 30^\circ)}$ → 올바르게는 $\frac{\mu mg}{\cos 30^\circ - \mu\sin 30^\circ}$이다.

④ X. $\cos 30^\circ + mg$는 무차원량과 힘을 더한 형태여서 성립하지 않는다. 틀린 표현 $\frac{\mu(\cos 30^\circ + mg)}{\tan 30^\circ}$ → 올바르게는 $\frac{\mu mg}{\cos 30^\circ - \mu\sin 30^\circ}$이다.

오답 포인트

기울어진 힘의 아래방향 성분을 빼먹고 $N = mg$로 두는 실수가 핵심 함정이다. 이 문제에서는 힘이 커질수록 수평 구동력뿐 아니라 최대 정지 마찰력도 함께 커진다. 또한 $\sin 30^\circ$, $\cos 30^\circ$와 mg를 직접 더한 ①, ③, ④는 차원부터 맞지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

경사진 힘은 먼저 수평·수직 성분으로 분해한다. 수직 성분으로 N을 구한 뒤, 미끄러지기 직전 조건 수평힘=μN을 세워 F를 정리한다.

암기 포인트

아래로 누르는 힘: $N = mg + F\sin\theta$, 한계에서 $F\cos\theta = \mu N$이다.

NoteBase

문 4. 오일러의 좌굴하중 $P_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{(kl)^2}$에서 장주의 양단 지지상태에 따른 유효길이 계수 k값으로 옳은 것은? (단, 탄성계수는 E, 단면 2차 모멘트는 I, 기둥길이는 l이다)

① 양단힌지: 0.5

② 양단고정: 1.0

③ 한단힌지, 타단고정: 1.5

④ 한단자유, 타단고정: 2.0

정답 4번

출제 포인트

오일러 좌굴하중식에서 지지조건별 유효길이계수 k를 구별하는 문제이다. k가 클수록 유효좌굴길이 kl가 길어져 좌굴하중은 작아진다.

조건 정리

기둥 길이는 l, 유효좌굴길이는 kl이다. 지지단의 회전과 수평변위가 얼마나 구속되는지에 따라 k가 달라진다.

사용할 공식

$P_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{(kl)^2}$

이 식은 오일러 좌굴에서 실제 좌굴거리를 유효길이 kl로 나타낸 것이다. 따라서 지지조건을 먼저 k값으로 바꾸어 판단한다.

계산 과정

1. 양단힌지는 회전이 모두 가능하므로 기준 조건이며 $k=1.0$이다.
2. 양단고정은 양 끝의 회전이 구속되어 유효길이가 절반이므로 $k=0.5$이다.
3. 한단힌지·타단고정은 k가 약 0.7이다.
4. 한단자유·타단고정은 유효길이가 실제 길이의 두 배이므로 $k=2.0$이다.

선지 판단

① X. '양단힌지: 0.5'가 틀렸다. 양단힌지의 유효길이계수는 $k=1.0$이다. $k=0.5$는 양단고정의 값이다.

② X. '양단고정: 1.0'이 틀렸다. 양단고정은 양 끝의 회전이 구속되므로 $k=0.5$이다.

③ X. '한단힌지, 타단고정: 1.5'가 틀렸다. 이 지지조건의 유효길이계수는 약 $k=0.7$이다.

④ O. 한단자유·타단고정 기둥은 유효길이가 $2l$이므로 $k=2.0$이다.

NoteBase

오답 포인트

①과 ②는 양단힌지와 양단고정의 k값을 서로 바꾸어 놓은 선지이다. ③의 1.5는 표준 유효길이계수와 맞지 않으며, 고정단이 있을수록 회전 구속이 커져 양단힌지보다 k가 작아진다는 점으로도 걸러낼 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

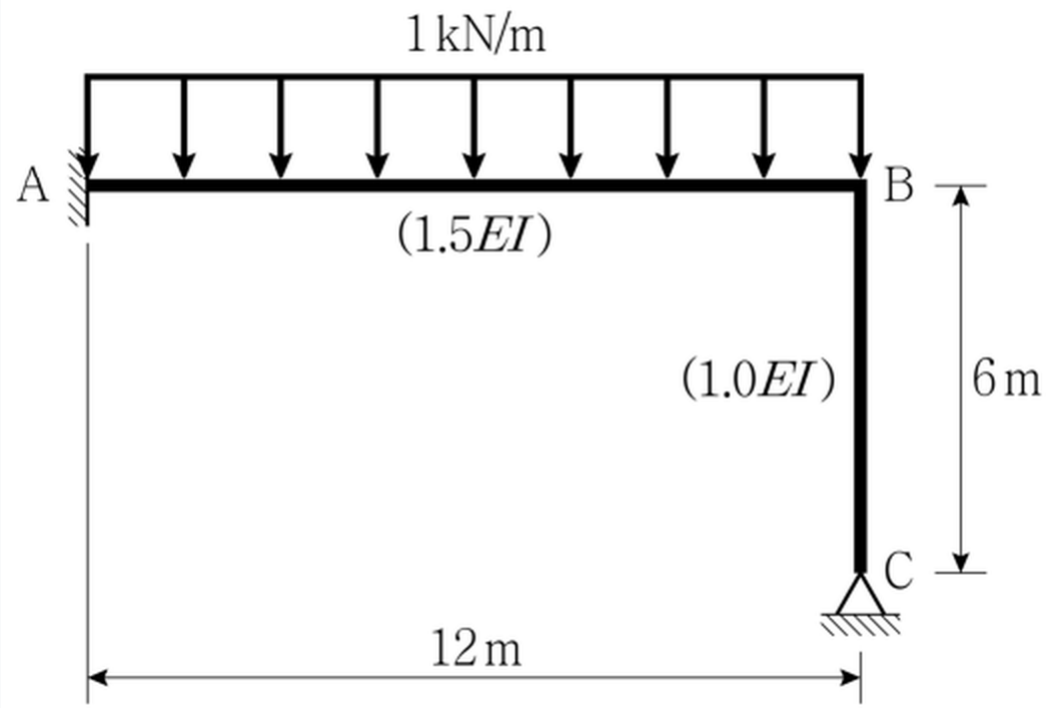
지지조건을 보고 먼저 k를 정한 뒤 $(kl)^2$를 좌굴하중식의 분모에 대입한다. 회전 구속이 강할수록 k는 작아지고, 자유단이 있으면 k는 커진다.

암기 포인트

양단고정 0.5, 한단고정·타단힌지 0.7, 양단힌지 1.0, 한단고정·타단자유 2.0이다.

NoteBase

문 5. 그림과 같이 등분포하중이 작용하는 구조물에서 AB와 BC 부재의 휨강성이 각각 $1.5EI$와 $1.0EI$일 때, A점의 휨모멘트의 크기[kN · m]는? (단, 구조물의 좌굴 및 자중은 무시한다)



① 9

② 12

③ 15

④ 18

정답 3번

출제 포인트

등분포하중을 받는 고정단-힌지단 라멘에서 절점 B의 회전강성과 모멘트 분배법을 이용하여 A점 휨모멘트를 구하는 문제이다.

조건 정리

보 AB의 길이는 $12m$, 등분포하중은 $w = 1kN/m$, 보의 휨강성은 $1.5EI$이다. 기둥 BC의 길이는 $6m$, 휨강성은 $1.0EI$이며 C점은 힌지이다. A점은 고정단이고, 축변형을 무시하므로 절점 B의 회전만 고려한다.

NoteBase

사용할 공식

등분포하중을 받는 양단고정보의 고정단모멘트 크기는 $wL^2/12$이다. B점에서 보 AB의 회전강성은 $K_{BA} = 4(1.5EI)/12 = 0.5EI$, 반대쪽 끝 C가 힌지인 기둥 BC의 회전강성은 $K_{BC} = 3(1.0EI)/6 = 0.5EI$이다. 따라서 B점의 분배율은 두 부재 모두 1/2이다. 기둥 끝 C가 힌지이므로 BC로 분배된 모멘트는 C점으로 전달되지 않는다.

계산 과정

1. 보 AB의 고정단모멘트 크기는 $wL^2/12 = 1 \times 12^2/12 = 12kN \cdot m$이다.
2. B점의 초기 불평형모멘트 크기 $12kN \cdot m$는 AB와 BC에 각각 절반씩 분배되므로, AB의 B단에는 $6kN \cdot m$의 반대방향 모멘트가 분배된다.
3. 이 모멘트의 절반이 A점으로 전달되므로 A점 전달모멘트의 크기는 $6/2 = 3kN \cdot m$이다.
4. A점에서는 보의 고정단모멘트 $12kN \cdot m$와 전달모멘트 $3kN \cdot m$가 같은 방향으로 작용한다. 따라서 $|M_A| = 12 + 3 = 15kN \cdot m$이다.

선지 판단

① X. A점 휨모멘트의 크기는 $9kN \cdot m$가 아니다. 틀린 값 $9kN \cdot m$은 고정단모멘트와 전달모멘트의 방향을 잘못 판단해 뺀 경우에 해당하며, 올바르게는 $15kN \cdot m$이다.
② X. A점 휨모멘트의 크기는 $12kN \cdot m$가 아니다. 이는 보 AB를 양단고정보로만 보고 B점 회전에 따른 전달모멘트 $3kN \cdot m$를 누락한 값이며, 올바르게는 $15kN \cdot m$이다.
③ O. A점 휨모멘트의 크기는 $15kN \cdot m$이다. 고정단모멘트 $12kN \cdot m$에 A점 전달모멘트 $3kN \cdot m$가 더해진다.
④ X. A점 휨모멘트의 크기는 $18kN \cdot m$가 아니다. 이는 B점에서 분배된 $6kN \cdot m$를 A점으로 그대로 전달한 경우이며, 고정단으로의 전달률은 1/2이므로 올바른 전달모멘트는 $3kN \cdot m$이다.
계산 결과 $15kN \cdot m$이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

C점이 힌지라는 사실을 단순지지로만 보아 B점의 회전강성을 $4EI/L$로 쓰는 실수가 잦다. 반대쪽 끝이 힌지인 부재의 B점 회전강성은 $3EI/L$이고, 그 부재로 분배된 모멘트는 힌지 C점으로 전달되지 않는다. 또한 A점 고정단모멘트와 전달모멘트는 이 문제에서 같은 방향이므로 크기를 더한다.

다시 나오면 이렇게 판단

라멘의 모멘트 문제에서는 먼저 각 부재의 원단 조건에 맞는 회전강성을 정하고, 절점의 불평형모멘트를 분배율로 나눈 뒤, 고정단으로의 전달률까지 적용한다. 마지막으로 부호를 확인하여 고정단모멘트와 전달모멘트를 더하거나 뺀다.

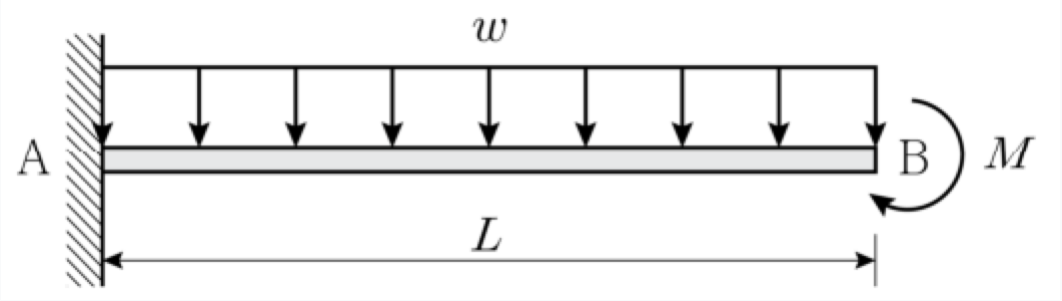
NoteBase

암기 포인트

원단 고정의 회전강성은 $4EI/L$, 원단 힌지의 회전강성은 $3EI/L$이며, 고정단으로의 전달률은 1/2, 힌지로의 전달률은 0이다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 등분포하중 w와 B점에 휨모멘트 M이 작용하는 캔틸레버 보에 저장되는 탄성 변형에너지의 크기는? (단, 휨강성 EI는 일정하고, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{w^2L^5}{40EI}+\frac{wML^3}{6EI}+\frac{M^2L}{2EI}$
② $\frac{w^2L^5}{40EI}+\frac{wML^3}{8EI}+\frac{M^2L}{3EI}$
③ $\frac{w^2L^5}{48EI}+\frac{wML^3}{6EI}+\frac{M^2L}{3EI}$
④ $\frac{w^2L^5}{48EI}+\frac{wML^3}{8EI}+\frac{M^2L}{2EI}$

정답 1번

출제 포인트

등분포하중과 자유단 모멘트가 동시에 작용하는 캔틸레버보의 굽힘 변형에너지 $U=\int M_b^2/(2EI)dx$를 중첩하여 구하는 문제이다.

조건 정리

자유단 B에서 절단면까지의 거리를 x로 잡으면 $0\le x\le L$이다. 이 절단면에서 등분포하중에 의한 굽힘모멘트의 크기는 $wx^2/2$, 자유단 모멘트에 의한 굽힘모멘트의 크기는 M이다. 그림의 하중과 모멘트는 이 단면에서 같은 부호의 굽힘모멘트를 만들므로 합하여 사용한다.

사용할 공식

휨변형에너지는 $U=\int_0^L\frac{M_b^2}{2EI}dx$이다. 보의 EI가 일정하고, 각 하중에 의한 굽힘모멘트가 중첩되므로 $M_b=M+wx^2/2$를 대입한다.

계산 과정

$U=\frac{1}{2EI}\int_0^L\left(M+\frac{wx^2}{2}\right)^2dx$
$=\frac{1}{2EI}\int_0^L\left(M^2+wMx^2+\frac{w^2x^4}{4}\right)dx$
$=\frac{1}{2EI}\left(M^2L+\frac{wML^3}{3}+\frac{w^2L^5}{20}\right)$
따라서 $U=\frac{w^2L^5}{40EI}+\frac{wML^3}{6EI}+\frac{M^2L}{2EI}$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과와 세 항의 계수가 모두 일치한다.
② X: $wML^3/(8EI)$와 $M^2L/(3EI)$의 계수가 틀렸다. 올바르게는 각각 $wML^3/(6EI)$, $M^2L/(2EI)$이다.
③ X: $w^2L^5/(48EI)$와 $M^2L/(3EI)$의 계수가 틀렸다. 올바르게는 각각 $w^2L^5/(40EI)$, $M^2L/(2EI)$이다.
④ X: $w^2L^5/(48EI)$와 $wML^3/(8EI)$의 계수가 틀렸다. 올바르게는 각각 $w^2L^5/(40EI)$, $wML^3/(6EI)$이다.

오답 포인트

전개식의 교차항은 $2 \cdot M \cdot (wx^2/2) = wMx^2$이다. 이 2를 누락하거나, 마지막에 붙는 $1/(2EI)$를 각 항에 잘못 적용하면 ②~④와 같은 분모 오류가 생긴다.

다시 나오면 이렇게 판단

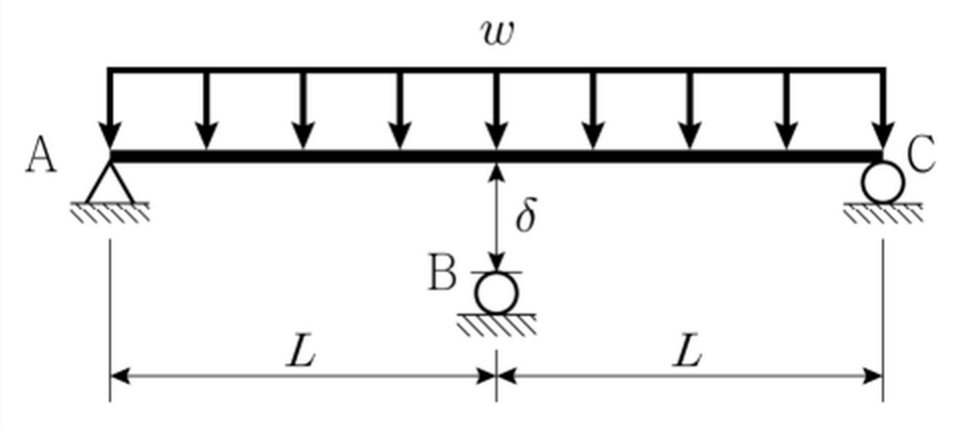
캔틸레버보의 복수 하중 문제에서는 한 절단면의 전체 굽힘모멘트 M_b를 먼저 합성한 뒤, $M_b^2/(2EI)$를 전 구간 적분하여 교차항까지 확인한다.

암기 포인트

등분포하중만이면 $w^2L^5/(40EI)$, 자유단 모멘트만이면 $M^2L/(2EI)$이며, 함께 작용하면 교차항 $wML^3/(6EI)$가 더해진다.

NoteBase

문 7. 그림과 같은 단순보에 등분포하중 w가 작용하여 지점 B에서 지지되고 있다. 지점 B에서 수직 반력의 크기는? (단, 보의 휨강성 EI는 일정하고, 보의 두께와 자중은 무시한다)



① $\frac{5wL}{8} - \frac{384\delta EI}{L^3}$
② $\frac{5wL}{8} - \frac{48\delta EI}{L^3}$
③ $\frac{5wL}{4} - \frac{6\delta EI}{L^3}$
④ $\frac{5wL}{4} - \frac{3\delta EI}{L^3}$

정답 3번

출제 포인트

중앙에 간극 δ가 있는 단순보가 등분포하중을 받아 B 지점에 접촉할 때, 중앙 처짐의 적합조건으로 B의 수직반력을 구하는 문제이다.

조건 정리

보의 전체 경간은 $2L$이고 B는 중앙이다. 하중 w만 작용하는 단순보의 중앙 처짐은 아래 방향이며, B의 위쪽 반력 R_B는 중앙 처짐을 위쪽으로 되돌린다. 접촉 후 중앙의 아래 처짐은 간극 δ와 같아야 한다.

사용할 공식

경간 l인 단순보의 중앙 처짐은 등분포하중에서 $\frac{5wl^4}{384EI}$, 중앙 집중하중 P에서 $\frac{Pl^3}{48EI}$이다. 여기서는 $l = 2L$이고 B 반력은 위쪽이므로 두 처짐의 방향은 서로 반대이다.

계산 과정

하중만 받을 때 중앙의 아래 처짐은 $\delta_w = \frac{5w(2L)^4}{384EI} = \frac{5wL^4}{24EI}$이다.
B의 위쪽 반력 R_B가 만드는 중앙의 위쪽 처짐은 $\delta_R = \frac{R_B(2L)^3}{48EI} = \frac{R_BL^3}{6EI}$이다.
따라서 접촉조건 $\delta_w - \delta_R = \delta$를 적용하면 $R_B = \frac{6EI}{L^3}\left(\frac{5wL^4}{24EI} - \delta\right) = \frac{5wL}{4} - \frac{6\delta EI}{L^3}$가 된다.

NoteBase

선지 판단

① X. $\frac{5wL}{8} - \frac{384\delta EI}{L^3}$는 하중항과 간극 보정항이 모두 적합조건 결과와 다르다. 틀린 표현 → $\frac{5wL}{4} - \frac{6\delta EI}{L^3}$이다.
② X. $\frac{5wL}{8} - \frac{48\delta EI}{L^3}$는 등분포하중에 의한 중앙 처짐과 B 반력에 의한 중앙 처짐을 $l = 2L$로 환산한 계수를 반영하지 못한다. 틀린 표현 → $\frac{5wL}{4} - \frac{6\delta EI}{L^3}$이다.
③ O. 중앙 반력의 처짐계수는 $\frac{L^3}{6EI}$이므로, 간극 δ만큼의 처짐을 남기도록 한 반력은 $\frac{5wL}{4} - \frac{6\delta EI}{L^3}$이다.
④ X. $\frac{5wL}{4} - \frac{3\delta EI}{L^3}$에서 간극 보정항의 계수 3이 틀리다. 중앙 반력 R_B의 처짐은 $\frac{R_B L^3}{6EI}$이므로 틀린 표현 $-\frac{3\delta EI}{L^3}$ → 올바르게는 $-\frac{6\delta EI}{L^3}$이다.

오답 포인트

전체 경간을 L로 잘못 놓으면 $2L$의 3승·4승이 누락되어 ①·②처럼 계수가 크게 어긋난다. B의 반력은 아래 처짐을 줄이는 위쪽 힘이므로, 반력항은 하중 처짐에서 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

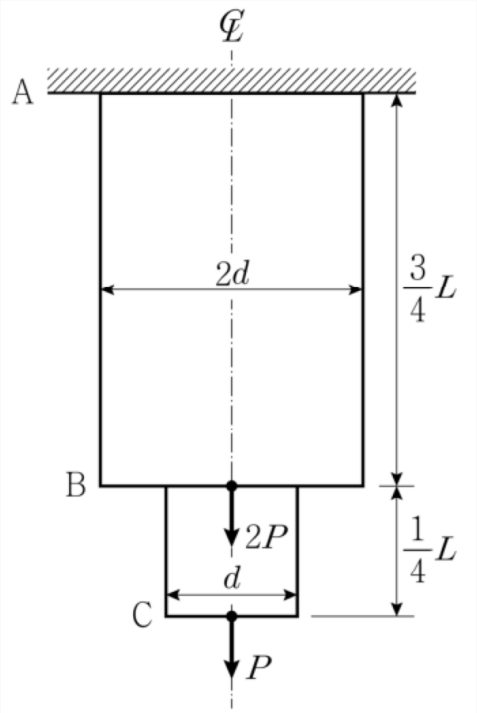
간극이 있는 추가 지점 문제는 먼저 추가 지점이 없을 때의 처짐을 구하고, 그 지점 반력이 만드는 반대 방향 처짐을 뺀다. 그 차를 간극 δ와 같게 놓아 반력을 구한다.

암기 포인트

중앙의 단순보에서는 $l = 2L$를 먼저 대입하고, $\delta_w - \delta_R = \delta$의 처짐 적합조건을 적용한다.

NoteBase

문 8. 그림과 같은 변단면 원형봉에서 2개의 축하중이 작용할 때, 자유단 C의 변형량은? (단, 탄성계수 E는 동일하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{13PL}{4E\pi d^2}$
② $\frac{12PL}{E\pi d^2}$
③ $\frac{9PL}{4E\pi d^2}$
④ $\frac{2PL}{E\pi d^2}$

정답 1번

출제 포인트

단면과 축력이 다른 계단형 원형봉에서 각 구간의 축방향 변형량을 $\delta = NL/(EA)$로 구해 합산하는 문제이다.

조건 정리

상부 AB의 길이는 $3L/4$, 지름은 $2d$이므로 단면적은 $A_{AB} = \pi d^2$이다. 하부 BC의 길이는 $L/4$, 지름은 d이므로 단면적은 $A_{BC} = \pi d^2/4$이다. 절단면 아래의 하중을 합하면 AB에는 $2P + P = 3P$, BC에는 P의 인장축력이 작용한다.

사용할 공식

균일 단면 축부재의 변형량은 $\delta = NL/(EA)$이다. 두 구간은 직렬로 연결되어 있으므로 자유단 C의 변형량은 각 구간 변형량의 합이다.

NoteBase

계산 과정

상부 변형량은 $\delta_{AB} = \frac{(3P)(3L/4)}{E(\pi d^2)} = \frac{9PL}{4E\pi d^2}$이다. 하부 변형량은 $\delta_{BC} = \frac{P(L/4)}{E(\pi d^2/4)} = \frac{PL}{E\pi d^2}$이다. 따라서 $\delta_C = \delta_{AB} + \delta_{BC} = \frac{9PL}{4E\pi d^2} + \frac{PL}{E\pi d^2} = \frac{13PL}{4E\pi d^2}$이다.

선지 판단

① O: 합성 변형량이 $13PL/(4E\pi d^2)$이므로 옳다.

② X: 틀린 표현은 $12PL/(E\pi d^2)$이다. 두 구간의 축력·길이·단면적을 각각 반영해 합산하면 $13PL/(4E\pi d^2)$가 된다.

③ X: 틀린 표현은 $9PL/(4E\pi d^2)$이다. 이는 상부 AB 구간의 변형량만 계산한 값이므로, 하부 BC의 $PL/(E\pi d^2)$를 더해 $13PL/(4E\pi d^2)$로 고쳐야 한다.

④ X: 틀린 표현은 $2PL/(E\pi d^2)$이다. 두 구간은 단면적과 축력이 서로 달라 하나의 평균 단면으로 계산할 수 없으며, 올바른 값은 $13PL/(4E\pi d^2)$이다.

오답 포인트

점 B의 $2P$는 하부 BC 구간보다 위에서 작용하므로 BC의 축력에는 포함되지 않는다. 반대로 AB는 아래의 두 하중을 모두 지지하므로 $3P$가 된다. 또한 ③처럼 한 구간의 변형만으로 자유단 C의 변형을 판단하면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

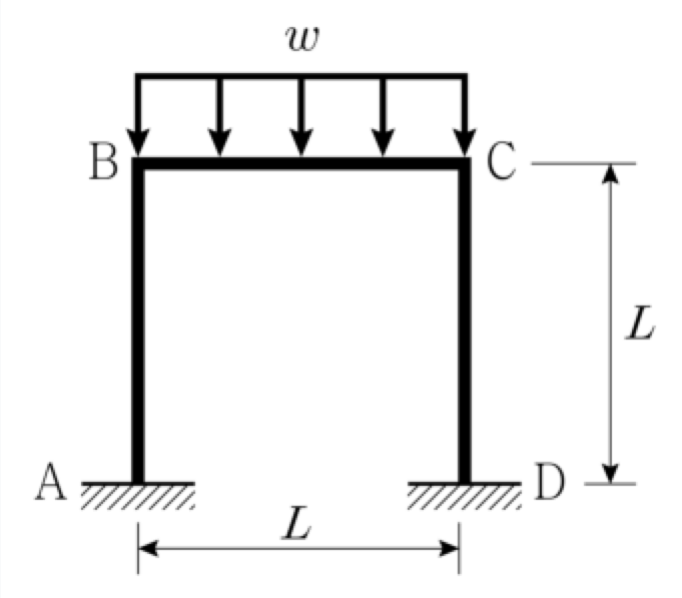
계단형 축부재는 하중 작용점에서 구간을 나누고, 각 구간을 절단하여 절단면 아래 하중의 합으로 N을 정한다. 이어서 각 구간에 $NL/(EA)$를 적용한 뒤 같은 방향의 변형량을 합산한다.

암기 포인트

직렬 축부재는 $\delta_C = \sum NL/(EA)$이며, 각 구간의 축력은 그 구간 아래에 매달린 하중의 합이다.

NoteBase

문 9. 그림과 같이 등분포하중 w가 작용하는 라멘에서 A점의 수평 반력의 크기는? (단, 단면 2차 모멘트 I와 탄성계수 E는 일정하고, 구조물의 좌굴 및 자중은 무시한다)



① $\frac{wL}{12}$
② $\frac{wL}{16}$
③ $\frac{wL}{18}$
④ $\frac{wL}{24}$

정답 1번

출제 포인트

등분포하중을 받는 좌우 대칭 고정 라멘에서 절점 회전과 부재단 모멘트를 이용하여 고정단 A의 수평 반력을 구하는 문제이다.

조건 정리

기둥 AB, CD와 보 BC의 길이는 모두 L이고, 모든 부재의 EI는 같다. 보 BC에는 아래 방향의 등분포하중 w가 작용한다. 구조와 하중이 좌우 대칭이므로 절점 회전은 $\theta_C = -\theta_B$이고, 수평변위는 없다.

사용할 공식

회전만 있는 부재의 경사-처짐식과 절점 모멘트 평형을 사용한다. 보 BC의 B단 모멘트와 기둥 BA의 B단 모멘트는 각각 $M_{BC} = -\frac{wL^2}{12} + \frac{2EI}{L}\theta_B$, $M_{BA} = \frac{4EI}{L}\theta_B$이다. 보의 등분포하중에 의한 고정단 모멘트와 대칭 회전을 함께 반영해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. B절점에서 $M_{BC}+M_{BA}=0$이므로 $-\frac{wL^2}{12}+\frac{2EI}{L}\theta_B+\frac{4EI}{L}\theta_B=0$이다.
2. 따라서 $\theta_B=\frac{wL^3}{72EI}$이다.
3. 기둥 AB의 B단 및 A단 모멘트의 크기는 각각 $\frac{wL^2}{18}$, $\frac{wL^2}{36}$이다. 따라서 A의 수평 반력 크기는 기둥 전단력으로서 $H_A=\frac{1}{L}\left(\frac{wL^2}{18}+\frac{wL^2}{36}\right)=\frac{wL}{12}$이다.

선지 판단

① O: 계산한 A점 수평 반력의 크기는 $\frac{wL}{12}$이다.
② X: $\frac{wL}{16}$은 절점 모멘트 평형과 기둥 양단 모멘트를 모두 반영한 전단력과 일치하지 않는다. 틀린 표현 $\frac{wL}{16}$ → 올바르게는 $\frac{wL}{12}$이다.
③ X: $\frac{wL}{18}$은 기둥 B단 모멘트 $\frac{wL^2}{18}$만을 길이 L로 나눈 값으로, A단 모멘트의 기여를 빠뜨린 값이다. 틀린 표현 $\frac{wL}{18}$ → 올바르게는 $\frac{wL}{12}$이다.
④ X: $\frac{wL}{24}$은 이 라멘의 절점 회전과 기둥 양단 모멘트로부터 얻어지지 않는다. 틀린 표현 $\frac{wL}{24}$ → 올바르게는 $\frac{wL}{12}$이다.

오답 포인트

③처럼 기둥 한쪽 끝의 모멘트만 L로 나누면 안 된다. 고정단 기둥의 수평 전단력은 양단 모멘트의 효과를 함께 반영하므로, A단 모멘트 $\frac{wL^2}{36}$도 포함한다.

다시 나오면 이렇게 판단

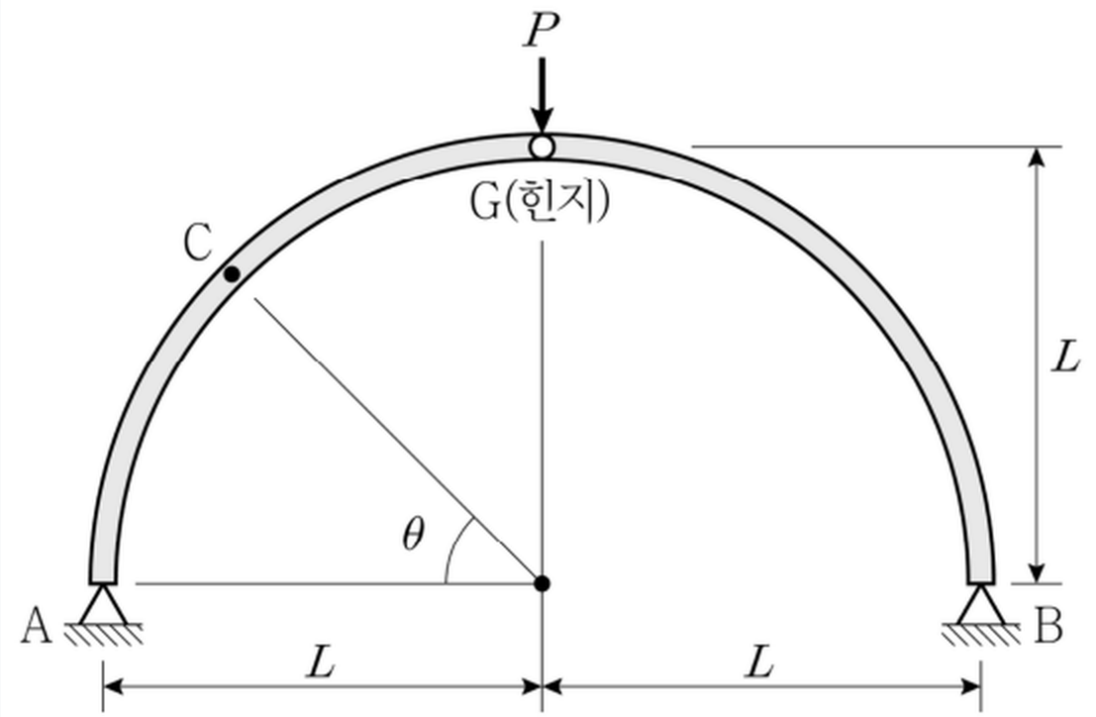
대칭 라멘에 대칭 하중이 작용하면 먼저 수평변위가 없고 양쪽 절점 회전의 크기가 같고 부호가 반대임을 둔다. 이어서 절점 모멘트 평형으로 회전을 구하고, 기둥 양단 모멘트의 합을 기둥 길이로 나누어 수평 반력을 구한다.

암기 포인트

고정 라멘의 기둥 수평반력은 '절점 평형 → 기둥 양단모멘트 → 모멘트합/L' 순서로 구한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같은 반원 형상의 3활절 아치 구조물에서 θ의 식으로 나타낸 C점의 휨모멘트의 크기는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{PL}{2}(1+\sin\theta+\cos\theta)$

② $\frac{PL}{2}(1-\sin\theta+\cos\theta)$

③ $\frac{PL}{2}(1+\sin\theta-\cos\theta)$

④ $\frac{PL}{2}(1-\sin\theta-\cos\theta)$

정답 4번

출제 포인트

3활절 아치의 지점반력을 먼저 구한 뒤, C점에서 한쪽 부분을 절단하여 휨모멘트를 계산하는 문제이다.

조건 정리

아치의 반지름은 L이고, 중앙 힌지 G에 아래 방향의 집중하중 P가 작용한다. 대칭이므로 수직반력은 $A_y = B_y = P/2$이다. 왼쪽 반아치에서 G점에 대한 모멘트 평형을 적용하면 수평반력도 $A_x = P/2$이다. C점의 좌표는 원의 중심을 기준으로 $(-L\cos\theta, L\sin\theta)$이다.

사용할 공식

절단한 왼쪽 부분에 대하여 C점의 모멘트 평형 $\sum M_C = 0$을 적용한다. C점에서 A점까지의 위치벡터와 A점 반력의 모멘트를 이용하면 C절단면의 휨모멘트를 직접 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. C점에서 A점까지의 수평·수직거리로부터 A점 반력의 C점에 대한 모멘트는 $\frac{PL}{2}(\sin\theta+\cos\theta-1)$이다.
2. 절단면 휨모멘트를 M_C라 하면 $M_C+\frac{PL}{2}(\sin\theta+\cos\theta-1)=0$이다.
3. 따라서 $M_C=\frac{PL}{2}(1-\sin\theta-\cos\theta)$가 된다.

선지 판단

① X. $\frac{PL}{2}(1+\sin\theta+\cos\theta)$는 $\sin\theta$와 $\cos\theta$의 부호가 모두 다르다. 틀린 표현은 "+\sin\theta+\cos\theta"이고, 올바르게는 "-\sin\theta-\cos\theta"이다.
② X. $\frac{PL}{2}(1-\sin\theta+\cos\theta)$는 $\cos\theta$ 항의 부호가 다르다. 틀린 표현은 "+\cos\theta"이고, 올바르게는 "-\cos\theta"이다.
③ X. $\frac{PL}{2}(1+\sin\theta-\cos\theta)$는 $\sin\theta$ 항의 부호가 다르다. 틀린 표현은 "+\sin\theta"이고, 올바르게는 "-\sin\theta"이다.
④ O. 모멘트 평형으로 얻은 $M_C=\frac{PL}{2}(1-\sin\theta-\cos\theta)$와 일치한다.

오답 포인트

C점에서 A점까지의 수평거리와 수직거리를 모두 반력에 곱해야 한다. 수평반력에 의한 모멘트를 빼먹거나 모멘트 평형에서 절단면 모멘트의 부호를 바꾸지 않으면 ①~③과 같은 식이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

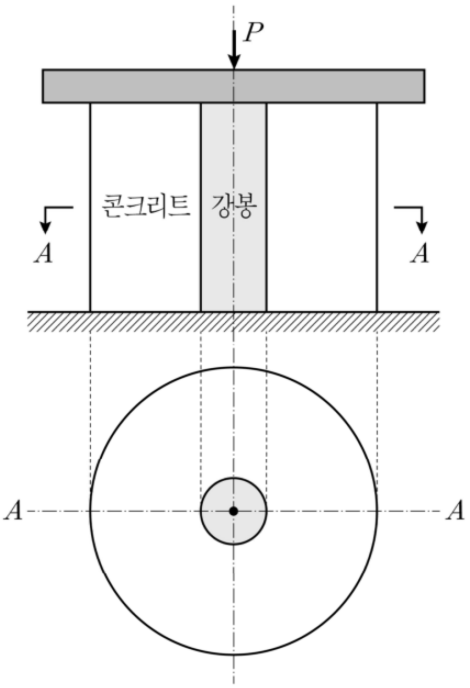
3활절 아치는 먼저 전체 대칭으로 수직반력을 구하고, 중앙 힌지에 대한 모멘트 평형으로 수평반력을 구한다. 그다음 구하려는 단면의 한쪽만 자유물체도로 떼어 $\sum M=0$을 적용한다.

암기 포인트

대칭 3활절 아치의 중앙 집중하중에서는 지점반력이 수직·수평 모두 $P/2$로 정리된다.

NoteBase

문 11. 그림과 같이 콘크리트 속에 강봉을 삽입하여 일체로 제작한 합성 기둥에서 강봉의 탄성계수가 콘크리트의 탄성계수보다 10배 큰 값을 가질 때, 콘크리트와 강봉이 동일한 힘을 받도록 하기 위해 필요한 콘크리트 단면적 A_c와 강봉 단면적 A_s의 비(A_s/A_c)는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① $\frac{1}{5}$
② $\frac{1}{10}$
③ $\frac{1}{15}$
④ $\frac{1}{20}$

정답 2번

출제 포인트

완전 부착된 합성기둥에서 콘크리트와 강봉의 변형률이 같다는 적합조건과 축력 $N = EA\varepsilon$의 관계를 이용하여 단면적비를 구하는 문제이다.

조건 정리

강봉과 콘크리트는 양 끝의 판에 함께 연결되어 있으므로 축방향 변형량과 변형률이 같다.
$E_s = 10E_c$이고, 두 재료가 받는 축력은 같아야 한다.
구할 값은 A_s/A_c이다.

NoteBase

사용할 공식

축력은 $N = EA\varepsilon$이다.
같은 길이의 부재가 함께 변형하므로 $\varepsilon_s = \varepsilon_c$이다. 따라서 같은 축력을 받는 조건은 $E_sA_s\varepsilon = E_cA_c\varepsilon$로 쓸 수 있다.

계산 과정

1. 축력 평형조건에서 $E_sA_s\varepsilon = E_cA_c\varepsilon$이다.
2. 공통 변형률 ε를 소거하면 $E_sA_s = E_cA_c$이다.
3. $E_s = 10E_c$를 대입하면 $10E_cA_s = E_cA_c$이므로 $A_s/A_c = 1/10$이다.

선지 판단

① X. $A_s/A_c = 1/5$이면 $E_sA_s = 10E_c \cdot (A_c/5) = 2E_cA_c$가 되어 강봉의 축력이 콘크리트의 2배가 된다. 틀린 표현 1/5 → 올바르게는 1/10이다.
② O. $A_s/A_c = 1/10$이면 $E_sA_s = 10E_c \cdot (A_c/10) = E_cA_c$이므로 두 재료의 축력이 같다.
③ X. $A_s/A_c = 1/15$이면 $E_sA_s = (2/3)E_cA_c$가 되어 강봉의 축력이 더 작다. 틀린 표현 1/15 → 올바르게는 1/10이다.
④ X. $A_s/A_c = 1/20$이면 $E_sA_s = (1/2)E_cA_c$가 되어 강봉의 축력이 콘크리트의 절반이다. 틀린 표현 1/20 → 올바르게는 1/10이다.

오답 포인트

강봉의 탄성계수가 10배이므로 같은 힘을 받게 하려면 강봉 단면적도 10배로 해야 한다고 착각하기 쉽다.
실제로는 EA가 같아야 하므로 더 강한 강봉의 단면적은 콘크리트 단면적의 1/10이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

완전 부착된 병렬 합성부재는 먼저 $\varepsilon_s = \varepsilon_c$를 확인한 뒤, 각 재료의 축력을 $N = EA\varepsilon$로 쓴다. 힘을 같게 하는 문제에서는 $E_sA_s = E_cA_c$로 정리한다.

암기 포인트

같은 변형률 · 같은 축력 조건에서는 EA가 같다. 탄성계수가 10배이면 필요한 단면적은 1/10이다.

NoteBase

문 12. 평면도형상의 단면 성질에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 단면 2차 상승 모멘트의 값은 항상 0보다 크거나 같다.

② 단면 2차 극 모멘트의 값은 두 직교축에 대한 단면 2차 모멘트의 합과 같다.

③ 단면 2차 모멘트의 값은 항상 0보다 크다.

④ 도심 축에 대한 단면 1차 모멘트의 값은 항상 0이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 단면 2차 모멘트, 극모멘트, 상승모멘트 및 도심축에 대한 단면 1차 모멘트의 성질을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

단면 2차 모멘트는 기준축에서 떨어진 거리의 제곱을 면적에 대해 적분한 값으로, 일반적인 평면도형에서는 양수이다.
단면 2차 극모멘트는 한 점을 지나는 서로 직교하는 두 축에 대한 단면 2차 모멘트의 합이다.
단면 2차 상승모멘트는 두 좌표의 곱을 적분한 값이므로 기준축과 도형의 위치 관계에 따라 양수·음수·0이 될 수 있다.
도심축에 대한 단면 1차 모멘트는 도심의 정의에 따라 0이다.

선지별 해설

① X. 틀린 표현은 '항상 0보다 크거나 같다'이다. 단면 2차 상승모멘트는 $I_{xy} = \int_A xy dA$이므로 xy의 부호에 따라 값이 양수 또는 음수가 될 수 있으며, 대칭축을 기준으로 하면 0이 될 수 있다. 올바르게는 '상승모멘트의 값은 양수·음수 또는 0이 될 수 있다'이다.
② O. 한 점을 지나는 서로 직교하는 x축과 y축에 대한 단면 2차 모멘트의 합은 그 점에 대한 단면 2차 극모멘트이다. 즉 $J_O = I_x + I_y$이다.
③ O. 단면 2차 모멘트는 $I_x = \int_A y^2 dA$, $I_y = \int_A x^2 dA$처럼 거리의 제곱을 적분하므로, 면적을 가진 일반적인 평면도형에서는 항상 0보다 크다.
④ O. 도심축은 단면의 도심을 지나는 축이므로 그 축에 대한 단면 1차 모멘트는 0이다. 예를 들어 $Q_x = \int_A y dA = 0$이다.

오답 포인트

②와 ③은 거리의 제곱이 들어가므로 음수가 되지 않지만, ①의 상승모멘트에는 xy가 들어간다. 따라서 ①처럼 '항상 0 이상'이라고 단정하면 틀린다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

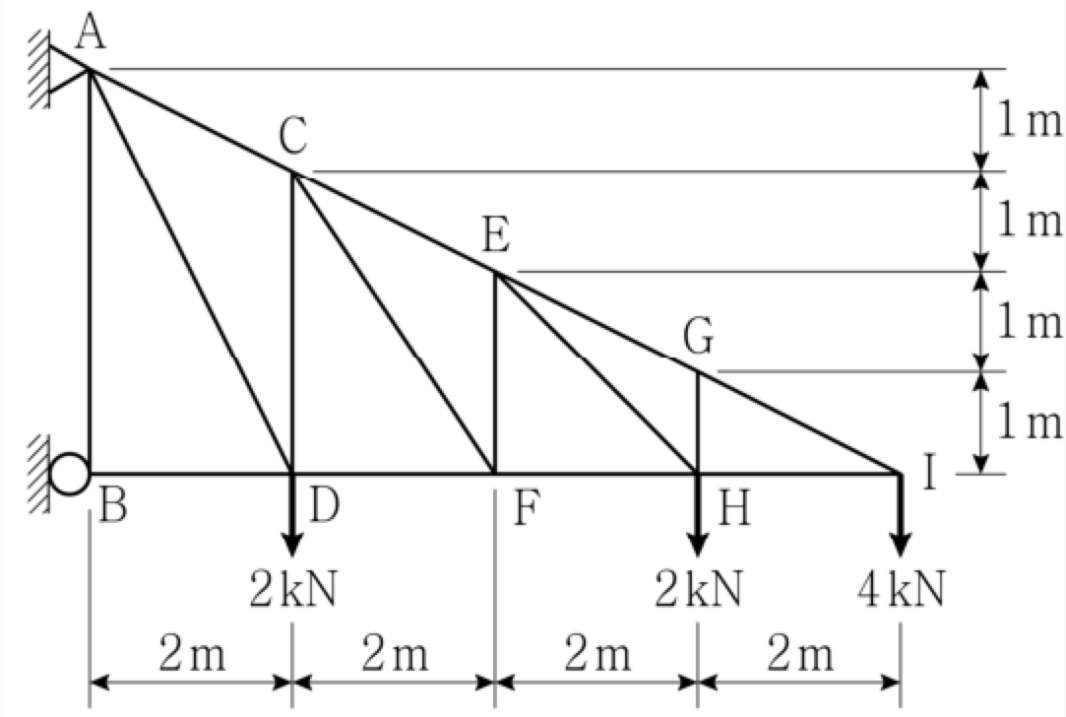
적분식에 거리의 제곱인 x^2, y^2가 있으면 단면 2차 모멘트로서 양수 여부를 판단한다. 두 좌표의 곱 xy가 있으면 상승모멘트이므로 부호가 바뀔 수 있는지를 판단한다.

암기 포인트

제곱항 단면 2차 모멘트는 양수, 곱항 상승모멘트는 부호가 변한다. 도심축 단면 1차 모멘트는 0이다.

NoteBase

문 13. 그림과 같은 트러스에서 AB 부재와 GH 부재의 부재력[kN]은? (단, 구조물의 자중은 무시한다)



① AB 부재: 0, GH 부재: 0

② AB 부재: 0, GH 부재: 3.5

③ AB 부재: 3.5, GH 부재: 0

④ AB 부재: 3.5, GH 부재: 2

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 절점의 평형조건과 영부재 판정 원리를 이용하여 AB 부재와 GH 부재의 축력을 구하는 문제이다.

조건 정리

구해야 할 값은 AB 부재력과 GH 부재력이다.
B절점은 수직벽에 접한 롤러지점이므로 반력은 수평방향만 작용한다.
G절점에서는 상현재의 CG와 GI가 한 직선상에 있고, 외력이 작용하지 않는다.

사용할 원리

각 절점에는 $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$가 성립한다.
외력이 없는 절점에서 세 부재 중 두 부재가 서로 일직선이면, 나머지 비공선 부재는 영부재가 된다. 이는 두 직선 부재의 힘이 같은 직선 방향에서 평형을 이룰 수 있어 나머지 방향의 힘이 0이어야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. B절점에는 수평 반력, 수평 부재 BD, 수직 부재 AB만 작용한다. 수직방향 힘은 AB뿐이므로 $\sum F_y = 0$에서 $N_{AB} = 0$kN이다.
2. G절점에는 서로 일직선인 CG와 GI, 그리고 이에 수직인 GH가 접속하고 외력이 없다. 따라서 영부재 판정으로 $N_{GH} = 0$kN이다.
3. 그러므로 $(AB,\ GH) = (0,\ 0)$kN이다.

선지 판단

① O: AB는 B절점의 수직평형으로 0이고, GH는 G절점의 세 부재 영부재 조건으로 0이다.
② X: ‘GH 부재력 3.5’가 틀렸다. 올바르게는 GH 부재력은 0kN이다.
③ X: ‘AB 부재력 3.5’가 틀렸다. 올바르게는 AB 부재력은 0kN이다.
④ X: ‘AB 부재력 3.5, GH 부재력 2’가 모두 틀렸다. 올바르게는 AB와 GH의 부재력은 각각 0kN이다.

오답 포인트

모든 부재에 하중이 전달된다고 보고 부재력을 계산하는 것이 함정이다. B절점에서는 수직 반력이 없다는 점을, G절점에서는 CG와 GI가 일직선이라는 점을 먼저 확인하면 AB와 GH를 바로 영부재로 판정할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

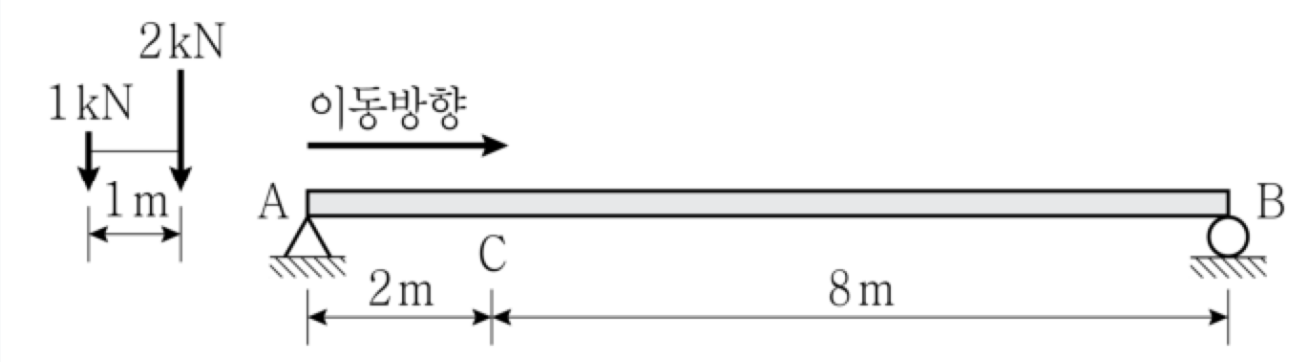
절점법에서는 외력이 없는 절점을 먼저 찾는다. 두 부재가 일직선인 세 부재 절점이면 나머지 한 부재를 영부재로 판정하고, 서로 직교하는 두 부재와 한 방향 반력만 있는 절점에서는 남은 방향의 부재 평형을 확인한다.

암기 포인트

무하중 3부재 절점에서 ‘두 부재 일직선 → 나머지 부재 영부재’이다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 단순보에 집중하중군이 A점에서 B점으로 이동하고 있다. C점의 최대 휨모멘트[kN · m]는? (단, 보의 자중은 무시한다)



① 3.2

② 3.6

③ 4.0

④ 4.4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단순보의 C단면 휨모멘트 영향선을 이용하여 이동 집중하중군이 만들 수 있는 최대 휨모멘트를 구하는 문제이다.

조건 정리

보의 경간은 $L = 10m$이고, C점은 A점에서 $2m$ 떨어져 있다. 이동방향에서 앞선 하중은 $2kN$, 뒤따르는 하중은 $1kN$이며 두 하중의 간격은 $1m$이다. C단면의 정모멘트 영향선 종거는 C점에서 $ab/L = 2 \times 8/10 = 1.6m$ 이다.

사용할 공식

C단면 휨모멘트는 각 하중과 그 위치에서의 영향선 종거를 곱한 뒤 합산한다. $M_C = \sum P_i y_i$ 여기서 P_i는 집중하중, y_i는 그 하중 위치의 C단면 휨모멘트 영향선 종거이다. 이동하중 문제에서는 하중이 각각 영향선의 큰 종거에 놓일 때를 비교하므로 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

앞선 $2kN$ 하중이 C점을 지난 뒤, 뒤따르는 $1kN$ 하중이 C점에 도달한 순간이 최대가 된다. 이때 $1kN$ 하중은 C점에 있으므로 종거는 $1.6m$이다. $2kN$ 하중은 C점의 오른쪽 $1m$, 즉 A점에서 $3m$ 위치에 있으므로 오른쪽 영향선 종거는 $2(10-3)/10 = 1.4m$이다. 따라서 $M_C = 1 \times 1.6 + 2 \times 1.4 = 4.4kN \cdot m$이다. 이 위치를 지나면 두 하중 모두 C점에서 멀어져 영향선 종거가 감소하므로 휨모멘트도 감소한다.

선지 판단

① X: $3.2kN \cdot m$는 $2kN$ 하중만 C점의 최대 종거 $1.6m$에 곱한 값이다. 다른 $1kN$ 하중의 기여를 함께 더해야 하므로, 최대휨모멘트 $3.2kN \cdot m$는 $4.4kN \cdot m$로 고쳐야 한다.
② X: $3.6kN \cdot m$는 두 하중이 동시에 만드는 영향선 종거의 최대 조합보다 작다. $1kN$ 하중이 C점, $2kN$ 하중이 C점 오른쪽 $1m$에 있을 때 $1.6 + 2(1.4) = 4.4kN \cdot m$이므로, 최대휨모멘트 $3.6kN \cdot m$는 $4.4kN \cdot m$로 고쳐야 한다.
③ X: $4.0kN \cdot m$은 $2kN$ 하중이 C점에 있고 $1kN$ 하중이 그 왼쪽 $1m$에 있을 때의 값 $2(1.6) + 1(0.8) = 4.0kN \cdot m$이다. 하중군이 더 이동하여 $1kN$ 하중이 C점에 도달하면 $4.4kN \cdot m$까지 증가하므로, 최대휨모멘트 $4.0kN \cdot m$는 $4.4kN \cdot m$로 고쳐야 한다.
④ O: $1kN$ 하중을 C점에, $2kN$ 하중을 그 오른쪽 $1m$ 위치에 둘 때 $M_C = 1(1.6) + 2(1.4) = 4.4kN \cdot m$로 최대가 된다.

오답 포인트

③의 $4.0kN \cdot m$은 $2kN$ 하중을 C점에 놓았을 때의 값이므로 그 순간을 최대라고 오해하기 쉽다. 그러나 하중군은 오른쪽으로 이동하므로, 더 큰 하중이 C점을 지난 뒤 작은 하중이 C점에 도달하는 위치까지 함께 비교해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

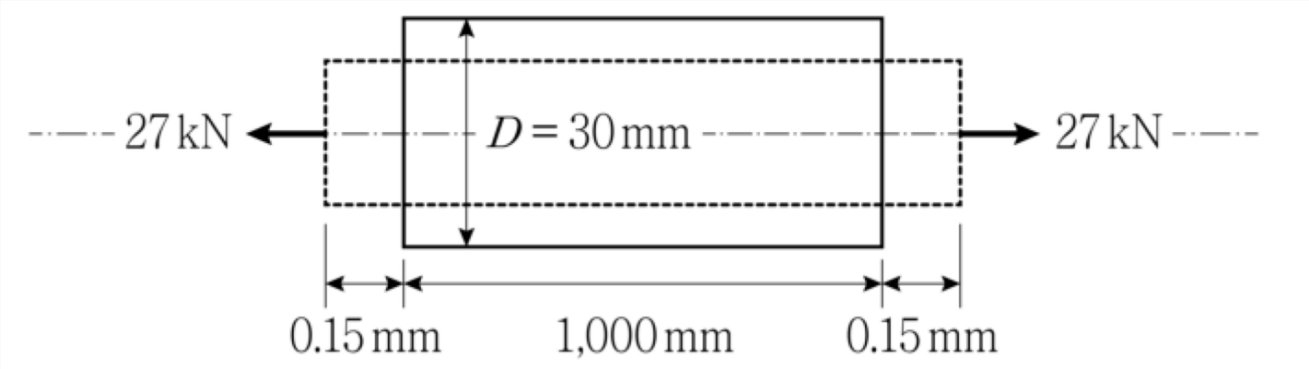
이동하중에 의한 특정 단면의 최대 휨모멘트는 먼저 그 단면의 영향선을 그리고, 각 하중이 영향선의 큰 종거에 놓이는 배치를 정한 뒤 $\sum P_i y_i$로 계산하여 판단한다. 하중이 영향선의 꼭짓점에 놓이는 경우와 그 직전·직후의 배치를 비교한다.

암기 포인트

이동 집중하중의 단면모멘트는 영향선 종거와 하중의 곱을 모두 더한다. 큰 하중만 꼭짓점에 놓는 것보다 하중군 전체의 합이 큰 배치가 최대가 된다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 길이가 1,000mm이고 직경이 30mm인 원기둥형 막대에 27kN의 축방향 인장하중이 작용한다. 축방향 길이의 증가량이 0.3mm일 때, 직경의 감소량[mm]은? (단, 막대는 균질한 등방성 재료로 만들어졌으며, 재료의 전단탄성계수 G는 50GPa이다)



① $\left(\frac{32}{\pi}-8\right)\times 10^{-3}$
② $\left(\frac{36}{\pi}-9\right)\times 10^{-3}$
③ $\left(\frac{26}{\pi}-8\right)\times 10^{-3}$
④ $\left(\frac{30}{\pi}-9\right)\times 10^{-3}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 축방향 변형률로 탄성계수 E를 구한 뒤, 등방성 재료의 관계식 $E = 2G(1 + \nu)$에서 포아송비 ν를 구하여 직경 감소량을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $L = 1000\text{mm}$, $D = 30\text{mm}$, $P = 27\text{kN}$, $\Delta L = 0.3\text{mm}$, $G = 50\text{GPa} = 50000\text{MPa}$이다. 구할 값은 인장에 따른 직경의 감소량 ΔD이다.

사용할 공식

단면적은 $A = \pi D^2/4$, 축응력은 $\sigma = P/A$, 축변형률은 $\varepsilon_x = \Delta L/L$이다. 따라서 $E = \sigma/\varepsilon_x$이고, 등방성 선형탄성재료에서는 $E = 2G(1 + \nu)$이다. 횡변형률의 크기는 $\nu\varepsilon_x$이므로 직경 감소량은 $\Delta D = \nu\varepsilon_x D$이다. 주어진 하중과 축방향 신장량으로 E와 ν를 정할 수 있으므로 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. $A = \pi(30)^2/4 = 225\pi \text{mm}^2$이므로 $\sigma = 27000/(225\pi) = 120/\pi \text{MPa}$이다.
2. $\varepsilon_x = 0.3/1000 = 3 \times 10^{-4}$이므로 $E = (120/\pi)/(3 \times 10^{-4}) = 400000/\pi \text{MPa}$이다.
3. $\nu = E/(2G) - 1 = (400000/\pi)/100000 - 1 = 4/\pi - 1$이다.
4. 따라서 $\Delta D = (4/\pi - 1)(3 \times 10^{-4})(30) = (36/\pi - 9) \times 10^{-3} \text{mm}$이다.

선지 판단

① X. $(32/\pi - 8) \times 10^{-3} \text{mm} \approx 2.19 \times 10^{-3} \text{mm}$로, 계산값과 다르다. 틀린 표현은 $(32/\pi - 8) \times 10^{-3}$이고, 올바르게는 $(36/\pi - 9) \times 10^{-3}$이다. 이는 $\nu\varepsilon_x D$에서 $\varepsilon_x D = 0.009 \text{mm}$가 되어야 하는 곱을 잘못 처리한 값이다.

② O. $\Delta D = (36/\pi - 9) \times 10^{-3} \text{mm} \approx 2.46 \times 10^{-3} \text{mm}$로 계산 결과와 일치한다.

③ X. $(26/\pi - 8) \times 10^{-3} \text{mm} \approx 0.276 \times 10^{-3} \text{mm}$로 계산값보다 매우 작다. 틀린 표현은 $(26/\pi - 8) \times 10^{-3}$이고, 올바르게는 $(36/\pi - 9) \times 10^{-3}$이다. 포아송비와 $\varepsilon_x D$를 함께 적용하지 않은 식이다.

④ X. $(30/\pi - 9) \times 10^{-3} \text{mm} \approx 0.549 \times 10^{-3} \text{mm}$로 계산값과 다르다. 틀린 표현은 $(30/\pi - 9) \times 10^{-3}$이고, 올바르게는 $(36/\pi - 9) \times 10^{-3}$이다. $\nu = 4/\pi - 1$에서 나온 계수와 직경 30mm를 결합한 결과가 아니다.

오답 포인트

축방향 신장량 0.3mm을 곧바로 직경 변화에 쓰면 안 된다. 먼저 $\varepsilon_x = \Delta L/L$를 구하고, 포아송비를 곱한 횡변형률에 다시 직경 D를 곱해야 한다. 또한 $G = 50 \text{GPa}$는 응력 단위와 맞추어 50000MPa로 변환한다.

다시 나오면 이렇게 판단

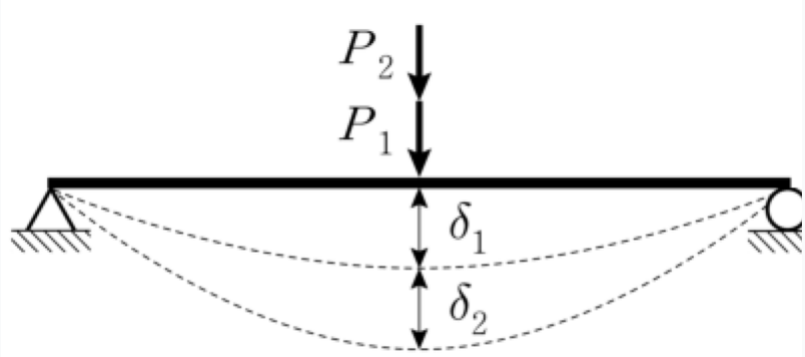
원형 봉의 인장 문제는 $A \rightarrow \sigma \rightarrow \varepsilon_x \rightarrow E \rightarrow \nu \rightarrow \Delta D$ 순서로 계산한다. 길이 변화에는 원래 길이를, 직경 변화에는 원래 직경을 곱하는지 단위와 함께 검산한다.

암기 포인트

등방성 재료는 $E = 2G(1 + \nu)$, 인장 시 직경 감소량의 크기는 $\Delta D = \nu(\Delta L/L)D$이다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 P_1과 P_2로 인한 처짐이 각각 δ_1과 δ_2가 발생하였다. P_1이 작용 후 P_2가 추가 재하되었을 때, P_1이 행한 일은? (단, 보는 선형 탄성 거동을 하며, 보의 자중은 무시한다)



① $\frac{1}{2}P_1 \cdot \delta_1 + \frac{1}{2}P_2 \cdot \delta_2$

② $\frac{1}{2}P_1(\delta_1 + \delta_2)$

③ $\frac{1}{2}(P_1 + P_2)(\delta_1 + \delta_2)$

④ $\frac{1}{2}P_1 \cdot \delta_1 + P_1 \cdot \delta_2$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 하중-처짐 선도 아래 면적으로 외력이 한 일을 구하는 문제이다. 선형탄성 보에서 P_1을 먼저 재하하면 처짐 δ_1이 생기고, P_2를 추가 재하하는 동안에는 P_1이 계속 작용한 채 처짐이 δ_2만큼 더 증가한다.

조건 정리

주어진 하중은 P_1, P_2이고, P_1 재하에 따른 처짐은 δ_1, P_2 추가 재하 중의 추가 처짐은 δ_2이다. 구할 값은 전체 과정에서 P_1이 한 일이다. P_2를 재하하는 동안에도 P_1은 제거되지 않으므로 P_1은 추가 처짐 δ_2에 대해서도 일을 한다.

사용할 공식

일은 하중-처짐 관계에서 $W = \int P d\delta$로 구한다. P_1을 0에서 P_1까지 서서히 재하하는 구간은 하중이 선형으로 증가하므로 $\frac{1}{2}P_1\delta_1$이다. 이후 P_1은 일정하게 유지되면서 처짐만 δ_2만큼 증가하므로 이 구간의 일은 $P_1\delta_2$이다.

계산 과정

1. P_1 재하 구간의 일은 하중-처짐 선도의 삼각형 면적이므로 $W_{P_1,1} = \frac{1}{2}P_1\delta_1$이다.
2. P_2를 추가 재하하는 동안 P_1은 일정한 크기로 계속 작용하고 처짐이 δ_2만큼 더 생기므로 $W_{P_1,2} = P_1\delta_2$이다.
3. 따라서 P_1이 한 전체 일은 $W_{P_1} = \frac{1}{2}P_1\delta_1 + P_1\delta_2$ 이다.

NoteBase

선지 판단

① X. $\frac{1}{2}P_1\delta_1 + \frac{1}{2}P_2\delta_2$는 P_1의 일만이 아니라 두 하중의 재하 일 일부를 섞은 식이다. 틀린 표현 $\frac{1}{2}P_2\delta_2 \rightarrow P_1$이 추가 처짐 동안 한 일은 $P_1\delta_2$이다.
② X. $\frac{1}{2}P_1(\delta_1 + \delta_2)$는 P_1이 전체 처짐 동안 0에서 선형으로 증가한 것으로 본 식이다. 틀린 표현 $\frac{1}{2}P_1\delta_2 \rightarrow$ 추가 구간에서는 P_1이 일정하므로 $P_1\delta_2$이다.
③ X. $\frac{1}{2}(P_1 + P_2)(\delta_1 + \delta_2)$는 두 하중이 처음부터 함께 0에서 증가했다고 가정한 식이다. 틀린 표현 $P_1 + P_2 \rightarrow P_1$의 일만 구할 때에는 P_1의 재하 이력만 분리하여 계산한다.
④ O. 첫 구간의 삼각형 면적 $\frac{1}{2}P_1\delta_1$와, P_1이 일정하게 작용하는 추가 처짐 구간의 직사각형 면적 $P_1\delta_2$를 더한 식이다.

오답 포인트

②처럼 전체 처짐 $\delta_1 + \delta_2$에 $\frac{1}{2}P_1$를 곱하면, P_1이 추가 처짐 구간에서도 증가한다고 잘못 처리하게 된다.
실제로는 P_2 재하 중 P_1이 일정하므로 그 구간은 삼각형이 아니라 직사각형 면적이다.

다시 나오면 이렇게 판단

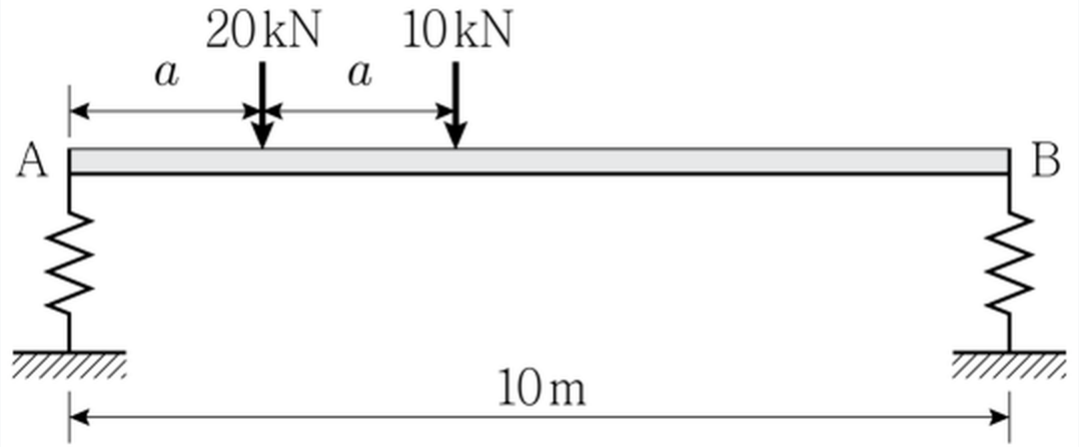
여러 하중이 순차로 작용하는 문제에서는 구하려는 하중이 각 처짐 구간에서 증가하는지, 일정하게 유지되는지를 먼저 나눈다. 증가 구간은 삼각형 면적, 일정 하중 구간은 직사각형 면적으로 계산한다.

암기 포인트

순차 재하에서 기존 하중의 일 = 최초 재하 삼각형 + 추가 처짐 동안의 직사각형이다.

NoteBase

문 17. 그림과 같은 강체보에서 B점의 처짐이 A점 처짐의 2배가 되게 하기 위한 길이 a[m]는? (단, A와 B 지점의 스프링 상수는 동일하며, 보와 스프링의 자중은 무시한다)



① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 동일한 스프링 상수에서 처짐비가 곧 스프링 반력비가 되는 성질과 강체보의 평형조건을 이용하여 a를 구하는 문제이다.

조건 정리

A점과 B점의 스프링 상수는 같으므로 $R_A = k\delta_A$, $R_B = k\delta_B$이다.
B점 처짐이 A점 처짐의 2배이므로 $\delta_B = 2\delta_A$, 따라서 $R_B = 2R_A$이다.
수직하중의 합은 $20kN + 10kN = 30kN$이고, 보의 길이는 $10m$이다.

사용할 공식

수직평형은 $R_A + R_B = 30kN$이고, A점에 대한 모멘트평형은 $R_B \times 10 = 20 \times a + 10 \times 2a$이다.
동일 스프링에서는 반력이 처짐에 비례하므로, 주어진 처짐비를 먼저 반력비로 바꾸어 평형식에 적용한다.

NoteBase

계산 과정

$R_B = 2R_A$를 수직평형식에 대입하면 $R_A + 2R_A = 30$이므로 $R_A = 10kN$, $R_B = 20kN$이다.
A점에 대한 모멘트평형에서
$20 \times 10 = 20a + 10 \times (2a) = 40a$
이므로 $a = 5m$이다.

선지 판단

① X. $a = 2m$이면 A점에 대한 하중모멘트는 $20 \times 2 + 10 \times 4 = 80kN \cdot m$로, B점 반력모멘트 $20 \times 10 = 200kN \cdot m$와 같지 않다. 틀린 값 $2m$ → 올바르게는 $5m$이다.
② X. $a = 3m$이면 하중모멘트는 $20 \times 3 + 10 \times 6 = 120kN \cdot m$로 평형을 만족하지 않는다. 틀린 값 $3m$ → 올바르게는 $5m$이다.
③ X. $a = 4m$이면 하중모멘트는 $20 \times 4 + 10 \times 8 = 160kN \cdot m$로 평형을 만족하지 않는다. 틀린 값 $4m$ → 올바르게는 $5m$이다.
④ O. $a = 5m$이면 하중모멘트는 $20 \times 5 + 10 \times 10 = 200kN \cdot m$이고, B점 반력모멘트 $20 \times 10 = 200kN \cdot m$와 같아 평형을 만족한다.

오답 포인트

처짐이 2배라는 조건을 반력과 무관하게 보거나, $10kN$ 하중의 모멘트팔을 a로만 잡는 실수가 흔하다. 두 번째 하중은 A점에서 $2a$ 떨어져 있으므로 모멘트는 $10 \times 2a$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

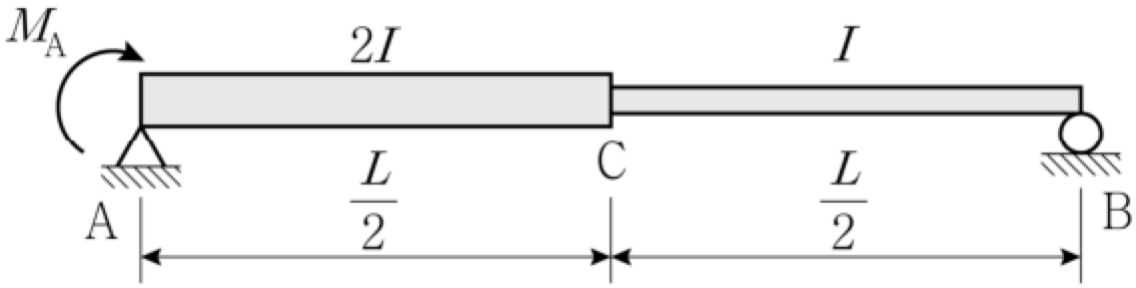
동일 스프링 지점의 처짐비가 주어지면 먼저 $R = k\delta$로 반력비를 구한다. 이어 수직평형으로 각 반력을 정하고, 한 지점에 대한 모멘트평형에서 하중의 실제 거리로 미지수를 구한다.

암기 포인트

동일 스프링에서는 처짐비 = 반력비이며, 강체보는 $\Sigma V = 0$, $\Sigma M = 0$을 함께 만족한다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이 A점에 휨모멘트 M_A를 받는 단순보에서 AC와 BC 구간의 단면 2차 모멘트는 각각 $2I$와 I이다. A점에서 발생하는 회전각 θ_A와 B점에서 발생하는 회전각 θ_B의 비(θ_A/θ_B)는? (단, 탄성계수 E는 일정하며, 보의 자중은 무시한다)



① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 3번

출제 포인트

단면2차모멘트가 구간별로 다른 단순보에서 휨모멘트도와 M/EI도를 이용하여 양 지점의 회전각을 구하는 문제이다.

조건 정리

전체 길이는 L이고, $AC = BC = L/2$이다.
AC 구간의 휨강성은 $2EI$, CB 구간의 휨강성은 EI이다.
A의 집중모멘트에 대한 휨모멘트의 크기는 A에서 M_A, B에서 0이 되는 삼각형이다.

사용할 공식

모멘트면적법에서 M/EI도의 면적은 두 점 사이의 접선각 변화이고, 그 1차 모멘트는 한 점에서 다른 점의 접선까지의 편차가 된다.

구간마다 EI가 다르므로 휨모멘트도 M 자체가 아니라 M/EI도를 사용한다.

NoteBase

계산 과정

x를 A에서 잰 거리로 두면 휨모멘트의 크기는 $M(x) = M_A(1 - x/L)$이다.

M/EI도의 전체 면적은
$\int_0^{L/2} \frac{M_A(1-x/L)}{2EI} dx + \int_{L/2}^{L} \frac{M_A(1-x/L)}{EI} dx = \frac{5M_AL}{16EI}$
이다. 또한 A에서 그은 접선에 대한 B의 편차에 해당하는 1차 모멘트는
$\int_0^{L/2} \frac{M_A(1-x/L)}{2EI}(L-x) dx + \int_{L/2}^{L} \frac{M_A(1-x/L)}{EI}(L-x) dx = \frac{3M_AL^2}{16EI}$
이다. A와 B의 처짐은 모두 0이므로 $|\theta_A| = 3M_AL/(16EI)$이다. 전체 면적을 이용하면 $|\theta_B| = M_AL/(8EI)$이다.
따라서
$\frac{|\theta_A|}{|\theta_B|} = \frac{3/16}{1/8} = \frac{3}{2} = 1.5$
이다. 두 지점의 회전 방향은 서로 반대이므로, 선지의 회전각 비는 크기의 비로 판단한다.

선지 판단

① X. 비율은 0.5가 아니다. 틀린 표현: $\theta_A/\theta_B = 0.5$ → 올바르게는 회전각 크기의 비가 1.5이다.
② X. 비율은 1.0이 아니다. 틀린 표현: $\theta_A/\theta_B = 1.0$ → 올바르게는 회전각 크기의 비가 1.5이다.
③ O. $|\theta_A| = 3M_AL/(16EI)$, $|\theta_B| = M_AL/(8EI)$이므로 그 비는 1.5이다.
④ X. 비율은 2.0이 아니다. 틀린 표현: $\theta_A/\theta_B = 2.0$ → 올바르게는 회전각 크기의 비가 1.5이다.

오답 포인트

AC 구간은 단면2차모멘트가 $2I$이므로 같은 휨모멘트에서도 곡률이 CB 구간의 절반이다. 이를 무시하고 하나의 EI로 계산하면 ①, ②, ④와 같은 오답으로 흐를 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

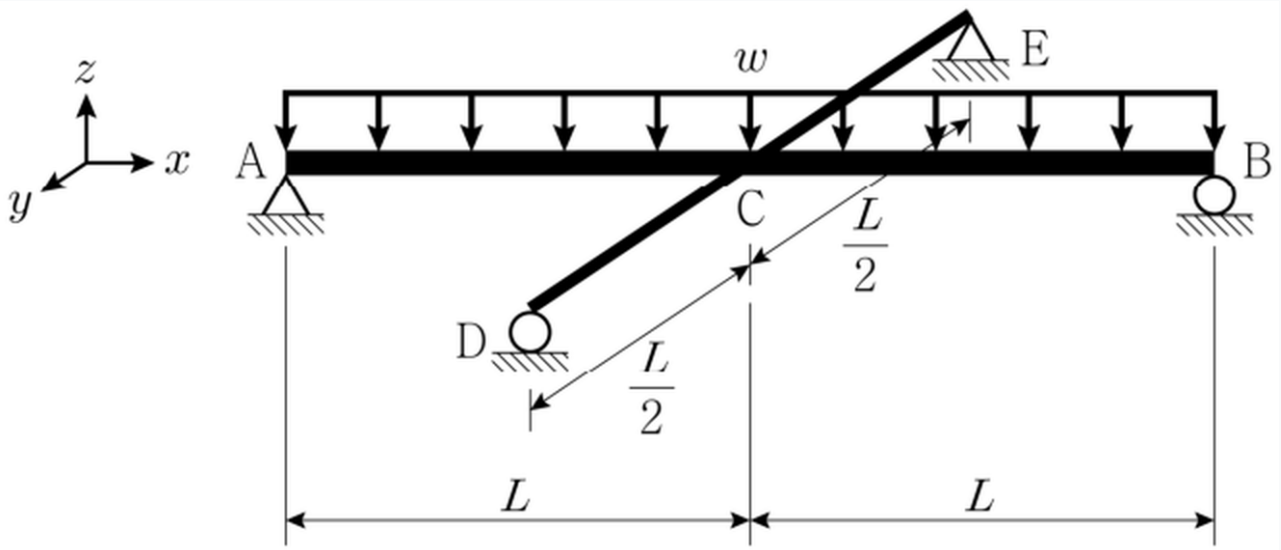
단면이 바뀌는 보에서는 먼저 구간별 휨모멘트를 구하고, 각 구간을 해당 EI로 나누어 M/EI도를 만든다. 그 뒤 전체 면적과 필요한 점에 대한 1차 모멘트로 회전각을 구한다.

암기 포인트

회전각은 M도가 아니라 M/EI도의 면적에서 구한다. EI가 클수록 곡률과 회전 기여는 작아진다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 $x-y$ 평면상에 단순보 AB와 DE가 C점에서 직교하며 연결되어 있다. AB 보에 등분포하중 w가 z축 방향으로 작용할 때, D점의 수직 반력의 크기는? (단, AB와 DE 보의 단면 2차 모멘트는 각각 $2I$와 I이고, 탄성계수 E는 동일하며, 구조물의 자중은 무시한다)



① $0.25wL$

② $0.5wL$

③ $0.75wL$

④ $1.0wL$

정답 2번

출제 포인트

교차점 C에서 두 단순보의 처짐이 같다는 적합조건을 이용하여 DE보에 전달되는 집중하중과 D점 수직 반력을 구하는 문제이다.

조건 정리

AB의 길이는 $2L$, 휨강성은 $2EI$이고, 전 구간에 등분포하중 w가 작용한다. DE의 길이는 L, 휨강성은 EI이며 C는 그 중앙이다. DE가 C에서 받는 하향 집중하중을 P라 하면, AB는 C에서 크기 P의 상향력을 받는다. DE는 C에 대하여 대칭이므로 $R_D = R_E = P/2$이다.

사용할 공식

단순보 중앙의 처짐은 전 구간 등분포하중 q에 대하여 $\delta = 5q\ell^4/(384EI)$, 중앙 집중하중 P에 대하여 $\delta = P\ell^3/(48EI)$이다. C에서 두 보는 연결되어 있으므로 C의 수직처짐이 같아야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. AB에서 등분포하중이 만드는 C점 하향처짐은 $\delta_{AB,w} = 5w(2L)^4/[384(2EI)] = 5wL^4/(48EI)$이다.
2. AB가 C에서 받는 상향력 P가 만드는 처짐은 상향이므로 $\delta_{AB,P} = -P(2L)^3/[48(2EI)] = -PL^3/(12EI)$이다. 따라서 $\delta_{AB} = 5wL^4/(48EI) - PL^3/(12EI)$이다.
3. DE에서 C점 하향 집중하중 P가 만드는 처짐은 $\delta_{DE} = PL^3/(48EI)$이다. 적합조건 $\delta_{AB} = \delta_{DE}$를 적용하면 $5wL^4/(48EI) - PL^3/(12EI) = PL^3/(48EI)$이고, $P = wL$을 얻는다.
4. 따라서 $R_D = P/2 = 0.5wL$이다.

선지 판단

① X — $0.25wL$은 계산 결과와 다르다. 틀린 표현 $0.25wL$ → 올바르게는 D점 수직 반력은 $0.5wL$이다. 이는 C에서 DE로 전달된 하중 $P = wL$을 양 지점이 반씩 분담한다는 대칭조건을 절반만 적용한 값이다.
② O — $P = wL$이고 DE는 중앙하중에 대해 대칭이므로 $R_D = P/2 = 0.5wL$이다.
③ X — $0.75wL$은 계산 결과와 다르다. 틀린 표현 $0.75wL$ → 올바르게는 D점 수직 반력은 $0.5wL$이다. C점 하중을 구할 때 AB와 DE의 서로 다른 휨강성을 반영하지 않으면 이러한 과대값이 생긴다.
④ X — $1.0wL$은 계산 결과와 다르다. 틀린 표현 $1.0wL$ → 올바르게는 D점 수직 반력은 $0.5wL$이다. wL은 DE에 전달되는 전체 하중 P이며, D점 하나의 반력이 아니다.

오답 포인트

C는 지점이 아니라 두 보가 연결된 점이므로, 정정계 평형식만으로 C의 전달하중을 정할 수 없다. AB와 DE의 C점 처짐을 같게 두어야 하며, wL을 구한 뒤에도 DE의 양 지점 반력으로 다시 반분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

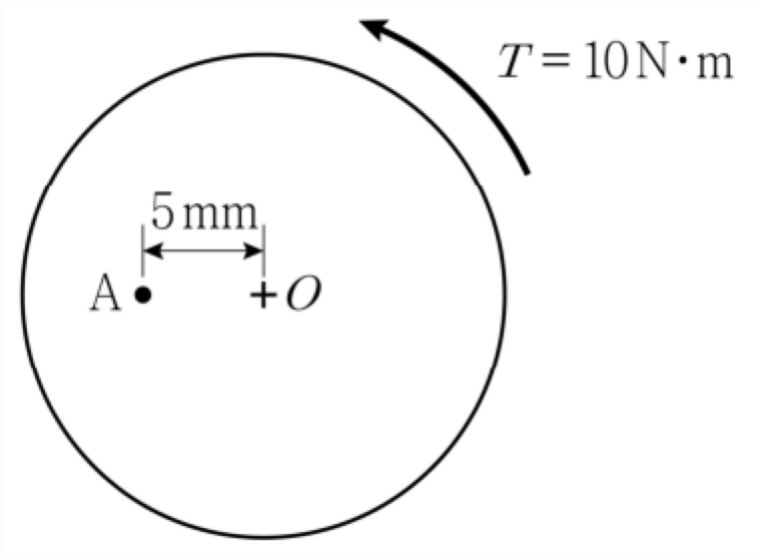
교차·연결된 보 문제에서는 먼저 C에서 전달되는 힘을 미지수로 둔다. 각 보의 하중에 의한 C점 처짐을 구한 뒤 처짐 적합조건으로 전달력을 정하고, 마지막에 해당 보의 평형과 대칭성으로 지점반력을 구한다.

암기 포인트

연결점에서는 힘의 평형만이 아니라 처짐의 적합조건을 함께 적용한다. 중앙 대칭보의 양 지점반력은 중앙하중의 절반이다.

NoteBase

문 20. 원형 단면 봉에 비틀림 토크 T가 $10\text{N}\cdot\text{m}$ 작용하였다. 단면의 중심 O점에서 5mm 떨어진 A점의 전단응력 τ가 25MPa 발생하였을 때, 원형 단면의 극관성 모멘트 $I_P[\text{mm}^4]$와 봉의 단위 길이당 비틀림각 $\theta[\text{rad/m}]$는? (단, 전단탄성계수 G는 100GPa이다)



① I_P: 1,000, θ: 0.05

② I_P: 1,000, θ: 0.10

③ I_P: 2,000, θ: 0.05

④ I_P: 2,000, θ: 0.10

정답 3번

출제 포인트

원형 단면 축의 비틀림에서 전단응력식과 단위길이당 비틀림각 공식을 이용해 극관성모멘트와 비틀림각을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 토크는 $T = 10N \cdot m = 10{,}000N \cdot mm$이다.
점 A의 중심으로부터 거리는 $r = 5mm$이고, 전단응력은 $\tau = 25MPa = 25N/mm^2$이다.
전단탄성계수는 $G = 100GPa = 100{,}000N/mm^2$이다.

사용할 공식

전단응력은 $\tau = \frac{Tr}{I_P}$이고, 단위길이당 비틀림각은 $\theta = \frac{T}{GI_P}$이다.
점 A에서의 전단응력과 중심거리 r가 주어졌으므로 첫 번째 식으로 I_P를 구하고, 그 값을 두 번째 식에 대입한다.

NoteBase

계산 과정

1. 전단응력식에서 $I_P = \frac{Tr}{\tau} = \frac{10{,}000 \times 5}{25} = 2{,}000mm^4$이다.
2. 비틀림각은 $\theta = \frac{10{,}000}{100{,}000 \times 2{,}000} = 5 \times 10^{-5} rad/mm$이다.
3. $1m = 1{,}000mm$이므로 $5 \times 10^{-5} \times 1{,}000 = 0.05 rad/m$이다.

선지 판단

① X. $I_P = 1{,}000mm^4$이면 점 A의 전단응력은 $50MPa$가 되어 주어진 $25MPa$와 맞지 않는다. 틀린 표현인 $I_P = 1{,}000mm^4$는 $I_P = 2{,}000mm^4$로 고쳐야 한다.
② X. $I_P = 1{,}000mm^4$는 전단응력 조건에 맞지 않고, $0.10 rad/m$도 올바른 비틀림각의 두 배이다. 올바르게는 $I_P = 2{,}000mm^4$, $\theta = 0.05 rad/m$이다.
③ O. $I_P = 2{,}000mm^4$, $\theta = 0.05 rad/m$은 전단응력식과 비틀림각식의 계산 결과와 모두 일치한다.
④ X. $I_P = 2{,}000mm^4$는 맞지만 $\theta = 0.10 rad/m$은 틀리다. 틀린 표현인 $0.10 rad/m$은 $0.05 rad/m$로 고쳐야 한다.

오답 포인트

토크를 $N \cdot m$로, 길이를 mm로 섞어 쓰면 계산값이 달라진다. 또한 rad/mm로 구한 값을 rad/m로 바꿀 때 1,000을 곱하지 않으면 비틀림각 단위를 잘못 판단하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

비틀림 계산형 문제는 먼저 T, r, τ, G의 단위를 N, mm 계열로 통일한다. 이어서 $\tau = Tr/I_P$로 단면 성질을 구하고, $\theta = T/(GI_P)$에 대입한 뒤 요구 단위로 변환한다.

암기 포인트

비틀림은 $\tau = Tr/I_P$, 단위길이당 회전은 $\theta = T/(GI_P)$이다.

NoteBase