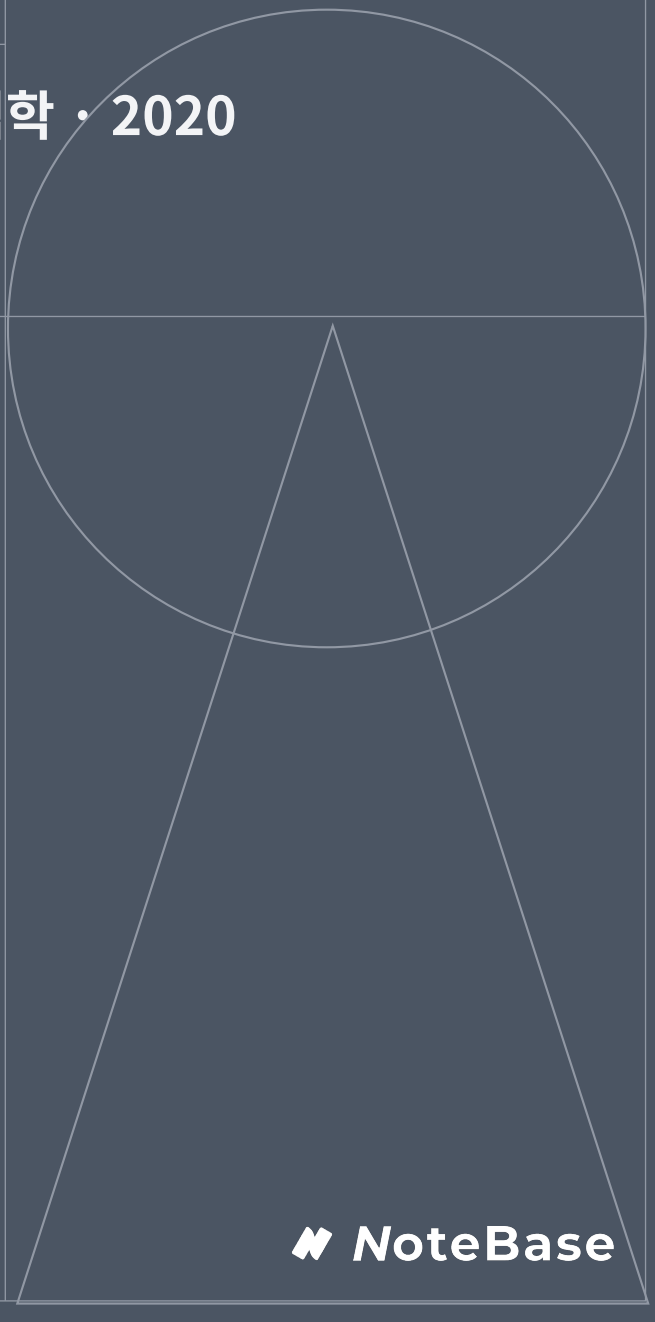
# 기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 응용역학 · 2020



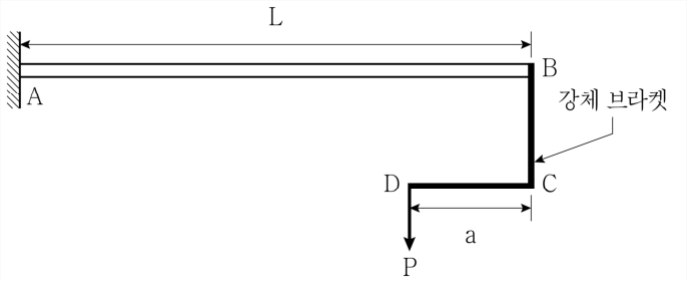
NoteBase

# 기출OX 해설집

## 공무원/국가직/7급 · 응용역학 · 2020

**공무원/국가직/7급 · 응용역학 · 2020**

**문 1. 그림과 같이 캔틸레버보의 B점에 강체 브라켓 BCD가 강결되어 있다. 미소변형을 하는 것으로 가정할 때, D점에 하중 P가 작용한다면 B점의 연직 처짐이 발생하지 않도록 하기 위한 a와 L의 비($a/L$)는? (단, AB 부재의 휨강성은 EI이고, 보와 강체 브라켓의 자중은 무시한다)**




① $\frac{3}{4}$

② $\frac{2}{5}$

③ $\frac{1}{6}$

④ $\frac{2}{3}$

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 강체 브라켓이 보 끝점 B에 전달하는 힘과 모멘트를 등가화한 뒤, 캔틸레버 자유단 처짐식으로 $a/L$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

- 보 AB는 길이 $L$인 캔틸레버이고 휨강성은 $EI$이다.
- 강체 브라켓 BCD는 변형하지 않으므로 D점의 하중 $P$는 B점에 하향 집중하중 $P$와 반시계 단부모멘트 $Pa$로 전달된다.
- 구해야 할 값은 B점 연직 처짐이 0이 되게 하는 $a/L$이다.

NoteBase

### 사용할 공식

캔틸레버 자유단에 집중하중 $P$가 작용할 때 자유단 처짐은 $\delta_P = \frac{PL^3}{3EI}$이고, 단부모멘트 $M$이 작용할 때 자유단 처짐은 $\delta_M = \frac{ML^2}{2EI}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 브라켓이 강체이므로 보 AB 입장에서는 B점 끝단에 힘과 모멘트만 작용하는 등가 하중 문제로 바뀌기 때문이다.

### 계산 과정

1. D점의 하중 $P$를 B점으로 옮기면 하향 힘 $P$와 모멘트 $M = Pa$가 생긴다.
2. 하향 힘 $P$는 B점을 아래로 처지게 하므로 $\delta_P = \frac{PL^3}{3EI}$이다.
3. 반시계 단부모멘트 $Pa$는 B점을 위로 들므로 $\delta_M = \frac{PaL^2}{2EI}$이다.
4. B점 처짐이 0이려면 두 처짐의 크기가 같아야 하므로

$$\frac{PL^3}{3EI} = \frac{PaL^2}{2EI}$$
$$\frac{L}{3} = \frac{a}{2}$$
$$\frac{a}{L} = \frac{2}{3}$$

이 된다.

### 선지별 해설

① X: $\frac{a}{L} = \frac{3}{4}$이면 $Pa$가 필요값보다 커져 모멘트에 의한 상향 처짐이 과대해진다. 틀린 표현은 "B점 처짐을 0으로 만드는 비"이고, 올바르게는 $\frac{a}{L} = \frac{2}{3}$이다.
② X: $\frac{a}{L} = \frac{2}{5}$이면 $Pa$가 부족해 하중 $P$에 의한 하향 처짐을 상쇄하지 못한다. 틀린 표현은 "상쇄 조건을 만족하는 비"이고, 올바르게는 $\frac{a}{L} = \frac{2}{3}$이다.
③ X: $\frac{a}{L} = \frac{1}{6}$이면 모멘트 효과가 더 작아 B점은 여전히 아래로 처진다. 틀린 표현은 "무처짐 조건의 비"이고, 올바르게는 $\frac{a}{L} = \frac{2}{3}$이다.
④ O: $\frac{a}{L} = \frac{2}{3}$이면 $Pa = \frac{2PL}{3}$가 되어 $\delta_P = \delta_M$가 성립하고 B점 연직 처짐이 0이 된다.

### 오답 포인트

브라켓의 세로 길이 BC에 시선이 끌리기 쉽지만, B점 처짐 조건에는 D점 하중이 B에 전달하는 하향 힘 $P$와 모멘트 $Pa$만 필요하다. 또 집중하중 처짐식의 계수 1/3과 단부모멘트 처짐식의 계수 1/2를 뒤바꾸면 $a/L$를 잘못 구하게 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

강체 부재가 붙은 보 문제는 먼저 접합점에서의 등가 힘과 등가 모멘트로 환산한다. 그다음 자유단 하중 처짐과 자유단 모멘트 처짐을 부호까지 맞춰 합한 뒤 0 조건이나 호환 조건을 세우면 된다.

NoteBase

**암기 포인트**

캔틸레버 자유단 처짐은 집중하중이 $PL^3/3EI$, 단부모멘트가 $ML^2/2EI$이다. 무처짐 조건은 두 처짐의 크기를 같게 두면 된다.

NoteBase

**문 2. 수직응력($\sigma$)을 수평축, 전단응력($\tau$)을 수직축으로 한 $\sigma - \tau$ 평면 상에 그린 모어(Mohr)원에 대한 설명으로 옳은 것은?**

① 모어원 중심의 수평 좌표값은 직교하는 두 축에 대한 수직응력의 평균값과 같다.

② 최대 전단응력의 크기는 두 주응력의 차이와 같다.

③ 모어원이 그려지는 두 축 중 수직축은 수직응력의 크기를 나타낸다.

④ 모어원으로부터 주응력의 크기는 구할 수 있으나, 주응력의 방향은 구할 수 없다.

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 모어원의 중심, 반지름, 좌표축의 의미를 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

### 핵심 개념

모어원 중심의 수평좌표는 직교하는 두 면의 수직응력 평균값인 $(\sigma_x + \sigma_y)/2$이다.
모어원의 반지름은 최대 전단응력의 크기이며 $R = \tau_{max} = \sqrt{((\sigma_x - \sigma_y)/2)^2 + \tau_{xy}^2}$이다.
주응력은 모어원이 $\sigma$축과 만나는 점에서 읽고, 주응력면의 방향도 모어원의 각도관계 $2\theta$로 구할 수 있다.

### 선지별 해설

① O: 모어원 중심의 수평좌표는 두 직교면에 작용하는 수직응력의 평균값이다. 즉 $(\sigma_x + \sigma_y)/2$이므로 옳다.
② X: 틀린 부분은 "두 주응력의 차이와 같다"이다. 최대 전단응력의 크기는 두 주응력의 차이가 아니라 그 절반인 $(\sigma_1 - \sigma_2)/2$이다.
③ X: 틀린 부분은 "수직축은 수직응력의 크기를 나타낸다"이다. 모어원에서 수평축은 수직응력 $\sigma$, 수직축은 전단응력 $\tau$를 나타낸다.
④ X: 틀린 부분은 "주응력의 방향은 구할 수 없다"이다. 모어원에서는 주응력의 크기뿐 아니라 주응력면의 방향도 각도관계로 구할 수 있다.

### 오답 포인트

②는 최대 전단응력과 두 주응력 차이를 혼동하게 만드는 선지이다. 모어원의 반지름이 $(\sigma_1 - \sigma_2)/2$라는 점을 놓치면 차이 전체로 오해하기 쉽다. ③은 축의 의미를 뒤바꾸었고, ④는 크기만 읽고 방향은 못 구한다고 착각하게 만든다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

모어원 문제는 먼저 중심, 반지름, 축의 의미를 확인하면 된다. 중심은 평균 수직응력, 반지름은 최대 전단응력, $\sigma$축 교점은 주응력, 각도 $2\theta$는 실제 면의 방향과 연결된다고 판단하면 된다.

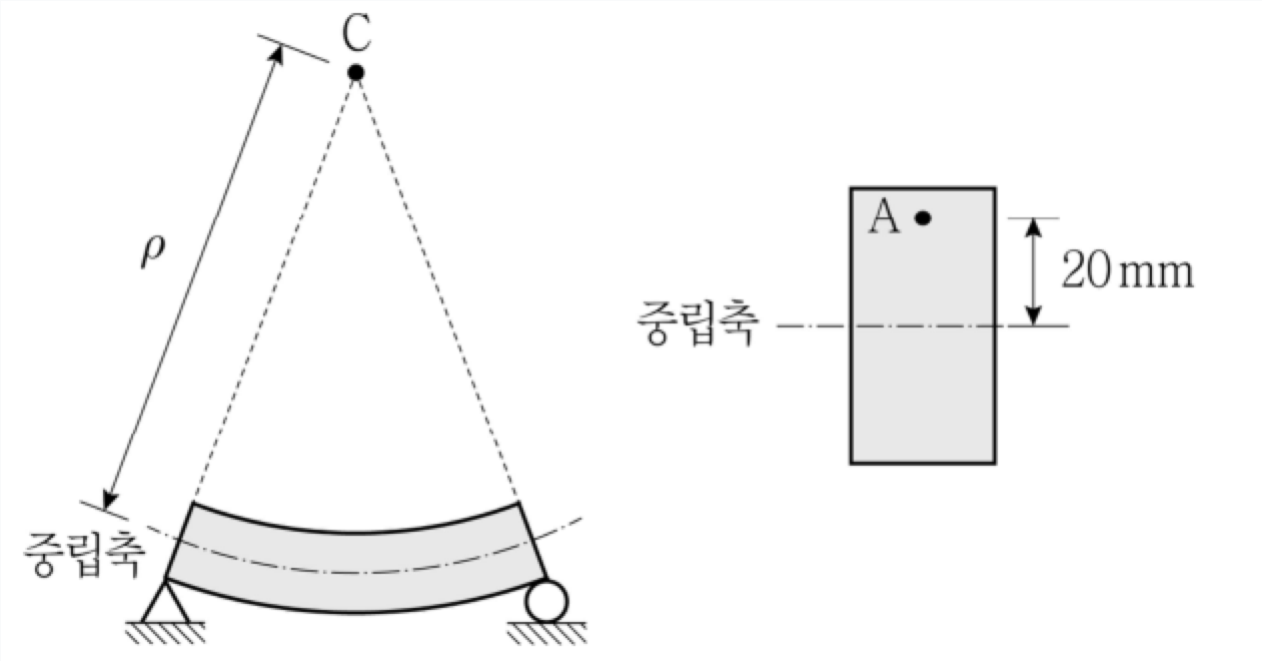
NoteBase

**암기 포인트**

모어원은 중심이 평균응력, 반지름이 최대전단응력, $\sigma$축 교점이 주응력이다.

NoteBase

**문 3. 그림과 같이 휨모멘트를 받아 순수 굽힘상태에서 일정한 곡률을 유지하고 있는 부재가 있다. 부재 단면의 중립축으로부터 압축측으로 20mm 떨어진 A점의 축방향 압축변형률이 0.0001일 때, 이 부재의 곡률반경 $\rho$ [$m$]는? (단, 휨 변형 시 횡방향 단면은 평면을 유지하고, 부재는 미소변형을 한다)**




① 10

② 20

③ 100

④ 200

**정답 4번**

**출제 포인트**

순수 굽힘에서 중립축으로부터 거리 $y$에 있는 점의 축변형률과 곡률반경의 관계 $\varepsilon = y/\rho$를 적용하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 중립축에서 압축측으로 $20mm = 0.02m$, 압축변형률의 크기 0.0001이다.
구해야 할 값: 곡률반경 $\rho$이다.
주의할 조건: 순수 굽힘, 평면 유지, 미소변형이므로 선형 변형률 분포를 그대로 쓴다.

NoteBase

**사용할 공식**

$\varepsilon = \frac{y}{\rho} \quad \Rightarrow \quad \rho = \frac{y}{\varepsilon}$

이 공식을 쓰는 이유: 순수 굽힘에서는 중립축에서 멀어질수록 축변형률이 거리에 비례하므로, 중립축으로부터의 거리와 해당 점의 변형률만 알면 곡률반경을 바로 구할 수 있다.

**계산 과정**

1. 점 A의 중립축으로부터 거리를 $y = 20mm = 0.02m$로 둔다.
2. 압축변형률의 크기는 $|\varepsilon| = 0.0001$이다. 압축 여부는 부호만 달라질 뿐 반지름의 크기 계산에는 절댓값을 써도 된다.
3. $\rho = y/\varepsilon = 0.02/0.0001 = 200m$이다.

**선지별 해설**

① X: $10m$이면 변형률은 $\varepsilon = 0.02/10 = 0.002$가 되어 주어진 $0.0001$과 맞지 않는다. 틀린 값은 $10m$이고, 올바르게는 $200m$이다.
② X: $20m$이면 변형률은 $\varepsilon = 0.02/20 = 0.001$이 되어 주어진 값의 10배이다. 틀린 값은 $20m$이고, 올바르게는 $200m$이다.
③ X: $100m$이면 변형률은 $\varepsilon = 0.02/100 = 0.0002$가 되어 여전히 크다. 틀린 값은 $100m$이고, 올바르게는 $200m$이다.
④ O: $\rho = 0.02/0.0001 = 200m$이므로 주어진 변형률 조건을 정확히 만족한다.

**오답 포인트**

중립축 거리 $20mm$를 $m$로 바꾸지 않거나, $\varepsilon = y/\rho$를 $\rho = \varepsilon/y$처럼 거꾸로 쓰면 오답이 나온다.
압축변형률이라는 표현에 끌려 부호에만 집착하는 것도 함정인데, 이 문항은 곡률반경의 크기를 묻는 문제이다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

순수 굽힘 문제가 나오면 먼저 중립축에서의 거리 $y$와 변형률 $\varepsilon$를 확인한 뒤 $\varepsilon = y/\rho$를 적용한다. 그다음 길이 단위를 맞추고, 계산된 반지름이 변형률과 역비례 관계에 맞는지 검산하면 된다.

**암기 포인트**

순수 굽힘의 섬유변형률은 $\varepsilon = y/\rho$이며, 중립축에서 멀수록 변형률이 크고 곡률반경은 변형률에 반비례한다.

NoteBase

**문 4. 10N의 힘으로 당길 때 0.5cm 늘어나는 탄성 스프링에 힘이 작용하여 5cm 늘어난 상태이다. 이 상태에서 스프링을 10cm 더 늘리는 데 필요한 일 $W[N \cdot m]$는?**

① 5

② 10

③ 20

④ 40

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 훅의 법칙과 스프링에 저장되는 일을 이용해, 이미 늘어난 스프링을 추가로 늘릴 때 필요한 일의 크기를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: $10N$의 힘에서 신장량은 $0.5cm = 0.005m$이다.
현재 신장량: $5cm = 0.05m$이다.
추가 신장량: $10cm = 0.10m$이다.
최종 신장량: $0.05 + 0.10 = 0.15m$이다.

**사용할 공식**

스프링 상수는 $F = kx$로 구하고, 추가로 필요한 일은 $W = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2)$ 또는 $W = \frac{F_1 + F_2}{2}\Delta x$로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 스프링의 힘이 신장량에 비례하여 선형으로 증가하므로, 이미 $x_1$만큼 늘어난 상태에서 $x_2$까지 더 늘릴 때의 일은 힘-변위 그래프 아래 면적으로 계산되기 때문이다.

**계산 과정**

1. 스프링 상수는 $k = \frac{10}{0.005} = 2000N/m$이다.
2. 현재 힘은 $F_1 = kx_1 = 2000 \times 0.05 = 100N$이다.
3. 최종 힘은 $F_2 = kx_2 = 2000 \times 0.15 = 300N$이다.
4. 필요한 일은 $W = \frac{F_1 + F_2}{2}\Delta x = \frac{100 + 300}{2} \times 0.10 = 20N \cdot m$이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X: 선지의 수치 $5N \cdot m$는 이미 늘어난 상태와 힘의 증가를 제대로 반영하지 못한 값이다. 올바르게는 현재 힘 $100N$에서 최종 힘 $300N$까지 선형 증가하므로 필요한 일은 $20N \cdot m$이다.
② X: 선지의 수치 $10N \cdot m$는 현재 힘 $100N$만 일정하다고 보고 $100 \times 0.10$으로 계산한 경우에 가깝다. 스프링 힘은 늘어나는 동안 계속 증가하므로 평균힘을 사용한 계산이 맞으며, 올바른 값은 $20N \cdot m$이다.
③ O: $k = 2000N/m$, $x_1 = 0.05m$, $x_2 = 0.15m$이므로 $W = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) = \frac{1}{2} \times 2000 \times (0.15^2 - 0.05^2) = 20N \cdot m$가 된다.
④ X: 선지의 수치 $40N \cdot m$는 최종 힘이나 전체 신장량을 잘못 적용해 일을 과대평가한 값이다. 이 문제는 $0.05m$에서 $0.15m$까지의 추가 일만 구하는 것이므로 올바른 값은 $20N \cdot m$이다.

### 오답 포인트

현재 이미 $5cm$ 늘어난 상태라는 조건을 놓치면 처음부터의 전체 일과 추가 일을 혼동하게 된다. 또 스프링 힘을 일정한 힘으로 보고 $F\Delta x$만 적용하면 평균힘 개념을 빠뜨려 오답이 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

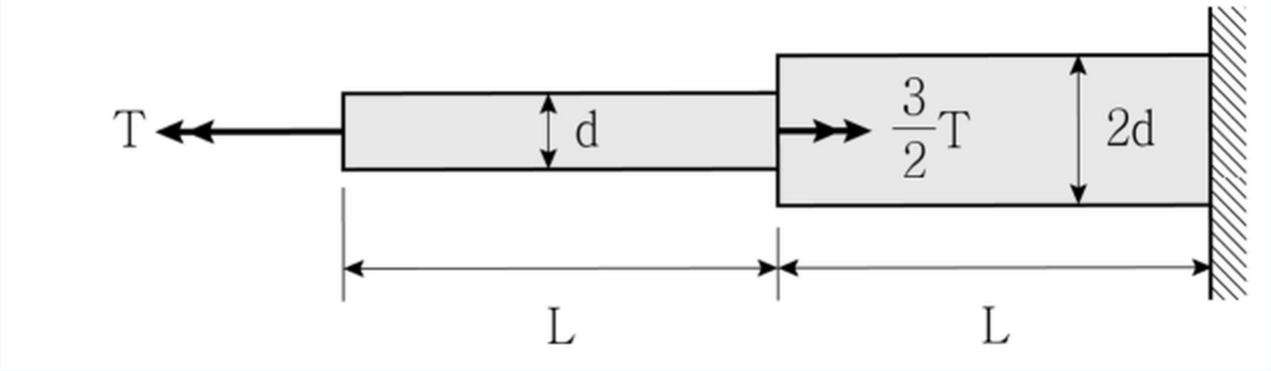
스프링 계산형은 먼저 기준 상태의 신장량을 확인하고, 추가 변형 전후의 힘을 각각 구한 뒤 평균힘과 추가 변위를 곱하는 순서로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

선형 스프링의 추가 일은 처음과 끝 힘의 평균에 추가 변위를 곱한 값과 같다.

NoteBase

**문 5. 그림과 같이 비틀림모멘트 $T$와 $\frac{3}{2}T$가 서로 다른 방향으로 작용하는 원형봉에 저장된 탄성 변형에너지 $U$는? (단, 봉의 전단탄성계수 $G$는 전단면에서 일정하다)**




① $U = \frac{65T^2L}{2\pi Gd^4}$
② $U = \frac{65T^2L}{4\pi Gd^4}$
③ $U = \frac{65T^2L}{8\pi Gd^4}$
④ $U = \frac{65T^2L}{16\pi Gd^4}$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 구간별 내부 비틀림모멘트와 극관성모멘트를 나누어 $U = \sum \frac{T_i^2 L_i}{2GJ_i}$를 계산하는 문제이다.

**조건 정리**

좌측 구간은 길이 $L$, 지름 $d$이다.
우측 구간은 길이 $L$, 지름 $2d$이다.
좌측 끝에는 $T$, 단차 위치에는 반대방향으로 $\frac{3}{2}T$가 작용한다.
구해야 할 값은 원형봉 전체의 탄성 변형에너지 $U$이다.

**사용할 공식**

$U = \sum \frac{T_i^2 L_i}{2GJ_i}$, $J = \frac{\pi D^4}{32}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 비틀림에너지가 구간별 내부 비틀림모멘트와 각 구간의 극관성모멘트에 따라 따로 누적되기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 좌측 구간의 내부 비틀림모멘트는 $T_1 = T$이다.
2. 우측 구간은 좌측에서 작용하는 합토크가 $-T + \frac{3}{2}T = \frac{1}{2}T$이므로 내부 비틀림모멘트의 크기는 $T_2 = \frac{1}{2}T$이다.
3. 극관성모멘트는 $J_1 = \frac{\pi d^4}{32}$, $J_2 = \frac{\pi (2d)^4}{32} = \frac{\pi d^4}{2}$이다.
4. 따라서

$U = \frac{T^2 L}{2GJ_1} + \frac{(T/2)^2 L}{2GJ_2} = \frac{T^2 L}{2G(\pi d^4/32)} + \frac{T^2 L/4}{2G(\pi d^4/2)} = \frac{16T^2 L}{\pi G d^4} + \frac{T^2 L}{4\pi G d^4} = \frac{65}{4}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$

이다.

### 선지 판단

1번 X: $U = \frac{65}{2}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$는 정답의 2배이다. 우측 굵은 구간의 지름이 $2d$라서 $J$가 16배 커진다는 점을 놓치거나, 두 구간의 에너지를 같은 단면으로 계산하면 이렇게 과대평가된다. 옳게는 $U = \frac{65}{4}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$이다.

2번 O: 구간별 내부 토크를 $T$와 $T/2$로 두고 각 구간의 $J$를 따로 적용하면 $U = \frac{65}{4}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$가 되어 일치한다.

3번 X: $U = \frac{65}{8}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$는 정답의 절반이다. 비틀림에너지 식의 분모 $2GJ$를 한 번 더 나누거나 좌측 구간 에너지를 과소계산하면 나올 수 있다. 옳게는 $U = \frac{65}{4}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$이다.

4번 X: $U = \frac{65}{16}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$는 정답보다 4배 작다. 우측 구간에서 $J_2 = 16J_1$인 점만 보고 전체 에너지를 일괄적으로 작게 잡은 오답이다. 옳게는 $U = \frac{65}{4}\frac{T^2 L}{\pi G d^4}$이다.

### 오답 포인트

서로 반대방향의 외력토크를 그대로 제곱해서 더하면 안 된다. 먼저 각 구간의 내부 비틀림모멘트를 평형으로 구한 뒤, 지름이 바뀌는 구간마다 $J$를 따로 넣어야 한다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

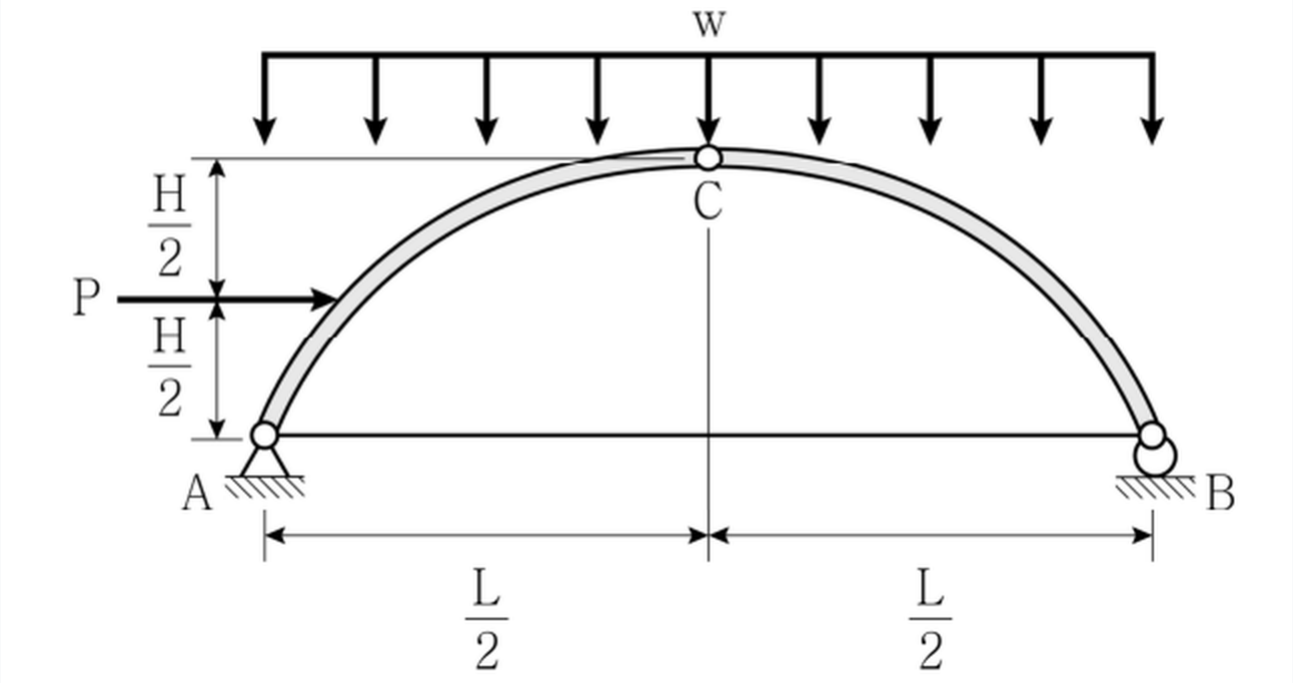
축의 비틀림에너지 문제는 구간을 나눈 뒤 각 구간에서 내부토크, 단면의 $J$, $U = \sum \frac{T_i^2 L_i}{2GJ_i}$ 적용 순서로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

원형축 비틀림에너지는 $U = \sum \frac{T_i^2 L_i}{2GJ_i}$이며, 지름이 2배이면 $J$는 16배가 된다.

NoteBase

**문 6. 그림과 같은 3활절 타이드 아치(3-hinged tied arch)에서 지점 A와 지점 B를 연결한 케이블에 발생하는 인장력은?**




① $\frac{wL^2}{8H}+\frac{P}{4}$
② $\frac{wL^2}{8H}+\frac{P}{2}$
③ $\frac{wL^2}{12H}+\frac{P}{4}$
④ $\frac{wL^2}{12H}+\frac{P}{2}$

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 3활절 타이드 아치의 우반부를 분리하여 크라운 힌지 $C$점 모멘트 평형으로 케이블 장력 $T$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 경간 $L$, 상승 $H$, 전 경간 등분포하중 $w$, 좌측 반아치의 높이 $\frac{H}{2}$ 위치에서 작용하는 수평하중 $P$이다.
구해야 할 값: 지점 $A$와 $B$를 연결한 케이블의 인장력 $T$이다.
주의할 조건: 전체 구조 평형으로 $B$점 수직반력 $B_y$를 먼저 구한 뒤, 우반부 $CB$를 분리하여 $C$점 모멘트를 취하면 $T$를 바로 구할 수 있다.

NoteBase

### 사용할 공식

전체 구조 평형은 $\sum M_A = 0$ 이고, 우반부 $CB$의 평형은 $\sum M_C = 0$ 이다.
즉,
$B_y L - wL \cdot \frac{L}{2} - P \cdot \frac{H}{2} = 0$
$T \cdot H = B_y \cdot \frac{L}{2} - \left(w \cdot \frac{L}{2}\right) \cdot \frac{L}{4}$
이 공식을 쓰는 이유는 $C$점이 활절이므로 $C$점을 기준으로 모멘트를 취하면 우반부의 미지 반력이 소거되고, 케이블 장력 $T$만 남기 쉽기 때문이다.

### 계산 과정

1. 전체 구조에서 $A$점 모멘트 평형을 적용하면 $B_y L - wL \cdot \frac{L}{2} - P \cdot \frac{H}{2} = 0$ 이므로 $B_y = \frac{wL}{2} + \frac{PH}{2L}$ 이다.
2. 우반부 $CB$를 분리하여 $C$점 모멘트 평형을 적용하면 $T \cdot H = B_y \cdot \frac{L}{2} - \left(w \cdot \frac{L}{2}\right) \cdot \frac{L}{4}$ 이다.
3. $B_y$를 대입하면 $T \cdot H = \left(\frac{wL}{2} + \frac{PH}{2L}\right)\frac{L}{2} - \frac{wL^2}{8} = \frac{wL^2}{8} + \frac{PH}{4}$ 이고, 따라서 $T = \frac{wL^2}{8H} + \frac{P}{4}$ 이다.

### 선지별 해설

① O: 계산 결과가 $T = \frac{wL^2}{8H} + \frac{P}{4}$이므로 일치한다.
② X: $\frac{P}{2}$로 두면 수평하중 $P$의 영향이 두 배로 커진다. $P$는 직접 $T$에 더해지는 것이 아니라 먼저 $B_y = \frac{wL}{2} + \frac{PH}{2L}$를 변화시킨 뒤 우반부 모멘트 평형으로 전달되므로 증가분은 $\frac{P}{4}$이다. 틀린 표현 $\frac{P}{2}$ → 올바르게는 $\frac{P}{4}$이다.
③ X: 등분포하중에 의한 기본 장력항을 잘못 잡은 선지이다. 대칭 등분포하중을 받는 3활절 타이드 아치의 케이블 기본 장력은 $\frac{wL^2}{8H}$이다. 틀린 표현 $\frac{wL^2}{12H}$ → 올바르게는 $\frac{wL^2}{8H}$이다.
④ X: 등분포하중항과 수평하중항을 모두 잘못 잡은 선지이다. 틀린 표현 $\frac{wL^2}{12H} + \frac{P}{2}$ → 올바르게는 $\frac{wL^2}{8H} + \frac{P}{4}$이다.

### 오답 포인트

수평하중 $P$를 케이블 장력에 직접 더해 $\frac{P}{2}$로 처리하거나, 등분포하중에 대한 기본 장력항을 $\frac{wL^2}{12H}$로 착각하는 경우가 많다. 이 문제는 전체 구조에서 반력 $B_y$를 먼저 정리한 뒤 반쪽 아치의 $C$점 모멘트로 넘어가야 계수가 정확히 정리된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

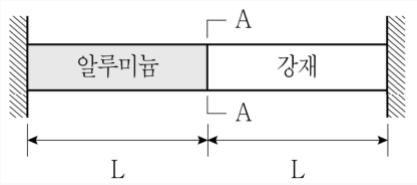
타이드 아치 장력 문제는 먼저 전체 구조 평형으로 지점 반력을 구하고, 다음에 하중이 없는 쪽 또는 더 단순한 반쪽 아치를 분리하여 크라운 힌지 모멘트 평형으로 케이블 장력을 정리하면 된다.

### 암기 포인트

대칭 등분포하중의 3활절 타이드 아치 케이블 장력 기본형은 $\frac{wL^2}{8H}$이고, 추가 외력 효과는 반쪽 아치의 힌지 모멘트식에 반력 형태로 반영된다.

NoteBase

**문 7. 그림과 같이 길이가 각각 $L$인 알루미늄봉과 강봉이 A-A 위치에서 맞대어 있고, 봉들의 온도가 균일하게 $50^\circ\mathrm{C}$ 상승하였다. 좌굴이 발생하지 않는다고 할 때, A-A면의 수평방향 위치 변화는? (단, 알루미늄의 온도팽창계수 $\alpha_A = 20 \times 10^{-6}/^\circ\mathrm{C}$, 강재의 온도팽창계수 $\alpha_S = 10 \times 10^{-6}/^\circ\mathrm{C}$이고, 알루미늄의 탄성계수 $E_A = 100\mathrm{GPa}$, 강재의 탄성계수 $E_S = 200\mathrm{GPa}$이다. 또한, 알루미늄봉과 강봉은 동일한 단면적을 갖고, 자중은 무시한다)**




① 최초 위치보다 왼쪽으로 이동한다.

② 이동하지 않는다.

③ 최초 위치보다 오른쪽으로 이동한다.

④ 주어진 조건으로는 알 수 없다.

**정답 1번**

**출제 포인트**

양단이 고정된 이종 재료 봉의 온도상승 문제에서 자유열팽창과 탄성압축을 함께 고려하여 접합면 A-A의 실제 이동 방향을 판단하는 문제이다.

**조건 정리**

- 주어진 값: 알루미늄 길이 $L$, 강재 길이 $L$, $\Delta T = 50^\circ C$, $\alpha_A = 20 \times 10^{-6}/^\circ C$, $\alpha_S = 10 \times 10^{-6}/^\circ C$, $E_A = 100GPa$, $E_S = 200GPa$
- 구해야 할 값: A-A면의 수평방향 위치 변화
- 주의할 조건: 양단이 고정되어 전체 길이 변화는 0이고, 두 봉의 단면적이 같으므로 축응력은 동일하다.

**사용할 공식**

$\Delta L_A = L\left(\alpha_A \Delta T - \frac{\sigma}{E_A}\right), \qquad \Delta L_S = L\left(\alpha_S \Delta T - \frac{\sigma}{E_S}\right)$

$\Delta L_A + \Delta L_S = 0$

이 공식을 쓰는 이유는 양단 고정봉의 실제 변형이 자유열팽창량에서 구속에 의한 탄성압축량을 뺀 값으로 결정되고, 전체 길이는 변할 수 없기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 전체 길이 변화가 0이므로
$\alpha_A \Delta T + \alpha_S \Delta T = \sigma\left(\frac{1}{E_A} + \frac{1}{E_S}\right)$
이다.

2. 수치를 대입하면
$\sigma = \frac{50 \times (20+10) \times 10^{-6}}{\frac{1}{100\times10^9} + \frac{1}{200\times10^9}} = 100 \times 10^6 Pa = 100 MPa$
이다.

3. 알루미늄봉의 실제 길이 변화는
$\Delta L_A = L\left(20 \times 10^{-6} \times 50 - \frac{100\times10^6}{100\times10^9}\right) = L(0.001 - 0.001) = 0$
이다.

4. 강봉의 실제 길이 변화도
$\Delta L_S = L\left(10 \times 10^{-6} \times 50 - \frac{100\times10^6}{200\times10^9}\right) = L(0.0005 - 0.0005) = 0$
이므로 A-A면은 이동하지 않는다.

### 선지별 해설

① △ (공식 정답)
- 공식 정답표는 1번("왼쪽으로 이동한다")으로 제시하였다. 그러나 아래 계산에서 A-A면의 실제 이동량은 0으로 나오므로, 왼쪽으로 이동한다는 서술은 역학적으로는 성립하지 않는다.

② O (역학적 계산 결과)
- 알루미늄과 강재의 실제 길이 변화가 각각 0이므로 접합면 A-A는 처음 위치에 그대로 있다. 자유열팽창량과 구속에 의한 탄성압축량을 함께 고려한 계산상 가장 타당한 답이다.

③ X
- 오른쪽 이동이 되려면 알루미늄봉의 실제 길이 증가량이 양수가 되어야 한다. 그러나 계산하면 $\Delta L_A = 0$이므로 틀리다.

④ X
- 주어진 조건만으로도 응력과 각 봉의 실제 길이 변화를 계산할 수 있으므로 "알 수 없다"는 틀리다.

### 오답 포인트

알루미늄의 열팽창계수가 더 크다는 이유만으로 A-A면이 한쪽으로 이동한다고 성급하게 판단하기 쉽다. 이 문제는 자유열팽창량만 볼 것이 아니라 구속으로 생기는 탄성압축량까지 함께 계산해야 하며, 주어진 수치에서는 $\alpha_A E_A = \alpha_S E_S$가 되어 두 효과가 정확히 상쇄된다. 이 때문에 역학적 계산은 이동량 0(2번)을 가리키지만 공식 정답은 1번으로 발표되어, 공식 정답과 계산 결과가 상충하는 논란이 있다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

이종 재료 양단고정 열응력 문제는 먼저 전체 길이 변화 0 조건으로 공통 응력을 구한 뒤, 각 봉에 대해 자유열팽창량과 탄성압축량을 따로 계산하여 접합면 변위를 판단하면 된다.

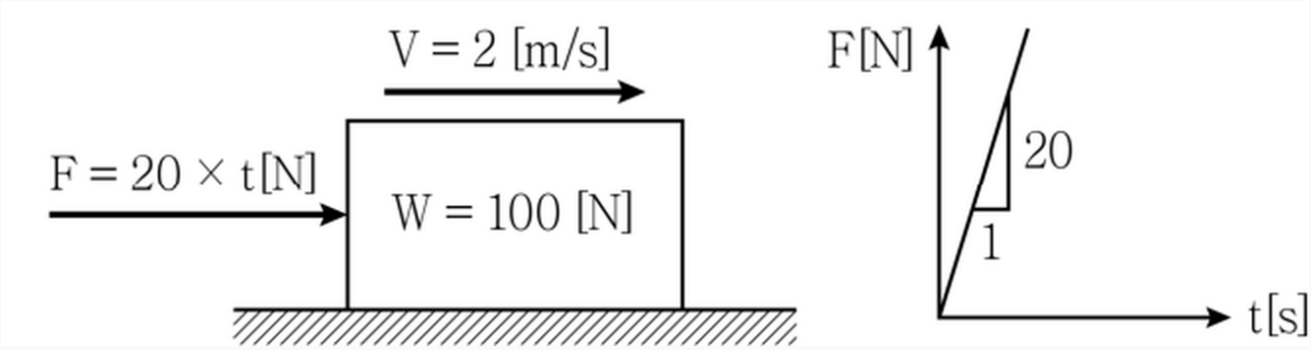
NoteBase

**암기 포인트**

양단고정 접합봉의 계면 이동은 각 봉의 실제 변형 $\alpha\Delta T - \sigma/E$의 부호로 판단하며, 두 값이 같아지면 계면은 이동하지 않는다.

NoteBase

**문 8. 그림과 같이 100N의 무게를 갖는 블록이 마찰이 없는 표면 위에서 2m/s의 속도로 움직이고 있다. 블록이 움직이는 방향으로 힘 $F = 20 \times t$[N]가 3초 동안 작용할 때, 블록이 움직인 거리[m]는? (단, 중력가속도는 $10\text{m/s}^2$, $t$는 시간(단위는 초[s])이다)**




① 3

② 9

③ 12

④ 15

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 무게로부터 질량을 구한 뒤, 시간에 따라 변하는 힘 $F(t)$를 가속도 $a(t)$로 바꾸어 속도와 이동거리를 차례로 적분하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 무게 $W = 100N$, 중력가속도 $g = 10m/s^2$, 초기속도 $v_0 = 2m/s$, 작용힘 $F(t) = 20tN$, 작용시간 $3s$이다.
구해야 할 값: $3s$ 동안의 이동거리이다.
주의할 조건: 마찰이 없고 힘이 시간에 따라 변하므로 일정가속도 공식 하나로 끝내지 않고, 초기속도를 포함해 적분해야 한다.

**사용할 공식**

$m = W/g$, $a(t) = F(t)/m$, $v(t) = v_0 + \int_0^t a(\tau)d\tau$, $s = \int_0^t v(\tau)d\tau$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 힘이 시간의 함수이므로 가속도도 일정하지 않다. 따라서 $a(t)$를 먼저 구하고, 이를 적분해 $v(t)$와 $s(t)$를 구해야 한다.

NoteBase

**계산 과정**

1. 질량은 $m = W/g = 100/10 = 10kg$이다.
2. 가속도는 $a(t) = F/m = 20t/10 = 2tm/s^2$이다.
3. 속도는 $v(t) = 2 + \int_0^t 2\tau d\tau = 2 + t^2$ 이다.
4. 이동거리는 $s = \int_0^3 (2 + t^2)dt = \left[2t + \frac{t^3}{3}\right]_0^3 = 6 + 9 = 15m$ 이다.

**선지별 해설**

① X: $3m$는 초기속도와 시간가변 힘의 효과를 모두 반영하지 못한 값이다. 제시값 $3m$는 옳지 않고, 올바른 거리는 $15m$이다.
② X: $9m$는 $\int_0^3 t^2 dt = 9$로 구한 추가 이동거리만 반영한 값이다. 초기속도 $2m/s$에 의한 기본 이동거리 $6m$를 더해야 하므로 올바른 거리는 $15m$이다.
③ X: $12m$는 적분값이나 합산을 중간에 잘못 계산할 때 나오는 값이다. 시간에 따라 변하는 가속도를 정확히 적분하면 총거리는 $15m$이므로 $12m$는 옳지 않다.
④ O: 질량 $10kg$, 가속도 $a(t) = 2tm/s^2$, 속도 $v(t) = 2 + t^2$를 거쳐 이동거리를 적분하면 $15m$가 된다. 따라서 옳다.

**오답 포인트**

힘-시간 그래프의 면적은 충격량이므로 바로 이동거리가 되지 않는다. 또한 $F$가 시간에 따라 변하는데도 일정가속도 문제처럼 처리하거나, 초기속도 $2m/s$가 만든 이동거리 $6m$를 빼먹으면 오답이 된다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

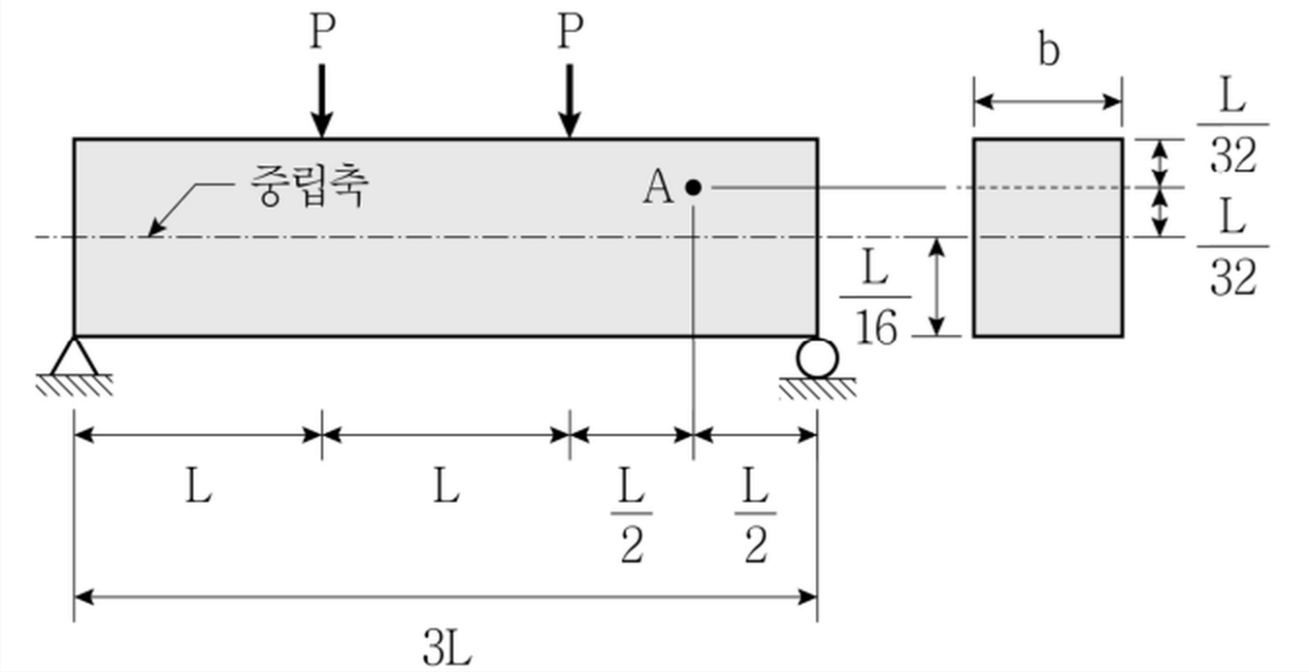
무게가 주어지면 먼저 $m = W/g$로 질량을 만든다. 그다음 시간함수 힘은 $F(t) \to a(t) \to v(t) \to s(t)$ 순서로 적분하고, 초기속도 항이 끝까지 살아 있는지 함께 점검하면 된다.

**암기 포인트**

시간가변 힘 문제는 질량 환산 후 $a(t)$, $v(t)$, $s(t)$를 순서대로 적분한다. 추가 이동거리와 초기속도에 의한 기본 이동거리를 반드시 함께 더한다.

NoteBase

**문 9. 그림과 같이 2개의 집중하중 $P$가 작용하는 단순보에서 A점의 휨응력($\sigma_A$)과 전단응력($\tau_A$) 크기(절댓값) 비($|\sigma_A| : |\tau_A|$)는?**




① 32:5

② 16:5

③ 32:3

④ 16:3

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 단순보의 A점에서 휨응력과 전단응력을 각각 구한 뒤 $|\sigma_A| : |\tau_A|$를 비교하는 문제이다.

NoteBase

### 조건 정리

주어진 값:

- 보의 길이는 $3L$이고 집중하중 $P$가 $x = L$, $x = 2L$에 작용한다.
- A점은 오른쪽 지점에서 $L/2$ 왼쪽에 있다.
- 단면은 폭 $b$, 높이 $L/8$인 직사각형이다.
- A점은 중립축 위 $L/32$ 지점에 있다.

구해야 할 값:

- A점의 휨응력 $|\sigma_A|$
- A점의 전단응력 $|\tau_A|$

주의할 조건:

- 전단응력은 A점 바로 윗부분 면적의 1차 모멘트 $Q$를 사용해야 한다.

### 사용할 공식

사용 공식은 다음과 같다.

$\sigma = \frac{My}{I}, \qquad \tau = \frac{VQ}{Ib}$

직사각형 단면의 단면2차모멘트는

$I = \frac{bh^3}{12}$

이다.

이 공식을 쓰는 이유는 A점 응력이 보의 내부력인 굽힘모멘트 $M$, 전단력 $V$와 단면형상으로 결정되기 때문이다.

NoteBase

**계산 과정**

1. 하중이 좌우 대칭이므로 지점반력은 각각 $P$이다.
2. A점은 $x = 5L/2$에 있으므로 전단력은
$V_A = P - P - P = -P$
이어서 $|V_A| = P$이다.
3. A점의 굽힘모멘트는
$M_A = P \cdot \frac{5L}{2} - P\left(\frac{5L}{2} - L\right) - P\left(\frac{5L}{2} - 2L\right) = \frac{PL}{2}$
이다.
4. 단면 높이 $h = L/8$이므로
$I = \frac{b(L/8)^3}{12} = \frac{bL^3}{6144}$
이다.
5. A점은 중립축에서 $y_A = L/32$ 떨어져 있으므로 휨응력은
$|\sigma_A| = \frac{M_A y_A}{I} = \frac{(PL/2)(L/32)}{bL^3/6144} = \frac{96P}{bL}$
이다.
6. A점 윗부분 면적은 높이 $L/32$, 폭 $b$인 직사각형이므로
$Q = \left(b\frac{L}{32}\right)\left(\frac{3L}{64}\right) = \frac{3bL^2}{2048}$
이다.
따라서 전단응력은
$|\tau_A| = \frac{V_A Q}{Ib} = \frac{P \cdot (3bL^2/2048)}{(bL^3/6144)b} = \frac{9P}{bL}$
이다.
7. 따라서
$|\sigma_A| : |\tau_A| = 96 : 9 = 32 : 3$
이다.

**선지별 해설**

① X
- 32 : 5는 전단응력을 실제보다 크게 잡은 값이다. A점의 전단응력은 A점 윗부분 면적에 대한 $Q$를 써서 $9P/(bL)$가 되어야 하므로 올바르게는 32 : 5가 아니라 32 : 3이다.

② X
- 16 : 5는 휨응력을 작게 잡고 전단응력을 크게 잡은 값이다. 올바르게는 $M_A = PL/2$, $|\sigma_A| = 96P/(bL)$, $|\tau_A| = 9P/(bL)$이므로 비는 16 : 5가 아니라 32 : 3이다.

③ O
- 계산 결과 $|\sigma_A| = 96P/(bL)$, $|\tau_A| = 9P/(bL)$이므로 $|\sigma_A| : |\tau_A| = 32 : 3$이다.

④ X
- 16 : 3은 휨응력을 절반인 $48P/(bL)$ 수준으로 잘못 계산한 값이다. A점의 굽힘모멘트는 $PL/2$이고 A점 위치는 중립축에서 $L/32$이므로 올바르게는 16 : 3이 아니라 32 : 3이다.

NoteBase

**오답 포인트**

가장 흔한 실수는 두 가지이다.
첫째, A점의 굽힘모멘트를 오른쪽 반 경간만 보고 $PL/4$처럼 줄여 잡는 실수이다.
둘째, 전단응력 계산에서 $Q$를 중립축 위 전체 면적으로 잡고 A점 윗부분 면적을 쓰지 않는 실수이다.
이 두 실수가 섞이면 ①, ②, ④ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

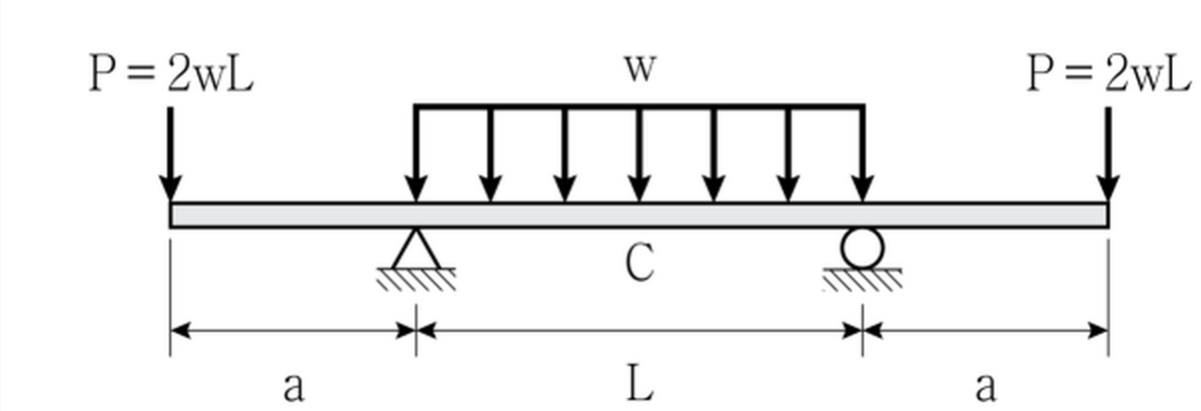
응력비 문제는 먼저 해당 단면의 $V$와 $M$을 구하고, 다음에 단면의 $I$, 점의 위치 $y$, 그 점 위쪽 또는 아래쪽 면적의 $Q$를 순서대로 넣어 판단하면 된다.

**암기 포인트**

휨응력은 $My/I$, 전단응력은 $VQ/Ib$이며, $Q$는 계산하려는 점을 기준으로 잘린 부분의 1차 모멘트이다.

NoteBase

**문 10. 그림과 같은 양단 내민보의 중앙 C에서 휨모멘트가 0이 되기 위한 a와 L의 비($\frac{a}{L}$)는? (단, 보의 자중은 무시하고, $P = 2wL$이다)**




① $\frac{1}{16}$
② $\frac{1}{8}$
③ $\frac{1}{4}$
④ $\frac{1}{2}$

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 대칭인 양단 내민보에서 지점반력을 먼저 구한 뒤, 중앙 $C$ 단면의 휨모멘트가 0이 되도록 $a/L$를 계산하는 문제이다.

**조건 정리**

- 주어진 값: 양 끝 집중하중 $P = 2wL$, 지점 사이 경간 $L$, 양쪽 내민 길이 $a$, 경간 전체 등분포하중 $w$
- 구해야 할 값: $a/L$
- 주의할 조건: 중앙 $C$의 휨모멘트는 $C$의 한쪽 부분만 잘라 모멘트 평형으로 구한다. 이때 등분포하중은 중앙까지의 절반 구간 $L/2$만 포함된다.

NoteBase

**사용할 공식**

대칭이므로 지점반력은 서로 같고,
$R_A = R_B = \frac{2P + wL}{2}$
이다.
중앙 $C$에서 좌측 부분을 취하면 단면모멘트는
$M_C = R_A\frac{L}{2} - w\frac{L}{2}\frac{L}{4} - P\left(a + \frac{L}{2}\right)$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 중앙 단면의 휨모멘트가 그 단면 왼쪽에 있는 반력, 등분포하중, 끝단 집중하중의 모멘트 합으로 결정되기 때문이다.

**계산 과정**

1. 전체 하중은 $2P + wL = 2 \cdot 2wL + wL = 5wL$이므로
$R_A = R_B = \frac{5}{2}wL$
이다.
2. 중앙 $C$에서 좌측 부분만 취해 모멘트 평형을 세우면
$M_C = \frac{5}{2}wL \cdot \frac{L}{2} - w \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{L}{4} - 2wL\left(a + \frac{L}{2}\right)$
이다.
3. 이를 정리하면
$M_C = \frac{5}{4}wL^2 - \frac{1}{8}wL^2 - wL^2 - 2wLa = \frac{1}{8}wL^2 - 2wLa$
이다.
4. 조건 $M_C = 0$을 적용하면
$\frac{1}{8}wL^2 - 2wLa = 0$
$\frac{1}{8}L = 2a$
$\frac{a}{L} = \frac{1}{16}$
이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① O
- 계산 결과 $a/L = 1/16$이므로 옳다.

② X
- $a/L = 1/8$을 대입하면
$M_C = \frac{1}{8}wL^2 - 2wL\left(\frac{L}{8}\right) = -\frac{1}{8}wL^2$
이 되어 중앙 휨모멘트가 0이 아니다.
- 틀린 표현은 "$a/L = 1/8$"이고, 올바르게는 "$a/L = 1/16$"이다.

③ X
- $a/L = 1/4$를 대입하면
$M_C = \frac{1}{8}wL^2 - 2wL\left(\frac{L}{4}\right) = -\frac{3}{8}wL^2$
이므로 조건을 만족하지 않는다.
- 틀린 표현은 "$a/L = 1/4$"이고, 올바르게는 "$a/L = 1/16$"이다.

④ X
- $a/L = 1/2$를 대입하면
$M_C = \frac{1}{8}wL^2 - 2wL\left(\frac{L}{2}\right) = -\frac{7}{8}wL^2$
이므로 중앙 $C$의 휨모멘트는 0이 될 수 없다.
- 틀린 표현은 "$a/L = 1/2$"이고, 올바르게는 "$a/L = 1/16$"이다.

### 오답 포인트

중앙 단면 모멘트를 구할 때 등분포하중 전체 $wL$를 한 번에 넣거나, 끝단 집중하중의 모멘트팔을 $a + L/2$가 아니라 $a$만 쓰면 오답이 나온다. 이 문제의 핵심 함정은 중앙까지의 절반 등분포하중만 작용한다는 점과, 끝단 하중이 중앙에서 $a + L/2$만큼 떨어져 있다는 점이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

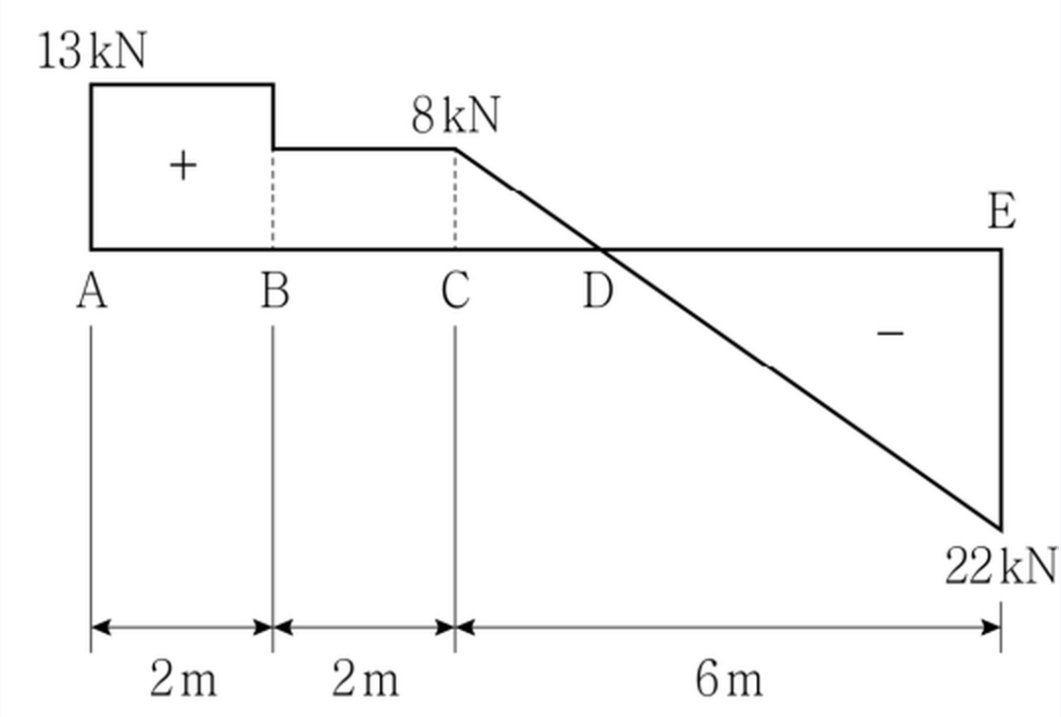
대칭 보의 계산형 문항은 전체 평형으로 지점반력을 먼저 구하고, 목표 단면을 잘라 그 단면 한쪽에 있는 하중만으로 모멘트 평형식을 세우면 된다. 단면이 중앙이면 등분포하중의 작용 길이와 작용점을 절반 구간 기준으로 다시 잡아야 한다.

### 암기 포인트

양단 내민보의 중앙 모멘트 조건은 "반력 계산 후 중앙 단면 한쪽만 절단, 등분포하중은 포함된 길이만 반영"으로 정리된다.

NoteBase

**문 11. 그림과 같은 전단력도를 갖는 단순보에 작용하는 최대 휨모멘트 [kN · m]의 크기는?**




① 42.2

② 45.4

③ 48.4

④ 51.8

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 전단력도에서 전단력이 0이 되는 점을 찾고, 그 점까지의 면적을 누적해 최대 휨모멘트를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

A-B 구간의 전단력은 $13kN$으로 일정하고 길이는 $2m$이다.
B-C 구간의 전단력은 $8kN$으로 일정하고 길이는 $2m$이다.
C-E 구간은 길이 $6m$에서 전단력이 $8kN$에서 $-22kN$까지 직선으로 감소한다.
최대 휨모멘트는 전단력이 0이 되는 점 D에서 생긴다.

NoteBase

### 사용할 공식

휨모멘트의 변화량은 전단력도의 면적과 같다.

$\Delta M = \int V dx$

C-E 구간의 기울기는 $\frac{-22-8}{6} = -5kN/m$이므로, D점은

$8 - 5x = 0 \Rightarrow x = 1.6m$

에서 결정된다.

이 공식을 쓰는 이유는 최대 휨모멘트가 전단력이 양에서 음으로 바뀌는 지점에서 생기기 때문이다.

### 계산 과정

1. A-B 구간 면적은 $13 \times 2 = 26kN \cdot m$이다.
2. B-C 구간 면적은 $8 \times 2 = 16kN \cdot m$이다.
3. C-D 구간 면적은 $\frac{1}{2} \times 8 \times 1.6 = 6.4kN \cdot m$이다.
4. 따라서 최대 휨모멘트는

$M_{\max} = 26 + 16 + 6.4 = 48.4kN \cdot m$

이다.

### 선지 판단

1번 X: $42.2kN \cdot m$는 전단력이 0이 되는 D점까지의 면적을 충분히 반영하지 못한 값이다. 최대 휨모멘트는 D점에서의 $48.4kN \cdot m$이다. 틀린 수치 42.2 → 올바르게는 48.4이다.

2번 X: $45.4kN \cdot m$는 C-D 구간의 삼각형 면적을 작게 잡은 값이다. 전단력 0점까지 포함해야 하므로 최대 휨모멘트는 $48.4kN \cdot m$이다. 틀린 수치 45.4 → 올바르게는 48.4이다.

3번 O: 전단력이 0이 되는 점은 C점에서 $1.6m$ 떨어진 D점이고, A부터 D까지의 전단력도 면적 합이 $48.4kN \cdot m$이므로 옳다.

4번 X: $51.8kN \cdot m$는 전단력 0점을 지난 뒤의 구간까지 과대 반영한 값이다. 최대값은 전단력이 0이 되는 순간에 결정되므로 $48.4kN \cdot m$이 맞다. 틀린 수치 51.8 → 올바르게는 48.4이다.

### 오답 포인트

전단력도의 최대 휨모멘트를 C-E 끝점까지의 전체 면적으로 보거나, D점의 위치를 구하지 않고 대충 중간점으로 처리하면 틀린다. 이 문제의 핵심 함정은 전단력 0점이 C-E 구간의 정중앙이 아니라 C점에서 $1.6m$ 떨어진 위치라는 점이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

전단력도 문제는 먼저 전단력의 부호가 바뀌는 지점을 찾고, 그 지점까지의 면적만 누적해 휨모멘트를 계산한다. 최대값은 전단력이 0이 되는 점에서 판단한다.

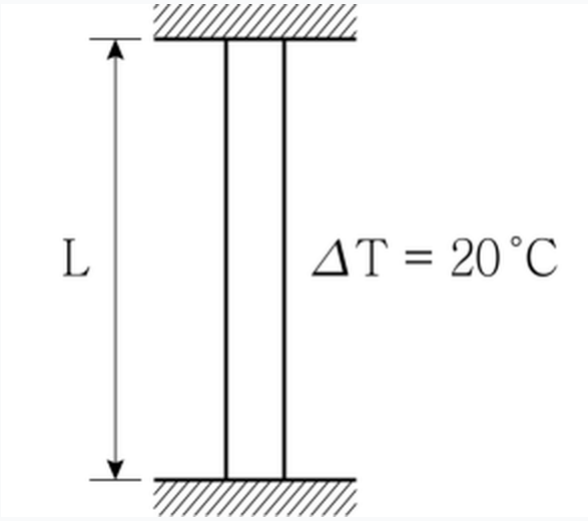
NoteBase

**암기 포인트**

최대 휨모멘트는 전단력 0점에서 생기고, 그 값은 전단력도 면적의 누적값이다.

NoteBase

**문 12. 그림과 같이 양단이 고정되고 길이가 $L$인 봉의 온도가 $20^\circ C$만큼 전단면에서 균일하게 상승할 때, 봉에 발생하는 압축응력[MPa]은? (단, 좌굴은 발생하지 않고, 봉의 자중은 무시한다. 또한 봉의 단면은 일정하며 열팽창계수는 $1.0 \times 10^{-6}/^\circ C$, 탄성계수는 $2.0 \times 10^6 MPa$이다)**




① 40

② 30

③ 20

④ 10

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 양단이 고정된 봉의 온도 상승에서 구속 열응력 $\sigma = E\alpha\Delta T$를 적용해 압축응력을 구할 수 있는지를 묻는다.

**조건 정리**

주어진 값: 온도상승은 $\Delta T = 20^\circ C$, 열팽창계수는 $\alpha = 1.0 \times 10^{-6}/^\circ C$, 탄성계수는 $E = 2.0 \times 10^6 MPa$이다.
구해야 할 값: 봉에 발생하는 압축응력이다.
주의할 조건: 양단이 고정되어 자유열팽창이 완전히 구속되므로 열변형률 $\alpha\Delta T$가 그대로 탄성변형률로 대응된다.

NoteBase

### 사용할 공식

사용 공식은 $\sigma = E\alpha\Delta T$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 양단 고정봉이 온도 상승으로 늘어나려 하지만 길이 변화가 허용되지 않아 자유팽창 변형률만큼 압축응력이 생기기 때문이다.

### 계산 과정

1. 자유열팽창 변형률은 $\alpha\Delta T = (1.0 \times 10^{-6})(20) = 20 \times 10^{-6}$이다.
2. 구속되므로 응력의 크기는 $\sigma = E\alpha\Delta T = (2.0 \times 10^{6})(20 \times 10^{-6})MPa$이다.
3. 따라서 $\sigma = 40MPa$이고, 방향은 팽창을 막는 압축응력이다.

### 선지 판단

1번: O. 계산 결과 압축응력은 $40MPa$이므로 옳다.
2번: X. $30MPa$는 계산값과 다르다. 압축응력은 $30MPa$가 아니라 $40MPa$이다.
3번: X. $20MPa$는 $E\alpha\Delta T$에서 $\Delta T = 20\,^{\circ}C$를 곱한 뒤 탄성계수 $E = 2.0 \times 10^{6}MPa$를 절반만 반영한 것과 같은 오답이다. 압축응력은 $20MPa$가 아니라 $40MPa$이다.
4번: X. $10MPa$는 열팽창계수와 온도상승의 곱만 보고 응력 변환을 제대로 하지 않은 경우에 가까운 오답이다. 압축응력은 $10MPa$가 아니라 $40MPa$이다.

### 오답 포인트

자유팽창량 $\alpha\Delta T$만 구하고 끝내거나, 양단 고정 조건을 놓쳐 응력식으로 연결하지 않으면 오답이 된다. 길이 $L$이 제시되었지만 식 $\sigma = E\alpha\Delta T$에서는 소거되므로 길이에 집착하면 함정에 빠진다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

온도하중 문제는 먼저 자유팽창이 가능한지, 구속되는지를 판단한다. 완전 구속이면 $\alpha\Delta T$를 바로 $E\alpha\Delta T$의 응력으로 바꾸고, 인장인지 압축인지는 온도 변화 방향으로 결정한다.

### 암기 포인트

양단 고정봉의 온도상승은 자유팽창 대신 압축응력 $\sigma = E\alpha\Delta T$로 바뀐다.

NoteBase

**문 13. 재료상수와 보의 구조해석에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?**

① 양의 포아송비를 갖는 건설재료의 전단탄성계수는 항상 탄성계수보다 작다.

② 휨모멘트의 변화량은 해당 구간에서 전단력도의 면적을 계산하여 구할 수 있다.

③ 선형탄성재료의 응력과 변형률 사이의 관계를 표현하는 비례상수를 탄성계수라고 한다.

④ 0이 아닌 전단력이 작용하는 직사각형 보의 단면에서 전단응력은 직선적으로 분포한다.

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 재료상수 $E, G, \nu$의 관계와 보의 기본 해석 관계, 직사각형 단면의 전단응력 분포를 정확히 구별하는지를 묻는 문제이다.

**핵심 개념**

탄성계수 $E$는 선형탄성재료에서 응력과 변형률의 비례상수이다.
전단탄성계수 $G$는 전단응력과 전단변형률의 비례상수이며, 등방성 재료에서는 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$이다.
보에서 휨모멘트 변화량은 전단력도의 면적과 같고, 직사각형 단면의 전단응력은 포물선으로 분포한다.

**선지별 해설**

① O
양의 포아송비를 가지면 $1+\nu > 1$이므로 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} < E$이다. 전단탄성계수는 탄성계수보다 작다.

② O
보의 미분관계는 $\frac{dM}{dx} = V$이므로 두 점 사이 휨모멘트의 변화량은 그 구간 전단력도의 면적으로 구한다. 서술이 옳다.

③ O
선형탄성재료에서는 훅의 법칙에 따라 응력과 변형률이 비례하고, 그 비례상수를 탄성계수라고 한다. 정의를 정확히 적은 선지이다.

④ X
틀린 부분은 "전단응력은 직선적으로 분포한다"이다.
직사각형 보 단면의 전단응력은 상하단에서 0이고 도심축에서 최대가 되는 포물선 분포이다. 직선적으로 분포하는 것은 휨에 의한 정상응력이다.

NoteBase

### 오답 포인트

④에서 전단응력 분포와 휨응력 분포를 뒤바꾸면 틀리기 쉽다. 직사각형 단면에서 휨응력은 단면 높이에 따라 직선적으로 변하지만, 전단응력은 포물선으로 변한다는 점이 핵심 함정이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

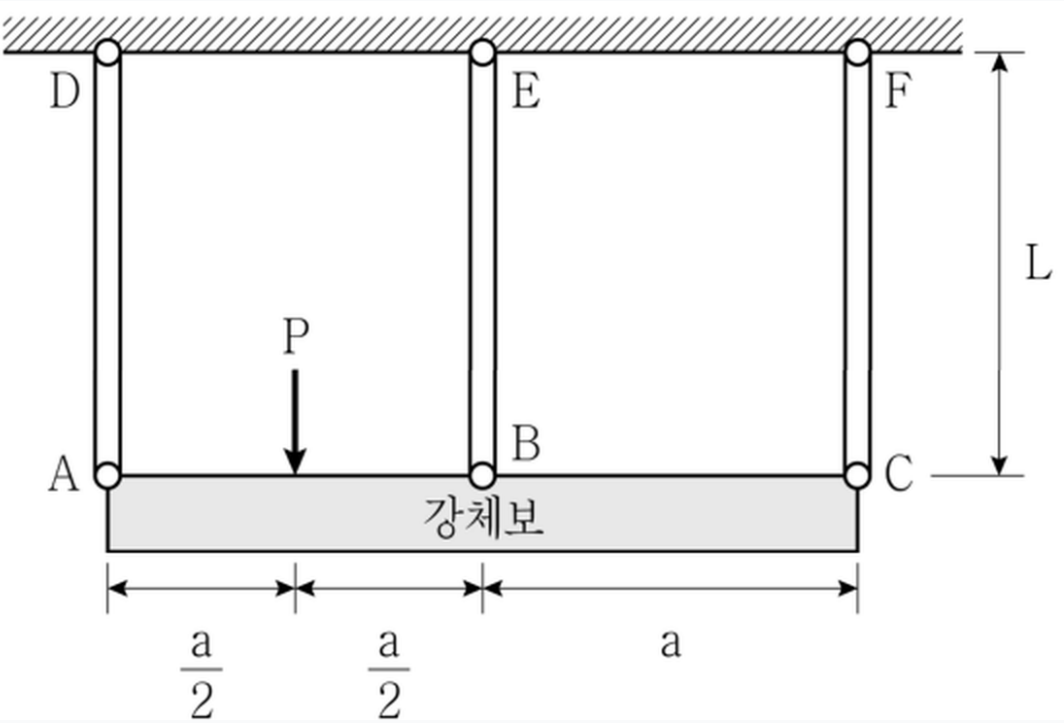
재료상수 문제는 먼저 $E, G, \nu$의 관계식을 떠올리고, 보 해석 문제는 $V$와 $M$의 미분관계와 응력 분포 모양을 분리해서 판단하면 된다. 전단력도 면적은 휨모멘트 변화량, 직사각형 단면 전단응력은 포물선 분포로 정리된다.

### 암기 포인트

직사각형 단면에서 휨응력은 직선, 전단응력은 포물선이다.

NoteBase

**문 14. 그림과 같이 강체보가 세 개의 수직 봉에 매달려 있다. A점으로부터 $\frac{a}{2}$만큼 떨어진 위치에 수직하중 $P$가 작용할 때, 가운데 수직봉의 인장력$F_{BE}$과 오른쪽 수직봉의 인장력$F_{CF}$은? (단, 세 수직봉의 축강성은 $E_bA_b$로 동일하며, 수직봉과 강체보의 자중은 무시한다)**




① $F_{BE}=\frac{1}{12}P, F_{CF}=\frac{1}{3}P$
② $F_{BE}=\frac{1}{3}P, F_{CF}=\frac{1}{12}P$
③ $F_{BE}=\frac{1}{2}P, F_{CF}=\frac{7}{12}P$
④ $F_{BE}=\frac{7}{12}P, F_{CF}=\frac{1}{2}P$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 같은 축강성을 가진 세 수직봉을 스프링으로 보고, 강체보의 변형 적합조건과 정정평형조건을 함께 써서 가운데 봉 인장력 $F_{BE}$와 오른쪽 봉 인장력 $F_{CF}$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 세 봉의 길이는 $L$, 축강성은 모두 $E_bA_b$로 같으므로 각 봉의 강성은 $k=E_bA_b/L$로 동일하다.
배치: $A, B, C$의 간격은 $AB=a, BC=a$이고, 하중 $P$는 $A$에서 $a/2$ 떨어진 지점에 작용한다.
구해야 할 값: $F_{BE}, F_{CF}$이다.
주의할 조건: 강체보이므로 세 점의 처짐은 한 직선 위에 놓이며, 같은 강성의 봉 인장력은 각 점의 처짐에 비례한다.

NoteBase

### 사용할 공식

$+k = \frac{E_b A_b}{L}, \quad F = k\delta +$

$++\delta_B = \frac{\delta_A + \delta_C}{2} \Rightarrow F_{BE} = \frac{F_{AD} + F_{CF}}{2} +$

$++F_{AD} + F_{BE} + F_{CF} = P, \quad F_{BE}a + 2F_{CF}a = P \cdot \frac{a}{2} +$

+세 봉의 강성이 같고 강체보의 처짐 형상이 직선이므로 중간점 $B$의 처짐은 양 끝점 처짐의 평균이 된다. 따라서 가운데 봉 힘도 양 끝 봉 힘의 평균으로 놓을 수 있다.

### 계산 과정

1. 적합조건으로 $F_{BE} = \frac{F_{AD} + F_{CF}}{2}$이다.
2. 연직방향 평형에서 $F_{AD} + F_{BE} + F_{CF} = P$이다. 이를 대입하면

$+F_{AD} + \frac{F_{AD} + F_{CF}}{2} + F_{CF} = P +$

$++\frac{3}{2}(F_{AD} + F_{CF}) = P \Rightarrow F_{AD} + F_{CF} = \frac{2}{3}P +$

+따라서

$+F_{BE} = \frac{1}{2}(F_{AD} + F_{CF}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3}P = \frac{1}{3}P +$

+이다.

3. 점 $A$에 대한 모멘트 평형에서

$+F_{BE}a + 2F_{CF}a = P \cdot \frac{a}{2} +$

$++\frac{1}{3}Pa + 2F_{CF}a = \frac{1}{2}Pa +$

$++2F_{CF} = \frac{1}{6}P \Rightarrow F_{CF} = \frac{1}{12}P +$

+따라서 $F_{BE} = \frac{1}{3}P$, $F_{CF} = \frac{1}{12}P$이다.

### 선지별 해설

① X: 틀린 표현은 $F_{BE} = \frac{1}{12}P$, $F_{CF} = \frac{1}{3}P$이다. 이는 가운데 봉 힘과 오른쪽 봉 힘을 서로 뒤바꾼 값이다. 올바르게는 $F_{BE} = \frac{1}{3}P$, $F_{CF} = \frac{1}{12}P$이다.

② O: 계산 결과가 그대로 $F_{BE} = \frac{1}{3}P$, $F_{CF} = \frac{1}{12}P$이므로 옳다.

③ X: 틀린 표현은 $F_{BE} = \frac{1}{2}P$, $F_{CF} = \frac{7}{12}P$이다. 이 값이면 $F_{AD} = P - \frac{1}{2}P - \frac{7}{12}P = -\frac{1}{12}P$가 되어 평형과 적합조건을 동시에 만족하지 못한다. 올바르게는 $F_{BE} = \frac{1}{3}P$, $F_{CF} = \frac{1}{12}P$이다.

④ X: 틀린 표현은 $F_{BE} = \frac{7}{12}P$, $F_{CF} = \frac{1}{2}P$이다. 이 값도 $F_{AD} = P - \frac{7}{12}P - \frac{1}{2}P = -\frac{1}{12}P$가 되어 왼쪽 봉 인장력이 음수가 되므로 성립하지 않는다. 올바르게는 $F_{BE} = \frac{1}{3}P$, $F_{CF} = \frac{1}{12}P$이다.

### 오답 포인트

이 문항은 평형식만으로는 미지수 3개를 모두 구할 수 없고, 강체보의 직선 처짐 조건을 반드시 함께 써야 한다는 점이 핵심이다. 이 적합조건을 빼먹으면 힘을 임의로 배분하거나, 하중에 더 가까운 오른쪽 봉이 더 큰 힘을 받는다고 착각하여 ①, ③, ④ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

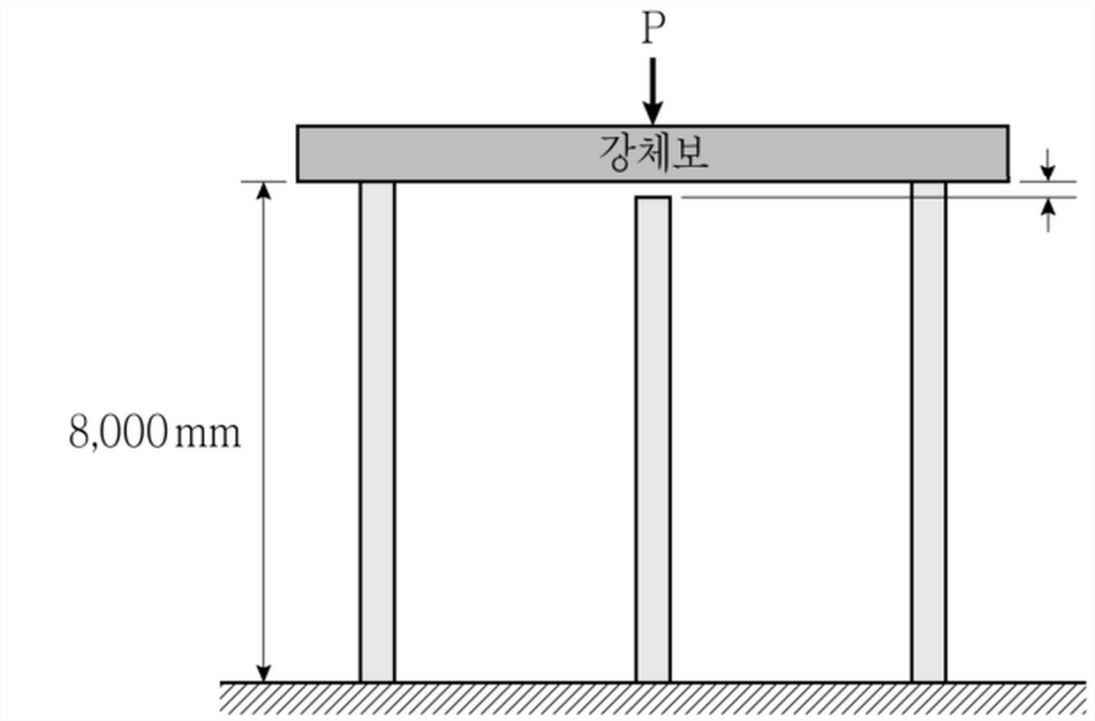
강체보를 같은 강성의 여러 봉이 매단 문제는 각 봉을 동일한 스프링으로 보고, 강체보의 처짐이 직선이라는 적합조건을 먼저 세운 뒤, 힘 평형과 모멘트 평형을 적용하여 푼다. 마지막 검산은 각 봉 힘의 합이 전체 하중 $P$와 일치하는지로 한다.

**암기 포인트**

같은 강성의 봉에 매단 강체보는 처짐이 직선이고 힘은 처짐에 비례하므로, 중간점 힘은 양 끝점 힘의 평균으로 정리된다.

NoteBase

**문 15. 그림과 같이 각각의 단면적이 $2{,}000\text{mm}^2$인 3개의 원형봉 중에서 중앙에 있는 원형봉은 길이가 $8{,}000\text{mm}$인 다른 봉들보다 조금 짧게 제작되었다. 봉들의 상부에 설치된 강체보의 중앙에 수직력 $P = 160\text{kN}$을 작용시킬 때 가운데 원형봉도 강체보 아랫면에 접촉되었다면 가운데 원형봉의 길이 [mm]는? (단, 원형봉의 탄성계수 $E = 80\text{GPa}$이고, 원형봉과 강체보의 자중은 무시하며, 좌굴은 발생하지 않는다)**




① 7,990

② 7,992

③ 7,994

④ 7,996

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 축변형식 $\delta = \frac{PL}{AE}$와 강체보의 대칭 하중조건을 이용해 가운데 봉의 초기 짧은 길이를 구하는 문제이다.

NoteBase

**조건 정리**

주어진 값:
- 각 봉의 단면적은 $A = 2{,}000mm^2$이다.
- 바깥 두 봉의 길이는 $L = 8{,}000mm$이다.
- 탄성계수는 $E = 80GPa = 80{,}000N/mm^2$이다.
- 수직력은 $P = 160kN = 160{,}000N$이다.

구해야 할 값:
- 가운데 봉의 실제 길이이다.

주의할 조건:
- 하중이 중앙에 작용하고 좌우가 대칭이므로 강체보는 수평으로 내려간다.
- 가운데 봉이 접촉되었다는 말은 이 하중에서 막 닿았다는 뜻으로 보며, 이 순간에는 바깥 두 봉만 하중을 부담한다.

**사용할 공식**

사용 공식은 $\delta = \frac{PL}{AE}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 바깥 두 원형봉이 축방향 압축을 받아 강체보가 내려가고, 가운데 봉의 부족 길이는 그 압축량과 같아지기 때문이다.

**계산 과정**

1. 대칭이므로 바깥 두 봉이 각각 $\frac{P}{2} = 80kN$씩 부담한다.
2. 바깥 한 봉의 압축량은
$\delta = \frac{PL}{AE} = \frac{80{,}000 \times 8{,}000}{2{,}000 \times 80{,}000} = 4mm$
이다.
3. 가운데 봉은 처음에 이 압축량만큼 짧아야 $P = 160kN$일 때 막 접촉한다.
4. 따라서 가운데 봉의 길이는 $8{,}000 - 4 = 7{,}996mm$이다.

NoteBase

**선지별 해설**

① X

7,990 mm는 가운데 봉이 $10mm$ 짧다고 본 값이다. 이 문제의 접촉 조건에서는 바깥 한 봉의 압축량이 $4mm$ 이므로 부족 길이는 $4mm$여야 한다. 틀린 표현은 길이값 자체이며, 올바르게는 7,996 mm이다.

② X

7,992 mm는 가운데 봉이 $8mm$ 짧다고 본 값이다. 이는 $160kN$ 전부가 한 봉에 작용한다고 잘못 계산할 때 나오는 값이다. 실제로는 대칭 때문에 바깥 두 봉이 각각 $80kN$씩 부담한다. 틀린 표현은 짧아진 길이 해석이며, 올바르게는 7,996 mm이다.

③ X

7,994 mm는 가운데 봉이 $6mm$ 짧다고 본 값이다. 그러나 접촉 직전의 강체보 하강량은 바깥 한 봉의 압축량 $4mm$와 같으므로 $6mm$가 될 수 없다. 틀린 표현은 길이값 자체이며, 올바르게는 7,996 mm이다.

④ O

바깥 두 봉이 각각 $80kN$을 받아 $4mm$씩 압축되고, 강체보도 $4mm$ 내려온다. 따라서 처음에 가운데 봉은 $4mm$ 짧은 7,996 mm여야 이 하중에서 막 접촉한다.

**오답 포인트**

가운데 봉이 접촉했다는 말을 접촉 후 세 봉이 함께 하중을 나눈 상태로 오해하면 안 된다. 이 문항은 접촉하는 순간의 조건을 묻기 때문에 먼저 바깥 두 봉만으로 강체보 하강량을 구해야 한다. 또 $80GPa$를 $80{,}000N/mm^2$로 맞춰 단위를 일치시켜야 한다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

짧은 부재가 있다가 나중에 접촉하는 구조는 먼저 접촉 직전 상태를 따로 본다. 대칭 여부를 확인하고, 기존에 닿아 있던 부재들의 축변형량을 $\delta = \frac{PL}{AE}$로 구한 뒤 그 변형량을 초기 간격과 연결하면 된다.

**암기 포인트**

막 접촉 조건은 기존 지지부재의 변형량 = 초기 간격이라는 관계로 정리된다.

NoteBase

**문 16. 카스틸리아노(Castigliano)의 정리를 이용하여 구조물의 처짐과 처짐각을 구하는 방법에 대한 설명으로 옳은 것은?**

① 구조물의 변형에너지를 어떤 하중에 대해 편미분한 것은 그 하중에 상응하는 변위와 관계가 없다.

② 구조물에서 하중이 작용하지 않는 점에서의 변위를 계산하기 위해서는 필요한 변위에 상응하는 가상 하중을 구조물에 작용시켜야 한다.

③ 내민보의 자유단에 집중하중 P가 작용할 때 변형에너지를 P에 대해 편미분하여 자유단의 처짐각을 계산할 수 있다.

④ 내민보의 자유단에 모멘트 하중 M이 작용할 때 변형에너지를 M에 대해 편미분하여 자유단의 처짐을 계산할 수 있다.

**정답 2번**

**출제 포인트**

카스틸리아노 정리에서 편미분하는 하중의 종류와 그에 대응하는 응답량이 무엇인지, 그리고 하중이 없는 점의 변위를 구할 때 가상 하중을 도입하는지를 묻는 문제이다.

**핵심 개념**

카스틸리아노 정리는 변형에너지 $U$를 어떤 일반화 하중에 대해 편미분하면 그 하중에 대응하는 일반화 변위가 나온다는 내용이다.
집중하중 $P$에 대해 편미분하면 그 방향의 처짐이 나오고, 모멘트 $M$에 대해 편미분하면 그 점의 처짐각이 나온다.
실제 하중이 작용하지 않는 점의 처짐이나 처짐각은 그 점에 필요한 방향의 가상 하중 또는 가상 모멘트를 두고 편미분하여 구한다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X
변형에너지를 어떤 하중에 대해 편미분한 값은 그 하중에 상응하는 변위와 직접 대응한다.
틀린 표현은 "변위와 관계가 없다"이다.
올바르게는 "그 하중에 상응하는 변위 또는 처짐각을 구할 수 있다"이다.

② O
하중이 없는 점의 변위를 구하려면 그 점의 필요한 방향에 가상 하중을 도입한 뒤, 변형에너지를 그 가상 하중에 대해 편미분한다.
이것이 카스틸리아노 정리를 실제 계산에 적용하는 대표적인 방식이다.

③ X
자유단 집중하중 $P$에 대해 변형에너지를 $P$로 편미분하면 자유단의 처짐이 나온다.
틀린 표현은 "자유단의 처짐각"이다.
올바르게는 "자유단의 처짐"이다.
처짐각을 구하려면 자유단 모멘트 또는 가상 모멘트에 대해 편미분해야 한다.

④ X
자유단 모멘트 $M$에 대해 변형에너지를 $M$으로 편미분하면 자유단의 처짐각이 나온다.
틀린 표현은 "자유단의 처짐"이다.
올바르게는 "자유단의 처짐각"이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 하중의 종류와 응답량의 대응을 뒤바꾸는 데 있다. 힘 $P$는 선형변위와 연결되고, 모멘트 $M$은 회전변위인 처짐각과 연결된다. ③과 ④는 이 대응을 서로 바꾸어 놓은 선지이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

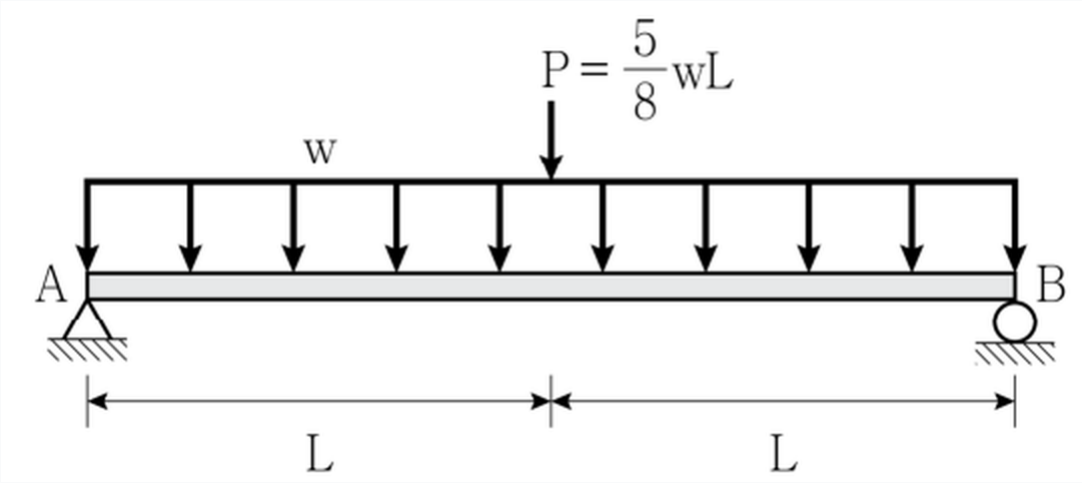
편미분의 대상이 힘이면 그 방향의 처짐, 편미분의 대상이 모멘트이면 그 점의 처짐각이라고 먼저 대응시켜 판단한다. 구하려는 위치에 실제 하중이 없으면 그 위치와 방향에 가상 하중 또는 가상 모멘트를 둔다는 기준으로 정리하면 된다.

### 암기 포인트

힘으로 미분하면 처짐, 모멘트로 미분하면 처짐각이다. 무하중점 변위는 가상 하중으로 구한다.

NoteBase

**문 17. 그림과 같이 직사각형 단면을 갖는 단순보에 등분포하중 $w$와 집중하중 $P = \frac{5}{8}wL$이 작용하고 있다. 이 보의 재료를 탄성계수가 기존 재료의 $\frac{1}{3}$인 재료로 교체하고, 단면은 폭이 동일하고 높이가 3배인 단면으로 교체하였다. 동일한 하중이 작용할 때, 교체된 보의 중앙에서 처짐비 ≤ft(_교체보_기존보)와 휨모멘트비 ≤ft(M_교체보M_기존보)는? (단, 보는 선형탄성 거동을 하고, 보의 자중은 무시한다)**




① 처짐비: $\frac{1}{9}$, 휨모멘트비: 1

② 처짐비: $\frac{1}{9}$, 휨모멘트비: 2

③ 처짐비: $\frac{1}{3}$, 휨모멘트비: 1

④ 처짐비: $\frac{1}{3}$, 휨모멘트비: 2

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 직사각형 단면의 단면2차모멘트 변화와 $EI$에 반비례하는 처짐, 그리고 정정보의 휨모멘트가 강성과 무관하다는 점을 함께 묻는 문제이다.

### 조건 정리

기존보와 교체보에 작용하는 하중과 경간은 동일하다.
재료는 $E' = \frac{1}{3}E$이다.
직사각형 단면에서 폭은 같고 높이만 3배이므로 $I' = \frac{b(3h)^3}{12} = 27I$이다.
따라서 교체보의 휨강성은 $E'I' = \frac{1}{3}E \times 27I = 9EI$이다.

NoteBase

### 사용할 공식

중앙 처짐은 선형탄성 범위에서 $\delta \propto \frac{1}{EI}$이다.
단순보의 휨모멘트는 정정구조이므로 하중과 지점반력만으로 결정되어 단면이나 재료강성이 바뀌어도 변하지 않는다.
이 공식을 쓰는 이유는 하중조건은 그대로이고 바뀐 값이 $E$와 $I$뿐이기 때문이다.

### 계산 과정

1. 단면2차모멘트 비를 구하면 $I'/I = 27$이다.
2. 휨강성 비를 구하면 $E'I'/(EI) = (1/3) \times 27 = 9$이다.
3. 처짐은 $EI$에 반비례하므로 _교체보/_기준보=1/9이다.
4. 단순보는 정정구조이므로 같은 하중이 작용하면 중앙 휨모멘트는 그대로여서 M_교체보/M_기준보=1이다.

### 선지 판단

1번: O. 처짐비는 휨강성비의 역수이므로 1/9이고, 휨모멘트비는 정정보이므로 1이다.
2번: X. 처짐비 1/9은 맞지만 휨모멘트비를 2로 본 것이 틀리다. 틀린 표현은 "휨모멘트비 2"이고, 올바르게는 "휨모멘트비 1"이다.
3번: X. 처짐비를 1/3으로 본 것은 탄성계수만 줄어든 것만 반영하고 $I$가 27배 커진 효과를 빠뜨린 값이다.
올바르게는 처짐비가 1/9이고 휨모멘트비는 1이다.
4번: X. 처짐비를 1/3, 휨모멘트비를 2로 본 것이 모두 틀리다. 올바르게는 처짐비가 1/9, 휨모멘트비가 1이다.

### 오답 포인트

직사각형 단면에서 높이가 3배가 되면 $I$가 3배가 아니라 27배가 된다는 점을 놓치기 쉽다. 또 단순보를 부정정보처럼 생각해 강성이 커지면 휨모멘트도 바뀐다고 오해하면 휨모멘트비를 2 같은 값으로 잘못 고르게 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

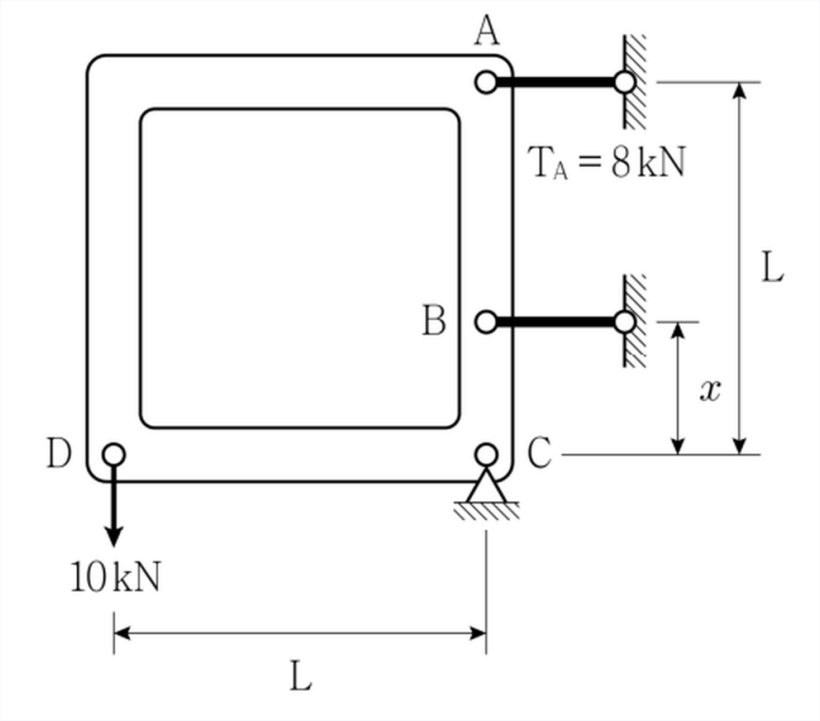
강성이 바뀌는 보 문제는 먼저 $E$와 $I$의 변화를 곱해 $EI$ 비를 구한 뒤, 처짐은 $1/EI$에 비례하는지 확인한다. 이어서 구조가 정정보인지 부정정보인지 구분해 휨모멘트가 강성과 무관한지 판단한다.

### 암기 포인트

단순보 처짐은 $1/EI$, 단순보 휨모멘트는 하중평형으로 결정된다고 정리된다.

NoteBase

**문 18. 그림과 같이 한 변의 길이가 $L$인 정사각형 강체 프레임이 C점에서 힌지로 지지되어 있고, A점과 B점은 케이블로 고정되어 있다. D점에 수직방향 하중 10kN이 작용하여 A점에 연결된 케이블에 8kN의 인장력이 발생할 때, B점 위치의 상대적인 비 $\frac{x}{L}$는? (단, 두 케이블은 길이가 같고, 탄성계수는 $E_c$, 단면적은 $A_c$이며, 강체 프레임과 케이블의 자중은 무시한다)**




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

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 강체 프레임의 미소회전으로 생기는 케이블 신장량 비와 C점 기준 모멘트 평형을 이용해 $x/L$를 구하는 문제이다.

NoteBase

### 조건 정리

주어진 값:

- D점 수직하중은 $10kN$이다.
- A점 케이블 장력은 $8kN$이다.
- 두 케이블의 길이와 탄성강성 $E_cA_c$는 같다.
- 프레임은 강체이므로 C점을 기준으로 작은 각도만큼 회전한다고 본다.

구해야 할 값:

- 상대비 $x/L$이다.

주의할 조건:

- 같은 케이블이므로 장력비는 신장량비와 같다.

### 사용할 공식

강체가 C점을 기준으로 작은 각도 $\theta$만큼 회전하면 각 점의 수평변위는 높이에 비례한다.

$\delta_A = L\theta, \qquad \delta_B = x\theta$

두 케이블의 길이와 $E_cA_c$가 같으므로 장력비는 신장량비와 같다.

$\frac{T_B}{T_A} = \frac{\delta_B}{\delta_A} = \frac{x}{L}$

또한 C점에 대한 모멘트 평형은

$10L = T_AL + T_Bx$

이다.

이 공식을 쓰는 이유는 케이블 힘이 모두 수평으로 작용하고, 강체의 회전 때문에 각 케이블의 신장량이 연결점의 높이에 따라 달라지기 때문이다.

NoteBase

**계산 과정**

1. $T_A = 8kN$이고 $T_B/T_A = x/L$이므로
$T_B = 8\frac{x}{L}$
이다.
2. C점 기준 모멘트 평형을 세우면
$10L = 8L + (8\frac{x}{L})x$
이다.
3. 정리하면
$10L = 8L + 8\frac{x^2}{L}$
$2L = 8\frac{x^2}{L}$
$\frac{x^2}{L^2} = \frac{1}{4}$
이다.
4. 길이비는 양수이므로
$\frac{x}{L} = \frac{1}{2}$
이다.

**선지별 해설**

① X
- 보기값이 1/4이면 $T_B = 8 \times (1/4) = 2kN$이다.
- 이때 저항모멘트는 $8L + 2 \cdot (L/4) = 8.5L$이어서 외력모멘트 $10L$와 같지 않다.
- 틀린 값은 1/4이고 올바르게는 $x/L = 1/2$이다.

② X
- 보기값이 1/3이면 $T_B = 8/3kN$이다.
- 이때 저항모멘트는 $8L + (8/3) \cdot (L/3) = 8L + (8/9)L$이므로 역시 $10L$에 미달한다.
- 틀린 값은 1/3이고 올바르게는 $x/L = 1/2$이다.

③ O
- $x/L = 1/2$이면 $T_B = 8 \times (1/2) = 4kN$이다.
- 이때 저항모멘트는 $8L + 4 \cdot (L/2) = 10L$가 되어 D점 하중이 만드는 모멘트와 정확히 평형을 이룬다.

④ X
- 보기값이 2/3이면 $T_B = 8 \times (2/3) = 16/3kN$이다.
- 이때 저항모멘트는 $8L + (16/3) \cdot (2L/3) = 8L + (32/9)L$이 되어 외력모멘트보다 커진다.
- 틀린 값은 2/3이고 올바르게는 $x/L = 1/2$이다.

**오답 포인트**

두 케이블의 길이와 강성이 같다는 조건을 놓치면 $T_B$를 독립된 미지수로만 보게 되어 식을 잘못 세우기 쉽다. 이 문항의 핵심 함정은 장력비를 신장량비, 다시 회전중심으로부터의 거리비로 연결하지 못하는 데 있다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

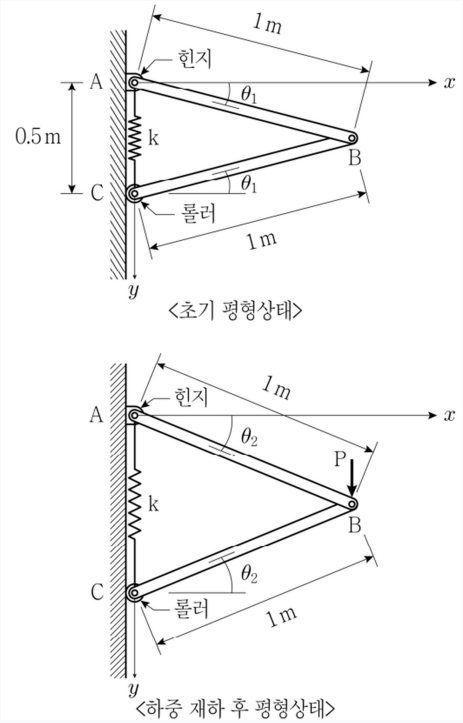
강체와 케이블이 함께 나온 계산형 문항은 먼저 회전중심을 정하고, 각 점의 변위를 높이 비례식으로 표현한 뒤, 같은 케이블이면 장력비를 신장량비로 연결하고 마지막에 모멘트 평형을 적용하면 된다.

**암기 포인트**

같은 케이블에 연결된 강체가 회전하면 장력비는 신장량비이고, 신장량비는 회전중심에서의 거리비이다.

NoteBase

**문 19. 그림과 같이 초기 평형상태를 유지하고 있는 강체 구조물이 있다. B점에 수직방향 하중 $P = 10\text{kN}$이 작용할 때, 스프링에 작용하는 힘 $F$[kN]의 크기와 부재 AB가 $x$축과 이루는 각도 $\theta_2[^\circ]$는? (단, 스프링 상수는 $k = 10\text{kN/m}$, 강체와 스프링의 자중은 무시한다)**




① $F = 5,\ \theta_2 = 60^\circ$

② $F = 10,\ \theta_2 = 45^\circ$

③ $F = 5,\ \theta_2 = 30^\circ$

④ $F = 10,\ \theta_2 = 30^\circ$

**정답 3번**

**출제 포인트**

절점 평형으로 스프링력 $F$를 구하고, 스프링 변형량과 삼각형 기하관계로 $\theta_2$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 하중 $P = 10kN$, 스프링 상수 $k = 10kN/m$, 부재 길이 $AB = BC = 1m$, 초기 거리 $AC = 0.5m$ 이다.

구해야 할 값은 스프링력 $F$와 각도 $\theta_2$이다.

주의할 조건은 $C$가 벽의 롤러이므로 수직반력은 없고, 수직방향 힘은 스프링력만 부담한다는 점이다.

NoteBase

### 사용할 공식

절점 $B$의 수직평형은 $2N\sin\theta_2 = P$이다.
절점 $C$의 수직평형은 $F = N\sin\theta_2$이다.
스프링 변형량은 $\delta = F/k$이다.
변형 후 기하관계는 $AC = 2\sin\theta_2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 부재가 길이 $1m$의 2력부재이므로 절점 $B$에서 축력의 수직성분이 하중 $P$를 지지하고, 절점 $C$에서는 그 수직성분을 스프링이 그대로 받아야 하기 때문이다.

### 계산 과정

1. 절점 $B$에서 좌우 수평성분이 상쇄되므로 두 부재의 축력 크기를 $N$으로 두면 $2N\sin\theta_2 = P$이다.
2. 절점 $C$에는 수직반력이 없으므로 스프링력이 하부 부재의 수직성분과 같아 $F = N\sin\theta_2$이다.
3. 위 두 식을 결합하면 $F = P/2 = 10/2 = 5kN$이다.
4. 스프링 변형량은 $\delta = F/k = 5/10 = 0.5m$이다.
5. 초기 $AC = 0.5m$이므로 변형 후 $AC = 0.5 + 0.5 = 1.0m$이다.
6. 각 부재 길이가 $1m$이므로 $AC = 2\sin\theta_2 = 1.0$이고, 따라서 $\sin\theta_2 = 0.5 \Rightarrow \theta_2 = 30^\circ$이다.

### 선지별 해설

① X
$F = 5kN$는 맞지만 $\theta_2 = 60^\circ$는 틀리다. 변형 후 $AC = 1.0m$이므로 $2\sin\theta_2 = 1$에서 $\theta_2 = 30^\circ$가 되어야 한다. 틀린 표현은 "$\theta_2 = 60^\circ$"이고, 올바르게는 "$\theta_2 = 30^\circ$"이다.
② X
스프링력이 $10kN$라는 판단이 틀리다. 스프링은 전체 하중 $P$를 직접 받는 것이 아니라 하부 부재의 수직성분만 받아서 $F = P/2 = 5kN$이다. 또한 올바른 각도는 $45^\circ$가 아니라 $30^\circ$이다. 올바르게는 "$F = 5kN$, $\theta_2 = 30^\circ$"이다.
③ O
절점 평형으로 $F = 5kN$가 나오고, 스프링 신장량 $0.5m$를 더하면 $AC = 1.0m$이므로 $2\sin\theta_2 = 1$에서 $\theta_2 = 30^\circ$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.
④ X
$\theta_2 = 30^\circ$는 맞지만 $F = 10kN$는 틀리다. 스프링력은 $F = P/2 = 5kN$이며, 전체 하중을 그대로 스프링 하나가 받는 구조가 아니다. 틀린 표현은 "$F = 10kN$"이고, 올바르게는 "$F = 5kN$"이다.

### 오답 포인트

스프링이 전체 하중 $P$를 직접 받는다고 착각하면 $F = 10kN$로 오답이 된다. 또 변형 후 세로거리 $AC$와 부재 길이 $1m$의 관계를 $2\cos\theta_2$로 잘못 두면 $60^\circ$ 같은 보각 오답이 나온다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

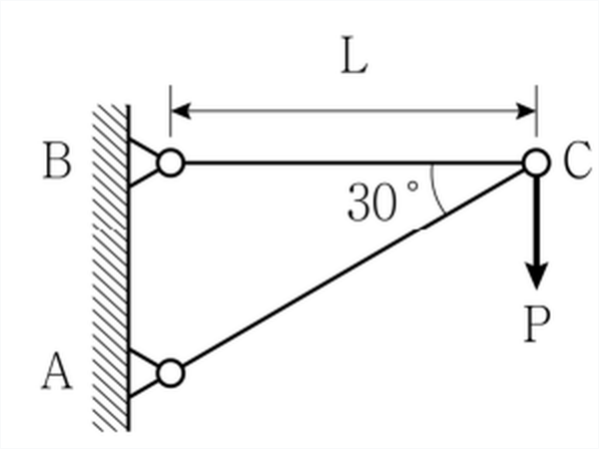
링크-스프링 결합 문제는 먼저 절점 자유물체도를 그려 수직반력을 누가 부담하는지 확인하고, 다음에 스프링 변형량으로 변형 후 기하를 연결하면 된다. 이 문제는 "$B$절점 평형으로 $F$ 결정 → $\delta$ 계산 → $AC$ 갱신 → $\theta$ 계산" 순서로 판단하면 된다.

**암기 포인트**

"롤러 절점에 수직반력이 없으면 그 수직성분은 스프링이 받는다"가 핵심이며, 이 문제에서는 $F = P/2$, $AC = 2\sin\theta_2$만 잡으면 된다.

NoteBase

**문 20. 그림과 같은 트러스 구조물에서 AC 부재에 탄성 좌굴이 발생하는 임계하중 P의 크기는? (단, 트러스 부재들의 좌굴축(약축)에 대한 단면 2차모멘트는 I, 탄성계수는 E이며, 트러스 부재들은 장주이고, 자중은 무시한다)**




① $\frac{\pi^2 EI}{2L^2}$
② $\frac{3\pi^2 EI}{8L^2}$
③ $\frac{\pi^2 EI}{4L^2}$
④ $\frac{\pi^2 EI}{8L^2}$

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 절점 평형으로 $AC$ 부재의 압축력을 구한 뒤, 핀-핀 장주에 대한 오일러 좌굴하중 $P_{cr} = \pi^2 EI/l^2$를 적용해 외력 $P$의 임계값을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값은 $BC = L$, $AC$와 수평재 $BC$ 사이의 각도 $30^\circ$, 탄성계수 $E$, 단면 2차모멘트 $I$이다.
구해야 할 값은 $AC$ 부재에 탄성 좌굴이 발생하는 외력 $P$의 크기이다.
주의할 조건은 $AC$가 경사부재이므로 부재 길이가 $L$이 아니고, 절점 $C$에서의 부재축력은 외력 $P$와 같지 않다는 점이다.

NoteBase

### 사용할 공식

사용 공식은 절점 평형식과 오일러 좌굴식이다.

$\sum V = 0 \Rightarrow N_{AC}\sin 30^\circ = P$

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

이 공식을 쓰는 이유는 트러스 부재가 장주이고 양단이 힌지처럼 거동하므로 $AC$의 축압축력이 오일러 좌굴 임계축력에 도달할 때 좌굴이 시작되기 때문이다.

### 계산 과정

1. 절점 $C$에서 수직평형을 적용하면 $AC$ 부재가 위쪽 성분으로 하중을 지지해야 하므로 $AC$는 압축이다. 따라서 $N_{AC}\sin 30^\circ = P \Rightarrow N_{AC} = 2P$

2. 경사부재 $AC$의 길이는 수평투영이 $L$이므로 $l_{AC} = \frac{L}{\cos 30^\circ} = \frac{2L}{\sqrt{3}}$

3. $AC$의 오일러 좌굴 임계축력은 $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{AC}^2} = \frac{\pi^2 EI}{(2L/\sqrt{3})^2} = \frac{3\pi^2 EI}{4L^2}$

4. 좌굴이 시작되는 순간 $N_{AC} = N_{cr}$이므로 $2P = \frac{3\pi^2 EI}{4L^2} \Rightarrow P = \frac{3\pi^2 EI}{8L^2}$

### 선지별 해설

① X

$\frac{\pi^2 EI}{2L^2}$는 $AC$의 길이를 잘못 $L$로 두고 $N_{AC} = 2P$만 반영할 때 나오는 값이다. 올바르게는 경사부재 길이 $l_{AC} = \frac{2L}{\sqrt{3}}$를 써야 하므로 $P = \frac{3\pi^2 EI}{8L^2}$이다.

② O

절점 평형으로 $N_{AC} = 2P$, 경사부재 길이로 $l_{AC} = \frac{2L}{\sqrt{3}}$를 구해 오일러 좌굴식을 적용하면 $P = \frac{3\pi^2 EI}{8L^2}$가 된다.

③ X

$\frac{\pi^2 EI}{4L^2}$는 실제 임계하중보다 작다. $AC$의 실제 길이 증가나 절점 평형에 따른 $N_{AC} = 2P$ 관계를 빠뜨리면 이런 과소평가가 생긴다. 올바른 값은 $\frac{3\pi^2 EI}{8L^2}$이다.

④ X

$\frac{\pi^2 EI}{8L^2}$는 $AC$가 받는 압축력과 경사부재 길이를 모두 정확히 반영하지 못한 값이다. 좌굴 판단은 외력 $P$ 자체가 아니라 $AC$의 축압축력 $N_{AC}$로 해야 하며, 올바른 값은 $\frac{3\pi^2 EI}{8L^2}$이다.

### 오답 포인트

가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 경사부재 $AC$의 길이를 수평길이 $L$로 오인하는 실수이다. 둘째, 외력 $P$를 곧바로 부재축력으로 보는 실수이다. 이 문제에서는 반드시 $N_{AC} = 2P$를 먼저 만든 뒤 좌굴식을 연결해야 한다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

트러스 좌굴 문제는 먼저 좌굴하는 부재를 정하고, 그 부재의 실제 길이와 절점 평형으로 축력을 구한 다음, 마지막에 $N_{member} = \pi^2 EI/l^2$를 대입해 외력으로 환산하는 순서로 판단한다.

**암기 포인트**

경사 트러스 좌굴은 부재력부터 구하고, 좌굴식에는 투영길이가 아니라 실제 부재길이를 넣는다.

NoteBase