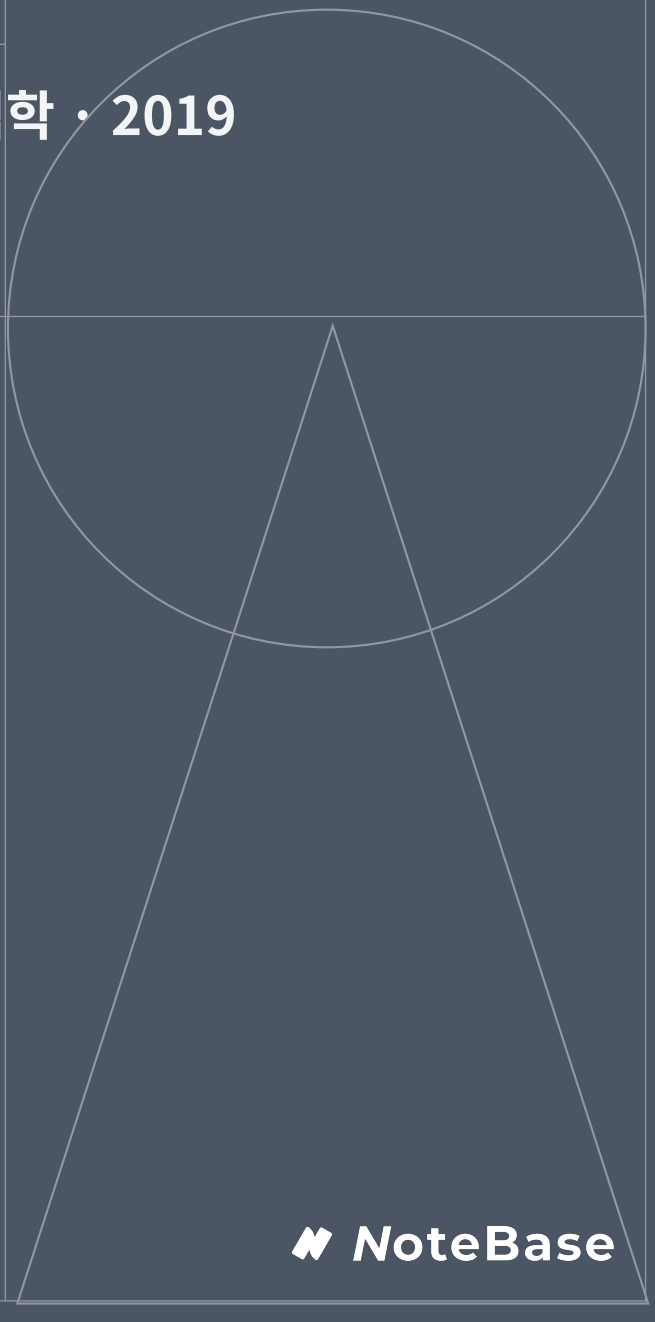
# 기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 응용역학 · 2019



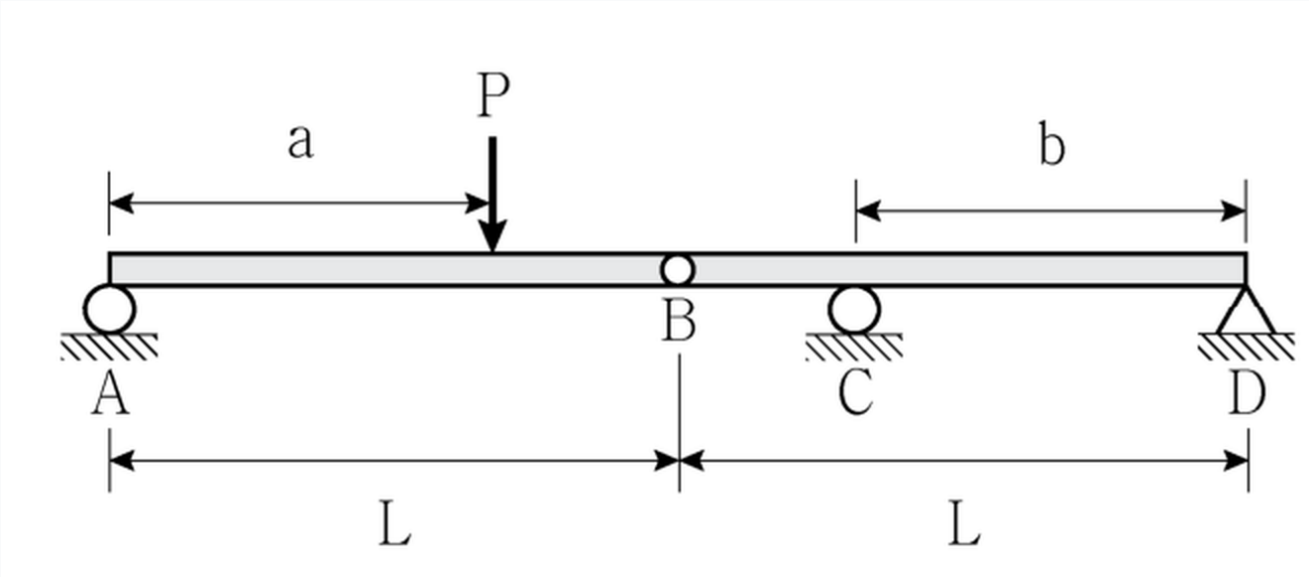
NoteBase

# 기출OX 해설집

## 공무원/국가직/7급 · 응용역학 · 2019

**공무원/국가직/7급 · 응용역학 · 2019**

**문 1. 그림과 같이 내부힌지가 있는 게르버 보에 집중하중 $P$가 작용할 때, C점에 발생되는 연직반력 $R_C$가 집중하중 $P$의 3배가 되는 $\frac{a}{b}$는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)**




① $\frac{1}{2}$

② $\frac{1}{3}$

③ 2

④ 3

**정답 4번**

**출제 포인트**

내부힌지가 있는 게르버 보를 좌우 경간으로 나누어 힌지반력과 지점반력을 순서대로 구하는 문제이다.

**조건 정리**

- 좌경간 $AB = L$, 우경간 $BD = L$이다.
- 집중하중 $P$는 A에서 $a$ 떨어진 위치에 작용한다.
- 우경간에서 C와 D 사이 거리가 $b$이다.
- 내부힌지 B는 모멘트를 전달하지 않으므로 좌경간과 우경간을 분리하여 평형을 잡을 수 있다.

NoteBase

**사용할 공식**

좌경간과 우경간 각각에 대해 정적평형식 $\sum M = 0, \sum V = 0$를 적용한다.

이 공식을 쓰는 이유:
내부힌지 B에서는 모멘트가 0이므로, 먼저 좌경간에서 힌지반력을 구한 뒤 그 힘을 우경간의 외력으로 넘겨 C점 반력을 계산할 수 있다.

**계산 과정**

1. 좌경간 $AB$에서 A점에 대한 모멘트 평형을 잡으면 $R_B \cdot L - P \cdot a = 0$이므로 $R_B = \frac{Pa}{L}$이다.
2. 이때 우경간 $BD$에는 B점에서 크기 $\frac{Pa}{L}$인 하향력이 작용한다.
3. 우경간에서 D점에 대한 모멘트 평형을 잡으면 $R_C \cdot b - \frac{Pa}{L} \cdot L = 0$이므로 $R_C = \frac{Pa}{b}$이다.
4. 조건 $R_C = 3P$를 대입하면 $\frac{Pa}{b} = 3P$이고, 따라서 $\frac{a}{b} = 3$이다.

**선지별 해설**

① X
- $\frac{a}{b} = \frac{1}{2}$이면 $R_C = \frac{Pa}{b} = \frac{1}{2}P$가 되어 조건 $R_C = 3P$를 만족하지 못한다.
- 틀린 표현은 $\frac{a}{b} = \frac{1}{2}$이다. 올바르게는 $\frac{a}{b} = 3$이다.

② X
- $\frac{a}{b} = \frac{1}{3}$이면 $R_C = \frac{1}{3}P$가 되므로 C점 반력이 너무 작다.
- 틀린 표현은 $\frac{a}{b} = \frac{1}{3}$이다. 올바르게는 $\frac{a}{b} = 3$이다.

③ X
- $\frac{a}{b} = 2$이면 $R_C = 2P$까지만 커지고 $3P$에는 도달하지 못한다.
- 틀린 표현은 $\frac{a}{b} = 2$이다. 올바르게는 $\frac{a}{b} = 3$이다.

④ O
- 계산 결과 $R_C = \frac{Pa}{b}$이고, 이것이 $3P$가 되려면 $\frac{a}{b} = 3$이어야 한다.
- 따라서 ④가 옳다.

**오답 포인트**

좌경간에서 바로 C점 반력을 구하려 하거나, 내부힌지 B에서 전달되는 힘을 $P$ 자체로 착각하면 오답이 된다. 이 문항의 핵심 함정은 먼저 $R_B = \frac{Pa}{L}$를 구해야 한다는 점이다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

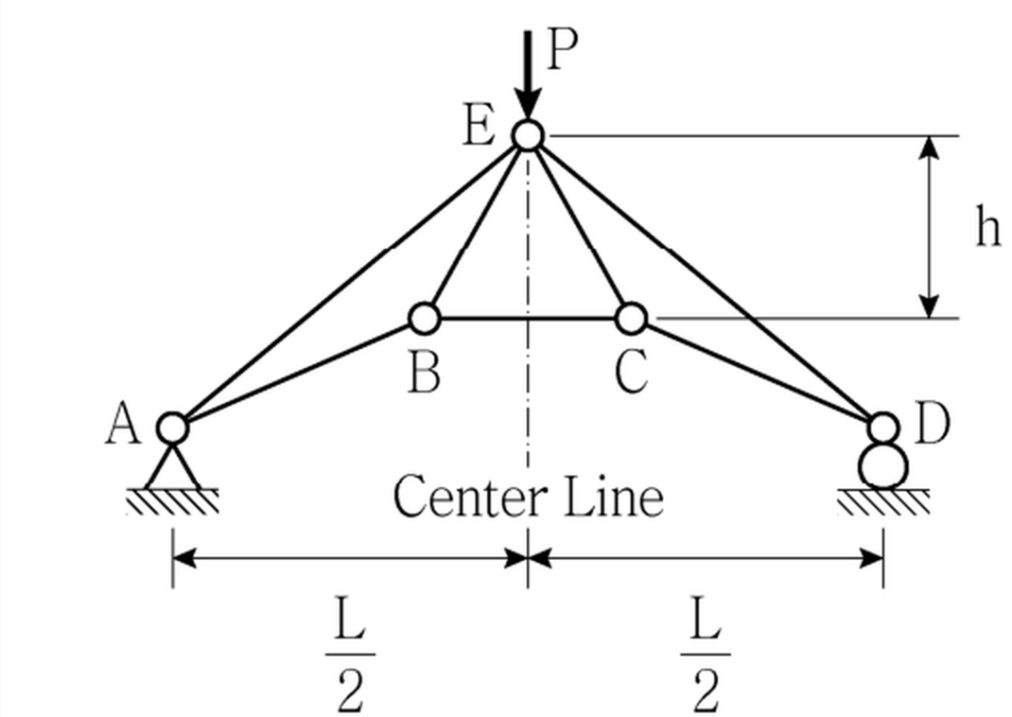
내부힌지가 있는 보 문제는 힌지에서 구조를 둘로 끊은 뒤, 하중이 있는 경간에서 힌지반력을 먼저 구하고 그 반력을 다른 경간의 외력으로 넘겨서 지점반력을 계산하면 된다.

**암기 포인트**

게르버 보는 내부힌지에서 모멘트가 0이므로 한쪽 경간의 힌지반력을 먼저 구해 다른 경간으로 전달한다.

NoteBase

**문 2. 그림과 같이 중앙선에 대칭인 트러스 구조물의 E점에 수직하중 P가 작용할 때, BC부재의 부재력은? (단, 구조물의 자중은 무시한다)**




① $\frac{PL}{h}$
② $\frac{PL}{2h}$
③ $\frac{PL}{4h}$
④ $\frac{PL}{8h}$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 대칭 트러스에서 절단법을 적용하고 E점에 대한 모멘트 평형으로 $BC$ 부재력을 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 중앙점 E에 수직하중 $P$가 작용하고, 전체 경간은 $L$, E점과 $BC$ 사이의 수직거리는 $h$이다.
구해야 할 값: $BC$ 부재력의 크기이다.
주의할 조건: 구조물은 중앙선 대칭이므로 지점반력은 좌우가 같고, 절단면을 $AE$, $BE$, $BC$로 지나가게 잡은 뒤 E점에 대해 모멘트를 취하면 $AE$와 $BE$의 절단력이 소거된다.

NoteBase

### 사용할 공식

사용할 원리는 절단법과 모멘트 평형식이다.

$\sum M_E = 0$

이 공식을 쓰는 이유는 $BC$ 부재의 작용선은 E점에서 수직거리 $h$만큼 떨어져 있고, 절단한 다른 두 부재 $AE$, $BE$의 작용선은 모두 E점을 지나므로 E점 모멘트식에서 사라지기 때문이다.

### 계산 과정

1. 구조물은 중앙선 대칭이므로 지점반력은 $A_y = D_y = P/2$이다.
2. 왼쪽 부분을 기준으로 $AE$, $BE$, $BC$를 절단하여 자유물체도를 잡는다.
3. E점에 대한 모멘트를 취하면 $AE$와 $BE$의 절단력은 없어지고, $BC$ 부재력과 A점 반력만 남는다.

$F_{BC} \cdot h - \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{2} = 0$

4. 따라서

$F_{BC} = \frac{PL}{4h}$

이다. 값이 양수이므로 $BC$는 인장력으로 작용한다.

### 선지별 해설

① X

- $BC$ 부재력은 $\frac{PL}{h}$가 아니라 $\frac{PL}{4h}$이다. 좌우 대칭으로 지점반력이 $P/2$로 줄고, 모멘트팔도 $L/2$만 사용되므로 ①은 네 배 크게 계산한 값이다.
- 틀린 표현은 $\frac{PL}{h}$이다. 올바르게는 $\frac{PL}{4h}$이다.

② X

- $\frac{PL}{2h}$는 대칭에 따른 반력 $P/2$ 또는 모멘트팔 $L/2$ 중 하나만 반영하고 다른 하나를 빠뜨렸을 때 나오는 값이다. 실제로는 두 조건을 모두 반영해야 한다.
- 틀린 표현은 $\frac{PL}{2h}$이다. 올바르게는 $\frac{PL}{4h}$이다.

③ O

- 절단면에 대해 E점 모멘트 평형을 적용하면 $F_{BC}h = (P/2)(L/2)$가 되어 $F_{BC} = \frac{PL}{4h}$가 된다. 따라서 ③이 옳다.

④ X

- $\frac{PL}{8h}$는 정답 $\frac{PL}{4h}$를 한 번 더 2로 나눈 값이다. 이미 반력과 모멘트팔에서 대칭 효과가 모두 반영되었으므로 추가로 절반을 취하면 안 된다.
- 틀린 표현은 $\frac{PL}{8h}$이다. 올바르게는 $\frac{PL}{4h}$이다.

### 오답 포인트

대칭 트러스에서는 반력 $P/2$와 모멘트팔 $L/2$가 동시에 들어간다. 둘 중 하나만 반영하면 ②가 되고, 둘 다 놓치면 ①이 되며, 이미 반영한 값을 한 번 더 절반으로 줄이면 ④가 된다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

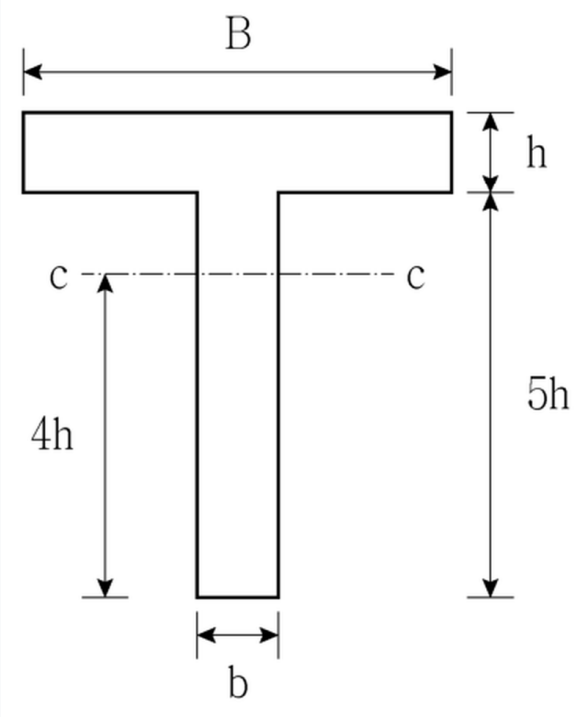
대칭 트러스의 특정 부재력을 빠르게 구할 때는 먼저 대칭으로 지점반력을 정리한 다음, 구하려는 부재만 남도록 절단면을 잡고, 다른 절단력이 모두 사라지는 점에 대해 모멘트를 취해 바로 식을 세운다.

**암기 포인트**

대칭 하중 트러스의 절단법 핵심은 반력 $P/2$, 모멘트팔 $L/2$, 그리고 $F \times h$의 조합이다.

NoteBase

**문 3. 그림과 같이 T형 단면에서 도심의 위치가 하단으로부터 4h가 될 때, 플랜지의 폭 B의 값은?**




① 4.5b

② 5.0b

③ 6.0b

④ 8.0b

**정답 2번**

**출제 포인트**

T형 단면을 플랜지와 웹의 두 직사각형으로 나누어 도심 공식 $\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$를 적용하는 문제이다.

NoteBase

**조건 정리**

주어진 값:
- 플랜지 두께는 $h$, 폭은 $B$이다.
- 웹 폭은 $b$, 높이는 $5h$이다.
- 전체 도심은 하단으로부터 $4h$에 있다.

구해야 할 값:
- 플랜지 폭 $B$

주의할 조건:
- 그림의 $5h$는 전체 높이가 아니라 웹 높이이므로, 플랜지 도심은 바닥에서 $5.5h$, 웹 도심은 바닥에서 $2.5h$에 놓인다.

**사용할 공식**

복합단면의 도심은 다음으로 구한다.

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

이 공식을 쓰는 이유:

T형 단면은 플랜지와 웹 두 직사각형의 합으로 볼 수 있으므로, 각 부분의 면적과 도심 위치를 이용한 가중평균으로 전체 도심을 구할 수 있다.

**계산 과정**

1. 웹의 면적과 도심은 $A_w = 5bh$, $y_w = \frac{5h}{2} = 2.5h$이다.
2. 플랜지의 면적과 도심은 $A_f = Bh$, $y_f = 5h + \frac{h}{2} = 5.5h$이다.
3. 전체 도심 조건 $\bar{y} = 4h$를 대입하면

$$4h = \frac{(Bh)(5.5h) + (5bh)(2.5h)}{Bh + 5bh}$$

4. $h$를 약분하면

$$4 = \frac{5.5B + 12.5b}{B + 5b}$$

5. 정리하면

$$4B + 20b = 5.5B + 12.5b$$

$$1.5B = 7.5b$$

$$B = 5b$$

따라서 계산 결과는 $B = 5.0b$이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X
- 계산 결과는 $B = 5.0b$이므로 $4.5b$는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "$B = 4.5b$"이며, 올바르게는 "$B = 5.0b$"이다.
- 이 값은 플랜지 도심을 바닥에서 $5h$로 두거나 중간 높이를 잘못 잡을 때 나오기 쉬운 오답이다.

② O
- 복합단면 도심 공식을 적용하면 $B = 5.0b$가 되어 정답과 일치한다.
- 웹 높이 $5h$, 플랜지 도심 위치 $5.5h$를 정확히 반영한 결과이다.

③ X
- 계산 결과는 $6.0b$가 아니므로 틀리다.
- 틀린 표현은 "$B = 6.0b$"이며, 올바르게는 "$B = 5.0b$"이다.
- 이 값은 웹 높이를 $4h$로 착각하거나 플랜지 면적과 웹 면적의 비를 거칠게 처리할 때 생기기 쉬운 오답이다.

④ X
- 계산 결과와 비교하면 $8.0b$는 지나치게 큰 값이므로 틀리다.
- 틀린 표현은 "$B = 8.0b$"이며, 올바르게는 "$B = 5.0b$"이다.
- 이 값은 그림의 $4h$를 웹 높이로, $5h$를 전체 높이로 뒤바꾸어 읽을 때 나오기 쉬운 오답이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 오른쪽의 $5h$를 전체 높이로 오독하는 데 있다. 실제로는 웹 높이가 $5h$이고, 도심 위치 $4h$는 바닥에서 잰 값이므로 각 부분 도심을 $2.5h$, $5.5h$로 잡아야 한다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

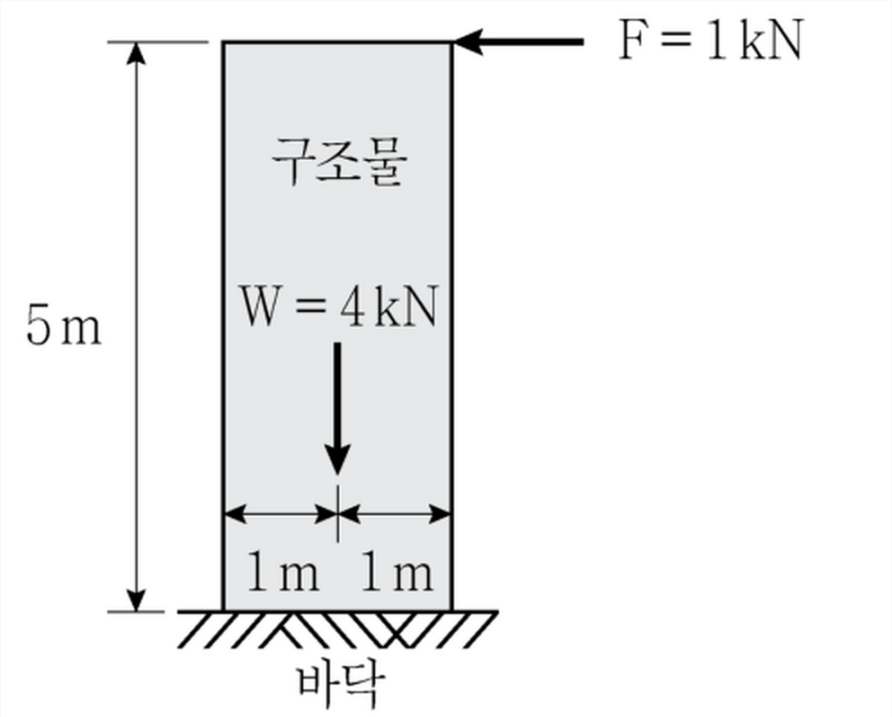
복합단면 도심 문제는 먼저 도형을 단순 직사각형들로 분해하고, 각 부분의 면적과 바닥 기준 도심 좌표를 적은 뒤 $\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$에 대입하면 된다. 치수선이 어디서 어디까지인지 먼저 읽으면 높이 오독을 막을 수 있다.

### 암기 포인트

T형 단면 도심은 "분해한 면적의 가중평균"으로 구하며, 도심 좌표는 반드시 같은 기준선에서 재야 한다.

NoteBase

**문 4. 그림과 같이 직사각형인 구조물에 수평하중 $F = 1\text{kN}$과 수직하중 (자중) $W = 4\text{kN}$이 작용할 때, 구조물에 발생하는 현상으로 옳은 것은? (단, 구조물과 바닥의 접촉면에서의 마찰계수 $\mu = 0.3$이다)**




① 미끄러진다.

② 넘어진다.

③ 움직이지 않는다.

④ 미끄러짐과 넘어짐이 같이 일어난다.

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 미끄러짐 한계와 전도 한계를 각각 계산하여 어떤 현상이 먼저 발생하는지를 판단하는 문제이다.

**조건 정리**

수평하중은 1 kN, 자중은 4 kN이다.
구조물 높이는 $5m$, 밑면 폭은 $2m$이므로 자중의 작용선은 전도축에서 $1m$ 떨어져 있다.
마찰계수는 0.3이므로 최대 정지마찰력은 $\mu W = 0.3 \times 4 = 1.2kN$이다.

NoteBase

### 사용할 공식

미끄러짐 검토에는 최대 정지마찰력 $F_s = \mu W$를 사용한다.
전도 검토에는 전도모멘트와 복원모멘트를 비교하는 $Fh$와 $W \times b/2$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문제의 거동이 바닥면에서의 수평 저항과 밑단 모서리를 기준으로 한 회전 저항으로 결정되기 때문이다.

### 계산 과정

1. 미끄러짐 한계는 $F_s = \mu W = 0.3 \times 4 = 1.2kN$이다.
2. 실제 수평하중은 1 kN이므로 $1 < 1.2$여서 미끄러짐은 먼저 발생하지 않는다.
3. 전도에 대한 전도모멘트는 $Fh = 1 \times 5 = 5kN \cdot m$이다.
4. 자중에 의한 복원모멘트는 $W \times b/2 = 4 \times 1 = 4kN \cdot m$이다.
5. $5 > 4$이므로 미끄러지기 전에 전도가 먼저 발생한다.

### 선지 판단

1번 X: 미끄러지려면 수평하중이 최대 정지마찰력 $1.2kN$를 넘어야 하는데 실제 하중은 1 kN이다. 틀린 표현은 "미끄러진다"이고, 올바르게는 "미끄러지기 전에 전도 조건이 먼저 만족된다"이다.
2번 O: 전도모멘트 $5kN \cdot m$가 복원모멘트 $4kN \cdot m$보다 크므로 구조물은 넘어진다.
3번 X: 움직이지 않으려면 미끄러짐과 전도 조건을 모두 만족해야 하는데 전도 조건이 깨진다. 틀린 표현은 "움직이지 않는다"이고, 올바르게는 "전도되어 정지 상태를 유지하지 못한다"이다.
4번 X: 미끄러짐과 넘어짐이 같이 일어나려면 미끄러짐 한계와 전도 한계가 같아야 하는데, 이 문제에서는 미끄러짐 한계가 $1.2kN$, 전도 한계가 $0.8kN$로 다르다. 틀린 표현은 "같이 일어난다"이고, 올바르게는 "전도가 먼저 일어난다"이다.

### 오답 포인트

마찰계수만 보고 미끄러짐부터 판단하면 틀리기 쉽다. 이 문제의 함정은 미끄러짐 검토가 가능하더라도 높이 $5m$에서 작용하는 수평하중이 큰 전도모멘트를 만들어 전도가 더 먼저 생긴다는 점이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

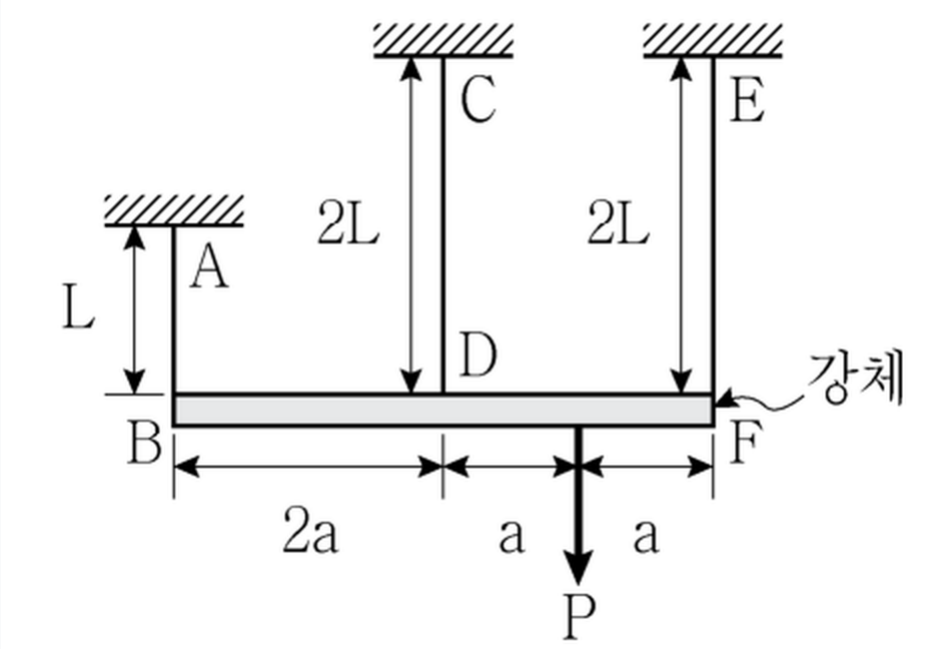
먼저 미끄러짐 한계력 $F_s = \mu W$와 전도 한계력 $F_t = W(b/2)/h$를 각각 구한 뒤, 더 작은 한계력에 대응하는 현상이 먼저 발생한다고 판단한다.

### 암기 포인트

직사각형 블록은 $F_s = \mu W$, $F_t = W(b/2)/h$를 비교하여 더 작은 쪽이 선행 파괴이다.

NoteBase

**문 5. 그림과 같이 케이블 세 개로 지지되어 있는 강체인 수평부재에 집중하중 $P$가 작용할 때, 가장 왼쪽 케이블 AB에 작용하는 인장력은? (단, 각 케이블의 축방향 강성 $EA$는 동일하고, 자중은 무시한다)**




① $\frac{P}{11}$

② $\frac{P}{5}$

③ $\frac{P}{3}$

④ $\frac{7P}{22}$

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 강체 수평부재의 변형 적합조건과 케이블 강성 $k = EA/L$를 이용해 가장 왼쪽 케이블 $AB$의 인장력 $T_B$를 구하는 문제이다.

NoteBase

### 조건 정리

주어진 값:
- $AB$의 길이는 $L$, $CD$와 $EF$의 길이는 각각 $2L$이다.
- 세 케이블의 축강성 $EA$는 동일하다.
- 강체 부재의 위치는 $B, D, F$이고 $BD = 2a$, 하중 작용점은 $B$에서 $3a$, $F$는 $B$에서 $4a$ 떨어져 있다.

구해야 할 값:
- 왼쪽 케이블 $AB$의 인장력 $T_B$

주의할 조건:
- 케이블 스프링강성은 길이에 반비례하므로 $k_{AB} = EA/L = k$, $k_{CD} = k_{EF} = EA/(2L) = k/2$이다.
- 수평부재는 강체이므로 처짐은 직선적으로 변하고, 중간점 $D$의 처짐은 $\delta_D = (\delta_B + \delta_F)/2$를 만족한다.

### 사용할 공식

케이블 인장력과 신장량의 관계는 $T_i = k_i\delta_i$이다.
따라서 $\delta_B = T_B/k$, $\delta_D = 2T_D/k$, $\delta_F = 2T_F/k$이다.
강체 적합조건은
$\delta_D = \frac{\delta_B + \delta_F}{2}$
이고, 평형조건은
$T_B + T_D + T_F = P$
$2aT_D + 4aT_F = 3aP$
이다.
이 공식을 쓰는 이유:
각 케이블은 축방향 스프링처럼 거동하고 수평부재는 강체이므로, 정답은 케이블 강성에 따른 변형 적합조건과 부재 전체의 평형조건을 동시에 만족해야만 구해진다.

NoteBase

**계산 과정**

1. 적합조건을 힘으로 바꾸면
$\frac{2T_D}{k} = \frac{1}{2}\left(\frac{T_B}{k} + \frac{2T_F}{k}\right)$
이므로
$4T_D = T_B + 2T_F$
이다.
2. 수직평형과 $B$점 모멘트평형은
$T_B + T_D + T_F = P$
$2T_D + 4T_F = 3P$
이다.
3. 모멘트식에서 $T_D = \frac{3P}{2} - 2T_F$, 수직평형식에서 $T_B = T_F - \frac{P}{2}$이다.
4. 이를 적합식 $4T_D = T_B + 2T_F$에 대입하면
$4\left(\frac{3P}{2} - 2T_F\right) = \left(T_F - \frac{P}{2}\right) + 2T_F$
$6P - 8T_F = 3T_F - \frac{P}{2}$
$11T_F = \frac{13P}{2}, \quad T_F = \frac{13P}{22}$
이다.
5. 따라서
$T_B = T_F - \frac{P}{2} = \frac{13P}{22} - \frac{11P}{22} = \frac{P}{11}$
이다. 참고로 $T_D = \frac{7P}{22}$이다.

**선지별 해설**

① O
- 계산 결과 왼쪽 케이블 $AB$의 인장력은 $T_B = \frac{P}{11}$이다. 문제에서 묻는 값과 일치하므로 옳다.

② X
- $\frac{P}{5}$는 적합조건 $4T_D = T_B + 2T_F$를 만족하지 않는다. 틀린 표현은 $AB$의 인장력이 $\frac{P}{5}$라는 점이다. 올바르게는 $AB$의 인장력은 $\frac{P}{11}$이다.

③ X
- $\frac{P}{3}$는 세 케이블이 하중을 비슷하게 나눈다고 본 오답에 가깝다. 실제로는 케이블 길이가 달라 강성이 서로 다르고, 하중도 중앙이 아니라 $B$에서 $3a$ 위치에 작용하므로 동일 분담이 성립하지 않는다. 틀린 표현은 $AB$의 인장력이 $\frac{P}{3}$라는 점이다. 올바르게는 $AB$의 인장력은 $\frac{P}{11}$이다.

④ X
- $\frac{7P}{22}$는 계산 과정에서 얻는 중간 케이블 $CD$의 인장력 $T_D$이다. 왼쪽 케이블 $AB$의 인장력이 아니다. 틀린 표현은 $AB$의 인장력이 $\frac{7P}{22}$라는 점이다. 올바르게는 $AB$의 인장력은 $\frac{P}{11}$이다.

NoteBase

**오답 포인트**

가장 흔한 실수는 세 케이블의 $EA$가 같으므로 힘도 같다고 보는 점이다. 이 문제에서는 길이가 달라 강성이 $k$, $k/2$, $k/2$로 달라진다. 또 ④처럼 계산 중 나온 $T_D = \frac{7P}{22}$를 문제에서 묻는 $T_B$와 혼동하기 쉽다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

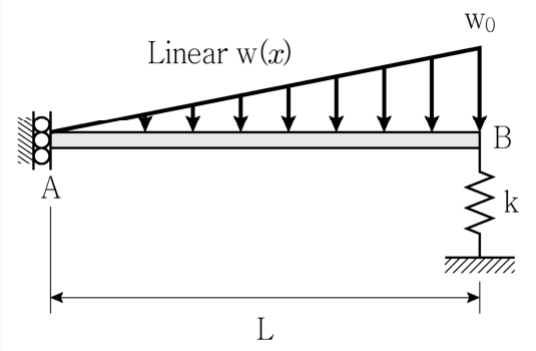
강체봉을 여러 케이블이나 스프링이 지지하는 문제는 먼저 각 지점 강성을 길이로 환산하고, 다음에 강체의 직선변형조건으로 적합식을 세운 뒤, 마지막으로 수직평형과 모멘트평형을 함께 풀어 판단한다.

**암기 포인트**

같은 $EA$라도 길이가 두 배이면 강성은 절반이 된다. 강체 지지 문제는 강성비와 적합조건을 먼저 본다.

NoteBase

**문 6. 그림과 같이 보 AB에 선형변분포하중이 작용할 때, 보에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 보는 가이드 로울러 지점과 강성 $k$인 스프링으로 지지되며, 보의 자중은 무시한다)**




① 지점 A의 처짐은 $\frac{w_0 L}{2k}$이다.

② 지점 A의 모멘트 반력은 $\frac{1}{3}w_0 L^2$이다.

③ 보에 작용하는 모멘트의 절대최댓값은 $\frac{w_0 L^2}{12}$이다.

④ 보에 작용하는 전단력의 절대최댓값은 $\frac{1}{2}w_0 L$이다.

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 가이드 로울러 지점의 구속조건과 삼각형 선형분포하중의 합력을 이용해 스프링 반력, 지점모멘트, 전단력 최댓값을 판단하는 문제이다.

### 조건 정리

하중은 $w(x) = \frac{w_0 x}{L}$인 삼각형 선형분포하중이다.
전체 하중의 합력은 $W = \int_0^L w(x)dx = \frac{w_0 L}{2}$이다.
합력의 작용점은 A로부터 $\frac{2L}{3}$ 지점이다.
A는 연직방향으로 미끄러지는 가이드 로울러(슬라이더) 지점이므로, 연직변위는 자유롭게 허용되어 수직반력이 생기지 않고, 회전은 구속되어 모멘트 반력이 생긴다. 만약 A에 모멘트 반력이 없다고 보면 $\sum M_A = 0$이 성립하지 않아 평형이 깨지므로, A는 반드시 모멘트를 받는 지점이다.
B의 스프링 반력은 $R_B = k\delta_B$이다.

NoteBase

### 사용할 공식

전체 평형식은 $\sum V = 0, \sum M_A = 0$이다.
전단력은 $V(x) = -\int_0^x w(\xi)d\xi = -\frac{w_0 x^2}{2L}$이다.
모멘트는 $M'(x) = V(x), M(L) = 0$으로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 A에서는 수직반력이 생기지 않고 B 스프링이 전체 수직하중을 지지하므로, 전체 평형으로 $R_B$와 $M_A$를 먼저 정한 뒤 전단력과 모멘트 분포를 바로 판단할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

1. 전체 하중의 합력은 $W = \frac{w_0 L}{2}$이므로 $R_B = W = \frac{w_0 L}{2}$이다. 따라서 B점 처짐은 $\delta_B = \frac{R_B}{k} = \frac{w_0 L}{2k}$이다.
2. A점에 대한 모멘트 평형에서 $M_A + R_B L - W \cdot \frac{2L}{3} = 0$이므로 $M_A = -\frac{w_0 L^2}{6}$이다. 절댓값은 $\frac{w_0 L^2}{6}$이다.
3. 전단력은 $V(x) = -\frac{w_0 x^2}{2L}$이므로 $|V|$는 A에서 B로 갈수록 커지고, $x = L^-$에서 $|V|_{\max} = \frac{w_0 L}{2}$가 된다.
4. 모멘트는 $M(x) = -\frac{w_0 L^2}{6} + \frac{w_0 x^3}{6L}$이므로 절댓값 최댓값은 A점에서 $\frac{w_0 L^2}{6}$이다.

### 선지별 해설

① X. $\frac{w_0 L}{2k}$는 스프링 반력 $R_B$로부터 정해지는 B점 처짐 $\delta_B$이다. A점은 스프링 위의 B점이 $\delta_B$만큼 내려간 상태에서, 회전이 구속된 가이드 지점(기울기 0)과 B점 사이에 생기는 보의 휨변형만큼 더 내려간다. 이 휨변형은 $EIy'' = M(x)$를 A에서 기울기 0 조건으로 적분하면 $y(L) - y(0) = \frac{3w_0 L^4}{40EI}$로 얻어지므로, A점 처짐은 $\delta_A = \frac{w_0 L}{2k} + \frac{3w_0 L^4}{40EI}$가 되어 B점 처짐보다 크다.
② X. A점 모멘트 반력의 절댓값은 $\frac{w_0 L^2}{6}$이다. 선지의 $\frac{1}{3}w_0 L^2$는 합력 $W$가 A에서 $\frac{2L}{3}$에 작용하는 모멘트 $W \cdot \frac{2L}{3} = \frac{w_0 L^2}{3}$만 계산하고, 이를 상쇄하는 스프링 반력의 모멘트 $R_B \cdot L = \frac{w_0 L^2}{2}$를 함께 고려하지 않아 나오는 값이다.
③ X. 보에 작용하는 모멘트의 절대최댓값은 A점에서의 $\frac{w_0 L^2}{6}$이다. $\frac{w_0 L^2}{12}$는 이 보를 다른 지지조건의 보처럼 잘못 해석하면 나오는 값이다.
④ O. $V(x) = -\frac{w_0 x^2}{2L}$이므로 $|V|$는 B점 직전에서 가장 크고 그 값은 $\frac{w_0 L}{2}$이다.

### 오답 포인트

가이드 로울러 지점 A를 일반 힌지처럼 해석하면 수직반력을 잘못 넣게 된다. 이 문항에서는 A의 수직반력이 0이므로 B 스프링이 전체 하중 $\frac{w_0 L}{2}$를 전부 부담한다는 점이 핵심 함정이다. 또한 $\frac{w_0 L}{2k}$는 A점 처짐이 아니라 B점 처짐이라는 점도 자주 혼동된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

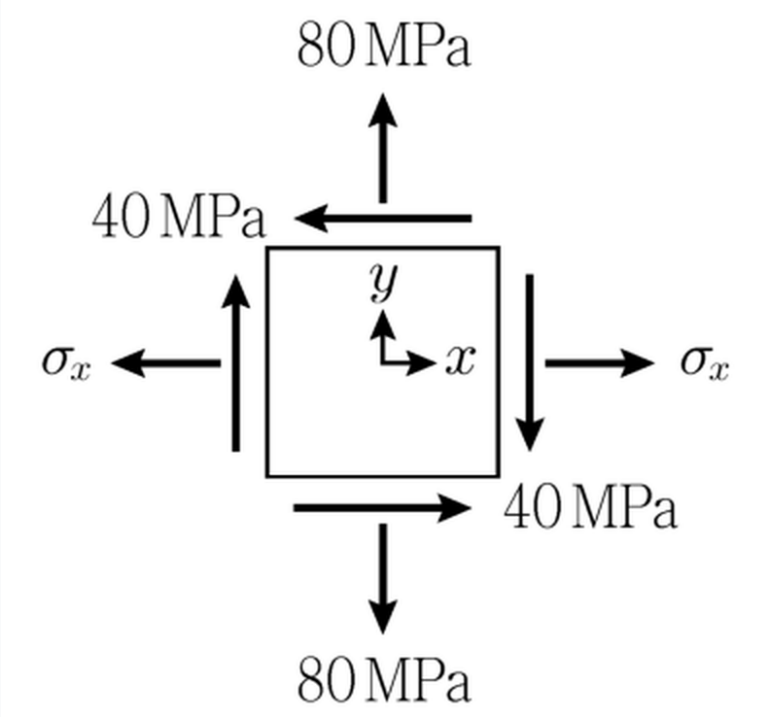
가이드 지점과 스프링이 함께 나오면 먼저 각 지점이 막는 자유도를 본다. 이 문제는 A가 회전만 막고 수직하중은 지지하지 않으므로 전체 하중합을 먼저 구하고, 그 하중을 B 스프링 반력으로 둔 뒤 전단력과 모멘트의 최댓값을 판단하면 된다.

**암기 포인트**

삼각형 분포하중의 합력은 $\frac{w_0 L}{2}$이고 작용점은 큰 쪽에서 $\frac{L}{3}$, 작은 쪽에서 $\frac{2L}{3}$이다.

NoteBase

**문 7. 그림과 같이 주어진 평면응력상태에서 최소주응력 $\sigma_2 = 0$MPa인 경우, 최대주응력 $\sigma_1$의 크기[MPa]는?**




① 80
② 100
③ 120
④ 140

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 평면응력상태에서 주응력 관계식 $\sigma_1\sigma_2 = \sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2$와 $\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y$를 이용해 최대주응력을 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 $\sigma_y = 80MPa$, $\tau_{xy} = 40MPa$, $\sigma_2 = 0MPa$이다.
구해야 할 값은 최대주응력 $\sigma_1$이다.
미지수 $\sigma_x$를 먼저 구한 뒤 주응력의 합을 이용하면 된다.

NoteBase

### 사용할 공식

주응력은 $\sigma_1$, $\sigma_2$가 응력행렬의 고유값이므로

$\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y$

$\sigma_1\sigma_2 = \sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2$

를 만족한다.

이 문제는 $\sigma_2 = 0$이 주어졌으므로 곱 관계식으로 $\sigma_x$를 바로 구할 수 있고, 그 다음 합 관계식으로 $\sigma_1$을 구할 수 있다.

### 계산 과정

1. 곱 관계식에 $\sigma_2 = 0$을 대입하면

$0 = \sigma_x \cdot 80 - 40^2$

이다.

2. 따라서

$80\sigma_x = 1600$

$\sigma_x = 20MPa$

이다.

3. 주응력의 합을 이용하면

$\sigma_1 + 0 = \sigma_x + \sigma_y = 20 + 80 = 100MPa$

이므로

$\sigma_1 = 100MPa$

이다.

### 선지별 해설

① X: 80은 $\sigma_y$ 값만 본 수치일 뿐 최대주응력이 아니다. 전단응력 $40MPa$가 작용하므로 주응력은 단순히 80으로 끝나지 않는다. 틀린 표현은 최대주응력을 80으로 본 점이며, 올바르게는 최대주응력은 $100MPa$이다.

② O: 계산 결과 $\sigma_1 = 100MPa$이므로 옳다.

③ X: 120은 주응력의 합 관계를 잘못 적용하거나 전단응력 효과를 과대평가할 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 최대주응력을 120으로 본 점이며, 올바르게는 $\sigma_x = 20MPa$를 먼저 구하면 최대주응력은 $100MPa$이다.

④ X: 140은 80 + 40 + 20처럼 주응력과 전단응력을 단순 가산할 때 나오는 오답이다. 전단응력은 주응력에 직접 더하는 값이 아니다. 틀린 표현은 최대주응력을 140으로 본 점이며, 올바르게는 주응력 관계식으로 계산한 $100MPa$이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 $\sigma_y = 80MPa$를 그대로 최대주응력으로 보거나, 전단응력 $40MPa$를 주응력에 단순히 더하는 데 있다. $\sigma_2 = 0$이라는 조건을 이용해 응력불변량 관계를 먼저 세우면 이런 혼동을 피할 수 있다.

NoteBase

### 다시 나오면 이렇게 판단

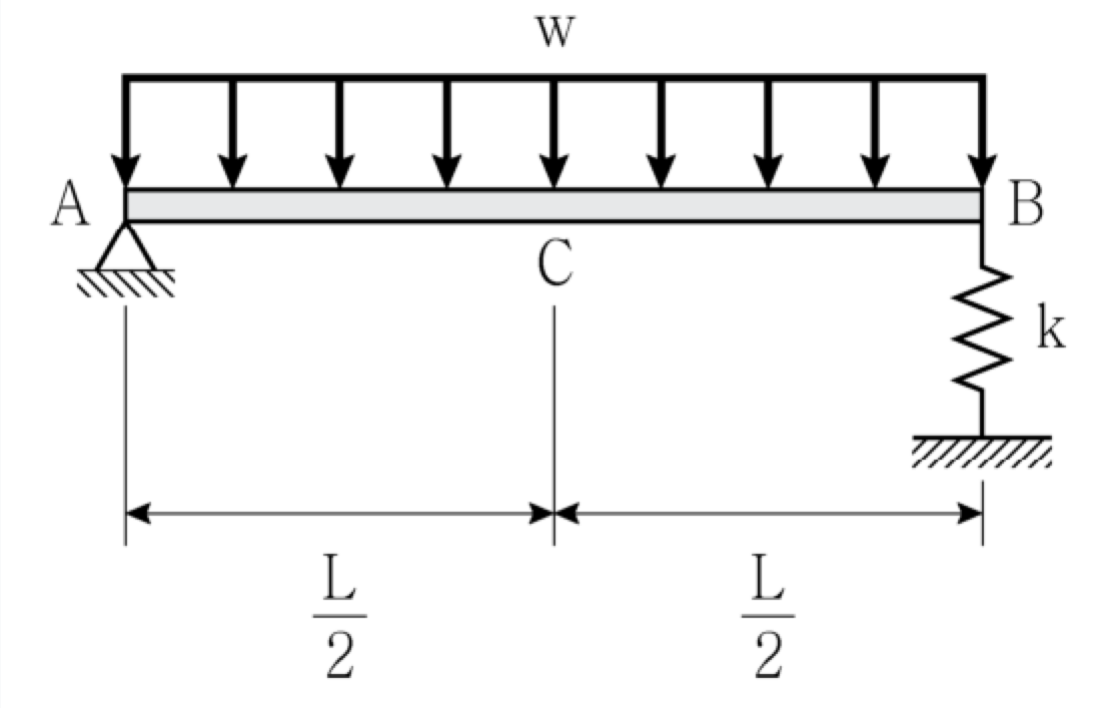
평면응력에서 어떤 주응력이 0으로 주어지면 먼저 $\sigma_1\sigma_2 = \sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2$로 남은 미지 응력을 구하고, 이어서 $\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y$로 다른 주응력을 구하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

$\sigma_2 = 0$이면 $\sigma_x\sigma_y = \tau_{xy}^2$를 먼저 보고, 최대주응력은 주응력의 합으로 마무리한다.

NoteBase

**문 8. 그림과 같이 A점은 힌지이고, B점은 강성 $k$가 $\frac{32EI}{L^3}$인 스프링으로 지지되어 있는 보에 등분포하중 w가 작용할 때, 지간 중앙점 C에서의 처짐은? (단, 보의 휨강성 EI는 일정하고, 자중은 무시한다)**




① $\frac{wL^4}{32EI}$
② $\frac{wL^4}{48EI}$
③ $\frac{wL^4}{64EI}$
④ $\frac{wL^4}{72EI}$

**정답 2번**

**출제 포인트**

단순지지보의 등분포하중 처짐식과 스프링 지점 침하를 중첩하여 중앙점 C의 절대처짐을 구하는 문제이다.

**조건 정리**

- A점은 힌지이고 B점은 수직 스프링 지지이다.
- 전 구간 $L$에 등분포하중 $w$가 작용한다.
- 스프링 강성은 $k = 32EI/L^3$이다.
- 구해야 할 값은 중앙점 C의 절대처짐이다.
- B점은 스프링 지지이므로 반력만 구하면 끝나지 않고, B점 침하량까지 함께 반영해야 한다.

NoteBase

### 사용할 공식

$R_B = \frac{wL}{2}$, $\delta_B = \frac{R_B}{k}$, $\delta_{C,\text{rel}} = \frac{5wL^4}{384EI}$, $\delta_{C,\text{set}} = \frac{\delta_B}{2}$, $\delta_C = \delta_{C,\text{rel}} + \delta_{C,\text{set}}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 보가 휨 변형만 보면 단순지지보와 같고, 여기에 B점 스프링 압축으로 생기는 지점침하가 직선변위로 추가되기 때문이다.

### 계산 과정

1. 정정조건으로 반력을 구하면 $R_A = R_B = \frac{wL}{2}$이다.
2. B점 스프링 압축량은 $\delta_B = \frac{R_B}{k} = \frac{wL/2}{32EI/L^3} = \frac{wL^4}{64EI}$이다.
3. 같은 하중을 받는 단순지지보의 중앙 상대처짐은 $\delta_{C,\text{rel}} = \frac{5wL^4}{384EI}$이다.
4. 지점침하로 인한 중앙점의 추가 직선변위는 $\delta_{C,\text{set}} = \frac{1}{2}\delta_B = \frac{wL^4}{128EI}$이다.
5. 따라서 중앙점의 절대처짐은 $\delta_C = \frac{5wL^4}{384EI} + \frac{wL^4}{128EI} = \frac{5wL^4}{384EI} + \frac{3wL^4}{384EI} = \frac{8wL^4}{384EI} = \frac{wL^4}{48EI}$이다.

### 선지별 해설

① X: $\frac{wL^4}{32EI}$는 계산값과 일치하지 않는다. 틀린 값은 분모가 32인 식이고, 올바르게는 중앙점 C의 처짐이 $\frac{wL^4}{48EI}$이다.
② O: 계산 결과 중앙점 C의 절대처짐이 정확히 $\frac{wL^4}{48EI}$이므로 옳다.
③ X: $\frac{wL^4}{64EI}$는 B점 스프링 침하량 $\delta_B$와 가까운 값으로, 중앙점의 전체 처짐값과는 다르다. 틀린 값은 분모가 64인 식이고, 올바르게는 $\frac{wL^4}{48EI}$이다.
④ X: $\frac{wL^4}{72EI}$도 계산값과 일치하지 않는다. 틀린 값은 분모가 72인 식이고, 올바르게는 중앙점 C의 처짐이 $\frac{wL^4}{48EI}$이다.

### 오답 포인트

가장 흔한 실수는 단순지지보의 중앙처짐 $\frac{5wL^4}{384EI}$만 쓰고 끝내거나, B점 스프링 침하 $\delta_B$를 중앙점에 반만 더해야 한다는 점을 놓치는 것이다. 이 문제는 반력 계산보다 지점침하의 중첩을 떠올리는지가 핵심이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

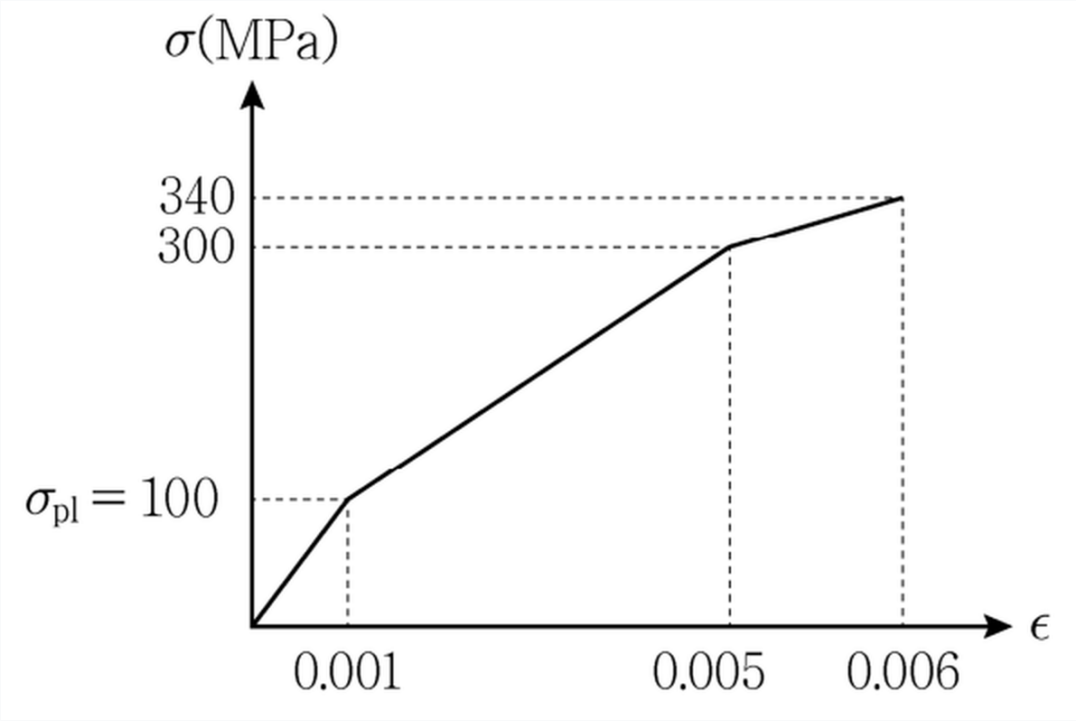
스프링 지지가 붙은 보를 보면 먼저 정정조건으로 반력을 구하고, 다음에 $\delta = R/k$로 지점침하를 계산한 뒤, 기본처짐과 지점침하에 의한 직선변위를 분리하여 합산하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

단순지지보 기본처짐 + 스프링 지점침하의 직선중첩 = 전체 처짐이다.

NoteBase

**문 9. 그림과 같은 응력($\sigma$)-변형률($\varepsilon$) 선도를 갖는 재료로 제작된 기둥이 양단힌지로 지지되어 있다. 이 기둥의 임계좌굴응력 $\sigma_{cr}$의 크기[MPa]는? (단, 탄젠트 계수공식을 적용하고, 세장비는 60이며 $\pi = 3$으로 계산한다)**




① 100

② 125

③ 250

④ 300

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 응력-변형률 선도의 각 구간 접선기울기에서 탄젠트 계수 $E_t$를 구하고, 탄젠트 계수공식으로 임계좌굴응력 $\sigma_{cr}$를 일관되게 결정하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 비례한도 응력 $\sigma_{pl} = 100MPa$, 선도의 절점
$(\varepsilon, \sigma) = (0.001, 100MPa), (0.005, 300MPa), (0.006, 340MPa)$, 세장비 $\lambda = 60$, $\pi = 3$이다.
구해야 할 값은 임계좌굴응력 $\sigma_{cr}$이다.
주의할 조건은 $E_t$를 아무 구간에서나 쓰는 것이 아니라, 계산된 $\sigma_{cr}$가 그 $E_t$가 나온 구간 안에 실제로 들어가야 한다는 점이다.

NoteBase

### 사용할 공식

탄젠트 계수공식은 $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{\lambda^2}$ 이다.
이 문제는 비례한도 이후 비선형 재료의 기둥 좌굴이므로 탄성계수 $E$가 아니라 해당 응력수준의 접선기울기인 $E_t$를 사용한다.

### 계산 과정

1. 각 직선구간의 접선기울기를 구하면 첫째 구간은 $E_t = 100/0.001 = 100000MPa$, 둘째 구간은 $E_t = (300-100)/(0.005-0.001) = 50000MPa$, 셋째 구간은 $E_t = (340-300)/(0.006-0.005) = 40000MPa$이다.
2. $\pi = 3$, $\lambda = 60$이므로 $\sigma_{cr} = \frac{9E_t}{60^2} = \frac{E_t}{400}$ 이다.
3. 첫째 구간 기울기를 넣으면 $\sigma_{cr} = 250MPa$인데 이는 첫째 구간 응력범위 $0 \sim 100MPa$ 밖이므로 기각한다.
4. 둘째 구간 기울기를 넣으면 $\sigma_{cr} = 125MPa$이고 이는 둘째 구간 응력범위 $100 \sim 300MPa$ 안에 있으므로 일관된다.
5. 셋째 구간 기울기를 넣으면 $\sigma_{cr} = 100MPa$인데 이는 셋째 구간 응력범위 $300 \sim 340MPa$에 들어가지 않으므로 기각한다.
따라서 $\sigma_{cr} = 125MPa$이다.

### 선지 판단

1번 X: $100MPa$는 셋째 구간의 접선기울기 $40000MPa$를 넣었을 때 나오는 값인데, 계산 결과가 셋째 구간 $300 \sim 340MPa$에 있지 않아 모순이다. 올바르게는 둘째 구간 기울기를 써서 $125MPa$가 된다.
2번 O: 둘째 구간의 접선기울기 $E_t = 50000MPa$를 쓰면 $\sigma_{cr} = 50000/400 = 125MPa$가 되고, 이 값이 실제로 둘째 구간 $100 \sim 300MPa$ 안에 있으므로 일관된 정답이다.
3번 X: $250MPa$는 초기 탄성구간 기울기 $100000MPa$를 그대로 넣었을 때의 값이다. 그러나 $250MPa$는 이미 비례한도 $100MPa$를 넘으므로 그 기울기를 계속 쓸 수 없다. 올바르게는 비례한도 이후의 둘째 구간 접선기울기를 적용해 $125MPa$로 고쳐야 한다.
4번 X: $300MPa$는 그래프의 절점 응력을 정답으로 오인한 값이다. 탄젠트 계수공식으로 검산한 임계좌굴응력은 절점 응력이 아니라 $125MPa$이다.

### 오답 포인트

탄젠트 계수공식에서 가장 흔한 실수는 초기 탄성계수 $E$를 끝까지 쓰는 것이다. 이 문제에서도 $250MPa$가 그 함정이다. 또 계산된 $\sigma_{cr}$가 해당 구간 응력범위에 속하는지 확인하지 않으면 $100MPa$처럼 구간 불일치 값을 고르게 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

비선형 응력-변형률 선도가 주어지면 먼저 각 직선구간의 접선기울기 $E_t$를 구한다. 그다음 $\sigma_{cr} = \pi^2 E_t/\lambda^2$로 구간별 후보값을 계산하고, 계산된 응력이 그 구간 범위 안에 드는 후보만 채택한다.

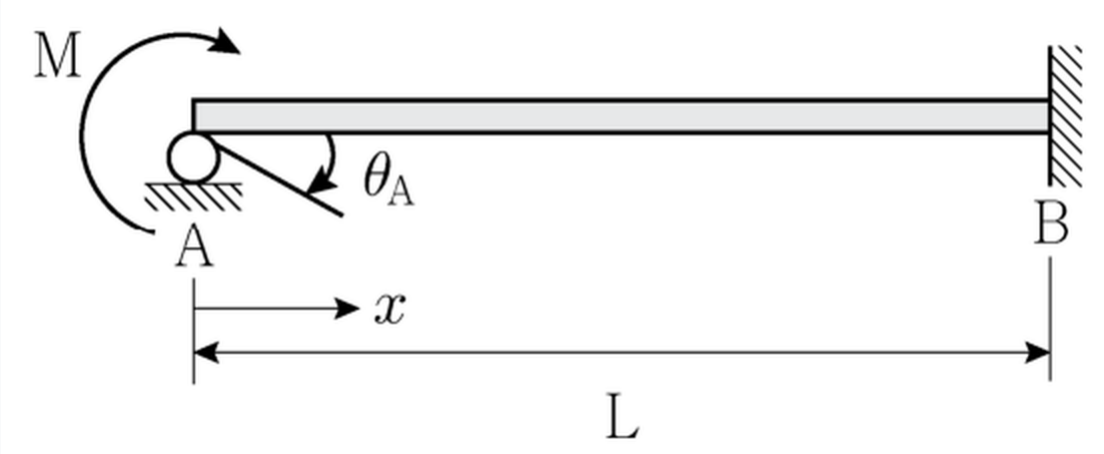
NoteBase

**암기 포인트**

탄젠트 계수공식은 구간 기울기와 응력범위의 일치 여부까지 확인해야 한다. 값만 계산하고 구간 검산을 빼면 오답이 된다.

NoteBase

**문 10. 그림과 같이 부정정보의 A점에 모멘트 M이 작용하여 A점의 회전변위 $\theta_A$가 발생하였을 때, A점으로부터 최대 처짐이 발생하는 위치까지 거리는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)**




① $\frac{L}{3}$
② $\frac{3L}{7}$
③ $\frac{3L}{8}$
④ $\frac{3L}{10}$

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 무하중 부정정보의 경계조건으로 처짐곡선을 구한 뒤, 기울기 $\theta = y'(x)$가 0이 되는 점에서 최대 처짐 위치를 찾는 문제이다.

**조건 정리**

A점은 롤러지점이므로 $y(0) = 0$이다. B점은 고정단이므로 $y(L) = 0, y'(L) = 0$이다. A점에 모멘트 $M$이 작용하므로 $EIy''(0) = M$ 조건을 쓸 수 있다.

**사용할 공식**

무하중 구간이므로 $EIy'''' = 0$이고 처짐곡선은 $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$의 3차식이 된다. 최대 처짐 위치는 내부점에서 $y'(x) = 0$으로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 분포하중이 없는 보에서 경계조건과 A점의 모멘트 조건만으로 처짐식을 완전히 정할 수 있기 때문이다.

NoteBase

**계산 과정**

1. $y(0)=0$에서 $d=0$이다.
2. $EIy''(0)=M$이므로 $2b=M/EI$, 따라서 $b=M/(2EI)$이다.
3. $y(L)=0$, $y'(L)=0$을 대입하면 $a=-b/(2L)$, $c=-bL/2$이다.
4. 따라서
$y'(x)=b\left(-\frac{3x^2}{2L}+2x-\frac{L}{2}\right)$
이다.
5. 내부 최대 처짐점은 $y'(x)=0$에서 생기므로
$3x^2-4Lx+L^2=0$
을 풀면 $x=L$ 또는 $x=L/3$이다. 이 중 $x=L$은 고정단 끝점의 경계조건 해이므로, A점으로부터 최대 처짐이 생기는 내부 위치는 $x=L/3$이다.

**선지별 해설**

① O
- 기울기 방정식 $3x^2-4Lx+L^2=0$의 내부해가 $x=L/3$이므로 맞다.

② X
- $x=3L/7$을 대입하면 $3x^2-4Lx+L^2=-4L^2/49$가 되어 0이 아니므로 최대 처짐점이 아니다.
- 틀린 표현은 "A점으로부터 $3L/7$"이고, 올바르게는 "A점으로부터 $L/3$"이다.

③ X
- $x=3L/8$을 대입하면 $3x^2-4Lx+L^2=-5L^2/64$가 되어 0이 아니므로 틀리다.
- 틀린 표현은 "A점으로부터 $3L/8$"이고, 올바르게는 "A점으로부터 $L/3$"이다.

④ X
- $x=3L/10$을 대입하면 $3x^2-4Lx+L^2=7L^2/100$이 되어 0이 아니므로 최대 처짐점이 아니다.
- 틀린 표현은 "A점으로부터 $3L/10$"이고, 올바르게는 "A점으로부터 $L/3$"이다.

**오답 포인트**

최대 처짐 위치를 감으로 중앙 근처라고 보거나, 단순히 모멘트가 큰 쪽이라고 판단하면 틀리기 쉽다. 이 문제는 하중도만 보는 문제가 아니라 처짐곡선의 극값 조건 $y'(x)=0$을 적용해야 풀린다. 또한 $x=L$도 방정식의 해이지만 끝점 경계조건에서 나온 해이므로 내부 최대 처짐점과 구분해야 한다.

NoteBase

### 다시 나오면 이렇게 판단

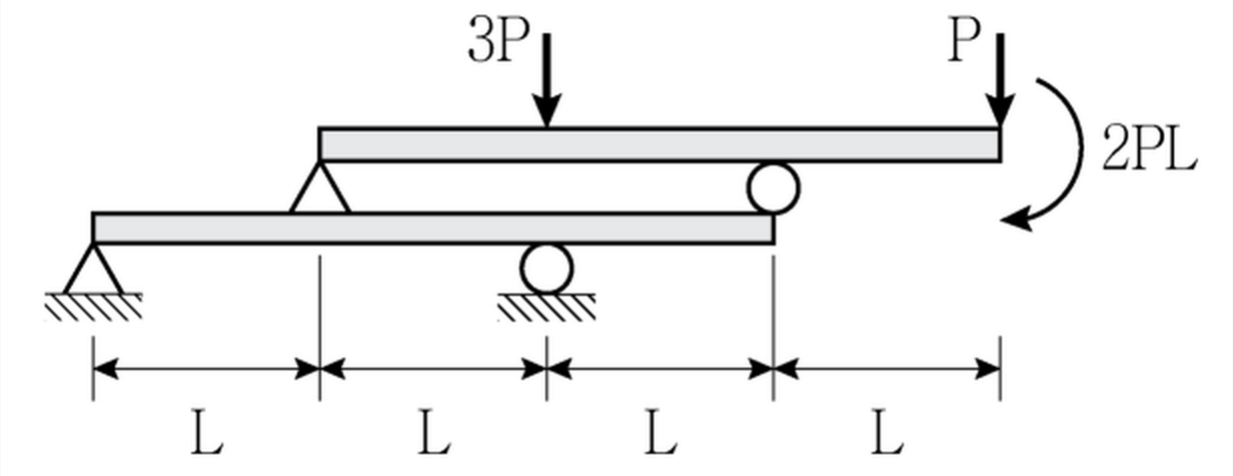
부정정보에서 최대 처짐 위치를 묻는 문제는 먼저 경계조건으로 $y(x)$를 세우고, 그다음 내부점에 대해 $y'(x) = 0$을 적용해 극값 위치를 찾는 순서로 판단한다. 방정식의 해가 끝점과 내부점에 함께 나오면 내부점을 정답으로 본다.

### 암기 포인트

무하중 보의 처짐곡선은 3차식이며, 최대 처짐 위치는 내부에서 $y'(x) = 0$으로 정해진다.

NoteBase

**문 11. 그림과 같은 구조물에서 최대전단력(절댓값) $V_{max}$와 최대휨모멘트(절댓값) $M_{max}$의 크기는? (단, 구조물의 자중은 무시한다)**




① $V_{max}$: 4P, $M_{max}$: 4PL

② $V_{max}$: 4P, $M_{max}$: 6PL

③ $V_{max}$: 6P, $M_{max}$: 4PL

④ $V_{max}$: 6P, $M_{max}$: 6PL

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 상부 보의 반력을 먼저 구해 하부 보에 전달한 뒤, 각 보의 전단력도와 휨모멘트도에서 구조물 전체의 최대 절댓값을 찾는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 하중은 상부 보의 집중하중 $3P$, 끝단 집중하중 $P$, 끝단 모멘트 $2PL$이다.
상부 보는 좌측 지점에서 $L$ 떨어진 곳부터 시작하고 지점 간 거리는 $2L$, 우측으로 $L$ 돌출되어 있다.
하부 보는 좌측 핀지점과 $2L$ 위치의 롤러지점으로 지지되고, 상부 보의 반력이 하중으로 작용한다.

### 사용할 공식

평형조건 $\sum F_y = 0, \sum M = 0$을 사용해 각 보의 지점반력을 구한다.
전단력은 구간별 하중의 대수합으로, 휨모멘트는 전단력도의 면적으로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 구조가 상부 보와 하부 보로 분리 가능한 정정보이기 때문이다.

NoteBase

**계산 과정**

1. 상부 보 평형에서 $R_A + R_B = 4P$이다.
2. 상부 보 좌측 지점에 대한 모멘트 평형은 $R_B \cdot 2L - 3P \cdot L - P \cdot 3L - 2PL = 0$이므로 $R_B = 4P$, $R_A = 0$이다.
3. 따라서 상부 보가 하부 보에 주는 하중은 $x = 3L$ 위치의 $4P$ 하향하중 하나이다.
4. 하부 보 평형에서 $A_y + B_y = 4P$, $B_y \cdot 2L - 4P \cdot 3L = 0$이므로 $B_y = 6P$, $A_y = -2P$이다.
5. 상부 보의 최대전단력은 $3P$, 최대휨모멘트는 지점 $B$에서의 $3PL$이다.
6. 하부 보의 전단력은 좌측 구간에서 $-2P$, $x = 2L$ 이후 $4P$이므로 최대절댓값은 $4P$이다.
7. 하부 보의 휨모멘트는 $x = 2L$에서 $M = -2P \cdot 2L = -4PL$로 최대절댓값을 갖는다.
8. 전체 구조물에서 $|V|_{max} = 4P$, $|M|_{max} = 4PL$이다.

**선지별 해설**

① O: 상부 보는 $|V|_{max} = 3P$, $|M|_{max} = 3PL$이고 하부 보는 $|V|_{max} = 4P$, $|M|_{max} = 4PL$이므로 구조물 전체 최대값은 $V_{max} = 4P$, $M_{max} = 4PL$이다.
② X: 최대전단력 $4P$는 맞지만 최대휨모멘트가 $6PL$은 아니다. $6PL$은 하부 보의 반력 $6P$에 길이 $L$을 곱해 혼동한 값이다. 올바르게는 하부 보 $x = 2L$ 단면의 휨모멘트 절댓값이 $4PL$이다.
③ X: 최대휨모멘트 $4PL$은 맞지만 최대전단력이 $6P$는 아니다. $6P$는 지점반력 크기일 뿐 단면 전단력 최대값이 아니다. 올바르게는 하부 보 $x = 2L \sim 3L$ 구간의 전단력 절댓값이 $4P$이다.
④ X: 최대전단력과 최대휨모멘트를 모두 반력값 중심으로 잘못 읽은 선지이다. 올바르게는 $V_{max} = 4P$, $M_{max} = 4PL$이다.

**오답 포인트**

상부 보 반력 $4P$를 하부 보 집중하중으로 넘긴 뒤 다시 하부 보의 전단력도와 모멘트도를 그려야 한다는 점이 핵심이다.
지점반력의 최대값 $6P$를 그대로 최대전단력으로 착각하거나, 그 반력에 임의의 길이를 곱해 최대휨모멘트를 $6PL$로 오판하기 쉽다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

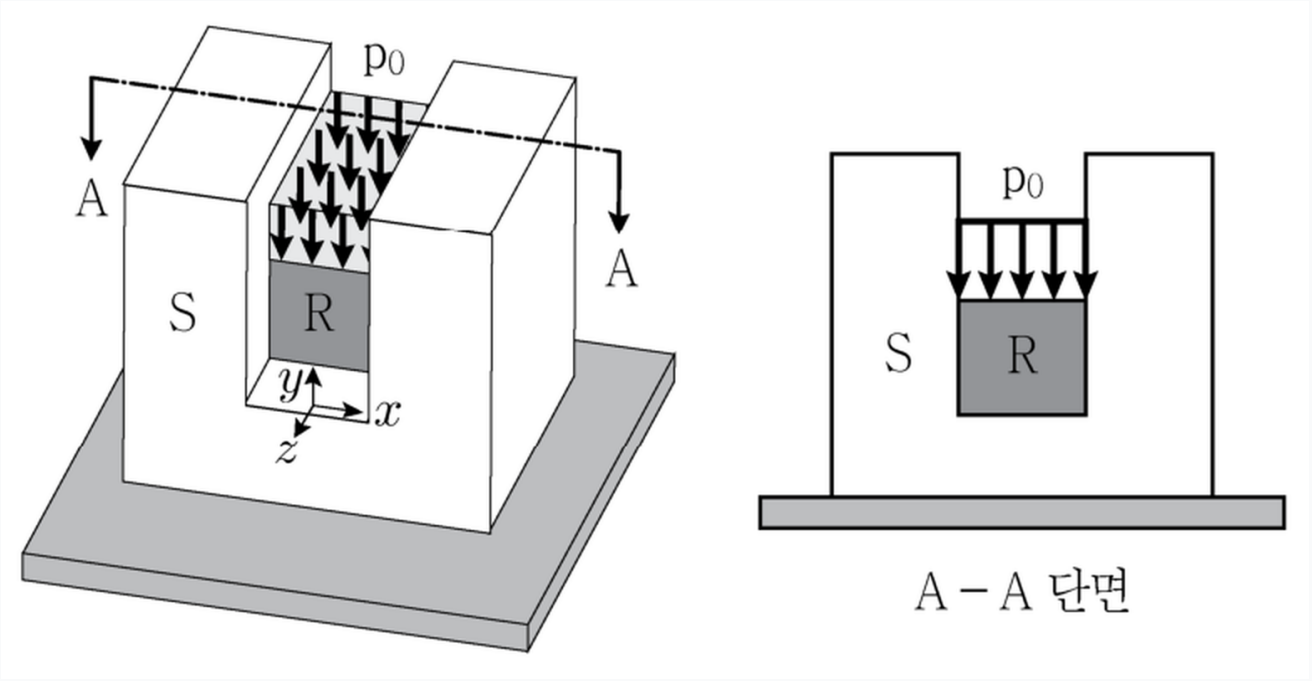
겹보 문제는 윗보를 먼저 독립시켜 반력을 구하고, 그 반력을 아랫보의 외력으로 옮긴 다음 각 보별 전단력도와 휨모멘트도를 따로 비교하면 된다. 최대값은 반력의 크기가 아니라 실제 단면력도에서 확인한다.

**암기 포인트**

겹보 최대단면력은 반력값이 아니라 각 보의 전단력도·모멘트도에서 최종 비교한 값이다.

NoteBase

**문 12. 그림과 같이 고무블록 R이 강체블록 S의 평행한 두 평면 벽 사이와 하면이 구속되어 있다. 고무블록의 윗면에 균일한 압력 $p_0$가 작용한다고 할 때, 고무블록과 강체블록 사이에 발생하는 수직응력(normal stress) $\sigma_x$의 크기는? (단, 고무의 포아송비는 $\nu$이고, 고무와 강체 사이의 마찰과 구조물의 자중은 무시한다)**




① $\nu p_0$

② $2\nu p_0$

③ $p_0$

④ $2p_0$

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 측면 구속을 받는 고무블록의 3차원 후크 법칙에서 $\varepsilon_x = 0$ 조건을 적용해 벽면 수직응력 $\sigma_x$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 윗면에 균일한 압력 $p_0$가 작용한다.
구해야 할 값: 고무블록과 강체블록 사이의 수직응력의 크기 $\sigma_x$이다.
주의할 조건: 양쪽 벽 때문에 $x$방향 변형은 구속되어 $\varepsilon_x = 0$이고, 앞뒤 $z$방향은 구속이 없어 $\sigma_z = 0$이다. 문제는 응력의 크기를 묻기 때문에 부호보다 절댓값을 본다.

NoteBase

**사용할 공식**

등방성 선형탄성체의 일반화된 후크 법칙은 $\varepsilon_x = \frac{1}{E}\{\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 벽면 접촉으로 $x$방향 변형률이 0이 되는 구속조건이 주어졌고, 윗면 압력으로 $y$방향 응력 $\sigma_y$가 생기므로 다축응력 관계식을 써야 하기 때문이다.

**계산 과정**

1. 윗면에 압력 $p_0$가 아래로 작용하므로 인장을 양(+)으로 두면 $\sigma_y = -p_0$이다.
2. 앞뒤 방향은 자유면이므로 $\sigma_z = 0$이다.
3. 양쪽 강체벽이 팽창을 막으므로 $\varepsilon_x = 0$이다.
$0 = \frac{1}{E}\{\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\}$
4. 따라서
$\sigma_x = \nu(\sigma_y + \sigma_z) = \nu(-p_0 + 0) = -\nu p_0$
이다.
5. 문제는 수직응력의 크기를 묻고 있으므로
$|\sigma_x| = \nu p_0$
이다.

**선지 판단**

① O
- 계산 결과 벽면 수직응력의 크기는 $\nu p_0$이므로 옳다.

② X
- 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 $2\nu p_0$이고, 올바르게는 $\nu p_0$이다.
- 양쪽 벽이 두 개라고 해서 한 벽면에서의 응력 성분 $\sigma_x$가 두 배가 되지는 않는다.

③ X
- 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 $p_0$이고, 올바르게는 $\nu p_0$이다.
- 측압은 윗면 압력 자체가 아니라 포아송 효과로 유도되므로 $\nu$가 반드시 곱해진다.

④ X
- 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 $2p_0$이고, 올바르게는 $\nu p_0$이다.
- 구속이 있다고 해서 측면응력이 수직하중의 두 배가 되는 것이 아니며, 이 문제에서는 $\varepsilon_x = 0$, $\sigma_z = 0$을 대입한 값만 써야 한다.

NoteBase

### 오답 포인트

양쪽 벽이 있다는 이유로 측압을 두 배로 보는 실수가 가장 흔하다. 이 문제는 벽 전체가 받는 총 반력이 아니라 한 방향 응력 성분 $\sigma_x$의 크기를 묻는다. 또 포아송비 $\nu$를 빠뜨리고 $p_0$로 바로 쓰는 실수도 자주 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

구속된 방향은 먼저 $\varepsilon = 0$, 자유면 방향은 $\sigma = 0$으로 놓고 일반화된 후크 법칙에 대입하면 된다. 이 문제는 $x$방향 구속, $z$방향 자유이므로 $\varepsilon_x = 0$, $\sigma_z = 0$을 세운 뒤 $\sigma_x$를 구하면 된다.

### 암기 포인트

구속면 방향은 $\varepsilon = 0$, 자유면 방향은 $\sigma = 0$이다. 이 문항은 $\varepsilon_x = 0$, $\sigma_z = 0$이어서 $|\sigma_x| = \nu p_0$이다.

NoteBase

**문 13. 인장강도가 500MPa인 금속으로 만든 반경 4m, 두께 10cm인 구형(Sphere)의 금속압력용기에 5MPa의 내압이 작용한다면 인장파괴에 대한 안전계수는? (단, 용기의 두께는 반경에 비해 매우 작고, 자중은 무시한다)**

① 2

② 3

③ 4

④ 5

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 구형 박판 압력용기의 막응력 공식을 이용해 인장파괴 기준 안전계수를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 인장강도 $500MPa$, 내압 $5MPa$, 반경 $4m$, 두께 $10cm = 0.1m$이다.
구해야 할 값: 인장파괴에 대한 안전계수이다.
주의할 조건: 구형 용기이고 두께가 반경에 비해 매우 작으므로 박판 구형 압력용기 공식을 적용한다.

### 사용할 공식

구형 박판 압력용기의 막응력은 $\sigma = \frac{pr}{2t}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 구형 박판 용기는 모든 방향의 막응력이 같고, 원통처럼 $\sigma = \frac{pr}{t}$를 쓰지 않는다. 안전계수는 n=재료의 인장강도작용응력으로 계산한다.

### 계산 과정

먼저 구형 용기의 막응력을 계산하면 $\sigma = \frac{pr}{2t} = \frac{5 \times 4}{2 \times 0.1} = 100MPa$이다.
따라서 인장파괴에 대한 안전계수는 $n = \frac{500}{100} = 5$이다.
계산 결과 안전계수는 5이므로 정답은 4번이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X: 안전계수를 2로 본 값이다. 계산된 막응력은 $100MPa$이므로 안전계수는 500/100 = 5이다. 틀린 표현은 "안전계수 2"이고, 올바르게는 "안전계수 5"이다.
② X: 안전계수를 3으로 본 값이다. 구형 박판 공식으로 계산하면 3이 나오지 않는다. 이 값은 공식을 잘못 적용하거나 계산 중 반올림을 잘못한 경우에 가까우며, 올바르게는 안전계수 5이다.
③ X: 안전계수를 4로 본 값이다. 주어진 반경 $4m$와 두께 $0.1m$를 그대로 대입하면 막응력은 $100MPa$이고, 따라서 안전계수는 4가 아니라 5이다. 틀린 표현은 "안전계수 4"이고, 올바르게는 "안전계수 5"이다.
④ O: 구형 박판 압력용기의 막응력은 $100MPa$이고, 인장강도 $500MPa$를 이 응력으로 나누면 안전계수는 5가 된다.

### 오답 포인트

원통형 압력용기 공식 $\sigma = \frac{pr}{t}$와 구형 압력용기 공식 $\sigma = \frac{pr}{2t}$를 혼동하기 쉽다. 또 두께 $10cm$를 $0.1m$로 바꾸지 않으면 계산이 어긋난다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

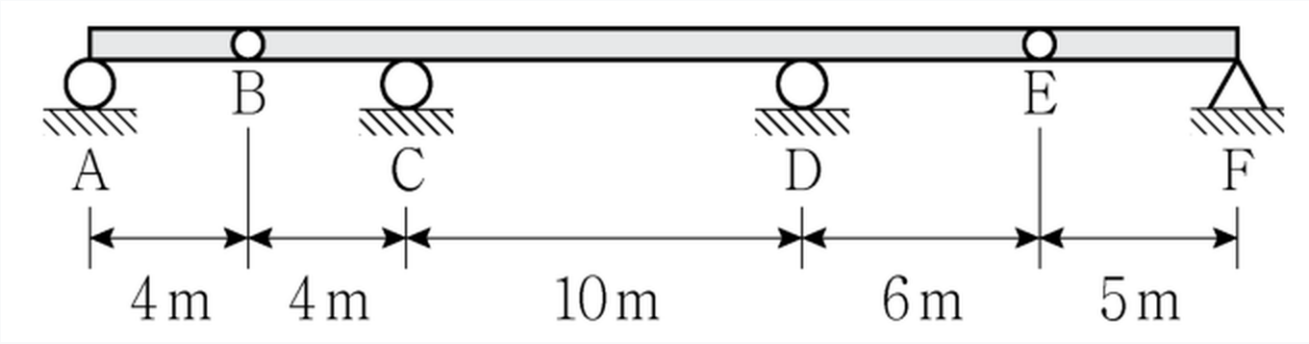
압력용기 계산형은 먼저 형상이 구형인지 원통형인지 구분하고, 다음에 박판 조건을 확인한 뒤 $pr/t$ 계열 공식을 선택한다. 마지막에 계산된 응력을 강도와 비교해 안전계수를 구하면 된다.

### 암기 포인트

구형 박판 압력용기 막응력은 원통보다 절반이므로 $\sigma = \frac{pr}{2t}$를 쓴다.

NoteBase

**문 14. 그림과 같이 B점과 E점에 내부힌지를 갖는 게르버 보에 대하여 30kN의 집중 이동하중이 작용할 때, 지점 C에서의 최대 반력[kN]은? (단, 구조물의 자중은 무시한다)**




① 30

② 36

③ 42

④ 48

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 게르버 보에서 지점 C 반력의 영향선을 구한 뒤, 30$kN$ 집중이동하중을 영향선의 최대 양의 ordinate에 곱해 최대 반력을 찾는 문제이다.

**조건 정리**

- 내부힌지는 B, E에 있다.
- 거리 조건은 $AB = 4m$, $BC = 4m$, $CD = 10m$, $DE = 6m$, $EF = 5m$이다.
- 구해야 할 값은 지점 C의 최대 반력이다.
- 이동하중에 대한 최대 반력은 반력 영향선의 최대 양의 ordinate에서 생긴다.

NoteBase

**사용할 공식**

최대 반력은

$R_{C,\max} = P y_{\max}$

이다. 여기서 $y_{\max}$는 지점 C 반력 영향선의 최대 양의 ordinate이고, $P = 30kN$은 집중이동하중이다.

영향선의 핵심 절점은 힌지 B의 ordinate이므로 이를 먼저 유도한다. 게르버 보를 내부힌지 B, E에서 끊으면 왼쪽 구간 AB(지점 A와 힌지 B로 지지), 가운데 단순보 구간(지점 C, D로 지지되는 B~E), 오른쪽 구간 EF(힌지 E와 지점 F로 지지)로 분리된다. 단위하중을 힌지 B에 놓으면 왼쪽 AB 구간에서 A점에 대한 모멘트 평형

$R_B \cdot AB = 1 \cdot AB$

으로부터 힌지 B가 전달하는 힘이 1이 되어, 하중 전부가 힌지 B를 통해 가운데 보의 왼쪽 내민 끝(overhang 끝)에 실린 것과 같아진다.

가운데 보는 지점 C, D가 지지하고 $CD = 10m$이며, 힌지 B는 지점 C에서 왼쪽으로 $BC = 4m$ 떨어져 있다. 지점 D에 대한 모멘트 평형

$R_C \cdot CD = 1 \cdot (BC + CD)$

에서

$y_B = R_C = \frac{BC + CD}{CD} = 1 + \frac{BC}{CD} = 1 + \frac{4}{10} = 1.4$

가 된다. 즉 영향선은 지점 C에서 ordinate 1을 지나 기울기 $1/CD$로 왼쪽으로 올라가므로, C에서 $BC$만큼 떨어진 힌지 B에서 $1 + BC/CD = 1.4$가 된다.

**계산 과정**

1. 지점 C 반력 영향선을 절점값으로 그린다. 내부힌지가 있는 게르버 보에서는 힌지점에서 좌우 모멘트가 0이라는 조건 때문에 영향선이 힌지에서 꺾이고, 각 지점 바로 위의 하중은 전부 그 지점 반력이 받으므로 그 지점에서 자기 반력의 ordinate는 1, 다른 지점 반력의 ordinate는 0이 된다.
2. 지점 A에 하중이 있으면 왼쪽 AB 구간이 지점 A로 직접 받아 가운데 보로 전달되는 힘이 0이므로 $A = 0$이다.
3. 지점 C 바로 위 하중은 전부 C가 받으므로 $C = 1.0$이고, 지점 D 위 하중은 전부 D가 받으므로 C 반력은 $D = 0$이다. 가운데 단순보 구간에서 영향선은 C(값 1)와 D(값 0)를 잇는 직선이고 기울기는 $1/CD = 1/10$이다.
4. 이 직선을 왼쪽 힌지 B까지 연장하면 $B = 1 + \frac{BC}{CD} = 1 + \frac{4}{10} = 1.4$이고, 오른쪽 힌지 E까지 연장하면 $E = 0 - \frac{DE}{CD} = -\frac{6}{10} = -0.6$이다(E는 D에서 오른쪽으로 $DE = 6m$ 떨어져 있다).
5. 힌지 E 바깥의 EF 구간에서는 지점 F 위 하중을 F가 받으므로 $F = 0$이고, 영향선은 E(값 $-0.6$)와 F(값 0)를 잇는 직선으로 0을 향해 되돌아온다.
6. 절점값은 $A = 0, B = 1.4, C = 1.0, D = 0, E = -0.6, F = 0$이며, 최대 양의 ordinate는 B점의 1.4이다.
7. 따라서 이동하중을 B점에 놓을 때 반력이 최대가 되어

$R_{C,\max} = 30 \times 1.4 = 42kN$

이 된다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X

- $30kN$은 하중이 C점에 직접 놓였을 때의 반력값일 뿐 최대값이 아니다. 영향선 최대 ordinate는 C점의 1.0이 아니라 B점의 1.4이다. 틀린 표현은 "최대 반력이 30kN"이고, 올바르게는 "하중이 B점에 있을 때 최대 반력은 $42kN$"이다.

② X

- $36kN$은 $30 \times 1.2$로, B점 ordinate를 실제 1.4가 아니라 1.2로 잘못 잡았을 때의 값이다. 예를 들어 왼쪽 내민 길이를 $BC = 4m$가 아니라 $2m$로 오독해 $1 + 2/10 = 1.2$로 계산하면 이 값이 나온다. 실제로는 $BC = 4m$이므로 $y_B = 1 + 4/10 = 1.4$가 맞다. 틀린 표현은 "최대 반력이 36kN"이고, 올바르게는 "최대 반력은 $42kN$"이다.

③ O

- 지점 C 반력 영향선의 최대 양의 ordinate가 B점에서 1.4이므로 $R_{C,\max} = 30 \times 1.4 = 42kN$이다. 따라서 3번이 옳다.

④ X

- $48kN$은 $30 \times 1.6$으로, 오른쪽 내민 길이 $DE = 6m$를 잘못 넣어 $1 + 6/10 = 1.6$으로 계산하면 나오는 값이다. 그러나 지점 C 반력 영향선의 최대점은 왼쪽 힌지 B이고 오른쪽 구간(D~E)은 음(−)의 ordinate이므로, 최대값 계산에 써야 할 내민 길이는 지점 C 왼쪽의 $BC = 4m$이다. $DE = 6m$는 D 오른쪽 길이로 E점의 음의 ordinate($-0.6$)에만 관여할 뿐 최대점과는 무관하다. 틀린 표현은 "최대 반력이 48kN"이고, 올바르게는 "최대 반력은 $42kN$"이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 내부힌지가 있다고 해서 반력 영향선 ordinate가 항상 1 이하라고 착각하는 데 있다. C점 바로 위에 하중이 있을 때만 최대라고 생각하면 $30kN$을 고르게 된다. 하지만 왼쪽 overhang과 내부힌지 때문에 B점에서 C 반력 ordinate가 1.4가 되어 반력이 하중보다 더 크게 나올 수 있다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

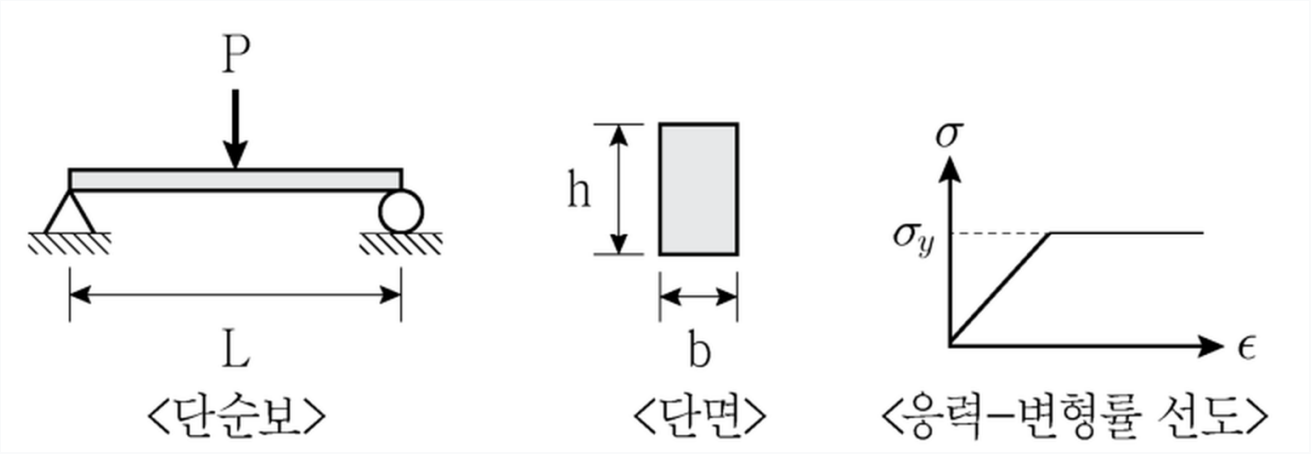
게르버 보 이동하중 문제는 먼저 구하려는 반력의 영향선을 절점값으로 그린 뒤, 그 영향선의 최대 양의 ordinate에 이동하중을 곱하는 순서로 판단한다. 내부힌지와 overhang이 있으면 반력 ordinate가 1을 넘을 수 있다는 점을 함께 확인하면 된다.

### 암기 포인트

최대 반력은 이동하중 × 반력 영향선 최대 ordinate이다. 이 문항은 B점 ordinate가 $1 + 4/10 = 1.4$이므로 $30 \times 1.4 = 42kN$으로 정리된다.

NoteBase

**문 15. 그림과 같이 단면이 직사각형인 단순보의 중앙에 집중하중 $P$가 작용할 때, 휨에 의한 소성붕괴하중(Plastic collapse load) $P_u$는? (단, 재료의 항복응력은 $\sigma_y$이며 응력-변형률은 완전 탄소성의 관계이고, 자중은 무시한다)**




① $\frac{bh^2\sigma_y}{12L}$
② $\frac{bh^2\sigma_y}{2L}$
③ $\frac{bh^2\sigma_y}{L}$
④ $\frac{bh^2\sigma_y}{6L}$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 단순보의 소성붕괴하중을 구하기 위해 직사각형 단면의 소성모멘트와 중앙집중하중 단순보의 최대휨모멘트 관계를 적용하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 조건은 중앙에 집중하중 $P$가 작용하는 길이 $L$의 단순보, 단면 폭 $b$, 높이 $h$, 항복응력 $\sigma_y$이다.
구해야 할 값은 휨에 의한 소성붕괴하중 $P_u$이다.
주의할 조건은 단순보가 정정구조이므로 붕괴 시 중앙에 소성힌지 1개가 생기면 기구가 형성된다는 점과, 자중은 무시한다는 점이다.

NoteBase

### 사용할 공식

소성모멘트는 $M_p = \sigma_y Z_p$ 이고, 직사각형 단면의 소성단면계수는 $Z_p = \frac{bh^2}{4}$ 이다.
따라서 $M_p = \frac{bh^2\sigma_y}{4}$ 이다.
또한 중앙집중하중을 받는 단순보의 최대휨모멘트는 $M_{max} = \frac{PL}{4}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 소성붕괴 시 단면의 최대모멘트가 소성모멘트에 도달하고, 정정 단순보는 그 순간 바로 붕괴기구가 형성되기 때문이다.

### 계산 과정

1. 직사각형 단면의 소성모멘트를 구하면 $M_p = \sigma_y Z_p = \sigma_y \cdot \frac{bh^2}{4} = \frac{bh^2\sigma_y}{4}$ 이다.
2. 단순보 중앙집중하중의 최대휨모멘트는 중앙에서 발생하므로 $M_{max} = \frac{P_u L}{4}$ 이다.
3. 소성붕괴 시 $M_{max} = M_p$ 이므로 $\frac{P_u L}{4} = \frac{bh^2\sigma_y}{4}$ 이다.
4. 정리하면 $P_u = \frac{bh^2\sigma_y}{L}$ 이다.

### 선지별 해설

① X: $\frac{bh^2\sigma_y}{12L}$ 는 소성단면계수 $Z_p = \frac{bh^2}{4}$ 와 단순보의 최대휨모멘트 $\frac{PL}{4}$ 를 제대로 연결한 결과가 아니다. 틀린 표현은 분모가 $12L$ 인 부분이며, 올바르게는 $P_u = \frac{bh^2\sigma_y}{L}$ 이다.
② X: $\frac{bh^2\sigma_y}{2L}$ 는 중앙점하중 단순보의 최대휨모멘트 관계 $M_{max} = \frac{PL}{4}$ 를 일부 잘못 처리한 값이다. 틀린 표현은 분모가 $2L$ 인 부분이며, 올바르게는 $\frac{P_u L}{4} = M_p$ 에서 $P_u = \frac{bh^2\sigma_y}{L}$ 가 된다.
③ O: 소성모멘트 $M_p = \frac{bh^2\sigma_y}{4}$, 최대휨모멘트 $M_{max} = \frac{PL}{4}$ 이므로 $\frac{P_u L}{4} = \frac{bh^2\sigma_y}{4}$ 이고, 따라서 $P_u = \frac{bh^2\sigma_y}{L}$ 이다.
④ X: $\frac{bh^2\sigma_y}{6L}$ 는 직사각형 단면의 탄성단면계수 $S = \frac{bh^2}{6}$ 수준의 발상에 머문 값으로, 소성단면계수와 소성붕괴 조건을 반영하지 못한다. 틀린 표현은 분모가 $6L$ 인 부분이며, 올바르게는 $P_u = \frac{bh^2\sigma_y}{L}$ 이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 탄성휨공식과 소성휨공식을 섞는 데 있다. 직사각형 단면에서 $\frac{bh^2}{6}$ 은 탄성단면계수이고, 소성붕괴에서는 $\frac{bh^2}{4}$ 인 소성단면계수를 써야 한다. 또한 단순보는 정정구조이므로 지점이 이미 힌지 역할을 하여 중앙에 소성힌지 1개만 생겨도 붕괴기구가 된다는 점을 놓치기 쉽다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

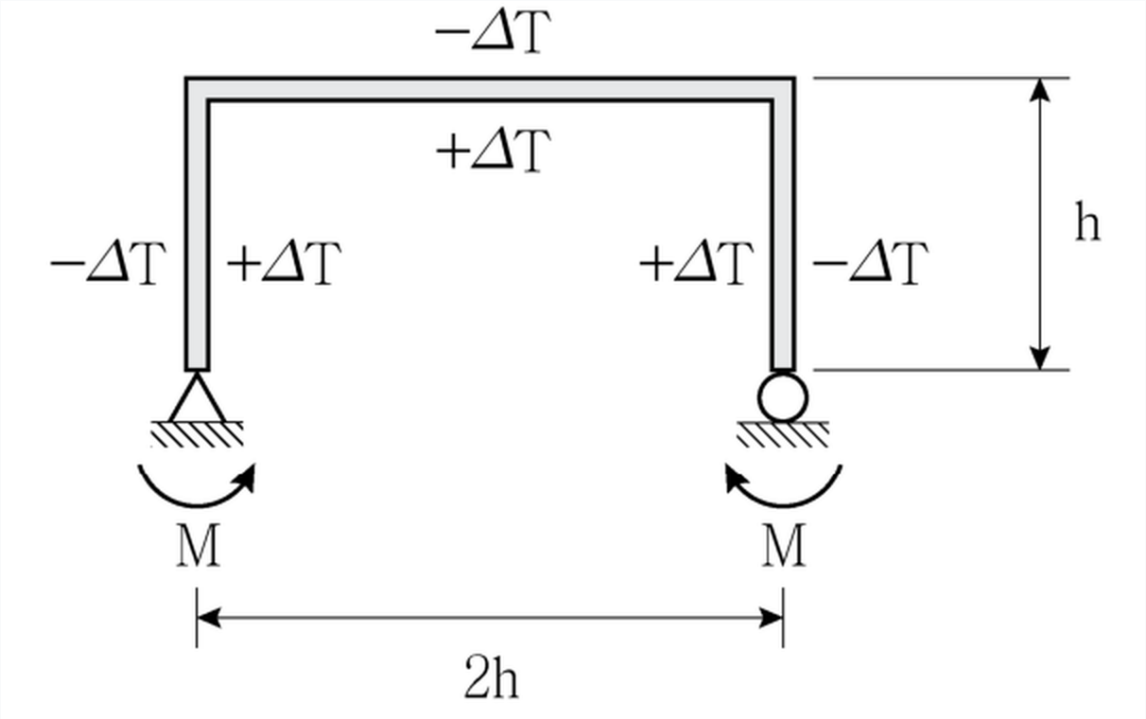
소성붕괴하중 문제는 먼저 구조가 정정인지 부정정인지 판단하고 필요한 소성힌지 수를 확인한다. 그 다음 단면의 $Z_p$ 로 $M_p$ 를 구하고, 하중에 따른 최대휨모멘트 식과 $M_{max} = M_p$ 를 놓아 붕괴하중을 계산하면 된다.

### 암기 포인트

직사각형 단면은 $Z_p = \frac{bh^2}{4}$, 단순보 중앙집중하중은 $M_{max} = \frac{PL}{4}$ 이다. 따라서 소성붕괴하중은 $P_u = \frac{4M_p}{L} = \frac{bh^2\sigma_y}{L}$ 이다.

NoteBase

**문 16. 그림과 같은 2차원 라멘구조물에서 내부온도를 $+\Delta T$만큼 상승, 외부온도를 $-\Delta T$만큼 하강시키면 온도변화로 인해 구조물이 변형된다. 온도변화로 인한 변형을 제거하기 위해 힌지와 롤러 지점에 가해야 하는 집중모멘트 $M$의 크기는? (단, 구조물의 모든 부재는 한 변이 $a$인 정사각형 단면이며, 온도는 단면의 높이 방향으로 직선 변화하고, 열팽창계수 $\alpha_t$와 탄성계수 $E$는 일정하며, 구조물의 자중은 무시한다)**




① $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{2}$
② $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{4}$
③ $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{6}$
④ $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{12}$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 단면의 선형 온도구배가 만드는 자유곡률과 이를 상쇄하는 기계적 곡률 $M/EI$를 대응시켜 필요한 집중모멘트의 크기를 구하는 문제이다.

NoteBase

**조건 정리**

- 모든 부재의 단면은 한 변이 $a$인 정사각형이므로 단면2차모멘트는 $I = a^4/12$이고, 온도가 변하는 단면 높이 방향의 치수도 $a$이다.
- 단면 높이 방향 온도는 내부 $+\Delta T$, 외부 $-\Delta T$로 직선 변화하므로 극섬유 사이의 온도차는 $2\Delta T$이고, 이 온도차를 단면 높이 $a$로 나눈 값이 자유곡률의 크기를 결정한다.
- 내부와 외부 온도변화의 평균은 $(+\Delta T) + (-\Delta T) = 0$이므로 부재를 늘리거나 줄이는 평균 온도신장은 없고 순수한 휨(곡률)만 남는다. 따라서 상쇄에 필요한 것은 축력이 아니라 모멘트뿐이다.
- 그림의 라멘은 좌측 힌지(반력 2개)와 우측 로울러(반력 1개)로 반력이 모두 3개인 정정구조이며, 정정구조에서는 온도변화가 변형만 일으킬 뿐 부정정 해석으로 구해야 하는 여분의 내력을 만들지 않는다.
- 모든 부재가 동일한 단면과 동일한 온도구배를 받으므로 각 부재의 자유곡률 $\kappa_T$가 모두 같고, 이를 상쇄하는 데 필요한 모멘트도 부재마다 같은 하나의 값이다. 그래서 부재 길이 $h$, 경간 $2h$는 곡률 상쇄 조건에 직접 들어가지 않는다.
- 온도변화로 인한 변형을 제거한다는 뜻은 자유곡률을 같은 크기의 반대 기계적 곡률로 상쇄한다는 뜻이다.

**사용할 공식**

온도구배로 생기는 자유곡률은 $\kappa_T = \alpha_t \frac{2\Delta T}{a}$이다.
기계적 곡률은 $\kappa_M = \frac{M}{EI}$이다.
변형 제거 조건은 $\kappa_M = \kappa_T$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 전체 라멘의 강성배분을 묻는 것이 아니라, 변형을 완전히 없애기 위해 모든 점에서 곡률이 0이 되도록 만드는 상황이기 때문이다.
모든 점에서 총곡률이 0이려면 $M/EI = \kappa_T$가 전 구간에서 성립해야 하고, 이는 곧 프레임 전체에 크기 $M = EI\kappa_T$인 일정한 모멘트가 걸린다는 뜻이다.
일정한 모멘트는 양단인 두 지점에 같은 크기의 짝힘(집중모멘트)을 가하면 만들어지므로, 그림처럼 힌지와 로울러 지점에 집중모멘트 $M$을 주는 것으로 실현된다. 이때 요구되는 $M$은 각 부재의 곡률을 점마다 상쇄하는 값이어서 부재 길이와 무관하게 정해진다.

**계산 과정**

1. 자유곡률의 크기는 $\kappa_T = \alpha_t \frac{(+\Delta T) - (-\Delta T)}{a} = \alpha_t \frac{2\Delta T}{a}$이다.
2. 정사각형 단면의 단면2차모멘트는 $I = a^4/12$이다.
3. 변형을 없애려면 $\frac{M}{EI} = \alpha_t \frac{2\Delta T}{a}$이므로
$M = EI\kappa_T = E\left(\frac{a^4}{12}\right)\left(\alpha_t \frac{2\Delta T}{a}\right) = \frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{6}$
이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X
$\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{2}$는 정답보다 3배 큰 값이다. 정사각형 단면에서 $I = a^4/12$인데 이를 더 크게 잘못 잡아야 나오는 값이므로 주어진 조건과 맞지 않는다. 틀린 값 → 올바르게는 $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{6}$이다.

② X
$\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{4}$는 $M = EI\kappa_T$에 $I = a^4/12$, $\kappa_T = 2\alpha_t \Delta T/a$를 정확히 대입하면 나올 수 없는 값이다. 곡률식 대입 뒤 계수를 잘못 정리한 값에 해당한다. 틀린 값 → 올바르게는 $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{6}$이다.

③ O
온도구배에 의한 자유곡률은 $2\alpha_t \Delta T/a$이고, 이를 상쇄하는 기계적 곡률 $M/EI$를 같게 두면 $M = \alpha_t E \Delta T a^3/6$이 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X
$\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{12}$는 내부와 외부의 온도차를 $2\Delta T$가 아니라 $\Delta T$로 한 번만 본 값이다. 이 문제의 실제 극섬유 온도차는 $+\Delta T$와 $-\Delta T$의 차이인 $2\Delta T$이다. 틀린 값 → 올바르게는 $\frac{\alpha_t E \Delta T a^3}{6}$이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 라멘 형상 때문에 $h$나 $2h$가 식에 들어갈 것처럼 보이게 만든 점이다. 하지만 이 문제는 부재 길이에 따른 처짐 계산이 아니라 단면의 온도구배가 만드는 곡률 자체를 상쇄하는 문제이므로 핵심은 $2\Delta T$와 $I = a^4/12$이다. 특히 $+\Delta T$와 $-\Delta T$를 보고도 온도차를 $\Delta T$로만 잡으면 ④와 같은 오답이 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

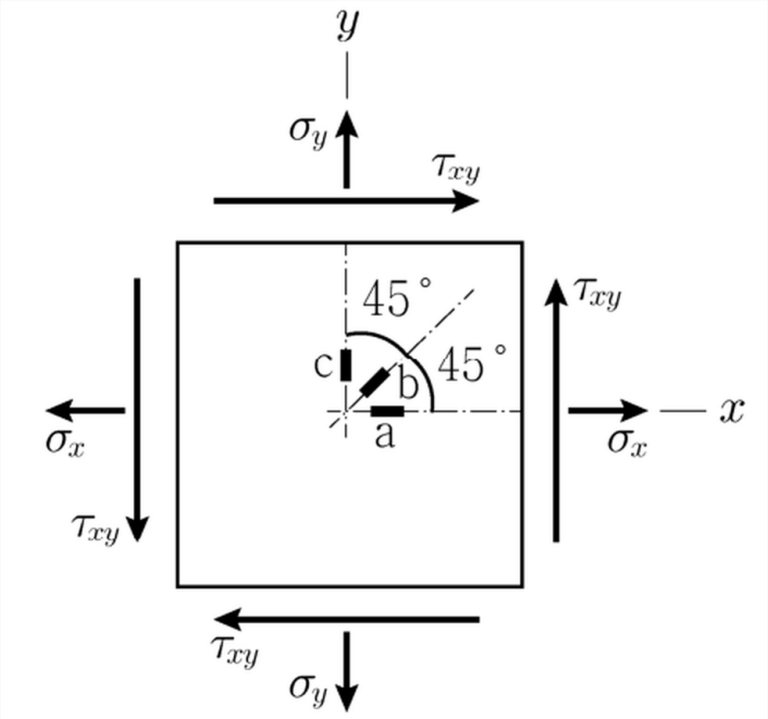
온도구배가 있는 계산형 문제는 먼저 평균온도 변화인지, 선형 온도구배인지부터 구분한다. 선형 온도구배이면 자유곡률 $\kappa_T$를 먼저 구하고, 변형 제거 조건에서는 항상 $M/EI = \kappa_T$로 연결해 판단하면 된다.

### 암기 포인트

내외면 온도가 $+\Delta T$, $-\Delta T$이면 실제 온도차는 $2\Delta T$이고, 상쇄모멘트는 $M = EI\kappa_T$이다.

NoteBase

**문 17. 그림과 같이 미소평면요소에 45° 스트레인 로제트게이지를 부착하여 $a, b, c$ 게이지에 측정한 변형률이 각각 $\varepsilon_a = 520 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_b = 360 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_c = -100 \times 10^{-6}$이다. 이 요소의 탄성계수가 $E = 200\text{GPa}$이고 포아송비 $\nu = \frac{1}{3}$일 때, 요소의 $x$면에 작용하는 전단응력 $\tau_{xy}$의 크기[MPa]는?**




① 17.5

② 20.0

③ 22.5

④ 25.0

**정답 3번**

**출제 포인트**

45° 스트레인 로제트의 변형률 관계식으로 $\gamma_{xy}$를 구하고, $\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$로 전단응력을 계산하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 $\varepsilon_a = 520 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_b = 360 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_c = -100 \times 10^{-6}$, $E = 200GPa$, $\nu = 1/3$이다.
게이지 배치는 $a \rightarrow x$방향, $c \rightarrow y$방향, $b \rightarrow 45°$방향이다.
구해야 할 값은 요소의 $x$면에 작용하는 전단응력 $\tau_{xy}$이다.

NoteBase

### 사용할 공식

45° 로제트에서는 $\varepsilon_{45} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\gamma_{xy}}{2}$이다.
또한 전단탄성계수는 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$, 전단응력은 $\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 $a$, $c$ 게이지에서 $\varepsilon_x$, $\varepsilon_y$를 직접 읽고, $b$ 게이지 값으로 $\gamma_{xy}$를 역산할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

1. $\varepsilon_x = \varepsilon_a = 520 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_y = \varepsilon_c = -100 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_{45} = \varepsilon_b = 360 \times 10^{-6}$이다.
2. $360 \times 10^{-6} = \frac{520 \times 10^{-6} + (-100 \times 10^{-6})}{2} + \frac{\gamma_{xy}}{2}$이므로 $360 \times 10^{-6} = 210 \times 10^{-6} + \frac{\gamma_{xy}}{2}$이다.
3. 따라서 $\gamma_{xy} = 300 \times 10^{-6}$이다.
4. $G = \frac{200}{2(1+1/3)} = 75GPa = 75 \times 10^3 MPa$이다.
5. $\tau_{xy} = G\gamma_{xy} = 75 \times 10^3 \times 300 \times 10^{-6} = 22.5MPa$이다.

### 선지별 해설

① X: 계산 결과 $\tau_{xy} = 22.5MPa$이므로 17.5는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "전단응력의 크기가 17.5\,MPa이다"이고, 올바르게는 "전단응력의 크기가 22.5\,MPa이다"이다.
② X: 로제트 식으로 구한 $\gamma_{xy} = 300 \times 10^{-6}$와 $G = 75GPa$를 적용하면 20.0이 아니라 22.5가 된다. 틀린 표현은 "전단응력의 크기가 20.0\,MPa이다"이고, 올바르게는 "전단응력의 크기가 22.5\,MPa이다"이다.
③ O: $\gamma_{xy} = 300 \times 10^{-6}$, $G = 75GPa$이므로 $\tau_{xy} = 22.5MPa$가 되어 정답이다.
④ X: 포아송비를 반영한 전단탄성계수 식 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$를 정확히 쓰면 25.0이 나오지 않는다. 틀린 표현은 "전단응력의 크기가 25.0\,MPa이다"이고, 올바르게는 "전단응력의 크기가 22.5\,MPa이다"이다.

### 오답 포인트

45° 게이지식에서 평균변형률 $\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2}$를 빼먹거나, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$의 괄호를 잘못 처리하면 오답이 나온다. 특히 $\varepsilon_b$를 그대로 전단변형률로 보는 실수가 자주 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

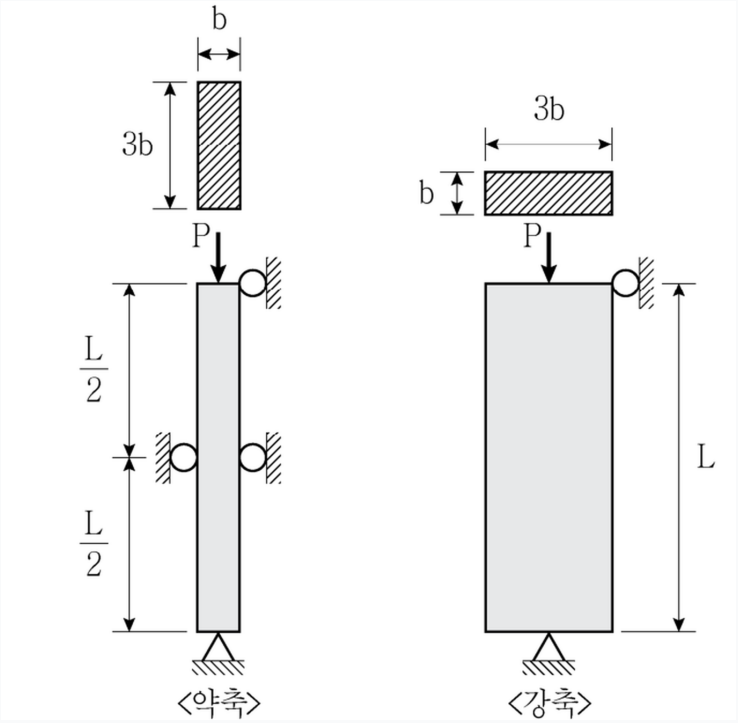
45° 스트레인 로제트 문제는 먼저 각 게이지를 $x$, $y$, $45^\circ$ 방향 변형률에 대응시키고, 다음에 로제트 식으로 $\gamma_{xy}$를 구한 뒤, 마지막으로 $\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$를 적용하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

45° 로제트는 $\gamma_{xy} = 2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_x + \varepsilon_y)$, 전단응력은 $\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$이다.

NoteBase

**문 18. 그림과 같이 직사각형 단면을 갖는 길이 $L$인 기둥이 약축에 대해서만 높이 $\frac{L}{2}$ 지점에서 횡방향 변위가 구속되어 있다. 약축과 강축에 대한 임계좌굴하중의 비 ≤ft(P_cr^약축P_cr^강축)는? (단, 기둥은 장주이고, 구조물의 자중은 무시한다)**




① $\frac{4}{25}$
② $\frac{9}{16}$
③ $\frac{1}{4}$
④ $\frac{4}{9}$

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 오일러 좌굴하중식 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$에서 약축과 강축의 단면2차모멘트 및 좌굴유효길이 차이를 함께 반영해 비를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

약축 단면2차모멘트: $I_w = \frac{3b \cdot b^3}{12} = \frac{b^4}{4}$
강축 단면2차모멘트: $I_s = \frac{b \cdot (3b)^3}{12} = \frac{9b^4}{4}$
구해야 할 값: $\frac{P_{cr,w}}{P_{cr,s}}$
주의할 조건: 강축은 전 길이 $L$에 대해 양단 핀 조건이고, 약축은 $L/2$ 지점에서 횡변위가 구속되므로 좌굴유효길이가 $L/2$이다.

NoteBase

### 사용할 공식

$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$

이 공식을 쓰는 이유는 기둥이 장주이고 자중을 무시하므로 오일러 좌굴하중으로 약축과 강축의 임계하중을 직접 비교할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

1. 약축 좌굴하중은 $P_{cr,w} = \frac{\pi^2 EI_w}{(L/2)^2} = \frac{4\pi^2 EI_w}{L^2}$이다.
2. 강축 좌굴하중은 $P_{cr,s} = \frac{\pi^2 EI_s}{L^2}$이다.
3. 따라서

$\frac{P_{cr,w}}{P_{cr,s}} = \frac{4\pi^2 EI_w/L^2}{\pi^2 EI_s/L^2} = 4 \cdot \frac{I_w}{I_s} = 4 \cdot \frac{1}{9} = \frac{4}{9}$

이므로 약축에 대한 임계좌굴하중의 비는 $\frac{4}{9}$이다.

### 선지별 해설

① X

- 선지의 비 $\frac{4}{25}$는 틀렸다. 직사각형 단면의 단면2차모멘트 비는 $I_w/I_s = 1/9$이고, 약축 유효길이 보정까지 반영한 값은 $4 \times 1/9 = 4/9$이다.
- 틀린 수치 → 올바르게는 $\frac{4}{9}$이다.

② X

- 선지의 비 $\frac{9}{16}$는 틀렸다. 약축은 중간 횡지지 때문에 유효길이가 짧아지지만, 강축보다 단면2차모멘트가 훨씬 작으므로 최종 비는 $\frac{9}{16}$이 아니라 $\frac{4}{9}$가 된다.
- 틀린 수치 → 올바르게는 $\frac{4}{9}$이다.

③ X

- 선지의 비 $\frac{1}{4}$는 틀렸다. 이 값은 약축의 중간 지지 조건 또는 단면2차모멘트 비 중 하나를 누락한 계산에서 나올 수 있다. 실제로는 $I_w/I_s = 1/9$와 유효길이 보정 4배를 함께 반영해야 한다.
- 틀린 수치 → 올바르게는 $\frac{4}{9}$이다.

④ O

- $\frac{P_{cr,w}}{P_{cr,s}} = 4 \cdot (I_w/I_s) = 4 \cdot \frac{1}{9} = \frac{4}{9}$이므로 옳다.

### 오답 포인트

약축과 강축의 단면2차모멘트 비 1/9를 먼저 잡지 못하면 중간 횡지지로 인한 4배 효과만 보거나, 반대로 지지조건만 보고 단면 강성 차이를 빼먹는 실수가 생긴다. 이 문제는 단면 강성비와 좌굴유효길이 변화를 동시에 곱해야 한다는 점이 함정이다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

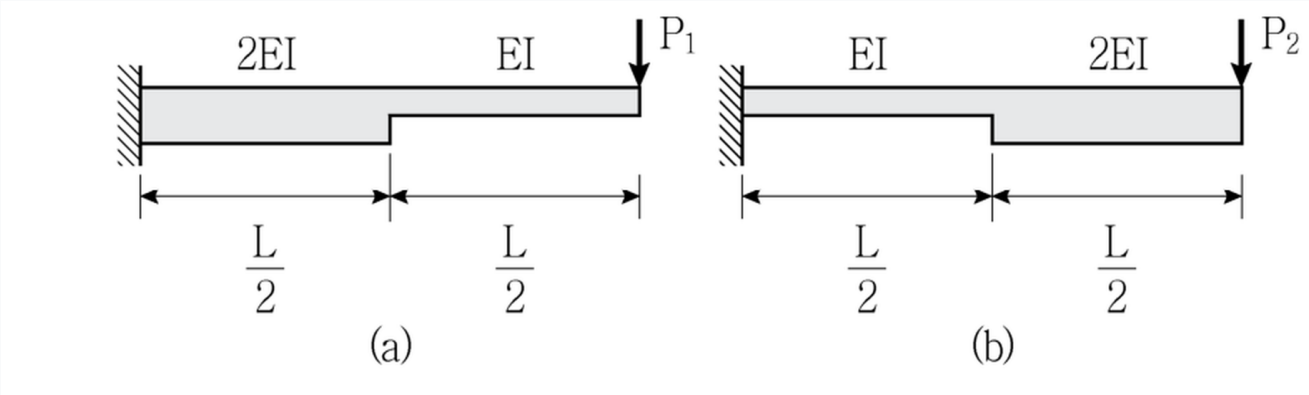
장주 좌굴비 문제는 먼저 어느 축의 단면2차모멘트를 쓰는지 정한 뒤, 각 축의 좌굴유효길이를 판단하고, 마지막에 $P_{cr} \propto I/L_e^2$ 비례식으로 정리하면 된다.

**암기 포인트**

오일러 좌굴은 $P_{cr} \propto I/L_e^2$이고, 중간 횡지지는 해당 축의 유효길이를 줄여 좌굴하중을 크게 만든다.

NoteBase

**문 19. 그림과 같이 휨강성 EI가 다른 두 외팔보 (a), (b)의 단부에 각각 수직하중 $P_1$, $P_2$가 작용할 때, 각각의 보에 저장되는 변형에너지가 같기 위한 하중비 $\frac{P_1}{P_2}$는? (단, 휨에 의한 변형에너지만을 고려하고, 보의 자중은 무시한다)**




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

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 구간별 휨강성이 다른 외팔보의 굽힘 변형에너지 $U = \int \frac{M^2}{2EI} dx$를 비교해 같은 변형에너지가 되도록 하는 하중비를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 두 보의 전체 길이는 각각 $L$이고, 끝단에 수직하중 $P_1$, $P_2$가 작용한다.
보 (a): 고정단 쪽 $L/2$ 구간의 강성은 $2EI$, 자유단 쪽 $L/2$ 구간의 강성은 $EI$이다.
보 (b): 고정단 쪽 $L/2$ 구간의 강성은 $EI$, 자유단 쪽 $L/2$ 구간의 강성은 $2EI$이다.
구해야 할 값: 두 보에 저장되는 굽힘 변형에너지가 같아질 때의 하중비 $P_1/P_2$이다.
주의할 조건: 전단에 의한 변형에너지는 무시하고, 외팔보의 끝단하중이므로 모멘트는 고정단에서 가장 크다.

### 사용할 공식

사용할 공식은 $U = \int_0^L \frac{M^2}{2EI(x)} dx$이다.
외팔보의 끝단하중 $P$에 대한 단면모멘트는 $M(x) = P(L - x)$이므로, 모멘트가 큰 고정단 쪽에 작은 강성 $EI$가 놓이면 변형에너지가 더 커진다.

NoteBase

**계산 과정**

보 (a)에서

$U_a = \frac{P_1^2}{2EI}\left[\frac{1}{2}\int_0^{L/2}(L-x)^2dx + \int_{L/2}^{L}(L-x)^2dx\right]$

구간적분은

$\int_0^{L/2}(L-x)^2dx = \frac{7L^3}{24}, \qquad \int_{L/2}^{L}(L-x)^2dx = \frac{L^3}{24}$

이므로

$U_a = \frac{P_1^2}{2EI}\left(\frac{7L^3}{48} + \frac{L^3}{24}\right) = \frac{3P_1^2L^3}{32EI}$

보 (b)에서

$U_b = \frac{P_2^2}{2EI}\left[\int_0^{L/2}(L-x)^2dx + \frac{1}{2}\int_{L/2}^{L}(L-x)^2dx\right]$

따라서

$U_b = \frac{P_2^2}{2EI}\left(\frac{7L^3}{24} + \frac{L^3}{48}\right) = \frac{5P_2^2L^3}{32EI}$

같은 변형에너지 조건 $U_a = U_b$를 대입하면

$\frac{3P_1^2L^3}{32EI} = \frac{5P_2^2L^3}{32EI}$

$3P_1^2 = 5P_2^2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \sqrt{\frac{5}{3}} = \frac{\sqrt{15}}{3}$

이다.

**선지별 해설**

① X

$\sqrt{5}/2$는 계산 결과와 다르다. 같은 변형에너지 조건에서 나오는 값은 $P_1/P_2 = \sqrt{15}/3$이다. 틀린 표현은 분모가 2라는 점이고, 올바르게는 $\sqrt{15}/3$이다.

② X

$\sqrt{10}/3$는 $3P_1^2 = 5P_2^2$에서 제곱근을 취하는 과정이 잘못된 값이다. 틀린 표현은 분자가 $\sqrt{10}$이라는 점이고, 올바르게는 $\sqrt{15}/3$이다.

③ X

$\sqrt{15}/2$는 분모를 잘못 정리한 값이다. $\sqrt{5/3}$을 유리화하면 $\sqrt{15}/3$이 되므로, 틀린 표현은 분모가 2라는 점이고 올바르게는 $\sqrt{15}/3$이다.

④ O

계산 결과 $P_1/P_2 = \sqrt{5/3} = \sqrt{15}/3$이므로 옳다. 보 (b)는 고정단 쪽 강성이 더 작아 같은 하중에서 변형에너지가 더 크게 저장되므로, 같은 에너지를 맞추려면 $P_1$이 $P_2$보다 약간 작아야 한다.

NoteBase

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 강성이 큰 $2EI$ 구간이 어디에 놓였는지만 보고 평균강성처럼 처리하는 데 있다. 변형에너지는 $M^2/EI$에 비례하므로 모멘트가 큰 고정단 근처의 강성이 더 큰 영향을 준다. 또 $3P_1^2 = 5P_2^2$에서 제곱근을 취한 뒤 분모를 2로 잘못 쓰는 실수가 자주 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

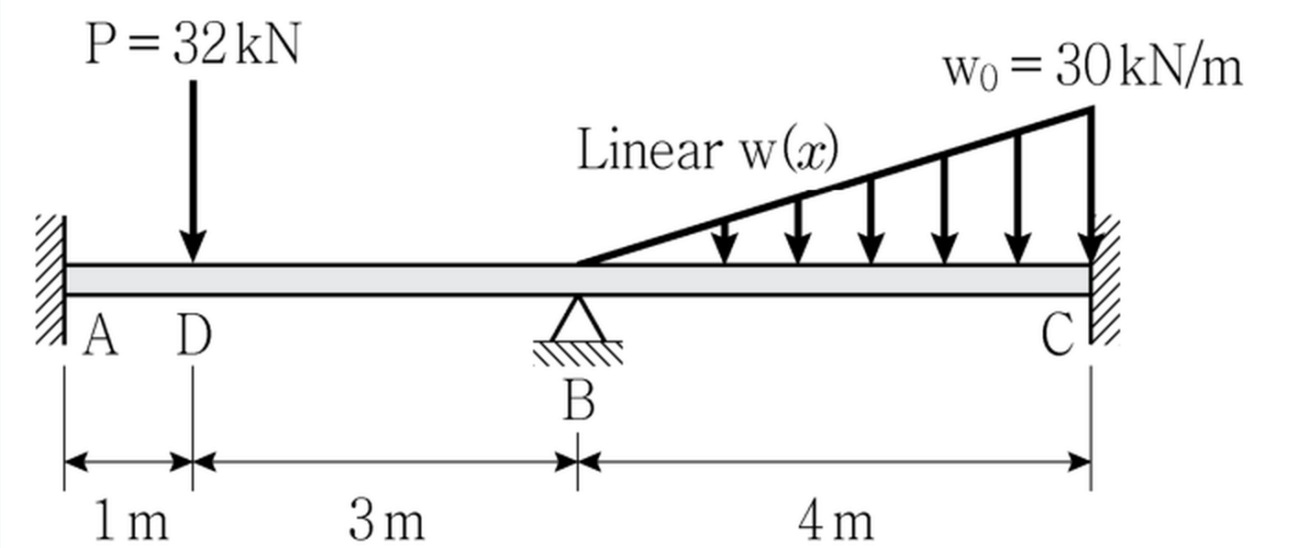
구간 강성이 다른 보의 에너지 비교 문제는 먼저 모멘트 분포를 쓰고, 다음으로 $U = \int M^2/(2EI)dx$를 구간별로 나눈 뒤, 마지막에 같은 조건을 대입해 하중비를 정리하는 순서로 판단한다. 특히 모멘트가 큰 고정단 쪽 강성이 작은 경우 변형에너지가 더 커진다는 점을 함께 본다.

### 암기 포인트

변형에너지는 평균강성이 아니라 $M^2/EI$의 구간적분으로 판단하며, 고정단 쪽 강성이 작으면 같은 하중에서 에너지가 더 크게 저장된다.

NoteBase

**문 20. 그림과 같이 양단 고정의 부정정 연속보에서 D점에 집중하중이 작용하고, BC구간에 선형변분포하중이 작용하고 있다. B점에서 불균형모멘트(Unbalanced Moment)의 크기[$kN \cdot m$]는? (단, 연속보의 휨강성 $EI$는 일정하고, 보의 자중은 무시한다)**




① 6

② 8

③ 10

④ 12

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 B절점의 불균형모멘트를 구하기 위해 각 부재의 B단 고정단모멘트를 계산하고 부호를 포함해 합산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 $AB = 4m$, $BC = 4m$, $P = 32kN$, $a = AD = 1m$, $b = DB = 3m$, $w_0 = 30kN/m$이다.
구해야 할 값은 B점의 불균형모멘트의 크기이다.
주의할 조건은 불균형모멘트가 B절점에 모이는 고정단모멘트의 대수합이라는 점과, 두 부재의 B단 모멘트 부호가 서로 반대라는 점이다.

NoteBase

### 사용할 공식

점하중이 작용하는 고정단보의 B단 고정단모멘트는 $M_{BA}=\frac{Pa^2b}{L^2}$이다.
B에서 0이고 C에서 $w_0$인 삼각분포하중이 작용하는 고정단보의 B단 고정단모멘트는 $M_{BC}=-\frac{w_0L^2}{30}$이다.
따라서 B점 불균형모멘트는 $M_B^{un}=M_{BA}+M_{BC}$로 계산한다.
이 공식을 쓰는 이유는 불균형모멘트가 절점 B에 접속한 각 부재의 고정단모멘트를 먼저 구한 뒤 그 대수합으로 정의되기 때문이다.

### 계산 과정

1. 경간 $AB$에서 점하중에 의한 B단 고정단모멘트는 $M_{BA}=\frac{Pa^2b}{L^2}=\frac{32\times1^2\times3}{4^2}=6kN\cdot m$이다.
2. 경간 $BC$에서 삼각분포하중에 의한 B단 고정단모멘트는 $M_{BC}=-\frac{w_0L^2}{30}=-\frac{30\times4^2}{30}=-16kN\cdot m$이다.
3. 따라서 B점의 불균형모멘트는 $M_B^{un}=M_{BA}+M_{BC}=6-16=-10kN\cdot m$이므로 그 크기는 $|M_B^{un}|=10kN\cdot m$이다.

### 선지 판단

1번 X: 계산 결과 불균형모멘트의 크기는 $10kN\cdot m$이므로 6은 틀리다. 6은 경간 $AB$의 B단 고정단모멘트 $M_{BA}$만 반영하고 경간 $BC$의 삼각분포하중 효과를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 불균형모멘트의 크기는 $10kN\cdot m$이다.
2번 X: 계산 결과와 비교하면 8은 틀리다. 8은 두 고정단모멘트의 부호 합산이나 삼각분포하중 계수를 잘못 적용했을 때 나오는 오답이다. 올바르게는 불균형모멘트의 크기는 $10kN\cdot m$이다.
3번 O: $M_{BA}=+6kN\cdot m$, $M_{BC}=-16kN\cdot m$이므로 대수합은 $-10kN\cdot m$이고, 그 크기는 $10kN\cdot m$이다. 따라서 3번이 옳다.
4번 X: 계산 결과와 비교하면 12는 틀리다. 12는 고정단모멘트 한쪽을 잘못 산정하거나 부호를 무시하고 차이를 잘못 계산한 경우의 오답이다. 올바르게는 불균형모멘트의 크기는 $10kN\cdot m$이다.

### 오답 포인트

불균형모멘트는 절점에서 만나는 고정단모멘트의 단순한 크기합이 아니라 부호를 포함한 대수합의 절댓값이다. 이 문제에서는 $M_{BA}=+6kN\cdot m$, $M_{BC}=-16kN\cdot m$이므로 $6+16$처럼 같은 방향으로 더하면 틀린다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

연속보 절점의 불균형모멘트 문제는 먼저 각 경간의 절점단 고정단모멘트를 공식으로 구하고, 다음에 절점에서의 부호를 맞춰 대수합을 구한 뒤 마지막에 크기를 취하는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

불균형모멘트는 절점 고정단모멘트의 대수합이고, 정답은 그 절댓값이다.

NoteBase