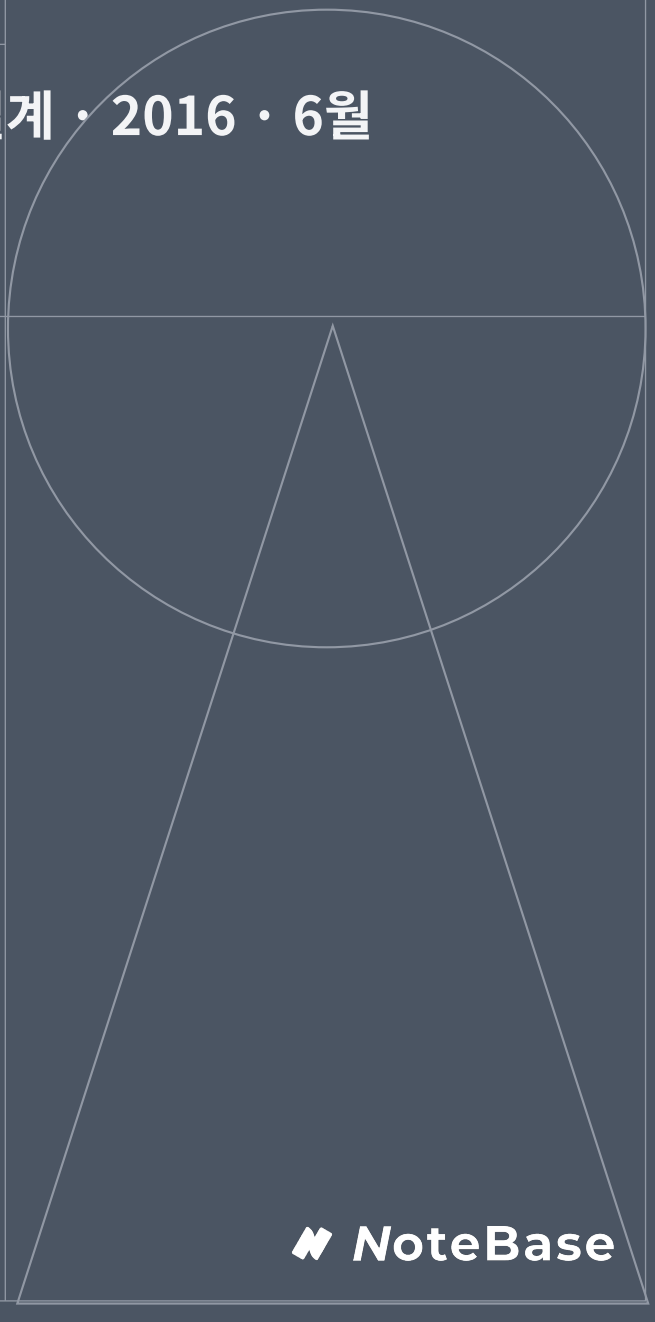
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 토목설계 · 2016 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 토목설계 · 2016 · 6월

공무원/서울시/9급 · 토목설계 · 2016 · 6월

문 1. 설계기준압축강도가 40MPa이고, 현장에서 배합강도 결정을 위한 연속된 시험횟수가 30회 이상인 콘크리트 배합강도는? (단, 표준공시체의 압축강도 표준편차는 5MPa이고, 콘크리트 구조기준(2012)을 적용한다.)

① 46.70MPa

② 47.65MPa

③ 48.15MPa

④ 51.65MPa

정답 2번

간단한 해설

설계기준압축강도가 **35 MPa를 초과**하므로 이에 해당하는 두 식을 적용한다. 계산값 46.70 MPa와 47.65 MPa 중 **큰 값인 47.65 MPa**를 배합강도로 정한다.

NoteBase

계산 과정

배합강도 f_{cr}는 현장 콘크리트의 강도 변동을 고려하여 배합의 목표로 정하는 압축강도이다. 설계기준압축강도 f_{ck}보다 여유 있게 정하며, 이 문제에서는 $f_{ck} = 40\text{MPa}$, 압축강도의 표준편차 $s = 5\text{MPa}$이다.

적용 조건: 연속된 시험횟수가 **30회 이상**이므로 주어진 표준편차를 시험횟수에 따른 보정 없이 사용한다. 콘크리트 구조기준(2012)에서 설계기준압축강도가 **35 MPa를 초과**하면 $f_{ck} + 1.34s$와 $0.9f_{ck} + 2.33s$를 각각 계산하여 두 조건을 모두 만족하는 큰 값을 택한다.

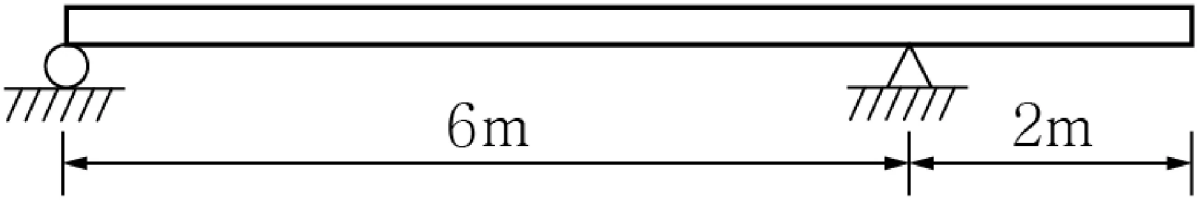
첫 번째 식: $f_{ck} + 1.34s$에 대입하면 $40 + 1.34 \times 5 = 46.70$ MPa이다. 이는 설계기준압축강도에 표준편차의 1.34배인 6.70 MPa의 여유를 더한 값이다.

두 번째 식: $0.9f_{ck} + 2.33s$에 대입하면 $0.9 \times 40 + 2.33 \times 5 = 36 + 11.65 = 47.65$ MPa이다. 설계기준압축강도의 90%인 36 MPa에 표준편차의 2.33배를 더한 값이다.

값의 결정: 두 식은 동시에 충족해야 하므로 **평균이 아니라 큰 값**을 사용한다. 47.65 MPa가 46.70 MPa보다 크므로 배합강도는 47.65 MPa이며, 선택지 ②에 해당한다.

NoteBase

문 2. 다음 그림과 같은 큰 처짐에 의하여 손상되기 쉬운 칸막이벽이나 기타 구조물을 지지 또는 부착하지 않은 연속부재에서, 처짐을 계산하지 않는 경우의 1방향 슬래브의 최소 두께는? (단, 보통중량 콘크리트를 사용하고, 슬래브의 두께는 일정하며, $f_y = 400\text{MPa}$, 콘크리트 구조기준(2012)을 적용한다.)



① 200mm

② 230mm

③ 250mm

④ 280mm

정답 3번

간단한 해설

6 m 경간은 오른쪽 지점 너머로 슬래브가 이어지는 **1단 연속**이므로 최소 두께가 6000/24 = 250mm이다. 2 m 캔틸레버의 요구 두께 200 mm보다 크므로, 일정한 슬래브 두께는 **250 mm** 이상이어야 한다.

계산 과정

적용 조건: 콘크리트 구조기준(2012) 표 4.3.1은 큰 처짐으로 손상되기 쉬운 칸막이벽이나 기타 구조물을 지지 또는 부착하지 않은 1방향 슬래브에 대해, 처짐을 계산하지 않을 때의 최소 두께를 정한다. 문제는 보통중량 콘크리트와 $f_y = 400\text{MPa}$인 철근을 사용하므로 표의 값을 보정 없이 적용한다. 여기서 h는 슬래브 두께, l은 검토하는 구간의 길이이다.

6 m 경간: 왼쪽 지점에서는 슬래브가 끝나지만, 오른쪽 지점에서는 돌출부로 이어지므로 **1단 연속**에 해당한다. 이때 최소 두께는 $h \geq \frac{l}{24}$이다. 경간 6 m를 6000 mm로 바꾸어 대입하면 $h \geq \frac{6000}{24} = 250\text{mm}$이다.

2 m 돌출부: 오른쪽 지점에서 자유단까지의 구간은 **캔틸레버**이므로 최소 두께는 $h \geq \frac{l}{10}$이다. 돌출길이 2 m를 2000 mm로 바꾸어 대입하면 $h \geq \frac{2000}{10} = 200\text{mm}$이다.

두께 결정: 슬래브 두께가 일정하므로 두 구간의 요구 두께를 **모두 만족하는 큰 값**을 택한다. 따라서 최소 두께는 250 mm이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 3. 600mm^{2}의 PSC 강선을 단면 도심축에 배치한 단면 200mm×300mm인 프리텐션 PSC 부재가 있다. 초기 프리스트레스가 1,000MPa일 때 콘크리트의 탄성변형에 의한 프리스트레스 감소량은? (단, 철근과 콘크리트의 탄성계수비 n = $\frac{E_s}{E_c}$ = 6, 긴장재의 단면적은 무시하고, 부재의 총단면적을 사용한다.)

① 40MPa

② 50MPa

③ 60MPa

④ 70MPa

정답 3번

간단한 해설

도심축 배치이므로 콘크리트 압축응력은 10 MPa이며, 프리텐션 부재의 탄성단축 손실은 **이 응력에 탄성계수비를 곱한 값**이다. 강선의 응력 감소량은 6 × 10 = 60 MPa이다.

계산 과정

탄성단축 손실의 원리: 프리텐션 부재에서 긴장력을 콘크리트에 전달하면 콘크리트가 압축되어 짧아지고, 부착된 강선도 함께 짧아져 인장응력이 감소한다. 강선과 콘크리트의 **축방향 변형률 감소량이 같으므로**, 강선의 응력 감소량은 $\Delta f_s = E_s\frac{f_c}{E_c} = nf_c$이다. 여기서 f_c는 강선 위치의 콘크리트 압축응력이고, $n = E_s/E_c = 6$이다.

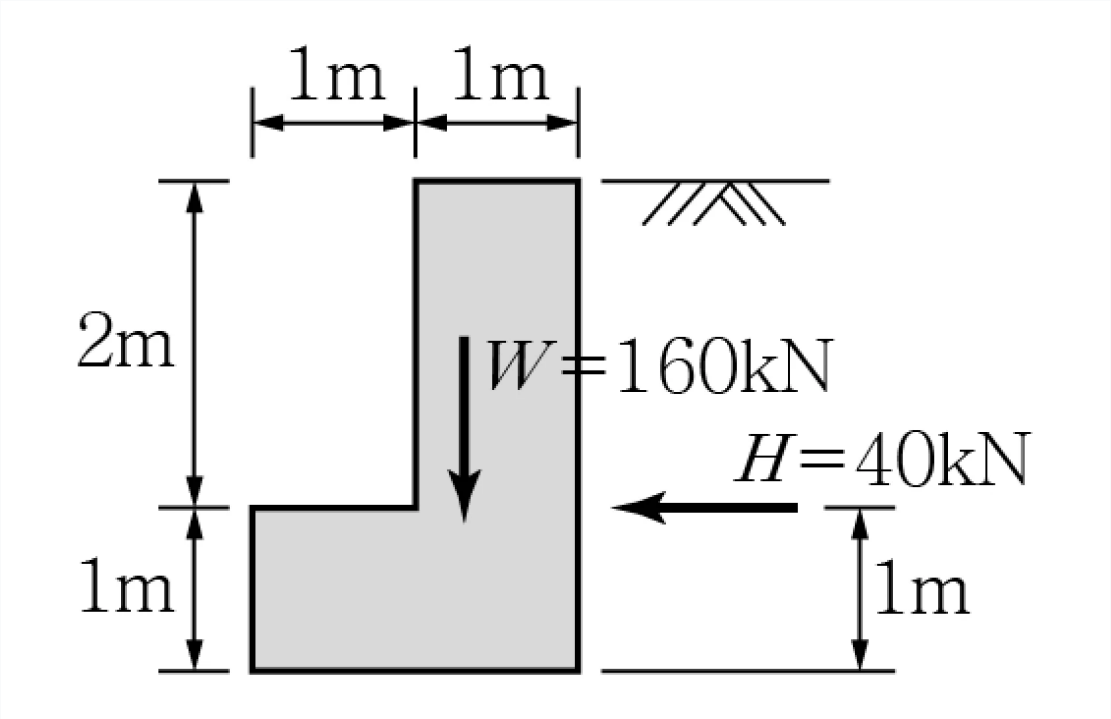
초기 긴장력과 단면적: 강선 단면적을 A_s, 초기 강선 응력을 f_{si}라 하면 초기 긴장력은 $P_i = A_s f_{si}$이다. 1 MPa = 1 N/mm^{2}이므로 $P_i = 600 \times 1{,}000 = 600{,}000$N이다. 콘크리트 응력 계산에는 문제에서 지정한 총단면적 $A_c = 200 \times 300 = 60{,}000$mm^{2}을 사용한다. **강선 단면적을 무시한다는 조건은 콘크리트 단면적 계산에 적용**하며, 긴장력을 구할 때의 강선 단면적 600 mm^{2}는 그대로 사용한다.

콘크리트 압축응력: 강선이 **단면 도심축에 배치되어 편심이 없으므로** 프리스트레스에 의한 휨응력 없이 축압축응력만 계산한다. 따라서 $f_c = \frac{P_i}{A_c} = \frac{600{,}000}{60{,}000} = 10$MPa이다. 이 값은 콘크리트에 생기는 압축응력이며, 강선의 응력 감소량과는 구별한다.

강선의 응력 감소량: 탄성계수비를 적용하면 $\Delta f_s = nf_c = 6 \times 10 = 60$MPa이다. 구하는 값은 탄성변형에 따른 강선의 응력 감소량이므로 ③의 60 MPa에 해당한다.

NoteBase

문 4. 다음 그림과 같은 중력식 옹벽에서 전도에 대한 안전율과 활동에 대한 안전율은? (단, 옹벽의 무게 W 및 수평력 H는 단위폭당 값이고, 옹벽의 뒷판 마찰은 무시하며, 옹벽의 저판 콘크리트와 흙 사이의 마찰계수는 0.4이다.)



① 전도에 대한 안전율=5, 활동에 대한 안전율=1.8

② 전도에 대한 안전율=4, 활동에 대한 안전율=1.8

③ 전도에 대한 안전율=5, 활동에 대한 안전율=1.6

④ 전도에 대한 안전율=4, 활동에 대한 안전율=1.6

정답 3번

간단한 해설

옹벽 자중이 만드는 **전도 저항모멘트는 200 kN·m**이고, 수평력이 만드는 전도모멘트는 40 kN·m이므로 전도 안전율은 5이다. 활동을 막는 **바닥 마찰저항은 64 kN**이므로 수평력 40 kN에 대한 활동 안전율은 1.6이다.

NoteBase

계산 과정

조건 확인: 단위폭에 대해 옹벽의 무게 W = 160 kN, 왼쪽으로 작용하는 수평력 H = 40 kN, 저판과 흙 사이의 마찰계수 μ = 0.4를 사용한다. 수평력의 작용 높이는 저판 바닥에서 1 m이다. 뒷판 마찰을 무시하므로 수직방향 하중은 옹벽 자중이며, 저판의 수직반력 N = 160 kN이다.

자중의 모멘트 계산: 수평력이 옹벽을 왼쪽으로 넘어뜨리려 하므로 **저판의 왼쪽 아래 끝을 전도 기준점**으로 잡는다. 단면을 폭 2 m·높이 1 m인 아래 직사각형과 폭 1 m·높이 2 m인 위 직사각형으로 나눈다. 같은 콘크리트로 된 두 부분의 단면적은 각각 2 m^2이므로 무게도 각각 80 kN이다. 각 부분의 중심은 기준점에서 수평으로 1 m, 1.5 m 떨어져 있다. 따라서 자중에 의한 저항모멘트는 80 × 1 + 80 × 1.5 = 200 kN·m이다.

전도 안전율: 전도 안전율은 저항모멘트를 전도모멘트로 나눈 값이다. 수평력에 의한 전도모멘트는 40 × 1 = 40 kN·m이므로 F_전도=(200)/(40)=5이다.

활동 안전율: 바닥을 따라 미끄러지게 하는 힘은 H이고, 이를 막는 힘은 **저판의 마찰저항 μN**이다. 마찰저항은 0.4 × 160 = 64 kN이므로 F_활동=(μ N)/(H)=(64)/(40)=1.6이다. 두 안전율은 힘 또는 모멘트끼리의 비이므로 단위가 없다.

전도 안전율 5, 활동 안전율 1.6의 조합은 ③과 일치한다.

NoteBase

문 5. 콘크리트 구조기준(2012)에서 규정된 슬래브에 대한 설명 중 옳은 것을 모두 고르면?

㉠ 1방향 슬래브에서는 정모멘트 철근 및 부모멘트 철근에 직각방향으로 수축·온도철근을 배치하여야 한다.
㉡ 슬래브의 단변방향 보의 상부에 부모멘트로 인해 발생하는 균열을 방지하기 위하여 슬래브의 장변방향으로 슬래브 상부에 철근을 배치하여야 한다.
㉢ 이형철근 및 용접철망의 수축·온도철근비는 어떤 경우에도 0.0014 이상이어야 한다.
㉣ 활하중에 의한 경간 중앙의 부모멘트는 산정된 값의 $\frac{1}{4}$만 취할 수 있다.
㉤ 2방향 슬래브의 최소 두께는 지판이 없을 때는 100mm 이상, 지판이 있을 때는 120mm 이상이다.

① ㉠, ㉡, ㉢
② ㉠, ㉡, ㉤
③ ㉡, ㉢, ㉣
④ ㉢, ㉣, ㉤

정답 1번

간단한 해설

철근콘크리트 보와 일체로 만든 연속 슬래브에서 활하중에 의한 경간 중앙의 부모멘트는 산정값의 **1/2만 취할 수 있다**. ㉣의 1/4은 기준에서 허용한 비율보다 작다.

NoteBase

보기별 해설

㉠ O: 10.2.3(3)에 따라 1방향 슬래브의 수축·온도철근은 **정모멘트 철근 및 부모멘트 철근에 직각방향**으로 배치한다. 휨철근과 직교하는 방향에서도 건조수축과 온도변화에 따른 균열을 제어하기 위한 배근이다.

㉡ O: 10.2.3(5)에 따라 단변방향 보의 상부에는 슬래브의 **장변방향으로 상부 철근**을 배치한다. 부모멘트가 작용하면 슬래브 상부에 인장이 생기므로, 그 인장에 저항하도록 보를 가로지르는 방향에 철근을 둔다.

㉢ O: 5.7.2(1)은 이형철근 및 용접철망의 수축·온도철근비에 **0.0014의 하한**을 둔다. 이 철근비는 콘크리트 전체 단면적에 대한 수축·온도철근 단면적의 비이다. 철근의 설계기준항복강도에 따라 필요한 철근비를 정하더라도 이 하한을 적용한다.

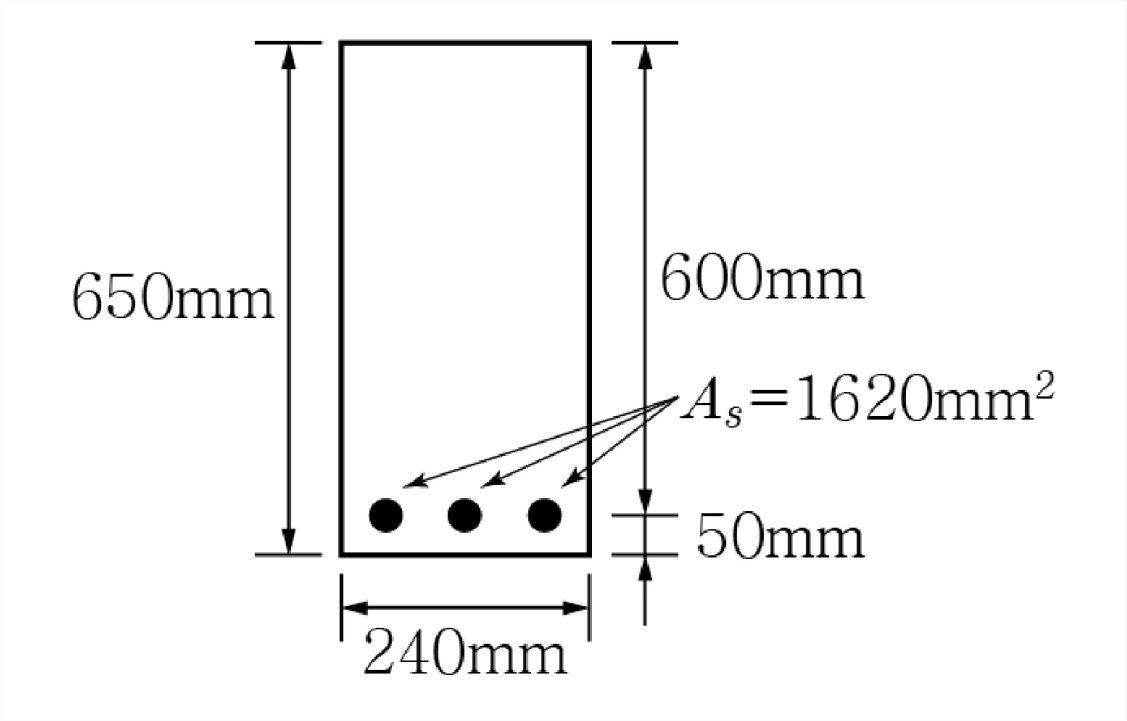
㉣ X: 10.2.2(1)①에 따라 철근콘크리트 보와 일체로 만든 연속 슬래브를 연속보로 가정하여 해석할 때, 활하중에 의한 경간 중앙의 부모멘트는 산정값의 **1/2만 취할 수 있다**. 따라서 보기의 1/4은 1/2로 고쳐야 한다.

㉤ X: 4.3.2(2)에 따르면 테두리보를 제외한 주변 보가 없거나 보의 강성비가 0.2 이하인 2방향 슬래브의 최소 두께는 **지판이 없으면 120 mm, 있으면 100 mm** 이상이다. 보기에서는 두 값을 서로 바꾸었다. 이 수치만 만족하면 되는 것은 아니며, 경간과 철근의 설계기준항복강도 등에 따른 표 4.3.3의 최소 두께도 충족해야 한다.

옳은 보기는 ㉠, ㉡, ㉢이며, 이 조합은 ①에 해당한다.

NoteBase

문 6. 다음 그림과 같은 단철근 직사각형 철근콘크리트보(축력이 없는 띠철근 휨부재)에 대한 설계휨강도 M_d를 계산할 때, 강도감소계수 ø의 값은?(단, f_{ck} = 27MPa, f_y = 400MPa, 콘크리트 구조기준(2012)을 적용한다.)



① 0.65

② 0.70

③ 0.78

④ 0.85

정답 4번

간단한 해설

최외단 인장철근의 순인장변형률이 약 0.0100으로, 2012년 기준의 인장지배 한계인 0.005 이상이다. 따라서 이 보는 **인장지배단면**이며 강도감소계수는 0.85를 적용한다.

NoteBase

계산 과정

단면 조건: 설계휨강도는 $M_d = \phi M_n$이며, 강도감소계수는 공칭강도에 도달할 때의 최외단 인장철근 변형률로 결정한다. 그림에서 폭 b = 240 mm, 전체 높이 h = 650 mm, 인장철근 전체 단면적은 $A_s = 1{,}620\ \text{mm}^2$이다. **유효깊이는 압축연단부터 인장철근 중심까지의 거리**이므로 d = 650 − 50 = 600 mm이다.

등가 압축응력블록 깊이 a: 축력이 없으므로 콘크리트 압축력과 철근 인장력이 같아야 한다. 인장철근이 항복한다고 두면 $0.85 f_{ck} b a = A_s f_y$이다. 따라서 $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b}$이고, $a = \frac{1{,}620 \cdot 400}{0.85 \cdot 27 \cdot 240} \approx 117.65\ \text{mm}$이다. MPa는 N/mm^2이므로 이 계산의 길이 단위는 mm이다.

중립축 깊이 c: 2012년 기준에서 콘크리트 압축강도가 28 MPa 이하이면 등가 압축응력블록 계수는 $\beta_1 = 0.85$이다. 등가 응력블록 깊이와 실제 중립축 깊이의 관계는 $a = \beta_1 c$이므로, $c = \frac{117.65}{0.85} \approx 138.41\ \text{mm}$이다. **a와 c는 서로 다른 깊이**이므로 변형률 계산에는 c를 사용한다.

인장철근 변형률: 콘크리트 압축연단의 극한변형률을 0.003으로 두고, 단면의 변형률이 중립축으로부터의 거리에 비례한다는 조건을 적용한다. 철근까지의 거리는 d − c이므로 $\varepsilon_t = 0.003 \frac{d - c}{c}$이다. 수치를 대입하면 $\varepsilon_t = 0.003 \frac{600 - 138.41}{138.41} \approx 0.0100$이다. 변형률은 무차원이며, 이 값은 철근이 항복한다는 앞의 가정과도 일치한다.

강도감소계수 적용: 철근 항복강도가 400 MPa인 이 단면은 _t≥0.005이므로 **인장지배단면**이다. 콘크리트 구조기준(2012)의 3.3.3(2)에 따라 인장지배단면의 강도감소계수는 0.85이며, 이는 ④의 값과 일치한다. 띠철근 부재의 0.65는 압축지배단면에 적용하는 값이므로, 띠철근이라는 조건만으로 선택하지 않는다.

NoteBase

문 7. 콘크리트 구조기준(2012)에서 규정된 인장지배단면에 대하여 c/d_t의 최댓값은? (단, 압축연단에서 중립축까지 거리는 c, 최외단 인장철근의 깊이는 d_t, $f_y = 400$이다.)

① 0.300

② 0.325

③ 0.350

④ 0.375

정답 4번

간단한 해설

인장지배단면은 압축연단의 콘크리트 변형률이 0.003에 도달할 때 최외단 인장철근의 **순인장변형률이 0.005 이상**인 단면이다. 변형률의 직선 분포를 적용하면 중립축 깊이비 c/d_t의 최댓값은 0.375이다.

계산 과정

1. 인장지배 조건: 콘크리트 구조기준(2012) 6.2.2(4)에 따르면, 압축연단의 극한변형률은 $\varepsilon_{cu} = 0.003$이고 인장지배단면은 최외단 인장철근의 순인장변형률이 인장지배변형률 한계 이상인 단면이다. 주어진 $f_y = 400$ MPa에서는 $\varepsilon_t \geq 0.005$를 적용한다.

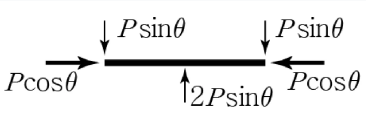
2. 변형률과 중립축 깊이의 관계: 평면유지 가정에 따라 단면의 변형률은 깊이 방향으로 직선 분포하며 중립축에서 0이다. 압축연단에서 중립축까지의 거리는 c, 중립축에서 최외단 인장철근까지의 거리는 $d_t - c$ 이므로, 변형률 크기의 비는 $\frac{\varepsilon_t}{0.003} = \frac{d_t - c}{c}$이다. 이를 정리하면 $\frac{c}{d_t} = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_t}$이다.

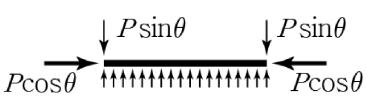
3. 최댓값 계산: 위 식에서 인장변형률이 작을수록 중립축 깊이비가 커진다. 따라서 인장지배 조건을 만족하는 **최소 인장변형률 0.005**를 대입한다. $\frac{c}{d_t} \leq \frac{0.003}{0.003 + 0.005} = 0.375$이므로 최댓값은 0.375이며, ④의 값과 일치한다. 두 길이의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 8. 다음 그림과 같은 PSC 부재의 등가하중으로 옳은 것은?



① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

간단한 해설

편심거리 e만큼 떨어진 압축력 P를 중심축으로 옮기면 **같은 압축력 P와 모멘트 Pe**로 나타낸다. 긴장재가 수평 직선이므로 별도의 수직 집중하중이나 분포하중은 생기지 않는다.

NoteBase

도식 해설

그림에서 압축력 P의 작용선은 부재의 중심축보다 e만큼 아래에 있고, 부재 전체에서 수평 직선을 이룬다. e는 힘의 작용선과 중심축 사이의 수직거리인 편심거리이다.

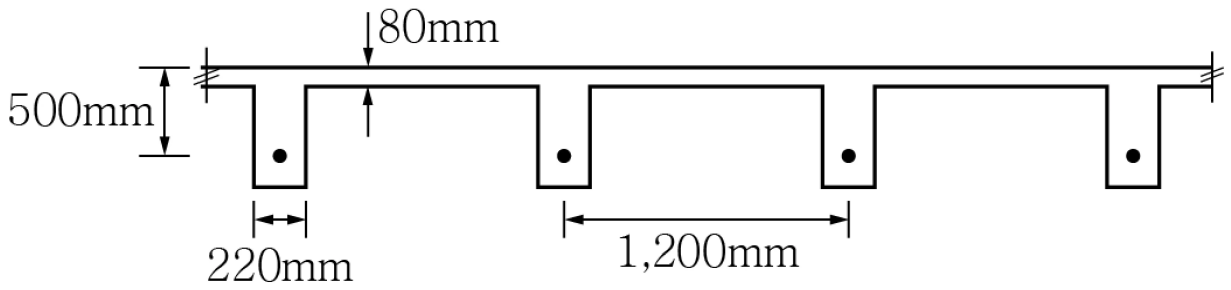
편심 압축력을 중심축으로 옮길 때는 **원래의 회전 효과를 보존하는 모멘트**를 함께 가해야 한다. 힘의 크기와 방향은 그대로 두고, 각 단부에 크기가 $M = P \cdot e$인 모멘트를 추가한다. 중심축 아래에서 왼쪽의 P는 오른쪽으로 작용하므로 왼쪽 단부 모멘트는 반시계방향이고, 오른쪽의 P는 왼쪽으로 작용하므로 오른쪽 단부 모멘트는 시계방향이다.

긴장재가 꺾이거나 휘어지면 그 방향 변화에 따라 콘크리트에 수직하중이 작용할 수 있다. 그러나 이 그림은 **수평 직선 긴장재**이므로 수직 성분과 방향 변화에 따른 수직하중이 없다. 따라서 ①의 중앙 상향 집중하중과 양 끝 하향 성분, ②의 상향 분포하중과 양 끝 하향 성분은 주어진 형상에 맞지 않는다. ④의 상향 분포하중도 필요하지 않다.

등가하중은 양 끝에서 부재 안쪽을 향하는 압축력 P와 서로 반대 회전방향의 단부 모멘트 Pe만으로 구성된다. 이를 나타낸 도식이 ③이다.

NoteBase

문 9. 다음 그림과 같은 경간이 7.2m인 연속 대칭 T형보에서 플랜지 유효폭은? (단, 콘크리트 구조기준(2012)을 적용한다.)



① 1,200mm

② 1,500mm

③ 1,800mm

④ 2,100mm

정답 1번

간단한 해설

대칭 T형보의 플랜지 유효폭은 두께·보 간격·경간에 따른 제한값 중 **가장 작은 값**으로 정한다. 이 문제에서는 보 중심 간격에 따른 1,200mm가 나머지 제한값인 1,500mm와 1,800mm보다 작다.

계산 과정

플랜지 유효폭은 휨저항에 참여하는 슬래브의 폭을 설계상 인정한 값이다. 콘크리트 구조기준(2012) 3.4.10에 따라 슬래브와 보를 일체로 친 대칭 T형보는 세 가지 폭 제한을 모두 만족해야 한다. 그림에서 플랜지 두께 h_f는 80mm, 복부 폭 b_w는 220mm, 인접 보의 중심 간격은 1,200mm이다. 보의 경간 l은 7.2m = 7,200mm이다.

플랜지 두께에 따른 제한: **복부 양쪽에 플랜지 두께의 8배씩**을 더한다. 제한폭은 $b_w + 16h_f$이므로 $220 + 16 \times 80 = 1{,}500$mm이다. 한쪽의 내민 폭과 복부를 포함한 전체 유효폭을 구분해야 한다.

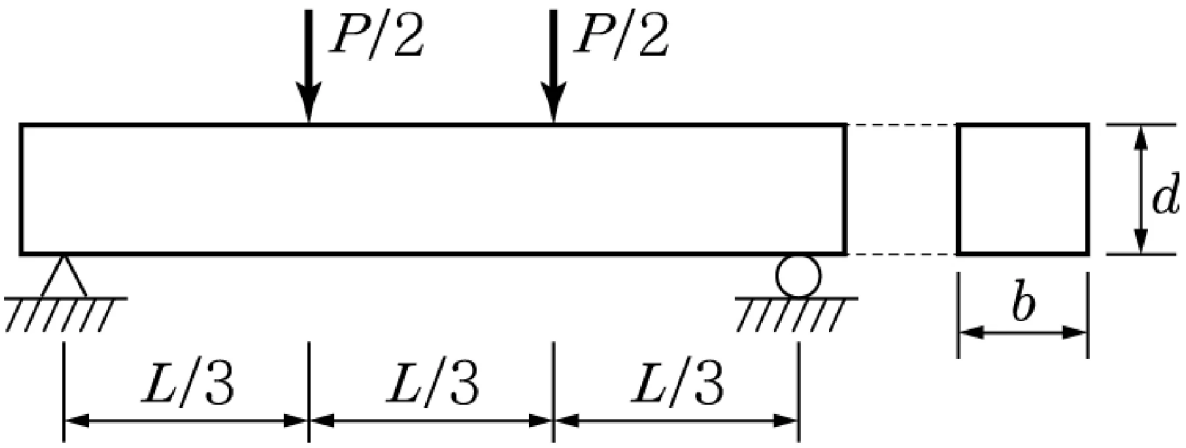
보 간격에 따른 제한: 반복되는 대칭 T형보에서는 양옆 보와의 사이에 있는 슬래브 중심선까지를 고려한다. 그림과 같이 보가 같은 간격으로 배치되면 이 폭은 **인접 보의 중심 간격**과 같으므로 1,200mm이다.

경간에 따른 제한: 보 경간의 1/4을 적용한다. 따라서 $\frac{l}{4} = \frac{7{,}200}{4} = 1{,}800$mm이다.

세 제한값 1,500mm, 1,200mm, 1,800mm 중 가장 작은 값은 1,200mm이다. 따라서 플랜지 유효폭은 1,200mm이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 10. 다음 그림과 같은 직사각형 무근 콘크리트보를 사용하여 3등분점 하중법(third-point loading)에 의해서 보가 파괴될 때까지 하중을 작용시켜서 휨 강도를 측정할 때, 바닥에서의 최대 인장응력에 해당되는 파괴계수 f_r은?



① $\frac{PL}{bd}$
② $\frac{PL}{bd^2}$
③ $\frac{PL}{bd^3}$
④ $\frac{PL}{bd^4}$

정답 2번

간단한 해설

그림에서 **두 집중하중의 합은 P**이다. 두 하중 사이의 최대 휨모멘트를 직사각형 단면계수로 나누면, 파괴 시 바닥의 최대 인장응력은 $f_r = \frac{PL}{bd^2}$이다.

NoteBase

계산 과정

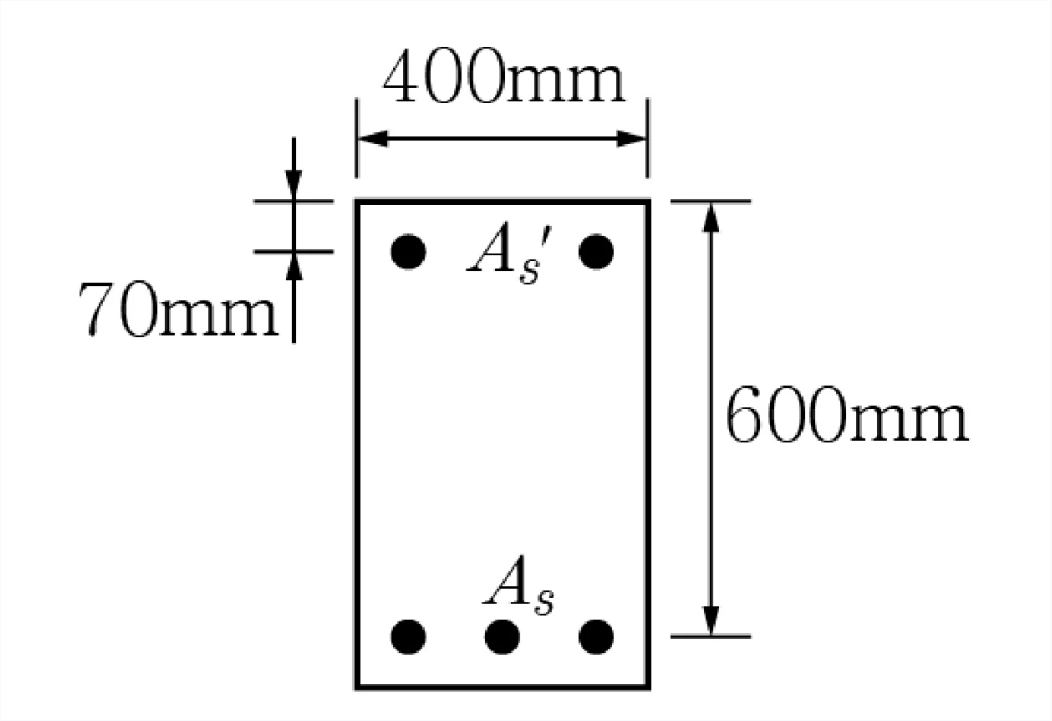
1. 하중과 최대 휨모멘트: P는 파괴 시 작용하는 전체 하중, L은 지점 사이 거리, b는 단면 폭, d는 단면 전체 높이이다. 두 3등분점에 각각 $\frac{P}{2}$가 작용하므로 대칭에 의해 양쪽 지점반력도 각각 $\frac{P}{2}$이다. 두 하중 사이에서는 전단력이 0이어서 **휨모멘트가 최대값으로 일정**하다. 따라서 $M_{\max} = \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{3} = \frac{PL}{6}$이다.

2. 직사각형 단면계수: 단면 중심을 지나는 수평 중립축에 대한 단면2차모멘트는 $I = \frac{bd^3}{12}$이고, 중립축에서 바닥까지 거리는 $c = \frac{d}{2}$이다. 단면계수는 $Z = \frac{I}{c} = \frac{bd^2}{6}$이다. 여기서 d는 철근 위치까지의 유효깊이가 아니라 **무근 콘크리트 단면의 전체 높이**이다.

3. 파괴계수: 아래로 작용하는 하중에 의해 보가 처지면 바닥에 인장응력이 생긴다. 파괴계수는 파괴하중에서 탄성 휨응력식으로 산정한 최대 인장응력이므로 $f_r = \frac{M_{\max}}{Z}$이다. 앞의 휨모멘트와 단면계수를 대입하면 $f_r = \frac{PL}{6} \cdot \frac{6}{bd^2} = \frac{PL}{bd^2}$이며, ②의 식과 일치한다. P를 N, L·b·d를 mm로 넣으면 응력 단위는 $\mathrm{N/mm^2}$, 즉 MPa이다.

NoteBase

문 11. 다음 그림은 지속하중을 받는 복 철근보의 단면이다. 이 보의 장기처짐을 구하고자 할 때 지속하중 재하기간이 7년이라면 장기처짐 계수 λ는? (단, A_s=2,400mm^2, A'_s=1,200mm^2, 콘크리트 구조기준(2012)을 적용한다.)



① 0.7

② 1.0

③ 1.3

④ 1.6

정답 4번

간단한 해설

재하기간 7년에는 **5년 이상에 해당하는 시간경과계수 2.0**을 적용한다. 압축철근비가 0.005이므로 장기처짐 계수는 $\lambda = \frac{2.0}{1+50\cdot 0.005} = 1.6$이다.

NoteBase

계산 과정

적용식: 콘크리트 구조기준(2012)의 식 (4.3.4)에 따라, 지속하중의 순간처짐에 곱하여 크리프와 건조수축에 의한 추가 장기처짐을 구하는 계수는 $\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'}$이다. 여기서 ξ는 지속하중의 재하기간에 따른 시간경과계수이고, ρ'는 압축철근비이다.

시간경과계수: 지속하중 재하기간이 **5년 이상이면** $\xi = 2.0$을 적용한다. 이 문제의 7년은 이 구간에 해당한다.

압축철근비: 그림에서 단면 폭 b는 400 mm이고, 압축측 상단에서 인장철근 중심까지의 **유효깊이 d는 600 mm**이다. 상단에서 압축철근 중심까지의 거리 70 mm를 여기서 빼지 않는다. 압축철근비는 인장철근 면적이 아니라 압축철근 면적 A'_s를 사용하여 구한다.
$\rho' = \frac{A'_s}{bd} = \frac{1200}{400 \cdot 600} = 0.005$

장기처짐 계수: 구한 압축철근비를 대입하면 $1 + 50\rho' = 1.25$이다. 따라서 $\lambda = \frac{2.0}{1.25} = 1.6$이며, 이는 지속하중에 의한 순간처짐의 1.6배만큼 추가 장기처짐을 산정한다는 뜻이다. 계수는 무차원이며, 계산값 1.6은 ④에 해당한다.

NoteBase

문 12. 도로교 설계기준(2012)에 규정된 용접연결에 대한 설명 중 가장 옳지 않은 것은?

① 용접축에 평행한 압축이나 인장에 대한 필릿용접의 설계강도는 모재의 설계강도를 사용한다.

② 그루브용접과 필릿용접에는 매칭 용접금속을 사용하여야 한다.

③ 두께가 6mm 이상인 부재의 필릿용접 치수는 계약서에 용접을 전체 목두께만큼 육성하도록 명시되지 않는 한 그 부재 두께보다 2mm 큰 값으로 한다.

④ 필릿용접의 최소유효길이는 용접치수의 4배, 그리고 어떤 경우에도 40mm보다 길어야 한다.

정답 3번

간단한 해설

③의 '부재 두께보다 2 mm 큰 값'은 **2 mm 작은 값**으로 고쳐야 한다. 두께가 6 mm 이상인 부재의 연단 필릿용접에 적용하는 최대치수 제한이며, 계약서에 전체 목두께만큼 육성하도록 명시된 경우는 제외한다.

선지별 해설

① O: 도로교 설계기준 6.13.3.2(4)①은 필릿용접에 용접축과 나란한 인장·압축이 작용할 때 **모재의 설계강도**를 적용하도록 한다. 모재는 용접으로 연결하는 원래의 부재이며, 이 경우에는 용접금속의 전단강도를 기준으로 판단하지 않는다.

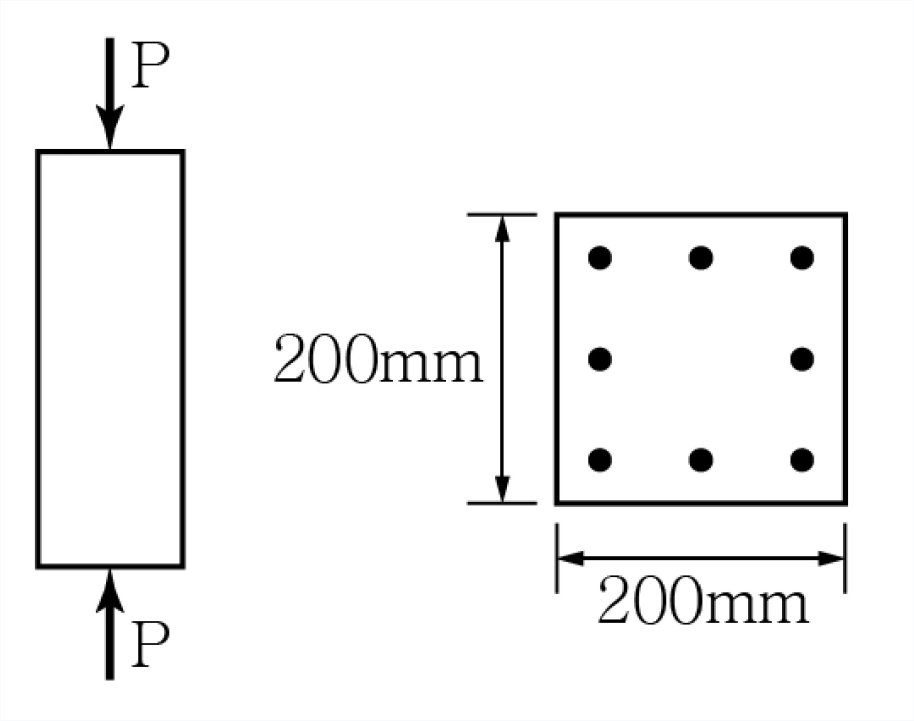
② O: 6.13.3.1은 그루브용접과 필릿용접에 **매칭 용접금속을 사용하는 것을 원칙**으로 한다. 매칭은 용접금속의 인장강도가 모재의 인장강도와 같거나 거의 동등한 수준이라는 뜻이다. 다만 필릿용접에서는 건전한 용접이 이루어지도록 용접절차와 용접금속을 선정하는 경우 모재보다 강도가 낮은 용접봉 등급을 지정할 수 있다.

③ X: 6.13.3.4에 따르면 부재의 연단을 따라 시공하는 필릿용접에서 부재 두께가 6 mm 이상이면 최대치수는 **부재 두께에서 2 mm를 뺀 값**이다. 따라서 '2 mm 큰 값'이라는 설명은 증가와 감소를 뒤바꾸었다. 이 값은 반드시 채워야 하는 치수가 아니라 상한이며, 계약서에서 용접을 전체 목두께만큼 육성하도록 명시한 경우에는 이 제한의 예외가 된다.

④ O: 6.13.3.5의 최소유효길이 규정은 **용접치수의 4배와 40 mm라는 두 제한을 함께** 충족하도록 한다. 유효길이는 실제로 하중 전달에 유효한 용접 길이이므로, 용접치수가 작더라도 40 mm보다 길어야 한다는 제한을 생략할 수 없다.

NoteBase

문 13. 다음 그림과 같은 철근콘크리트 부재에 축방향 하중 P가 작용하여 콘크리트가 받는 응력이 10MPa이다. 이때 작용하는 축방향 하중 P는? (단, 축방향 철근의 단면적 A_{st}=2,000mm^2, 철근과 콘크리트의 탄성계수비 $n = \frac{E_s}{E_c} = 8$, 부재는 탄성범위 이내에서 거동한다.)



① 460kN

② 500kN

③ 540kN

④ 580kN

정답 3번

간단한 해설

철근과 콘크리트는 부착되어 함께 변형하므로 **축방향 변형률이 같다**. 탄성계수비가 8이므로 철근 응력은 80 MPa이며, 콘크리트와 철근이 각각 부담하는 압축력을 합하면 **540 kN**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 콘크리트의 순단면적: 그림의 단면은 200 mm × 200 mm이므로 전체 단면적은 40,000 mm^2이다. 콘크리트가 실제로 차지하는 면적은 **전체 단면적에서 철근 단면적을 뺀 값**이다. 콘크리트 순단면적을 A_c, 철근 단면적을 A_{st}라 하면 $A_c = 40{,}000 - 2{,}000 = 38{,}000 mm^2$이다.

2. 철근의 압축응력: 중심축을 따라 압축하중을 받는 부재에서 부착된 철근과 콘크리트는 **축방향 변형률이 같다**. 탄성범위에서는 응력이 탄성계수와 변형률의 곱이므로, 철근과 콘크리트의 응력을 각각 σ_s, σ_c라 하면 $\frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{\sigma_c}{E_c}$이다. 따라서 $\sigma_s = n\sigma_c$이며, 철근의 압축응력은 8 × 10 = 80 MPa이다.

3. 축방향 하중: 단면의 힘 평형에 따라 외부 압축하중은 **콘크리트와 철근이 부담하는 힘의 합**이다. 따라서 $P = \sigma_c A_c + \sigma_s A_{st}$를 적용한다. 1 MPa = 1 N/$mm^2$이므로 콘크리트가 부담하는 힘은 10 × 38,000 = 380,000 N, 철근이 부담하는 힘은 80 × 2,000 = 160,000 N이다. 이를 합하면 P = 540,000 N = 540 kN으로, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 콘크리트 구조기준(2012)에서 규정된 철근콘크리트 부재의 처짐에 대한 설명 중 가장 옳지 않은 것은?

① 부재의 강성도를 엄밀한 해석방법으로 구하지 않는 한, 부재의 순간처짐은 콘크리트의 탄성계수와 유효단면2차모멘트를 이용하여 구하여야 한다.

② 연속부재인 경우에 정 및 부모멘트에 대한 위험단면의 유효단면2차모멘트를 구하고 그 평균값을 사용할 수 있다.

③ 엄밀한 해석에 의하지 않는 한, 일반 또는 경량콘크리트 휨부재의 크리프와 건조수축에 의한 추가 장기처짐은 해당 지속하중에 의해 생긴 순간처짐에 장기처짐계수를 곱하여 구할 수 있다.

④ 처짐을 계산할 때 하중의 작용에 의한 순간처짐은 부재의 상태를 비균열 탄성상태로 가정하여 탄성 처짐 공식을 사용하여 계산하여야 한다.

정답 4번

간단한 해설

④의 '비균열 탄성상태로 가정'한다는 표현이 잘못되었다. 순간처짐은 **균열과 철근이 부재강성에 미치는 영향**을 고려하여 탄성 처짐 공식으로 계산해야 한다.

선지별 해설

① O: 부재강성을 엄밀하게 해석하지 않는 경우, 콘크리트의 탄성계수와 **유효단면2차모멘트**를 이용하여 순간처짐을 구한다. 두 값의 곱이 휨강성을 나타내며, 유효단면2차모멘트는 균열에 따른 강성 저하를 반영하기 위한 값이다.

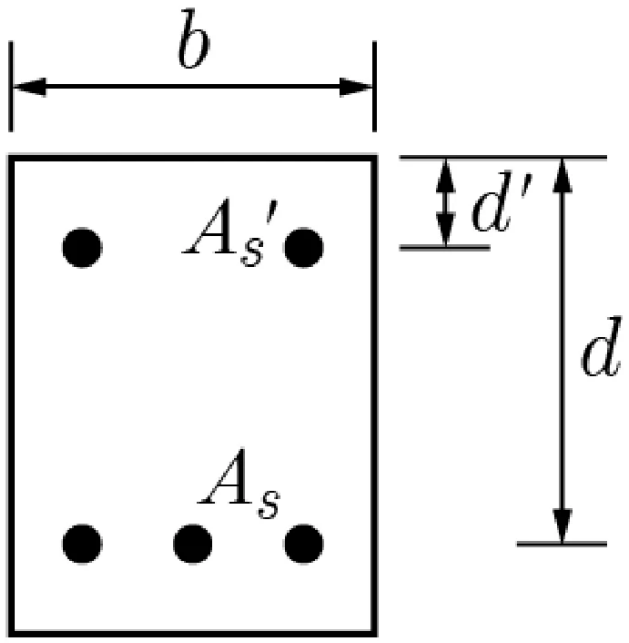
② O: 연속부재에서는 정모멘트와 부모멘트가 작용하는 위험단면의 유효단면2차모멘트를 각각 구하고 **그 평균값을 사용할 수 있다**. 정모멘트 구간과 부모멘트 구간은 인장측과 배근 상태가 달라 단면의 유효강성도 달라질 수 있으므로, 각 위험단면의 값을 구하여 부재의 처짐 계산에 반영한다.

③ O: 엄밀한 해석을 하지 않는 경우, 일반 또는 경량콘크리트 휨부재의 크리프와 건조수축에 의한 추가 장기처짐은 **해당 지속하중에 의한 순간처짐**에 장기처짐계수를 곱하여 구할 수 있다. 크리프는 지속적인 응력 아래에서 변형이 시간에 따라 증가하는 현상이고, 건조수축은 수분 손실에 따른 수축이다. 이 계수로 구하는 값은 시간이 지나며 더해지는 처짐이므로, 처음 발생한 순간처짐 자체와 구별한다.

④ X: 콘크리트구조기준(2012)은 순간처짐 계산 시 **부재강성에 대한 균열과 철근의 영향**을 고려하여 탄성 처짐 공식을 사용하도록 규정한다. 균열이 생기면 인장측 콘크리트의 저항이 감소하고 철근이 인장력을 부담하므로, 실제 휨강성은 비균열 상태의 강성과 달라진다. 따라서 '비균열 탄성상태로 가정하여'는 '균열과 철근의 영향을 고려하여'로 고쳐야 한다. 탄성 처짐 공식을 사용하는 것 자체가 잘못된 것은 아니다.

NoteBase

문 15. 다음 그림은 균형철근비를 가진 복철근보의 단면이다. 정모멘트 작용에 의한 휨 극한 상태에 도달했을 때 압축철근의 변형률은? (단, $f_y = 400\text{MPa}$, $b = 300\text{mm}$, $d = 500\text{mm}$, $d' = 60\text{mm}$이다.)



① 0.0022

② 0.0024

③ 0.0026

④ 0.0028

정답 2번

간단한 해설

균형 상태에서는 콘크리트 압축연단이 극한변형률에 도달할 때 **인장철근이 항복**한다. 이 조건으로 구한 중립축 깊이 300 mm와 선형 변형률 분포를 적용하면 압축철근의 변형률은 **0.0024**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 균형 상태의 조건: 정모멘트가 작용하면 그림의 상부가 압축을 받고 하부 철근은 인장을 받는다. 균형철근비를 가진 단면에서는 **콘크리트 압축연단의 극한변형률 도달과 인장철근의 항복이 동시에** 일어난다. 콘크리트의 극한변형률은 $\varepsilon_{cu} = 0.003$, 철근의 탄성계수는 $E_s = 200{,}000\text{MPa}$를 적용한다.

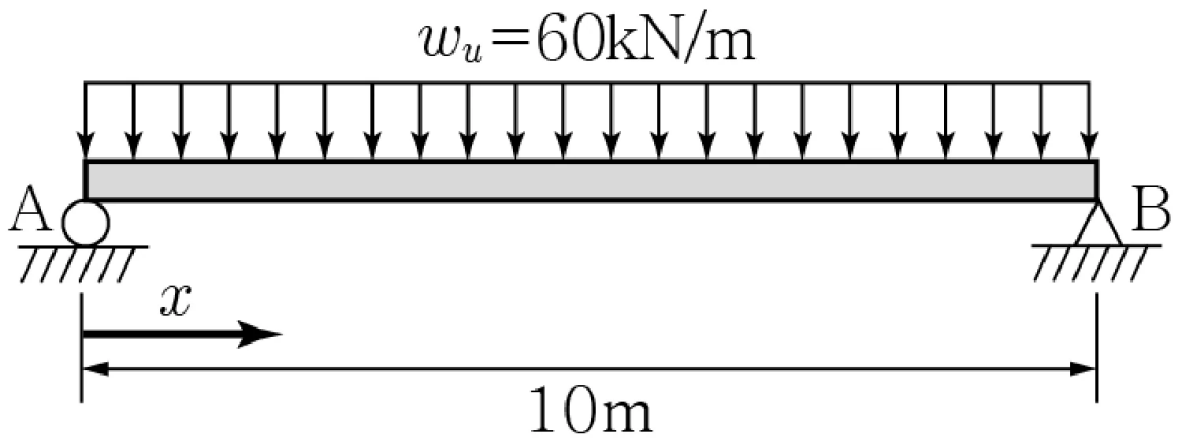
2. 인장철근의 항복변형률: 항복하기 전 철근의 응력과 변형률은 비례하므로 $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$이다. 따라서 $\varepsilon_y = \frac{400}{200{,}000} = 0.002$이다. 이는 균형 상태에서 하부 인장철근이 갖는 변형률이다.

3. 중립축 깊이: 압축연단에서 중립축까지의 거리를 c_b라 하면, 평면유지 가정에 따라 변형률은 **중립축으로부터의 거리에 비례**한다. 압축연단과 인장철근에서 중립축까지의 거리는 각각 c_b, $d - c_b$이므로 $\frac{0.003}{c_b} = \frac{0.002}{500 - c_b}$이다. 이를 풀면 $c_b = \frac{0.003}{0.003 + 0.002} \cdot 500 = 300\text{mm}$이다.

4. 압축철근의 변형률: 그림에서 압축철근은 압축연단으로부터 $d' = 60\text{mm}$ 아래에 있으므로, 중립축과의 거리는 $300 - 60 = 240$ mm이다. 압축철근 변형률의 크기를 ε_s'라 하면 $\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu}\frac{c_b - d'}{c_b}$이다. 따라서 $\varepsilon_s' = 0.003 \cdot \frac{240}{300} = 0.0024$로, ②의 값과 일치한다. 변형률은 무차원량이다. 이 값이 항복변형률 0.002보다 크므로 압축철근도 항복하지만, **항복 후에도 변형률은 증가**할 수 있으므로 이를 0.002로 제한하지 않는다.

NoteBase

문 16. 다음 그림과 같은 자중을 포함한 계수등분포하중 w_u을 받고 있는 단철근 직사각형 철근콘크리트 단순보에서, 지점 A로부터 최소전단철근을 포함한 전단철근이 배근되는 점까지의 거리 x는? (단, 보통중량 콘크리트를 사용하고, $f_{ck} = 36\text{MPa}$, 단면의 폭 $b = 400\text{mm}$, 유효깊이 $d = 400\text{mm}$이다.)



① 3m

② 4m

③ 5m

④ 6m

정답 2번

간단한 해설

최소 전단철근까지 포함한 배근 구간의 끝은 계수전단력이 **콘크리트 설계전단강도의 1/2**이 되는 곳이다. 이 경계의 전단력은 60 kN이며, 지점 A에서 4 m 떨어진 곳에 해당한다.

NoteBase

계산 과정

1. 지점반력과 전단력: 그림에서 경간은 10 m이고 계수등분포하중은 60 kN/m이다. 자중이 이미 포함되어 있으므로 별도로 더하지 않는다. 하중이 좌우 대칭이므로 A의 반력은 $R_A = \frac{60 \cdot 10}{2} = 300\text{kN}$이다. A에서 중앙부 쪽으로 거리 x만큼 이동하면 그 구간의 분포하중만큼 전단력이 감소하므로, x를 m 단위로 넣을 때 $V_u(x) = 300 - 60x$ kN이다.

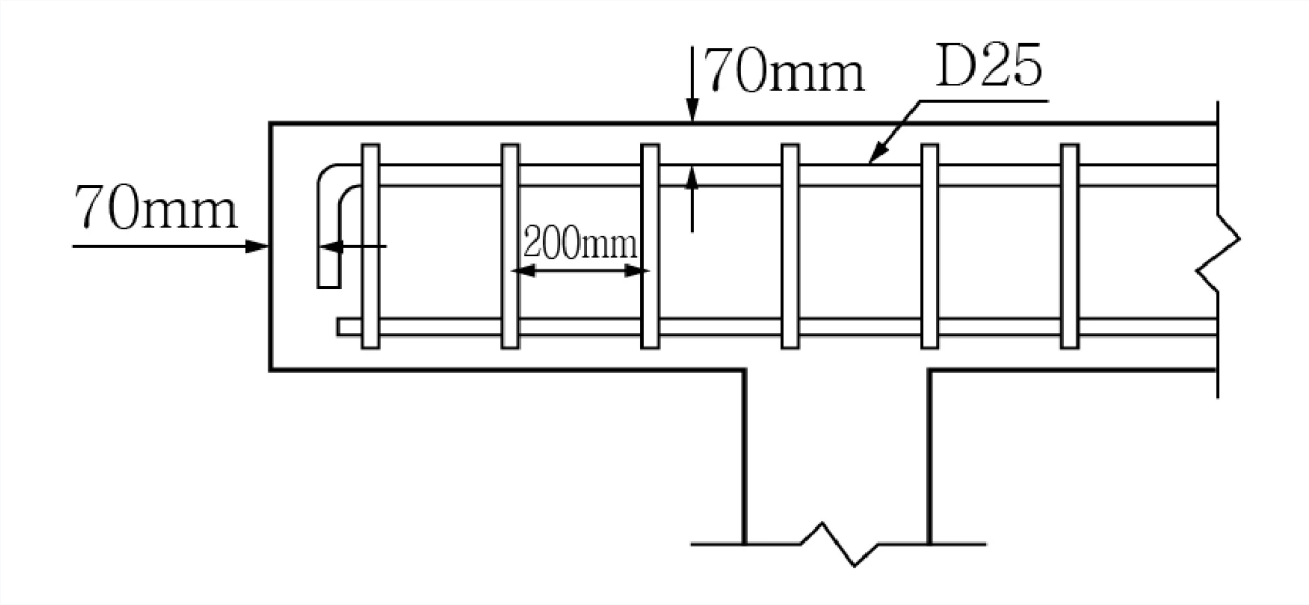
2. 콘크리트의 전단강도: 보통중량 콘크리트인 직사각형 보의 콘크리트 공칭전단강도는 $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_{ck}}\,bd$로 구한다. 강도를 MPa, 폭과 유효깊이를 mm로 넣으면 결과는 N이다. $\sqrt{f_{ck}} = \sqrt{36} = 6$이고, $bd = 400 \cdot 400 = 160000\text{mm}^2$이므로 공칭전단강도는 160000 N, 즉 160 kN이다. 전단에 대한 강도감소계수 $\phi = 0.75$를 적용한 **설계전단강도**는 $\phi V_c = 0.75 \cdot 160 = 120\text{kN}$이다.

3. 최소 전단철근을 포함하는 경계: 계수전단력이 콘크리트 설계전단강도를 넘지 않더라도, 그 절반을 초과하는 구간에는 최소 전단철근이 필요하다. 따라서 이 문제에서 찾는 경계는 **설계전단강도 자체가 아니라 그 절반**을 기준으로 한다. 경계 전단력은 $\frac{\phi V_c}{2} = \frac{120}{2} = 60\text{kN}$이다.

4. 거리 계산: 전단력 식에 경계값을 대입하면 $300 - 60x = 60$이다. 이를 풀면 $x = \frac{300 - 60}{60} = 4\text{m}$이다. 따라서 A에서 최소 전단철근까지 포함한 배근 구간의 끝까지 거리는 4 m이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 다음 그림과 같은 캔틸레버보에서 도막되지 않은 D25($d_b = 25\text{mm}$) 철근이 90° 표준갈고리로 종결되었을 때, 소요 정착길이와 가장 가까운 값은? (단, D10 폐쇄스터럽이 갈고리 길이를 따라 배치되어 있고, 갈고리 평면에 수직방향인 측면 피복 두께가 70mm이며, 보통중량 콘크리트를 사용하고, A_s,소요/A_s,배근=0.9, $f_{ck} = 25\text{MPa}$, $f_y = 400\text{MPa}$, 콘크리트 구조기준(2012)을 적용한다.)



① 302mm

② 336mm

③ 432mm

④ 480mm

정답 1번

간단한 해설

기본정착길이 480 mm에 **피복 보정계수 0.7**과 철근량 보정계수 0.9를 곱하면 소요 정착길이는 약 302 mm이다. 스터럽 간격 200 mm는 허용 간격 75 mm를 초과하므로 스터럽에 의한 감소계수 0.8은 적용하지 않는다.

NoteBase

계산 과정

1. 기본정착길이: 콘크리트 구조기준(2012) 8.2.5에 따라 표준갈고리가 있는 인장 이형철근의 기본정착길이는 $l_{hb}=\frac{0.24\beta d_b f_y}{\lambda\sqrt{f_{ck}}}$로 구한다. 여기서 β는 철근 도막계수, λ는 경량콘크리트계수이다. 도막되지 않은 철근과 보통중량 콘크리트이므로 둘 다 1.0을 적용한다. 문제에서 지정한 철근지름 25 mm, 항복강도 400 MPa, 콘크리트 압축강도 25 MPa를 대입하면 $l_{hb}=\frac{0.24\cdot 25\cdot 400}{\sqrt{25}}=480\ \text{mm}$이다.

2. 피복 보정: D35 이하의 철근으로서 갈고리 평면에 수직인 측면 피복이 70 mm 이상이고, 90° 갈고리의 연장부를 넘어선 피복이 50 mm 이상이면 보정계수 0.7을 적용한다. D25 철근의 측면 피복은 70 mm이고, 그림에서 왼쪽 콘크리트 면과 갈고리 연장부 사이의 피복도 70 mm이므로 **두 피복 조건을 모두 만족**한다.

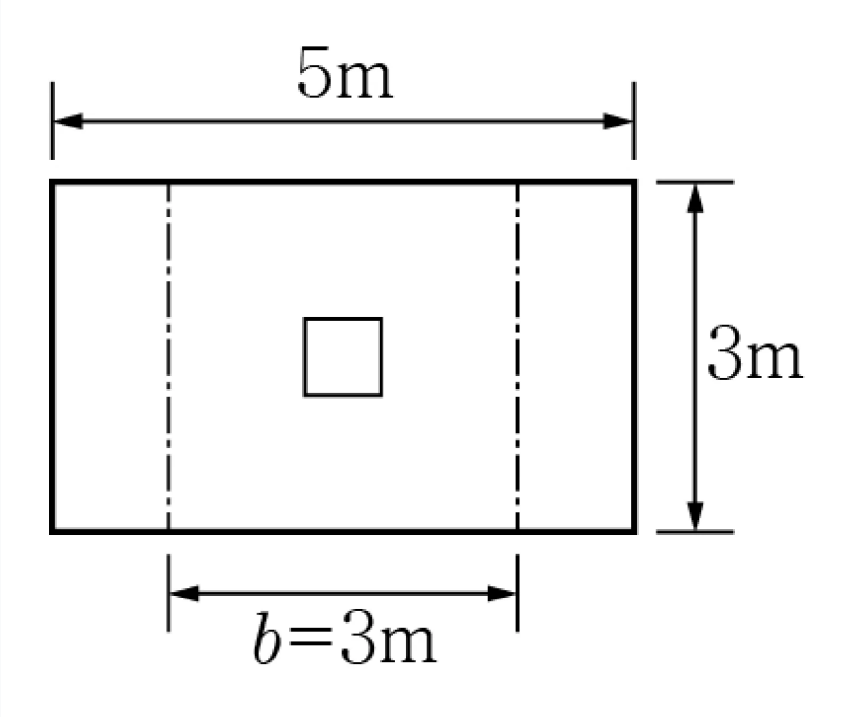
3. 스터럽 보정: D35 이하 갈고리철근의 정착구간을 스터럽으로 둘러싸서 감소계수 0.8을 적용하려면 스터럽 간격이 $3d_b$ 이하여야 한다. 이때 기준 지름은 **스터럽이 아닌 정착되는 D25 철근의 지름**이다. 허용 간격은 $3d_b=3\cdot 25=75\ \text{mm}$인데, 그림의 스터럽 간격은 200 mm이므로 0.8을 적용하지 않는다.

4. 철근량 보정과 정착길이: 철근의 항복강도 전부를 발휘하는 정착을 특별히 요구하지 않는 휨부재에서 철근을 소요량 이상 배근하면 소요철근량과 배근철근량의 비를 곱할 수 있다. 주어진 A_s,소요A_s,배근=0.9를 적용하면 $l_{dh}=480\cdot 0.7\cdot 0.9=302.4\ \text{mm}$이다.

5. 최소길이 확인: 보정 후 정착길이는 $8d_b$ **이상이면서 150 mm 이상**이어야 한다. $8d_b=8\cdot 25=200\ \text{mm}$이므로 302.4 mm는 두 하한을 모두 만족한다. 선택지 중 가장 가까운 값은 ①의 302 mm이다.

NoteBase

문 18. 다음 그림과 같은 2방향 직사각형 기초판에서 짧은 변 방향의 전체 철근량이 10,000mm^{2}이라 할 때 집중구간 유효폭 b에 배근되어야 할 철근량은?



① 5,200mm^2
② 6,000mm^2
③ 6,800mm^2
④ 7,500mm^2

정답 4번

간단한 해설

2방향 직사각형 기초판의 짧은 변 방향 철근은 **집중구간 배근 비율** $\frac{2}{\beta+1}$을 적용하며, β는 긴 변과 짧은 변의 길이비이다. 이 비율이 0.75이므로 집중구간에 배근할 철근량은 7,500 mm^{2}이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 긴 변은 5 m, 짧은 변은 3 m이며, 기둥을 중심으로 표시된 집중구간의 폭은 b = 3 m이다. 주어진 짧은 변 방향의 전체 철근 단면적을 A_s라 하면 10,000 mm^2이다.

2방향 직사각형 기초판에서는 짧은 변 방향 철근의 일부를 기둥 중심을 기준으로 짧은 변 길이와 같은 폭에 집중하여 배치한다. 집중구간의 철근 단면적을 A_b라 하면 $A_b = \frac{2}{\beta + 1} A_s$를 적용한다. 여기서 β는 **긴 변 길이를 짧은 변 길이로 나눈 값**이다. 따라서 집중구간 폭이 전체 길이에서 차지하는 비율만으로 철근량을 나누지 않는다.

길이비는 $\beta = \frac{5}{3}$이다. 집중구간 배근 비율은 $\frac{2}{\frac{5}{3} + 1} = \frac{3}{4} = 0.75$로, 짧은 변 방향 전체 철근량의 75%를 이 구간에 배치한다는 뜻이다.

집중구간의 철근량은 $A_b = 10{,}000 \cdot \frac{3}{4} = 7{,}500\ mm^2$이다. 이는 ④의 7,500 mm^2에 해당한다.

NoteBase

문 19. 워커빌리티를 개선하고, 동결융해에 대한 저항성을 높이기 위해서 사용하는 콘크리트 혼화재료는?

① 공기연행제

② 고성능감수제

③ 촉진제

④ 유동화제

정답 1번

간단한 해설

공기연행제는 콘크리트에 **미세한 독립 기포**를 형성하여 워커빌리티를 개선한다. 이 기포는 굳은 콘크리트에서 물이 얼 때 생기는 압력을 완화하여 **동결융해 저항성**도 높인다.

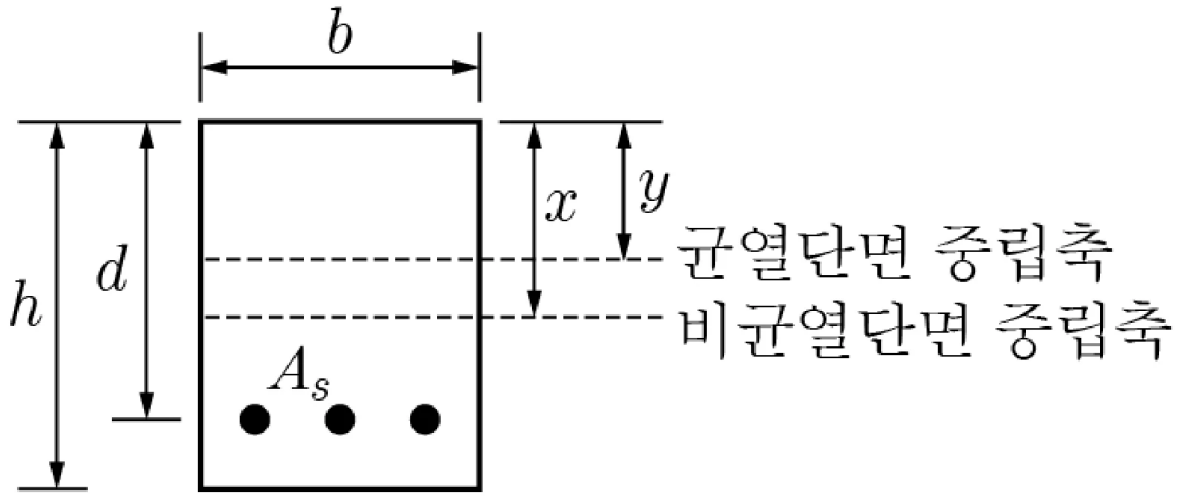
공통 해설

공기연행제(AE제)는 콘크리트를 비빌 때 미세하고 서로 독립된 기포를 고르게 형성하고 안정시키는 혼화제이다. 굳지 않은 콘크리트에서는 기포가 작은 볼베어링처럼 작용하여 입자들이 쉽게 움직이도록 돕는다. 이에 따라 콘크리트를 운반·타설·다지기 쉬운 정도인 워커빌리티가 개선된다.

굳은 콘크리트 내부의 물이 얼면 부피가 팽창하면서 주변에 압력이 발생한다. 고르게 분포한 기포는 물의 이동과 얼음 형성을 수용할 여유 공간을 제공하여 **동결 시 발생하는 압력**을 완화한다. 따라서 동결과 융해가 반복될 때의 손상이 줄어든다. 워커빌리티 개선과 동결융해 저항성 향상을 함께 설명하는 공통 원리는 이러한 기포의 작용이며, 이에 해당하는 혼화재료가 공기연행제이다.

NoteBase

문 20. 다음 그림과 같이 정모멘트에 의한 휨을 받는 철근콘크리트보에서 단면의 상단에서 균열 발생 이전단면(비균열 단면)의 중립축까지의 거리를 x, 균열 발생 후 단면(균열단면)의 중립축까지의 거리를 y라 할 때, x와 y에 대한 식이 모두 바르게 표기된 것은?
(단, 철근과 콘크리트의 탄성계수비 $n = \frac{E_s}{E_c}$이다.)



① $\{bh + nA_s\} \cdot x - \left\{\frac{1}{2}bh^2 + nA_s d\right\} = 0, \quad \frac{1}{2}by^2 - nA_s(d-y) = 0$

② $\{bh + (n-1)A_s\} \cdot x - \left\{\frac{1}{2}bh^2 + (n-1)A_s d\right\} = 0, \quad \frac{1}{2}by^2 - nA_s(d-y) = 0$

③ $\{bh + nA_s\} \cdot x - \left\{\frac{1}{2}bh^2 + nA_s d\right\} = 0, \quad \frac{1}{2}by^2 - (n-1)A_s(d-y) = 0$

④ $\{bh + nA_s\} \cdot x - \left\{\frac{1}{2}bh^2 + (n-1)A_s d\right\} = 0, \quad \frac{1}{2}by^2 - nA_s(d-y) = 0$

정답 2번

간단한 해설

비균열단면에서는 전체 직사각형에 철근 자리의 면적까지 포함되어 있으므로 $(n-1)A_s$만 추가한다.
균열단면에서는 **인장 콘크리트를 무시**하고 철근을 nA_s로 환산하여, 중립축에 대한 단면1차모멘트가 0이 되도록 식을 세운다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 b는 단면 폭, h는 전체 높이, d는 상단에서 인장철근 도심까지의 거리이며, A_s는 인장철근의 단면적이다. x와 y는 각각 비균열단면과 균열단면의 상단에서 중립축까지의 거리이다.

1. 환산단면의 원리: 철근과 콘크리트가 탄성 범위에서 함께 변형하면 같은 높이에서 변형률이 같으므로, 철근의 응력은 콘크리트 응력의 n배이다. 따라서 철근을 콘크리트로 환산한 면적은 nA_s이다. 축력이 없는 휨에서는 중립축이 환산단면의 도심을 지나므로, **중립축에 대한 단면1차모멘트가 0**이라는 조건을 적용한다.

2. 비균열단면의 x: 균열 전에는 인장측 콘크리트도 유효하다. 전체 직사각형 면적 bh에는 철근이 차지하는 자리도 이미 들어 있으므로, 철근 환산면적을 반영할 때는 **중복된 철근 자리의 면적을 뺀다**. 추가할 면적은 $nA_s - A_s = (n-1)A_s$이다. 전체 직사각형의 도심은 상단에서 $\frac{h}{2}$, 추가 면적의 도심은 상단에서 d에 있으므로 도심식은 다음과 같다.
$x = \frac{\frac{1}{2}bh^2 + (n-1)A_s d}{bh + (n-1)A_s}$
분모는 전체 환산면적이고, 분자는 상단에 대한 단면1차모멘트이다. 양변에 분모를 곱하고 우변을 이항하면 선택지의 x에 대한 식이 된다.

3. 균열단면의 y: 정모멘트에서는 상부가 압축을 받고 하부가 인장을 받는다. 균열 후에는 **중립축 아래의 인장 콘크리트를 제외**하므로 유효한 콘크리트 면적은 by이며, 인장철근은 nA_s 전체를 환산면적으로 쓴다. 압축측 직사각형의 도심은 중립축 위 $\frac{y}{2}$에 있고 철근 도심은 중립축 아래 d − y에 있으므로, 두 면적의 단면1차모멘트가 같아야 한다.
$by \cdot \frac{y}{2} = nA_s(d-y)$
따라서 균열단면의 중립축 식은 $\frac{1}{2}by^2 - nA_s(d-y) = 0$이다.

비균열단면에는 추가 면적 $(n-1)A_s$를, 균열단면의 인장철근에는 환산면적 nA_s를 적용한 두 식의 조합은 ②와 일치한다.

NoteBase