



2

보의 힘해석 및 설계

2.1 개요

허용응력설계법 - 구조물에 발생하는 응력이 설계기준에서 규정한 허용응력을 초과하지 않도록 설계하는 방법.

파괴에 근접하여 나타나는 파괴거동을 예측할 수 없으므로 실제 구조물 파괴시 안전에 대해 얼마나 여유가 있는지 정확히 알 수 없음.

강도설계법 - 극한하중단계에서의 계수하중으로 계산된 소요강도가 단면이 발휘할 수 있는 설계강도를 초과하지 않도록 단면을 설계하는 방법이

2.1.1 기본가정

- (1) 철근과 콘크리트가 완전히 부착되어 두 재료 사이에 활동이 생기지 않는다는 가정에 따라 콘크리트의 변형률은 같은 위치에 있는 철근의 변형률과 같다.
- (2) 변형 전에 평면이었던 단면은 변형 후에도 평면을 유지한다는 가정에 따라 콘크리트의 변형은 중립축에서 거리에 따라 직선 비례한다.
- (3) 모든 철근의 탄성계수 E_s 는 $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ 로 보고 탄성영역에서 철근의 응력은 철근의 변형률에 E_s 를 곱한 값으로 하고 소성영역에서 철근의 응력은 항복응력 f_y 로 한다.
- (4) 파괴시 콘크리트의 압축연단에서 변형률은 0.003으로 본다. 이때 콘크리트 압축응력의 분포는 직사각형, 포물선 또는 사다리꼴의 형태로 가정할 수 있다.
- (5) 균열단면에서 콘크리트의 인장강도는 무시한다.

2.1.2 하중계수와 강도감소계수

하중계수 - 하중크기를 예측할 때 확실성에 기초하여 정해지는 것으로 고정하중의 하중계수 1.2, 활하중의 하중계수를 1.6로 정한 것

$$U=1.2D+1.6L$$

강도감소계수 - 단면의 공칭강도에 1보다 작은 ϕ 계수를 곱하여 산정

<p>①인장지배 단면 0.85</p> <p>②압축지배 단면</p> <p>(가) 나선철근 규정에 따라 나선철근으로 보강된 철근콘크리트 부재 0.70</p> <p>(나)그 외의 철근콘크리트 부재 0.65</p> <p>(다)공칭강도에서 최외단 인장철근의 순인장변형률 ϵ_t가 압축지배와 인장지배 단면 사이일 경우에는, ϵ_t가 압축지배변형률 한계에서 인장지배변형률 한계로 증가함에 따라 값을 압축지배 단면에 대한 값에서 0.85까지</p>	<p>증가시킨다.</p> <p>③전단력과 비틀림모멘트 0.75</p> <p>④콘크리트의 지압력(포스트텐션 정착부나 스트럿-타이 모델은 제외) 0.65</p> <p>⑤포스트텐션 정착구역 0.85</p> <p>⑥스트럿-타이 모델에서</p> <p>(가) 스트럿, 절점부 및 지압부 0.75</p> <p>(나) 타이 0.85</p> <p>⑦무근콘크리트의 휨모멘트, 압축력, 전단력, 지압력 0.55</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.1.3 철근콘크리트 보의 휨파괴거동

철근콘크리트 보는 파괴시 철근비에 따라 3가지 형태의 휨파괴거동

1. 철근이 지나치게 적게 배근되어 콘크리트에 균열이 발생함과 동시에 철근도 파괴되는 취성파괴거동
2. 중간 정도의 철근량이 배근되어 보가 파괴에 임박할 시 철근은 항복되지만 콘크리트 변형률은 상대적으로 작아 하중을 계속 지지할 수 있으며 최종 붕괴가 일어나기 전에 큰 처짐이 생겨 파괴를 예측할 수 있는 연성파괴거동
3. 철근량이 과다로 배근되어 압축부에서 콘크리트의 갑작스런 파쇄에 의해 붕괴되는 취성파괴거동.

연성파괴를 보증하기 위해 설계기준에서는 철근량의 상·하한 값을 추천하고 있다.

인장철근이 항복됨과 동시에 압축부 콘크리트도 극한변형률 0.003에 도달하도록 철근비가 배근된 단면에서 발생하는 균형파괴

(1) 최소철근량($A_{s,min}$)

설계기준에서는 이러한 취성파괴를 방지하기 위해 휨부재의 모든 단면에는 계산되는 값 중에서 **큰 값 이상의** 인장철근 A_s 을 배치.

$$A_{s,min} \geq \frac{0.25 \sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d$$

$$A_{s,min} \geq \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

중 큰값을 사용 식 (2.1a)

정정구조물로서 플랜지가 인장상태인 T형단면인 경우에는 식 (2.1a)의 b_w 대신 플랜지 폭을 대입하여 계산된 철근량과 다음 식 (2.1b) 중 **작은 값**으로 최소철근량 산정.

$$A_s = \frac{0.50 \sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \quad \text{식 (2.1b)}$$

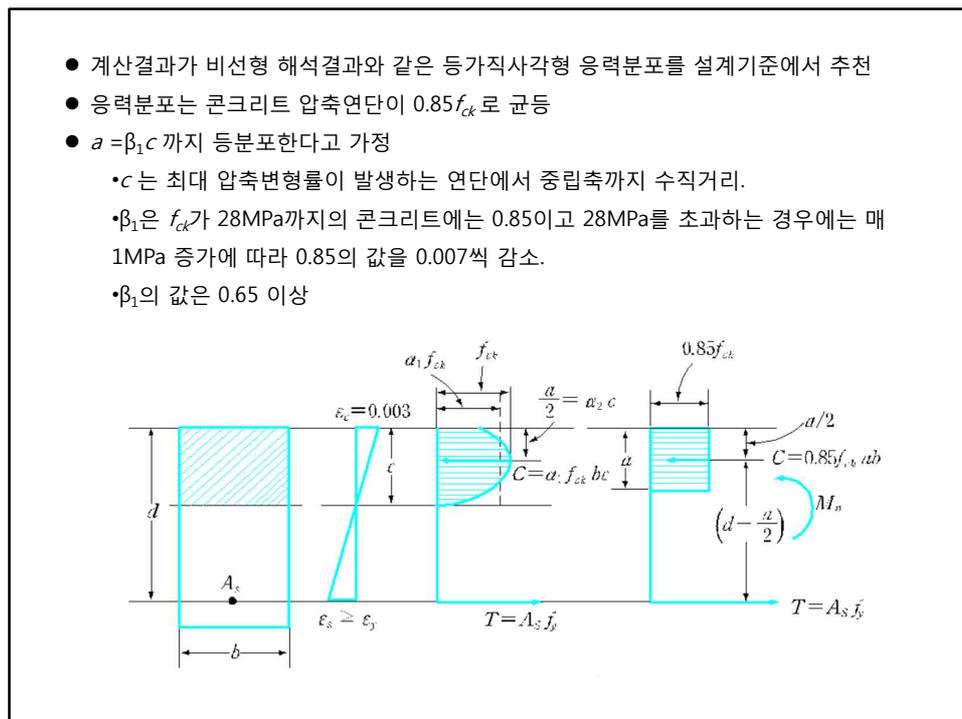
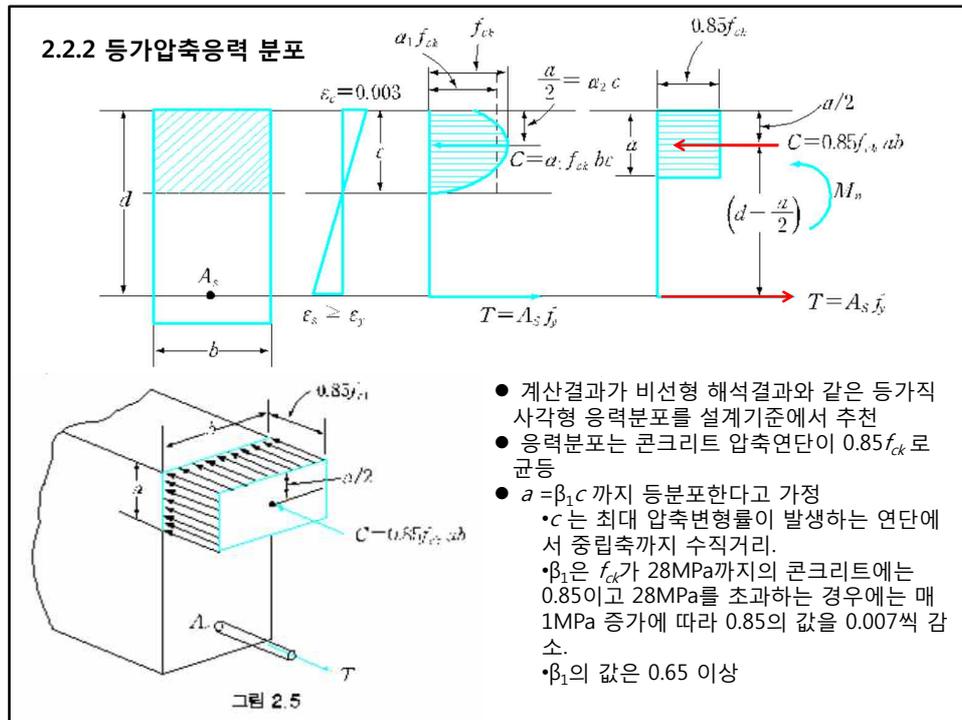
2.2 해석 및 설계**2.2.1 기본개념****① 단면해석**

ϕM_n 이 하중계수를 곱하여 구한 계수하중을 사용하여 계산된 소요강도 M_u 이상인가를 조사 하여 구조물의 안전여부를 판별하고 동시에 처짐, 균열 및 피로에 따른 구조물의 사용성 문제에 대한 검토를 수행하는 것

$$\phi M_n \geq M_u$$

② 단면설계

사용하중, 콘크리트와 철근의 재료특성은 주어져 있지만 콘크리트의 단면치수와 철근량이 주어져 있지 않아 **미지의 단면치수와 철근량을 구하는 과정**



예제 2-1. 콘크리트의 설계기준강도 $f_{ck} = 32\text{MPa}$ 일 때 β_1 은 얼마인가?

예제 2-2 콘크리트의 설계기준강도 $f_{ck} = 58\text{MPa}$ 일 때 β_1 은 얼마인가?

예제 2-3 보의 폭 $b = 200\text{ mm}$, 유효깊이 $d = 400\text{ mm}$ 이고, 압축측 상단으로부터 중립축까지의 거리 $c = 200\text{ mm}$ 인 단철근 직사각형보의 한 단면에서 압축측 콘크리트가 극한상태에 있다. 이때 압축측 콘크리트가 받는 등가압축응력을 구하고, 이 압축응력이 작용하는 등가직사각형 응력분포의 깊이 a 를 구하시오. (단, 콘크리트의 설계기준강도 $f_{ck} = 30\text{MPa}$ 이다.)

2.2.3 단철근 직사각형단면 보

① 해석

인장철근이 항복될 때 압축연단 콘크리트도 극한변형률 0.003에 도달하여 콘크리트가 파쇄되는 파괴를 **균형파괴**

균형파괴되는 단면에 배근된 철근비를 균형철근비 ρ_b

$$\rho_b = \rho \quad \text{균형파괴}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

ρ_b 보다 작은 철근비 ρ 로 배근된 단면을 과소 철근단면

$$\rho_b > \rho \quad \text{연성파괴}$$

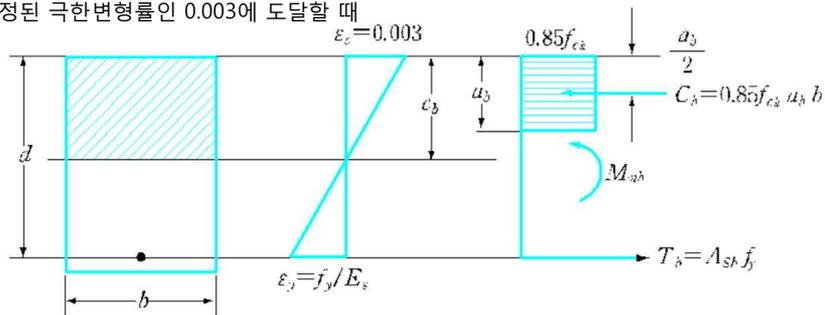
ρ_b 보다 큰 철근비로 배근된 단면을 과다 철근단면

$$\rho_b < \rho \quad \text{취성파괴}$$

철근이 항복되기 전에 콘크리트가 갑자기 파쇄

(1) 균형단면

- 인장철근이 설계기준항복강도 f_y 에 대응하는 변형률에 도달하고 동시에 압축 콘크리트가 가해진 극한변형률인 0.003에 도달할 때



- 중립축거리 산정

$$c_b : d = 0.003 : (0.003 + \epsilon_s) \Rightarrow \frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_s}$$

여기에, $\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$ 대입 $c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} d$

여기에, $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$ 대입

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{200000}} d = \frac{0.003 \times 200000}{0.003 \times 200000 + f_y} d \Rightarrow c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

중립축 거리

- 균형철근비 산정

평형조건 $C_b = T_b$ 즉, $0.85f_{ck}a_s b = A_{sb}f_y$ 에 $A_{sb} = \rho_b b d$, $a_s = \beta_1 c_b$ 와 식 (2.4)의 c_b 를 대입.

$$0.85f_{ck} \beta_1 c_b b = \rho_b b d f_y \Rightarrow \frac{c_b}{d} = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0.85f_{ck} \beta_1 c_b}{f_y d} = \frac{0.85f_{ck} \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0.85\beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

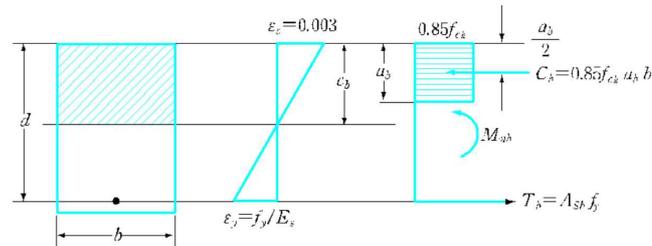
- 균형단면이 발휘할 수 있는 공칭모멘트강도 M_{nb}

$$M_{nb} = T_b \left(d - \frac{\alpha_b}{2} \right) = A_{sb} f_y \left(d - \frac{\alpha_b}{2} \right)$$

여기서

$$A_{sb} = \rho_b b d$$

$$\alpha_b = \beta_1 \frac{600}{600 + f_y} d$$

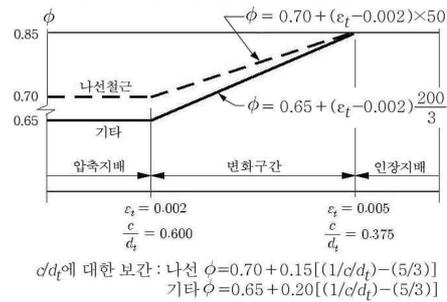


예제 2-4 철근의 설계기준강도가 $f_y = 300\text{MPa}$, 단면의 유효깊이는 $d = 450\text{mm}$ 인 균형단면의 중립축의 위치를 구하시오.

예제 2-5 단철근 직사각형보에서 $f_{ck} = 28\text{MPa}$, $f_y = 400\text{MPa}$ 일 때, 균형철근비를 구하시오.

예제 2-6 $f_{ck} = 30\text{MPa}$, $f_y = 400\text{MPa}$ 일 때, 그림과 같은 단면에 대해 균형철근량 A_{sb} 와 균형철근량이 배근되었을 때의 중립축의 위치를 구하시오

(2) 압축지배, 변화구간 및 인장지배단면



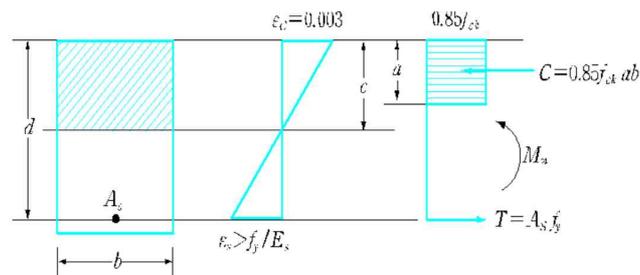
2007년 개정-철근콘크리트 구조설계기준
철근의 최소허용인장변형률 0.004로 제한
 $0.004 < \epsilon_t < 0.005$ 의 구간도 설계에 적용가능

$$\rho = 0.85\beta_1 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c + \epsilon_t} \quad \frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y}$$

$$\rho_b = \frac{0.85f_{ck}\beta_1c_b}{f_y d} = \frac{0.85f_{ck}\beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0.85\beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0.85\beta_1 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c + 0.004} \quad \text{실제가능구간 } 0.004$$

$$\rho_{max} = \left(\frac{\epsilon_c + \epsilon_y}{\epsilon_c + 0.004} \right) \rho_b = \left(\frac{0.003 + \epsilon_y}{0.007} \right) \rho_b$$



$$M_s = T \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

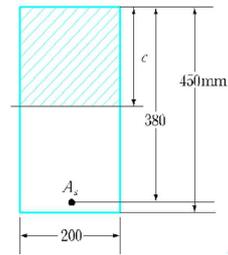
$C = T$ 에 의해

$$0.85f_{ck}ab = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85f_{ck}b}$$

예제 2.3

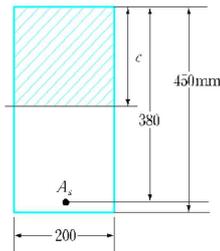
오른쪽 그림과 같은 단면이 (a) 균형단면 (b) 압축지배단면 (c) 인장지배단면이 될 때의 철근량을 구하라. 여기서 $f_{ck} = 25\text{MPa}$, $f_y = 400\text{MPa}$ 이다.



예제 2-7 쪽 $b = 300\text{mm}$, 유효깊이 $d = 620\text{mm}$ 인 단철근 직사각형 보에 배근할 수 있는 최대 인장 철근 단면적을 구하시오. (단, $f_{ck} = 24\text{MPa}$, $f_y = 300\text{MPa}$)

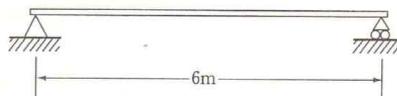
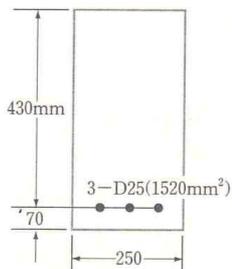
예제 2.4

예제 2.3과 같은 조건으로 동일한 단면에 철근은 (a) 3-D10 (214 mm²) (b) 3-D19(860 mm²) (c) 3-D25(1520 mm²) (d) 3-D32(2380 mm²)로 배근했을 때 각각의 설계휨강도를 구하라. $f_{cd} = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$ 이다.



예제 2.5

그림과 같은 단면으로 설계된 단순보가 휨파괴를 일으킬 때 등분포 활하중 w 을 구하라. 여기서 $f_{cd} = 21 \text{ MPa}$, $f_y = 300 \text{ MPa}$ 이고 철근콘크리트의 단위질량은 2550 kg이다.



예제 2.6

힘과괴시 그림과 같은 단면으로 설계된 보가 지지할 수 있는 집중하중 P_u 를 구하라. 이때 $f_{ct}=21\text{ MPa}$, $f_y=400\text{ MPa}$ 이고 자중은 무시한다.

