제2장 보의 허용응력설계법에 의한 해석 핵심요약

1 개요

(1) **기본개념**

1) 철근 콘크리트보를 탄성체로 보고 탄성이론으로 계산한 응력이 허용응력 이하가 되도록 하는 것

즉, $\begin{cases} f_c \leq f_{ca} = 0.4 f_{ck} \\ f_s \leq f_{sa} = 0.5 f_y \end{cases}$

2) 허용응력 설계법의 장·단점

① 설계 계산이 매우 간편하나, 부재의 참된 강도를 알기 어렵다.

② 고정하중, 활하중등 서로 다른 성질의 하중영향을 설계에 반영할 수 없다.

(2) **기본가정**

1) 탄성이론

① 응력은 변형률에 비례 ($f = E \cdot \varepsilon$)

② 평면 보존의 가정

③ 응력은 중립축으로부터 거리에 비례 (강도설계법과 차이점)

2) 응력계산에 대한 가정

① 변형률은 중립축으로부터 거리에 비례 (강도설계법과 동일)

② 탄성계수비는 정수로 본다.

③ 콘크리트의 인장응력은 무시 (강도설계법과 동일)

(3) **환산단면적**

철근의 단면적을 균질한 콘크리트의 단면으로 변화시키는 것을 환산단면적이라 한다.

1) 변형조건

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s' \ , \quad \varepsilon_c = \frac{f_c}{E_c} \ , \quad \varepsilon_s' = \frac{f_s'}{E_s}$$

$$\therefore \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s'}{E_s} \Rightarrow f_s' = \frac{E_s}{E_c} \cdot f_c = n \cdot f_c$$

2) 평행조건

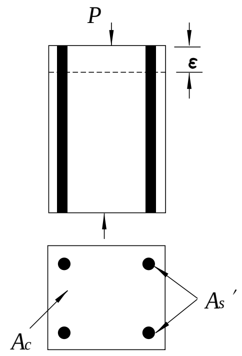
$P = f_c \cdot A_c + f_s{}' \cdot A_s{}' = f_c \cdot A_c + nf_c \cdot A_s{}'$

$= f_c(A_c + nA_s{}') = f_c[(A_g - A_s{}' + nA_s{}')]$

$= f_c[(A_g + (n-1)A_s{}')]$

즉, 일반적인 경우 탄성론에 의해 n을 사용

- 환산단면적 $= n \cdot A_s$
- 유효환산단면적 $= (n-1)A_s$



A_g : 총단면적

A_c : 콘크리트의 순단면적

$A_s{}'$: 철근의 단면적

P : 축방향 압축력, 즉 외력

만일 장기하중이라면 크리프를 고려한 반탄성론에 의해 $2n$을 사용

- 환산단면적 $= 2n \cdot A_s$
- 유효환산단면적 $= (2n-1)A_s$

② 단철근 직사각형보

(1) **해석**

1) 중립축의 위치 (x)

$$\frac{b \cdot x}{2} \times x = n \cdot A_s(d-x) \xrightarrow[\rho \,=\, \frac{A_s}{b \cdot d}]{x \,=\, k \cdot d} \therefore k = -n\rho \pm \sqrt{(n\rho)^2 + 2n \cdot \rho}$$

2) 응력 (f_c, f_s)

① 내부우력모멘트

$$M = C \cdot Z = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot x \cdot b \cdot (j \cdot d) = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot x \cdot b \cdot (d - \frac{x}{3})$$

$$M = T \cdot Z = A_s \cdot f_s \cdot (j \cdot d) = A_s \cdot f_s \cdot (d - \frac{x}{3})$$

$$\therefore \begin{cases} f_c = \dfrac{2M}{x \cdot b \cdot (d - \frac{x}{3})} = \dfrac{2M}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2} \\[2ex] f_s = \dfrac{M}{A_s(d - \frac{x}{3})} = \dfrac{M}{A_s \cdot j \cdot d} = \dfrac{M}{\rho \cdot j \cdot b \cdot d^2} \end{cases}$$

② 휨공식

$$f = \frac{M}{I} \cdot y \Rightarrow \therefore f_c = \frac{M}{I_{cr}} \cdot x , \quad f_s = \frac{M}{I_{cr}} (d-x)$$

여기서, 균열환산단면 2차모멘트 $I_{cr} = \dfrac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_s(d-x)^2$

③ 비례식 (f_c or f_s 알고 있을 때 사용가능)

응력도 비례식에서 $f_c : \dfrac{f_s}{n} = x : (d-x) \Rightarrow \therefore \begin{cases} f_c = \dfrac{f_s}{n} \cdot \dfrac{x}{d-x} \\ f_s = n \cdot f_c \cdot \dfrac{d-x}{x} \end{cases}$

3) 단면의 저항모멘트 (M_r)

내부우력 모멘트 식에서 콘크리트와 철근의 최대응력 허용치인 f_{ca}와 f_{sa}를 대입

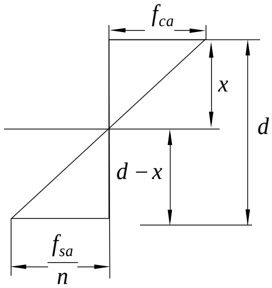
$M_{rc} = \dfrac{1}{2} f_{ca} \cdot x \cdot b \left(d - \dfrac{x}{3}\right)$, $M_{rs} = A_s \cdot f_{sa} \cdot \left(d - \dfrac{x}{3}\right)$

M_{rc}와 M_{rs}중 작은 값을 단면의 저항모멘트라 한다.

(2) **설계**

M_{rc}와 M_{rs} 값이 다르면 비경제적이므로 이 두 값을 같도록 설계하는 것이 바람직하다.
즉, f_c 와 f_s가 동시에 그들의 허용응력인 f_{ca}와 f_{sa}에 도달하도록 설계하는데 이와 같은 보를 균형(평행)보라 한다.

1) 균형(평형)보의 중립축의 위치 (x_0)



그림의 응력도에서

$x_0 = \dfrac{n \cdot f_{ca}}{n \cdot f_{ca} + f_{sa}} \cdot d$, $x_0 = k_0 \cdot d$ 이므로

$k_0 = \dfrac{n \cdot f_{ca}}{n \cdot f_{ca} + f_{sa}}$

2) 균형철근비 (ρ_0)

$C = T \Rightarrow \dfrac{1}{2} f_{ca} \cdot x \cdot b = A_s \cdot f_s$ 여기서, $A_s = \rho_0 \cdot b \cdot d$

$\therefore \rho_0 = \dfrac{f_{ca}}{2 \cdot f_{sa}} \cdot k_0 = \dfrac{f_{ca}}{2 \cdot f_{sa}} \cdot \dfrac{n \cdot f_{ca}}{n \cdot f_{ca} + f_{sa}}$

3) 단면결정(d, A_s)

폭 b를 가정하고, 균형단면이 되도록 유효깊이 d와 철근량 A_s를 구한다.

$\begin{cases} d = C_1\sqrt{\dfrac{M}{b}} , \\ A_s = C_2\sqrt{M \cdot b} , \end{cases}$ $\begin{cases} C_1 = \dfrac{n \cdot f_{ca} + f_{sa}}{n \cdot f_{ca}} \cdot \sqrt{\dfrac{6n}{3f_{sa} + 2n \cdot f_{ca}}} \\ C_2 = \dfrac{f_{ca}}{2f_{sa}} \cdot \sqrt{\dfrac{6n}{3f_{sa} + 2n \cdot f_{ca}}} \end{cases}$

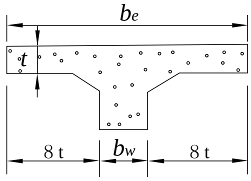
여기서, $\dfrac{C_2}{C_1} = \dfrac{f_{ca}}{2f_{sa}} \cdot k_0 = \rho_0$

③ T형보

(1) 플랜지의 유효폭 결정 (b_e)

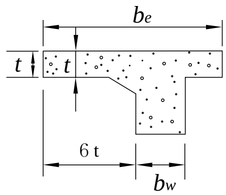
1) 대칭 T형보

$$\left[\begin{array}{l} 16t + b_w \\ \text{양쪽슬래브의 중심간거리} \\ \text{보의 경간의 } \dfrac{1}{4} \end{array}\right] \text{중 최소값}$$



2) 비대칭 T형보

$$\left[\begin{array}{l} 6t + b_w \\ \text{보의 경간의 } \dfrac{1}{12} + b_w \\ \text{인접 보와의 내측거리 } \dfrac{1}{2} + b_w \end{array}\right] \text{중 최소값}$$



(2) T형보의 판정

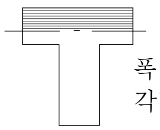
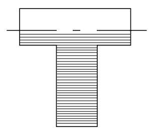
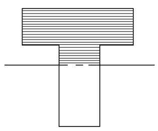
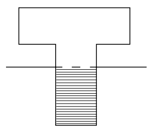
1) 중립축의 위치 x와 플랜지의 두께 t를 비교

2) 경계면에 대하여 인장철근 환산단면적의 단면1차모멘트와 플랜지의 단면 1차모멘트를 비교한다.

즉, $(b \cdot t) \cdot \dfrac{t}{2} = n \cdot A_s \cdot (d-t)$

3) 판정

위 (1) 또는 (2)를 이용, 중립축의 위치를 결정하고 압축측 콘크리트 단면의 형태에 따라 판정한다.

	정모멘트 작용시 ($+M$)	부모멘트 작용시 ($-M$)
① $x \le t$ $\dfrac{b \cdot t^2}{2} \ge n \cdot A_s \cdot (d-t)$	 폭 b인 직사각형 해석	 역T형 해석
② $x > t$ $\dfrac{b \cdot t^2}{2} < n \cdot A_s \cdot (d-t)$	 T형 해석	 폭 b_w인 직사각형 해석

④ 단철근 T형보

(1) **해석**

1) 정밀해법

복부의 압축응력을 고려하여 전압축력 C의 크기를 정확히 구한다.

2) 근사해법 (복부의 압축응력 무시)

① 사다리꼴의 도심에 압축력 C가 작용 즉, 전압축력 C의 정확한 위치(도심)를 구하여 계산한다.

② 근사해법

근사적으로 압축력 C가 플랜지의 도심 $(\frac{t}{2})$에 있다고 본다.

즉, $u = \frac{t}{2}$ 이므로, $Z = j \cdot d = \ d - u \ = d - \frac{t}{2}$

$M = C \cdot Z = \left(\frac{f_c + f_u}{2} \cdot t \cdot b \right) \cdot (d - \frac{t}{2})$ 에서 $f_u = \frac{x-t}{x} \cdot f_c$ 이므로

$$\therefore\ M = f_c \cdot b \cdot t \cdot (1 - \frac{t}{2x}) \cdot (d - \frac{t}{2})$$

$$\therefore\ f_c = \frac{M \cdot x}{b \cdot t \cdot (x - \frac{t}{2}) \cdot (d - \frac{t}{2})}$$

$$M = T \cdot Z = A_s \cdot f_s \cdot (d - \frac{t}{2})$$

$$\therefore\ f_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - \frac{t}{2})}$$

(2) **설계**

1) 철근량 결정

$$\therefore\ A_s = \frac{M}{f_{sa} \cdot (d - \frac{t}{2})}$$