

프리스트레스트 콘크리트 합성보의 直接設計

Direct Design of Composite Prestressed Concrete Beams

金 守 萬*
Kim, Su Man

.....

Abstract

Today, design of composite prestressed concrete beams is carried out by calculation of the prestressing force and its eccentricity assuming the sectional properties. However the characteristics of composite section made with a precast prestressed concrete beams and reinforced concrete slab is not reflected, so iteration method has been adopted. But its method requires much time and labor. Accordingly, an improved design method will be presented.

In this study, improved design method is proposed to design composite section directly without iterative calculation. Design examples according to the proposed design method are presented for easy application and verification of its reliability and authenticity. The results match well with the Hatcher's.

.....

요 지

오늘날 프리스트레스트 콘크리트(PC) 합성보의 설계는 단면을 가정한 다음 프리스트레스 크기와 편심距離를 구하는 일로 이루어진다. 이러한 設計方法으로는 PC보와 철근콘크리트 슬래브로 形成된 合成斷面의 特性이 설계에 반영되지 못하므로 이를 反映하기 위해서는 反復設計를 거쳐야 한다. 이와 같은 반복설계는 시간과 인력을 要하므로 非 經濟的인 설계방법이 된다. 따라서 반복설계를 피하고 直接 設計할 수 있는 改善된 설계방법의 開發이 要望된다.

이 研究에서는 非合成斷面을 直接 設計할 수 있듯이 合成斷面도 직접 설계할 수 있도록 개선된 설계방법을 提案하였다. 提案된 設計方法을 쉽게 活用할 수 있도록 設計例를 提示하였으며 제안된 설계방법의 信賴性을 糾明하기 위해 제시된 설계예의 設計條件을 既 발표된 Hatcher 논문의 설계조건과 同一하게 하여 設計結果를 比較하였다. 그 結果 이 논문에서 提案한 設計方法에 따른 설계결과와 Hatcher 논문의 설계결과가 잘 一致함을 확인할 수 있었다.

.....

1. 序 論

1886년 P. H. Jackson¹⁾, ²⁾이 인공석재와 콘크리트

*正會員 · 水源大學校 工科大學 土木工學科 助教授.

아치에 처음으로 프리스트레싱을 시도한 이래 많은 사람에게 의해 프리스트레스트 콘크리트(PC)에 관한 연구가 활발하였다. 그러나 初期에는 크리프나 건조수축에 의한 프리스트레스 損失을 고려하지 않아 프리스트레스트 콘크리트를 실제 構造物에 응용할 수 없었다. 그러다가 1928년 E. Freyssinet^(1, 2)가 크리프와 건조수축이 프리스트레스 손실에 크게 影響을 미친다는 사실을 알고 이를 설계에 反映함으로써 PC발전에 기초를 이루었다. 그 후 刮目할 程度로 PC구조가 발전해 왔으며 오늘날에 이르러서는 철근콘크리트가 해결하기 어려운 長支間 構造와 特殊 構造를 대부분 PC로 해결하고 있는 실정이다. 이에 발맞춰 PC보의 설계방법도 상당한 발전을 보게 되었다. 그러나 오늘날 PC보의 설계는 既 設計된 단면이나 AASHTO-PCI에서 추천한 標準斷面⁽¹⁻³⁾에서 설계단면을 선택하여 그 단면에 프리스트레스 크기와 偏心距離를 결정한 다음 응력을 검토하는 정도이다. 이러한 설계방법은 프리캐스트된 PC보와 현장 타설된 철근콘크리트 슬래브가 一體 이루므로 형성되는 합성단면의 특성이 설계단면 선택시 고려되지 않으므로 비 경제적인 단면이 선정된다. 이러한 경우 경제적인 설계단면을 선정하려면 복잡한 반복계산에 의하여 가능하다. 이와같은 反復計算은 시간과 인력을 요하므로 비경제적인 설계가 된다. 그러므로 合理的인 설계방법을 追求하기 위해 斷面 算定時부터 합성단면의 특성을 고려한 直接設計法의 開發이 要望된다.

지금까지 PC보의 非合成斷面의 직접설계법에 대한 研究⁽⁴⁻⁸⁾는 많이 이루어졌지만 合成斷面의 직접 설계에 대한 연구는 全無한 상태이며 유일하게 Hatcher⁽⁹⁾에 의해 2~3회 반복계산을 거쳐 합리적인 합성단면을 선정할 수 있는 설계방법의 연구가 있었다. 이 연구에서 PC합성보의 설계방법은 먼저 設計荷重을 고려하여 프리스트레스 크기를 가정하고 이 프리스트레스 크기로 설계단면적을 계산한다. 이 단면적과 가정된 프리스트레스 크기로 편심거리를 구하고 이와 같이 계산된 값들을 주어진 식에 대입하여 프리스트레스 크기를 계산한다. 여기서 계산된 프리스트레스 크기와 가정된 프리스트레스 크기가 일치될 때 까지 반복한다. 이 방법은 適用公式이 복잡할 뿐 아니라 처음에 프리스트레스 크기가 적절하게 가정되지 않으면 여러차례 반복해야

하므로 설계에 적용하기에는 문제점이 있다.

이 研究에서는 PC보 단면이 주어지고 프리스트레스 크기와 편심거리를 구하는 경우와 처음부터 PC보 단면을 算定한 다음 프리스트레스 크기와 편심거리를 구하는 두 경우에 대한 설계방법을 提案하고 이 방법을 쉽게 活用할 수 있도록 設計例를 提示한다. 이 때 설계예의 설계조건을 기 발표된 Hatcher논문과 동일하게 하여 설계된 결과를 Hatcher의 결과치와 비교함으로써 제안된 설계방법의 신뢰성을 검토한다.

研究結果 提案된 설계방법은 初級 技術者라고 쉽게 活用할 수 있으며 연구결과가 Hatcher의 結果値와 잘 一致함을 알 수 있었다.

2. 理論展開

2.1 解析

프리스트레스트 콘크리트(PC) 보는 프리스트레스 導入時와 使用荷重 作用時 PC보의 上·下緣에 생기는 응력이 示方書에서 제시한 許容應力 범위내에 들어야 한다. 따라서 PC보가 안전하게 설계되기 위해서는 다음 조건식을 만족해야 한다.

$$\sigma_0 = \frac{P_i}{A_G} - \frac{P_i \cdot e}{Z_t} + \frac{M_G}{Z_t} \geq \bar{\sigma}_t \quad (1)$$

$$\sigma_0 = \frac{P_i}{A_G} + \frac{P_i \cdot e}{Z_b} - \frac{M_G}{Z_b} \leq \bar{\sigma}_b \quad (2)$$

$$\sigma_0 = \frac{\eta P_i}{A_G} - \frac{\eta P_i \cdot e}{Z_t} + \frac{M_G + M_S}{Z_t} + \frac{M_L}{Z_t} \leq \bar{\sigma}_s \quad (3)$$

$$\sigma_0 = \frac{\eta P_i}{A_G} + \frac{\eta P_i \cdot e}{Z_b} - \frac{M_G + M_S}{Z_b} - \frac{M_L}{Z_b} \geq \bar{\sigma}_s \quad (4)$$

식(1)로부터 식(4)에 의해 理論적으로 프리스트레스 크기와 편심거리를 계산할 수 있지만 特定한 경우에는 편심거리가 지나치게 커져 콘크리트 단면을 벗어날 수가 있다. 이러한 경우에는 PC鋼材를 效率적으로 配置할 수 없으므로 실용성이 없다.

따라서 PC강재의 편심거리는 다음 조건식을 따라야 한다.

$$e \leq y_b - d' \quad (5)$$

식(1)~(4)에

$$P_i = A_p \rho_p \quad (6a)$$

$$Z_t = \rho_s A_G y_b \quad (6b)$$

$$Z_b = \rho_s A_G y_t \quad (6c)$$

$$M_G = c_T A_G L^2 \quad (6d)$$

$$Z_c = \frac{Z_t}{m_t} \quad (6e)$$

$$Z_c = \frac{Z_b}{m_b} \quad (6f)$$

여기서

$$\rho_s = \frac{K_t + K_b}{h} \quad (7)$$

$$K_t = \frac{I_G}{A_G y_b} \quad (8a)$$

$$K_b = \frac{I_G}{A_G y_t} \quad (8b)$$

$$m_t = \frac{Z_t \cdot y_c}{I_c} \quad (9a)$$

$$m_b = \frac{Z_b \cdot y_c}{I_c} \quad (9b)$$

을 대입하면

$$\begin{Bmatrix} -1 & S_1 \\ 1 & S_2 \\ 1 & -S_1 \\ -1 & -S_2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} A_p \\ A_p(\rho_s/h) \end{Bmatrix} \leq \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

여기서

$$S_1 = \frac{h}{\rho_s y_b} \quad (11a)$$

$$S_2 = \frac{h}{\rho_s y_t} \quad (11b)$$

$$C_1 = \frac{A_G}{\sigma_p} \left[\frac{c_T L^2}{\rho_s y_b} - \sigma_s \right] \quad (12a)$$

$$C_2 = \frac{A_G}{\sigma_p} \left[\bar{\sigma}_s + \frac{c_T L^2}{\rho_s y_t} \right] \quad (12b)$$

$$C_3 = \frac{A_G}{\gamma \sigma_p} \left[\bar{\sigma}_s - \frac{c_T L^2 + (M_s + m_b M_L)/A_G}{\rho_s y_b} \right] \quad (12c)$$

$$C_4 = \frac{-A_G}{\gamma \sigma_p} \left[\bar{\sigma}_s - \frac{c_T L^2 + (M_s + m_b M_L)/A_G}{\rho_s y_b} \right] \quad (12d)$$

로 된다.

식(8)과 (9)의 I_c , y_b , I_c 를 구하면 다음과 같다.

그림 1에서

$$I_G = A_G (\phi_1 + \phi_2 y_b - y_b^2) + \phi_3 \quad (13)$$

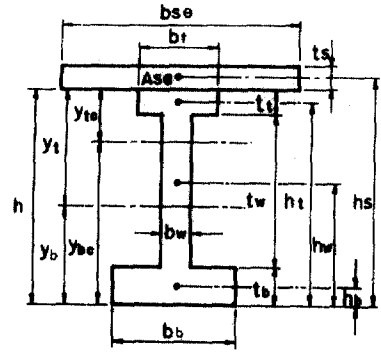


그림 1. 합성단면

$$\phi_1 = \frac{(h_t \cdot t_s^2 - h_b \cdot t_s^2) - h_b h_t}{12(h_t - h_b)} \quad (14a)$$

$$\phi_2 = \frac{(t_s^2 - t_b^2)}{12(h_t - h_b)} + (h_t + h_b) \quad (14b)$$

$$\phi_3 = (b_w t_w) \left[\frac{(h_w - h_b)(t_s^2/12 + h_t^2)}{(h_b - h_t)} + \frac{(h_t - h_w)(t_b^2/12 + h_b^2)}{(h_b - h_t)} + \frac{t_w^2}{12} + h_w^2 \right]$$

$$y_{tc} = \frac{A_G y_b + A_w h_b}{A_G + A_w} \quad (15)$$

$$I_c = I_G + A_G \cdot y_b^2 + A_w (t_s^2/12 + h_t^2) - (A_G + A_w) \cdot y_{tc}^2 \quad (16)$$

로 쓸 수 있다.

2.2 設計

2.2.1 프리스트레스 크기와 偏心距離

(斷面值數가 주어인 경우)

PC보 단면치수와 RC슬래브의 단면치수가 주어지면 식(10)에서 A_p 와 $A_p(\rho_s/h)$ 를 미지로 하는 4개의 聯立不等式을 얻게 된다. 이 부등식들을 圖示하면 그림 2와 같은 相關圖가 작도되고 이 상관도에서 適合區域 사각형 ABCD가 얻어진다.

이와 같은 방법으로 얻은 적합구역은 이론상의 적합구역이므로 실제 설계시에는 식(5)를 만족하는 최대 편심거리에 의해 계산된 e 와 보의 높이 h 의 비에 의해 原點 O에서 $A_p(\rho_s/h)$ 축으로 $\theta = \tan^{-1}(\rho_s/h)$ 의 기울기로 直線을 그어 얻어진 적합구역 사각형 ABLM을 설계에 사용한다. 圖示된 적합구역의 LM線에 임의점을 선택하여 $A_p(\rho_s/h)$ 축에 평행선을 그어 A_p 축과 交叉되는 점이 PC강재량 A_p 를 나타낸다. 이 A_p 에 σ_s 를 곱하면 식(5)를 만족하는 범위내에서 편심거리 e 가 最大일 때 프리스트레스 크기가 계산된

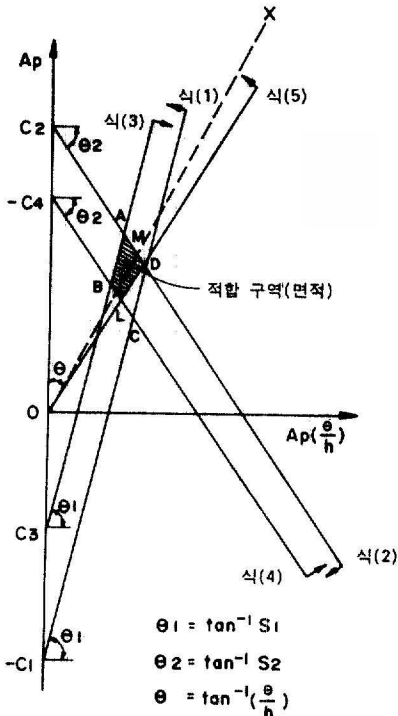


그림 2. 적합구역이 면적인 상관도

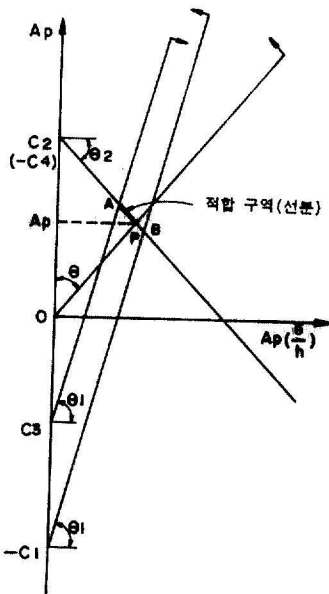


그림 3. 적합구역이 선분인 상관도

다. 식(5)를 만족하는 범위내에서 임의의 편심거리 e 로 설계할 경우에는 원점 0에서 적합구역 ABLM을 지나는 직선 OX를 그어 적합구역과 교차되는 직선상의 임의점을 선택하면 A_p 와 e 를 쉽게 구할 수 있다.

2.2.2 斷面値數와 프리스트레스 크기 및 偏心距離

PC보의 단면치수가 주어지지 않은 경우 합리적인 단면설계는 설계 초기부터 RC슬래브와 PC보의 합성단면 특성을 고려하여 설계단면적을 최소화하는 것으로 볼 수 있다. 이와 같이 설계단면적을 최소화하기 위해서는 그림 2의 상관도에 도시된 적합구역의 면적을 최소화하는 것으로 着眼하여 먼저 A_p 축의 C_2 와 $-C_4$ 를 등치시켜 적합구역을 그림 3과 같이 線分으로 나타내게 한다.

C_2 와 $-C_4$ 가 일치되는 설계단면을 얻기 위해서는 프리스트레스 도입시 하연의 압축응력과 사용하중 작용시 하연의 인장응력이 각각 허용응력과 일치되는 단면을 찾아야 한다.

이러한 단면에서는 식(10)이

$$\begin{Bmatrix} -1 & S_1 \\ 1 & S_2 \\ & 1-S_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} A_p \\ A_p(e/h) \end{Bmatrix} \leq \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{Bmatrix} \quad (17)$$

로 된다.

$C_2 = -C_4$ 에서 設計斷面積 A_G 는

$$A_G = \frac{M_s + m_b M_L}{\rho_A(h - y_b)(\eta \bar{\sigma}_c - \bar{\sigma}_s) - (1 - \eta)c_T L^2} \quad (18)$$

로 구할 수 있다.

合成斷面의 特性을 考慮해서 PC보의 설계단면적을 구하는 식(18)을 살펴보면 非合成斷面의 斷面積算定時 나타나지 않는 m_b 라는 미지수가 있다. 따라서 이 m_b 값만 구해지면 합성단면의 설계도 비합성 단면과 동일함을 알 수 있다. 이와 같은 m_b 값을 구하기 위해 먼저 假想斷面積 A_{G1} 을 다음과 같이 구한다.

식(9b)에 $Z_b = I_G / y_b$ 와 식(15), (16)을 대입하고 그 결과에 식(13)을 대입하여 m_b 를 정리한 다음 이것을 식(18)에 대입하면 다음과 같이 A_{G1} 의 함수로 표현된다.

$$\begin{aligned} & (K_1 K_2 y_b) A_{G1}^3 + (K_2 K_3 - K_1 y_b M_s - K_1 y_b M_L) A_{G1}^2 \\ & + (K_2 K_4 - K_3 M_s - K_3 M_L) A_{G1} - (\phi_b A_s h M_L + K_4 M_s) = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

여기서

$$K_1 = \phi_1 + \phi_2 y_b - y_b^2 \quad (20a)$$

$$K_2 = \rho_A(h - y_b)(\eta \bar{\sigma}_c - \bar{\sigma}_s) - (1 - \eta)c_T L^2 \quad (20b)$$

$$K_3 = (\phi_3 + \phi_4 + K_1 C_1 A_s) y_b - 2(A_s h \phi_4) \cdot y_b^2 + A_s y_b^3 \quad (20c)$$

$$\phi_4 = A_s (t_s^2 / l^2 + h_s^2)$$

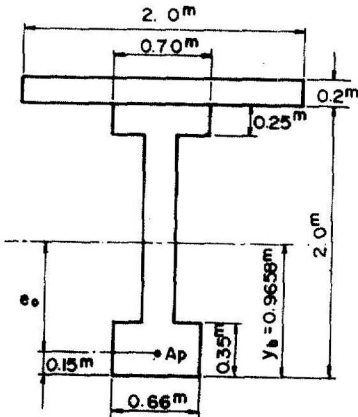
$$K_4 = (\phi_3 + \phi_4 - A_x h_c^2) y_b A_x \quad (20d)$$

$$K_5 = \phi_3 y_b + K_1 A_x h_c \quad (20e)$$

식(19)에서 계산된 A_{G1} 은 합성단면의 특성을 고려한 PC보의 설계단면적을 구하는 식이 아니라 단지 식(9b)의 m_b 를 구하기 위한 假想斷面積을 구하는 식이다. 식(18)에서 계산된 A_{G1} 을 식(6c)(15)에 대입하여 Z_b 와 y_b 를 구한다. 계산된 Z_b 를 $I_G - Z_b \cdot y_b$ 에 대입하여 I_G 를 구하고 이를 식(16)에 대입하여 I_c 를 구한다. 여기서 구한 Z_b , y_b , I_c 를 식(9b)에 대입하여 m_b 를 계산한다. 계산된 m_b 를 식(18)에 대입하면 합성단면의 특성을 고려한 PC보의 설계단면적 A_G 가 구해진다.

3. 設計例

3.1 그림과 같이 설계단면이 주어진 경우 다음 조건을 만족하는 최소 프리스트레스 크기와 편심거리를 구하라.



$$L=30m, W_1=2000kg/m, \gamma=2500kg/m^3$$

$$\eta=0.83, A_x=0.34$$

$$\sigma_p=9.5 \times 10^6 kg/m^2, \sigma_a=3.5 \times 10^6 kg/m^2$$

$$\bar{\sigma}_s = -0.139 \times 10^6 kg/m^2, \bar{\sigma}_c = 1.8 \times 10^6 kg/m^2$$

$$\bar{\sigma}_{cs} = 1.4 \times 10^6 kg/m^2, \bar{\sigma}_s = 0$$

1) 식(14)로부터 $\phi_1=0.3174$, $\phi_2=2.041$, $\phi_3=-0.1585$ 를 구하여 이를 식(13)에 대입하면 $I_G=0.3402m^4$ 을 얻는다.

2) I_G 값을 식(8)에 대입하여 $k_1=0.5131m$, $K_0=0.4795m$ 를 구하고 이를 식(7)에 대입하면 $\rho_k=0.4965$ 를 얻는다.

3) ρ_k 값을 식(11)에 대입하여 $S_1=4.1708$, $S_2=3.8905$ 를 얻는다.

4) 식(12)로부터 $C_1=0.005239$, $C_2=0.01695$, $C_3=0.002068$, $C_4=-0.01169$ 를 얻는다.

5) 3), 4)에서 계산된 S_1 , S_2 , C_1 , C_2 , C_3 , C_4 를 식(10)에 대입하여 정리하면

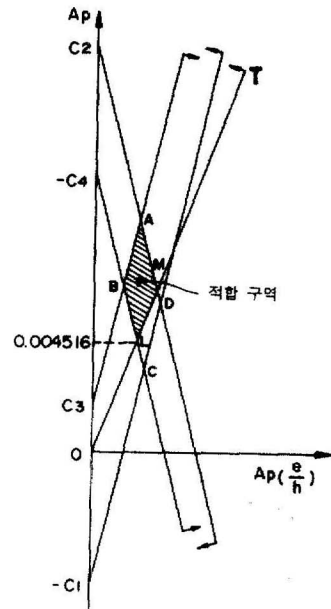
$$A_p - 4.1708 A_p (\%/h) \geq -0.005239$$

$$A_p + 3.8950 A_p (\%/h) \leq 0.01695$$

$$A_p - 4.1708 A_p (\%/h) \leq 0.002068$$

$$A_p + 3.8950 A_p (\%/h) \geq 0.01169$$

가 되어 이를 도시하면 적합구역 사각형 ABCD가 얻어진다.



6) 식(5)로부터 계산된 최대편심 $e=0.8158m$ 로 $\theta = \tan^{-1}(0.8158/2.0) = 22.2^\circ$ 를 구하여 원점 O에서 A_p 축으로부터 θ 각으로 연장한 직선 OT와 적합구역이 교차되는 선분 LM을 찾는다. 이 때 최소 프리스트레스 크기는 L점에서 $A_p (\%/h)$ 축에 평행선을 그어 A_p 축과 교차되는 점의 값 0.004516을 얻는다. 이 A_p 값을 식(6a)에 대입하여 $P_1=429$ 를 구한다.

7) 선택된 $P_1=429$, $e=0.8158m$ 를 식(1)에서 식(4)에 대입하면

$$\sigma_s = 0.148 \times 10^6 kg/m^2, \bar{\sigma}_s = -0.139 \times 10^6 kg/m^2$$

$$\sigma_c = 1.07 \times 10^6 kg/m^2, \bar{\sigma}_c = 1.8 \times 10^6 kg/m^2$$

$$\sigma_{cs} = 0.798 \times 10^6 kg/m^2, \bar{\sigma}_{cs} = 1.4 \times 10^6 kg/m^2$$

$$\sigma_s = 0.00340 \times 10^6 kg/m^2 \approx \bar{\sigma}_s = 0$$

가 되어 모든 조건을 만족하는 안전한 설계가 되었음을 알 수 있다.

3.2 PC합성보 설계시 다음 조건을 만족하는 설계단면적과 프리스트레스 크기 및 편심거리를 구하라. [이 때 주어진 설계조건은 참고문헌(9)의 Hatcher 논문과 동일하게 하여 그 결과를 비교하고자 한다.]

$$L=50\text{ft}, h=40\text{in}, t_t=6\text{in}, t_b=6\text{in}$$

$$t_w=6.32\text{in}, t_s=6\text{in}, \rho_s=0.425$$

$$y_b=16.4706\text{in}, b=8\text{ft}, A_w=407.4\text{in}^2$$

$$w_e=2^k/\text{ft}, \gamma=0.15^k/\text{ft}^3, \eta=0.8$$

$$\sigma_p=140\text{ksi}, \sigma_{sk}=6\text{ksi}, \bar{\sigma}_s=-0.190\text{ksi}$$

$$\bar{\sigma}_a=2.4\text{ksi}, \bar{\sigma}_s=2.7\text{ksi}, \bar{\sigma}_b=0$$

1) 가상 단면적 A_{GI} 계산

식(20)으로부터 $K_1=279.53, K_2=18.4187, K_3=5951393, K_4=-260699880, K_5=4231631$ 을 구하여 식(19)에 대입하면

$A_{GI}^3+763.236A_{GI}^2-588764A_{GI}+6899428=0$ 이 얻어진다.

이를 Newton-Raphson 근사해법⁽¹⁰⁾에 의해 풀면 $A_{GI}=352.2\text{in}^2$ 로 된다.

2) I_c 계산

A_{GI} 을 식(6c), (15)에 대입하여 $Z_b=3522\text{in}^3, y_{bc}=30.6928\text{in}$ 을 구한다. 이때 계산된 Z_b 를 $I_c=Z_b y_b$ 에 대입하여 I_c 를 계산하고 이를 식(16)에 대입하면 $I_c=192116\text{in}^4$ 을 얻는다.

3) m_b 계산

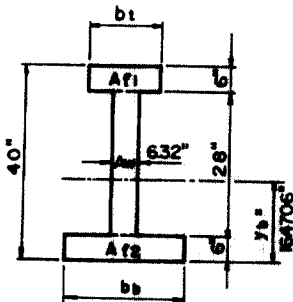
Z_b, y_{bc}, I_c 를 식(9b)에 대입하여 $m_b=0.562681$ 을 얻는다.

4) 설계단면적 A_G 계산

3)에서 계산된 m_b 값을 식(18)에 대입하여 $A_G=351.278\text{in}^2$ 을 얻는다.

5) 단면치수 b_t 와 b_b 계산

그림에서



$$A_G=A_{f1}+A_{f2}+A_w$$

$$A_{Gy_b}=A_{f1}h_t+A_{f2}h_b+A_w h_w$$

로 쓸 수 있고 여기에 주어진 조건과 계산결과를 대입하면

$$\left. \begin{aligned} b_t &= 8.4490\text{in} \\ b_b &= 20.604\text{in} \end{aligned} \right\} \text{를 얻는다.}$$

6) 최소 프리스트레스 크기와 편심거리

설계단면이 결정되었으므로 설계에 3.1과 같은 방법으로 $S_1=571428, S_2=4.0, C_1=1.87692, C_2=7.00204, C_3=2.70987, C_4=-7.00046$ 를 구하여 상판도를 작도한다.

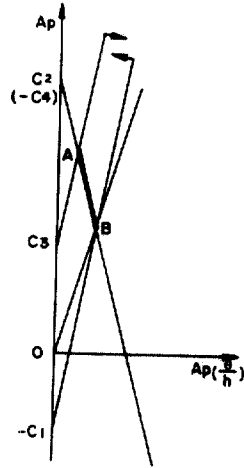
이 때 계산된 C_2 와 $-C_4$ 는 같은 값을 나타내므로 식(17)로부터

$$A_p-5.71428A_p(\%/h) \geq -1.87692$$

$$A_p+4.0A_p(\%/h) \leq 7.00204$$

$$A_p-5.71428A_p(\%/h) \leq 2.70987$$

이 되어 이를 도시하면 적합구역이 선분 AB로 나타난다.



원점0에서 점B를 지나는 직선을 그으면 $y_b/h=0.273166$ 이 되어

$$\left. \begin{aligned} e &= 10.9266\text{in} \\ A_p &= 3.4599\text{in}^2 \end{aligned} \right\} \text{를 얻는다.}$$

이로부터 프리스트레스 크기 $P_1=468.439\text{k}$ 가 구해진다.

7) 안전 검토

설계단면 $A_G=351.278\text{in}^2$ 으로 계산된 $Z_b=3512.78\text{in}^3, Z_t=2458.95\text{in}^3, y_{bc}=30.7165\text{in}, y_c=9.2835\text{in}, I_c=191842\text{in}^4$ 과 6)에서 계산된 P 와 e 값을 식(1)에서 식(4)에 대입하면

$$\sigma_6 = -0.189995 \text{ksi} \geq \bar{\sigma}_6 = -0.190 \text{ksi}$$

$$\sigma_7 = 2.40 \text{ksi} = \bar{\sigma}_7 = 2.40 \text{ksi}$$

$$\sigma_8 = 1.23757 \text{ksi} < \bar{\sigma}_8 = 2.7 \text{ksi}$$

$$\sigma_9 = 0.000499 \text{ksi} \approx \bar{\sigma}_9 = 0$$

가 되어 안전한 설계가 되었음을 알 수 있다.

3.3 계산된 결과를 Hatcher 논문과 비교하면 다음과 같다.

	본논문	Hatcher 논문
$A_G(\text{in}^2)$	351.278	351.2
$b(\text{in})$	8.4490	8.43
$b_b(\text{in})$	20.604	20.65
$P(k)$	468.439	468.4
$e(\text{in})$	10.9266	10.94
$\sigma_6(\text{ksi})$	-0.189995	-0.187
$\sigma_7(\text{ksi})$	2.40	2.397
$\sigma_8(\text{ksi})$	1.23757	1.236
$\sigma_9(\text{ksi})$	0.000499	0.006

본 연구의 결과치와 Hatcher 논문의 결과치가 잘 일치됨을 알 수 있다.

4. 결론

오늘날 PC 합성보 설계시 먼저斷面을假定한 다음 프리스트레스 크기와 편심거리를 구하는設計方法으로는 PC 합성斷面의 特性을 고려한斷面의 選定은 反復設計에 의해서만 가능하다. 따라서 이 연구에서는 이러한 반복설계를 피하고 직접 설계斷面을 선택할 수 있는 直接設計法을 提案하고자 한다. 또한 단면이 주어진 경우에는 相關圖를 利用하여 간편하게 프리스트레스 크기와 편심거리를 구할 수 있는 設計方法도 提示하고자 한다. 研究結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 非合成斷面인 PC보를 설계할 때 이용한 修正된 마그넬 다이어그램을 PC 합성斷面의 設計에도 이용할 수 있도록 適用範圍를 확장시켰다.

2) 단면이 주어지지 않은 경우에는 먼저 假想斷面積 A_G 을 구한 다음 이를 기초로 設計斷面積을 구할 수 있었다. 이 설계斷面적으로 斷面值數가 定해지고 이로부터 상관도를 작도하여 適合區域을 찾아 프리스트레스 크기와 편심거리를 직접 구할 수 있는 直接設計法을 提案하였다.

3) 提案된 設計方法을 쉽게 이해하고 이를 活用할 수 있도록 設計例를 제시하였으며 이 설계예의

계산을 自動化하기 위해 전산 프로그램도 작성하였다.

4) 이 논문에 따른 설계방법의 信賴性을 糾明하기 위해 既設計된 Hatcher 論文과 이 논문의 計算值를 비교한 결과 잘 一致됨을 알 수 있었다.

謝 辭

“이 論文은 1989년도 文敎部 지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음”

附錄 1. 記號

A_G PC보 斷面積

A_{G1} 合成斷面에서 m_b 값을 구하기 위한 假想斷面積

A_b PC보 下部 플랜지 斷面積($b_b \times t_b$)

A_t PC보 上部 플랜지 斷面積($b_t \times t_t$)

A_w PC보 웨브 斷面積($b_w \times t_w$)

A_s 現場 打設된 슬래브 斷面積

A_p PC鋼材斷面積

A_{se} 現場 打設된 슬래브의 有效斷面積

b_s 슬래브 幅

b_b PC보 斷面의 下部 플랜지 幅

b_t PC보 斷面의 上部 플랜지 幅

b_w PC보 斷面의 웨브 幅

C 모멘트 係數

C_1, C_2, C_3, C_4 相關圖에서 A_p 軸의 截片

d' PC鋼材의 圖心으로부터 下緣까지 距離

e 偏心距離

h PC보 높이

h_b 下部 플랜지 바닥으로부터 現場 打設된 슬래브 圖心까지 높이

h_t 下部 플랜지 바닥으로부터 下部 플랜지 圖心까지 높이

h_s 下部 플랜지 바닥으로부터 上部 플랜지 圖心까지 높이

h_w 下部 플랜지 바닥으로부터 복부 圖心까지 높이

I_G PC보 단면 2次 모멘트

I_c 合成보 斷面 2次 모멘트

k_b 圖心軸으로부터 下核 距離

k_t 圖心軸으로부터 上核 距離

L 보의 支間

M_G PC보 自重 모멘트

M_L 設計 活荷重 모멘트

M_s 現場 打設된 슬래브 自重모멘트
 m_b PC보 단면의 下線 斷面係數와 合成斷面의 下線

$$\text{斷面係數比} \left(\frac{Z_b}{Z_c} \right)$$

m_t PC보 斷面의 上線 斷面係數와 合成斷面의 上線

$$\text{斷面係數比} \left(\frac{Z_t}{Z_c} \right)$$

P_i 프리스트레스 도입시 프리스트레스크기 ($A_p \times \sigma_p$)

S_1, S_2 相關圖에서 直線의 기울기

t_s 現場 打設된 슬래브 두께

t_b PC보 斷面의 下部 플랜지두께

t_t PC보 斷面의 上部 플랜지두께

t_w PC보 斷面의 복부 두께

W_L 設計 活荷重

y_b PC보 斷面의 圖心軸으로 부터 下線까지 距離

y_t PC보 斷面의 圖心軸으로 부터 上線까지 距離

y_{bc} 合成斷面의 圖心軸으로부터 PC보 斷面의 下線까지 距離

y_{tc} 合成斷面의 圖心軸으로부터 PC보 斷面의 上線까지 距離

Z_b PC보 斷面의 下線 斷面係數

Z_t PC보 斷面의 上線 斷面係數

Z_{bc} 合成斷面의 下線斷面 係數 $\left(\frac{I_c}{y_{bc}} \right)$

Z_{tc} 合成斷面의 上線斷面 係數 $\left(\frac{I_c}{y_{tc}} \right)$

γ PC 및 鐵筋콘크리트의 單位 體積重量

η 프리스트레스 有效率

ρ_k 斷面의 淸效率 $\left(\frac{K_i + K_b}{h} \right)$

σ_{sk} PC보 콘크리트 設計 基準 強度

$\bar{\sigma}_s$ 프리스트레스 導入時 上線의 許容引張應力

$\bar{\sigma}_i$ 프리스트레스 導入時 下線의 許容壓縮應力

$\bar{\sigma}_s$ 設計荷重 作用時 上線의 許容壓縮應力

$\bar{\sigma}_s$ 設計荷重 作用時 下線의 許容引張應力

σ_s, σ_b 프리스트레스 導入時 上·下線의 計算된 應力

σ_s, σ_b 設計荷重 作用時 上·下線의 計算된 應力

σ_p 프리스트레스 導入時 PC鋼材의 引張應力

參考文獻

1. A. E. Naaman, *Prestressed Concrete Analysis and Design*, McGraw-Hill Book Co. 1982, PP. 3, 4, 317~346, 570~543.
2. T. Y. Lin & N. H. Burns, *Design of Prestressed Concrete Structures*, John Wiley and Sons Inc. 1981, PP. 2~4, 178~183, 610~613.
3. A. H. Nilson, *Design of Prestressed Concrete*, John Willy and Sons Inc. 1978, PP. 241~251, 489~492.
4. 金守萬, "修正된 마그네티다이아 그램을 利用한 PC보의 解析 및 設計" 水源大學校 理工學研究所 論文 2輯 1987.
5. D. S. Hatcher, "Direct Flexural Design of Prestressed Concrete" *J. of Structural Div.*, ASCE, Vol. 104 No. ST8, Aug. 1978.
6. S. Somayaji, "Prestressed Concrete Flexural Member Design", *J. of structural Div.*, ASCE, Vol. 108, No. ST8, Aug. 1982.
7. N. Krishnamurthy, "Magnel Diagram for Prestressed Concrete Beams", *J. of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 12, Dec. 1983.
8. A. S. Prasada Rao, "Direct Minimum Weight Design of Long Span Prestressed Concrete Members", *PCI Journal*, Jan.-Feb., 1984.
9. D. S. Hatcher, "Design of Composite Prestressed Concrete Beams", *J. of Structural Div.*, ASCE Vol. 105, No. ST1. Jan. 1979.
10. R. W. Hamming, *Numerical Methods for Scientists and Engineers*, McGraw-Hill Inc., 1973, PP. 68~70.

(接受: 1990. 8. 6)