

제8장 프리스트레스 콘크리트

핵심요약

① 개요

PC는 철근콘크리트의 결함인 균열을 방지하여 전 단면을 유효하게 이용할 수 있도록 설계하중 작용시 발생하는 인장응력을 소정의 한도까지 상쇄할 수 있도록 미리 인공적으로 압축력을 도입한 콘크리트를 프리스트레스 콘크리트라 한다.

② 기본 3개념

(1) 응력개념(균등질 보의 개념) : 탄성이론에 의한 해석

1) PC강재가 도심축과 일치되는 경우

$$\therefore f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{I}y$$

2) PC강재가 도심축과 편심배치되는 경우

단면도심에서 e만큼 편심되어 강선을 배치한다면 프리스트레스는 축방향력 P와 편심모멘트(P · e) 그리고, 하중에 의한 모멘트 M에 따른 콘크리트 응력을 조합

$$\therefore f = \frac{P}{A} \mp \frac{P \cdot e}{I}y \pm \frac{M}{I}y$$

(2) 강도개념 (내력모멘트 개념) : 극한강도 이론에 의한 해석

압축력은 콘크리트가 받고 인장력은 PC강재(긴장재)가 받는다는 이론

(3) 하중평형개념 (등가하중 개념)

PC강선이 포물선으로 지간중앙에 새그(sag) s로 배치되어 있다면 프리스트레스 P에 의한 등분포 상향력은

$$\frac{u \cdot l^2}{8} = P \cdot s \quad (\text{단, } P \cos \theta \approx P)$$

$$\therefore u = \frac{8P \cdot s}{l^2}$$

하중평형 개념은 포물선으로 배치된 PC강선에만 성립되는 것이 아니라 절곡된 PC강선의 배치에도 적용된다.

③ 프리스트레싱 방법과 공법

(1) 프리스트레싱 방법

기계적 방법, 화학적 방법, 전기적 방법

(2) 프리텐션 공법 (Pre - tension)

콘크리트를 타설하기 전에 PC강재를 미리 긴장시키고, 콘크리트를 타설하여 경화하면 긴장력을 풀어서 콘크리트에 프리스트레스를 도입하는 공법으로 콘크리트와 PC강재의 부착에 의해서 프리스트레스가 도입된다.

1) 롱라인 공법(long - line) : 연속식

- ① 1회의 긴장으로 동시에 여러개의 부재를 제작할 수 있는 공법
- ② 넓은 면적이 필요

2) 인디비듀얼 몰드 공법(individual mold) : 단속식

- ① 1회의 긴장으로 비교적 큰 부재 1개를 제작
- ② 거푸집과 긴장대의 회전율을 높여 경제성을 확보
- ③ 거푸집 비용이 비싸다.

(3) 포스트 텐션공법 (post - tension)

프리캐스트 PC부재의 결합과 조립이 편리하여 현장에서 1개의 크고 긴 부재를 만들 수 있다.

1) 제작순서

- ① 거푸집과 쉬스(sheath)를 배치한다.
- ② 콘크리트를 타설한다.
- ③ 콘크리트가 경화된 후 PC강재를 긴장한다.
- ④ PC강재를 정착시킨다. (정착장치 필요)
- ⑤ 그라우팅(grouting)을 실시한다. (PC강재의 부식을 막기위해)

2) 포스트 텐션 공법의 종류

- ① 췌기식 : Freyssinet공법, CCL공법, Magnel공법
- ② 지압식 : 리벳머리식(BBRV) 공법, 너트식(Dywidag) 공법
- ③ 루프식 : Baur - Leonhart공법, Leoba공법

(4) 프리텐션 공법과 포스트 텐션 공법의 특징

1) 프리텐션 공법

- ① 공장생산에 의하여 품질의 신뢰도가 높고, 대량생산 가능
- ② 장대시간 부재에는 운반상의 문제가 있어 적합하지 않다.
- ③ 프리스트레스 힘의 유지를 콘크리트와 PC강재의 부착에 의존하므로 포스트텐션공법보다 고 강도의 콘크리트 사용 ($f_{ck} \geq 350 \text{ kgf/cm}^2$)

2) 포스트텐션 공법

- ① PC강재를 곡선배치 할 수 있어서 대형구조물에 적합
- ② 정착장치, 쉬스, 그라우팅 등이 필요하다.
- ③ 프리스트레스힘의 유지를 정착장치에 의존하므로 프리텐션 공법보다 낮은 강도의 콘크리트를 사용할 수 있다. ($f_{ck} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$)
- ④ PC강재의 재긴장 후 다시 사용 가능

④ PC의 특징

(1) 장점

- 1) 내구성이 크고, 탄력성과 복원성이 좋다.
- 2) 보통 완전프리스트레싱 상태로 설계하므로, 전단면을 유효하게 사용할 수 있다.
 - ① 완전 프리스트레싱(Pull prestressing)
부재의 어느 부분에도 인장응력이 생기지 않도록 프리스트레스를 가하는 것
 - ② 부분 프리스트레싱(Partial prestressing)
작용하중 하에서 부재단면의 일부에 인장응력이 생기는 경우

(2) 단점

- 1) 변형이 크고, 진동하기 쉬우며, 내화성, 즉 열에 약하다.
- 2) RC에 비해 단가가 비싸고, 보조재료비용의 추가로 공사비가 많이 든다.

⑤ PC의 재료

(1) 콘크리트

철근콘크리트 및 강구조

1) 압축강도가 크고, 크리프나 건조수축이 작아야 한다.

① 프리텐션 공법 : $f_{ck} \geq 350 \text{ kgf/cm}^2$

② 포스트텐션 공법 : $f_{ck} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$

2) 배합설계시 단위수량, 단위시멘트량을 가능한한 최소로 한다.

(2) PC강재

1) PC강재의 종류

① PC강선 : 지름 2.9 - 8mm 정도로 주로 프리텐션 공법에 많이 사용

② PC강연선 : 강선을 꼬아서 만든 것으로 2연선, 7연선을 많이 사용

③ PC강봉 : 지름 9.2 - 32mm 정도로 주로 포스트텐션 공법에 많이 쓰이며 강선이나 강연선보다 릴랙세이션(relaxation)이 작은 잇점이 있다.

2) PC강재에 요구되는 성질

① 인장강도와 항복비가 클 것

② 부식에 대한 저항성과 부착강도가 클 것

③ 릴랙세이션이 작을 것

④ 신직성(곧게 잘 퍼지는 성질)이 좋을 것

3) PC강재의 탄성계수 (EP)

시험에 의하여 정하는 것을 원칙으로 하나 보통의 경우 다음 값을 사용

$$EP = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

(3) 기타의 재료

쉬스(sheath), PC그라우트

⑥ 프리스트레스의 도입과 손실

(1) 프리스트레스의 도입

1) 프리텐션 공법

$$\begin{aligned} f'_{ci} &\geq 1.7 f_{ci} \\ &\geq 300 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

f'_{ci} : 프리스트레스 도입시 콘크리트 압축강도
 f_{ci} : 콘크리트에 도입할 최대압축응력

3) 포스트텐션 공법

$$f'_{ci} \geq 1.7f_{ci}$$

$$\geq 250 \text{ kgf/cm}^2$$

(2) 프리스트레스의 손실

1) 초기 프리스트레스 힘과 유효 프리스트레스 힘

① 초기 프리스트레스 힘 (initial prestress force)

프리스트레스 도입 직후 재킹(jacking)에 의한 P_j 는 즉시 손실에 따라서, 초기 프리스트레스 힘 P_i 로 감소한다.

② 유효 프리스트레스 힘 (effective prestress force)

프리스트레스 도입 후 초기 프리스트레스 힘 P_i 는 시간적 손실에 따라서, 유효 프리스트레스 힘 P_e 로 감소한다.

2) 유효율과 감소율

$$\text{① 유효율 } (R) = \frac{P_e}{P_i} \begin{cases} \text{프리텐션 방식 : } R = 0.80 \\ \text{포스트텐션 방식 : } R = 0.85 \end{cases}$$

$$\text{② 감소율} = \frac{P_i - P_e}{P_i} = \frac{\Delta P}{P_i}$$

(3) 프리스트레스의 손실원인

1) 프리스트레스 도입시 일어나는 손실 (즉시 손실)

- ① 콘크리트의 탄성변형 (탄성수축)
- ② PC강재와 쉬스 마찰
- ③ 정착장치의 활동

2) 프리스트레스 도입 후 손실 (시간적 손실)

- ① 콘크리트의 건조수축
- ② 콘크리트의 크리프
- ③ PC강재의 릴랙세이션(Relaxation)

(4) 손실량 계산

1) 탄성변형에 의한 손실

- ① 프리텐션 방식

$$\Delta f_p = n \cdot f_c \text{ 여기서, } n = \frac{\text{PC강재의탄성계수 } (E_p)}{\text{콘크리트의탄성계수 } (E_c)} : \text{보통의 경우 6을 사용}$$

- Δf_p : PC강재의 인장응력 감소량
- f_c : PC강재 도심위치에서의 콘크리트 압축응력

② 포스트텐션 방식

- ㉔ 여러개의 PC강재를 한꺼번에 긴장시 긴장재의 응력은 콘크리트 부재가 이미 탄성수축한 후에 측정되므로 손실은 없다.
- ㉕ 여러개의 PC강재를 순차적으로 긴장·정착하는 경우 제일 먼저 긴장하여 정착한 PC강재가 가장 많이 감소하고, 마지막으로 정착한 긴장재는 감소가 없다. 따라서, 프리스트레스의 감소량을 정확하게 계산하려면 복잡하므로 근사적으로 제일 먼저 긴장한 긴장재의 감소량을 계산하여 그 값의 1/2을 모든 긴장재의 평균감소량으로 한다.

2) 정착단의 활동에 의한 손실

$$\Delta f_p = E_p \times \frac{\Delta l}{l} \left\{ \begin{array}{l} E_p : \text{PC강재의 탄성계수(보통 } E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2) \\ l : \text{긴장재의 길이} \\ \Delta l : \text{정착단의 활동량(1단정착시: } \Delta l, \text{ 2단정착시: } 2 \times \Delta l \end{array} \right.$$

3) 강재와 쉬스의 마찰에 의한 손실

$$P_x = P_0 \cdot e^{-(\pi \cdot \alpha + k \cdot l)} \text{ 보통의 경우 근사식 사용}$$

$$\therefore \text{손실율} = \frac{\Delta P}{P_0} \times 100(\%) = (\mu \cdot \alpha + k \cdot l) \times 100(\%)$$

π : 곡률마찰계수 α : 각변화(radian)

k : 파상마찰계수 l : 인장단으로부터 생각하는 단면까지의 긴장재의 길이

4) 콘크리트의 건조수축에 의한 손실

$$\Delta f_p = E_p \cdot \epsilon_{cs} \text{ 여기서 } \epsilon_{cs} \text{ 는 건조수축변형률}$$

5) 콘크리트의 크리프에 의한 손실

$$\Delta f_p = E_p \cdot \epsilon_c = E_p \cdot \phi \cdot \epsilon_e = E_p \cdot \phi \cdot \frac{f_c}{E_c} = \phi \cdot n \cdot f_c$$

- 여기서, — ϵ_c : 크리프 변형률
- ϵ_e : 탄성 변형률
- ϕ : 크리프 계수 = $\frac{\epsilon_c}{\epsilon_e}$

6) 강재의 릴랙세이션에 의한 손실

PC강재에 인장응력을 작용시켜 강재의 길이를 일정하게 유지해 두면 처음에 가한 인장력은 시간의 경과와 함께 감소한다.

이러한 현상을 릴랙세이션이라 한다.

$$\Delta f_p = f_{pi} \cdot \frac{\log_{10} t}{10} \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0.55 \right) \text{ 보통의 경우 근사식 사용}$$

$$\Delta f_p = r \cdot f_{pi} \quad \text{여기서 } f_{pi}: \text{ 프리스트레스 도입 직후 긴장재의 인장응력}$$

$$r : \text{ 릴랙세이션 감소율} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{PC강선, 강연선} = 5\%, \\ \text{PC강봉} = 3\% \end{array} \right.$$