

특 집

|| ACI 318 Code 주요 개정내용 분석 ||

프리스트레스트 콘크리트 - Chapter 18 - Prestressed Concrete -



문정호*
Moon, Jeong-Ho

1. 개정의 주된 방향

ACI 318-02로의 주된 개정 방향은 프리스트레스트 콘크리트 부재와 통일된 방법으로 일반철근콘크리트 부재를 설계하도록 하고자 하였으며, 주요 개정 내용은 다음과 같다.

- 부분프리스트레스트 개념의 도입(18.3절, 개정 및 신설)
- 긴장재의 배치(18.4절, 신설)
- 인장변형도에 따른 강도감소계수(18.8절, 개정)
- 인장변형도에 따른 부모멘트 재분배(18.10절, 개정)
- 사용용어의 변경(전체, 개정)

ACI 318-99까지의 기준에서는 프리스트레스트 콘크리트 부재에서 균열이 발생하지 않도록 하기 위하여 콘크리트의 허용인장 및 허용압축응력을 명시하고 있었다. 그러나 실제 구조물에서는 일반철근과 긴장재를 함께 사용하는 경우가 많은데, 이 경우 이를 프리스트레스트 콘크리트 부재로 분류할 경우에는 균열을 허용할 수 없다. 그러나 일반철근도 함께 사용하기 때문에 일반 철근 콘크리트 부재로 분류할 경우에는 균열을 허용할 수 있다. 이와 같이 일반철근과 긴장재를 혼용하는 경우를 부분프리스트레스트 콘크리트 (partially prestressed concrete) 구조라 분류하기도 하였으나, 이에 맞는 적절한 기준이 없어 실무에서의 적용에 어려움이 있었다. 따라서 ACI 318-02 기준에서는 부분프리스트레스트 콘크리트의 개념을 도입하여 설계자의 의도에 따라 부분적으로 균열을 허용할

수 있도록 하였다. 그리고 균열을 허용할 경우 피로나 유해환경에 노출되는 위험을 배제하기 위하여 18.4절에서는 10.6.4절과 동일한 개념으로 긴장재의 피복두께를 한정하고 있다.

기존의 ACI기준에서는 최대보강비를 설정하여 연성파괴를 유도하고, 낮은 보강비를 갖는 단면의 경우 부모멘트 재분배를 허용하고 있었다. 그러나 ACI 318-02에서는 일반 철근 콘크리트와 프리스트레스트 콘크리트의 구분없이 동일한 방법으로 파괴형상 및 모멘트 재분배를 규정하고 있다. 인장축 변형도의 값을 기준으로 강도감소계수를 다르게 적용하도록 하여 파괴형상을 고려하도록 하였으며, 부모멘트 재분배 역시 인장축 변형도의 값을 이용하여 계산하도록 하였다. 두 가지 모두 보강재의 종류에 무관하게 파괴형상과 관련이 있기 때문에 이들을 동일한 기준으로 설계하도록 하고 있음을 알 수 있다.

끝으로 사용용어의 간단한 변경이 있었는데, 주로 다음과 같은 세가지를 들 수 있다.

- Prestressing tendon - Prestressing steel
- Tendon force - Prestressing force
- Unbonded prestressing tendon - unbonded tendon

2. 주요개정 내용

2.1 부분프리스트레스트 개념의 도입

부분프리스트레스트 콘크리트 구조의 개념을 도입하기 위하여 설계되는 단면을 다음과 같이 분류하였다.

* 정회원, 한남대학교 건축학부 교수

Class U : $f_t \leq 7.5\sqrt{f_{ck}}$ psi (1)

($f_t \leq 0.7\sqrt{f_{ck}}$ MPa)

Class T : $7.5\sqrt{f_{ck}} \leq f_t \leq 12\sqrt{f_{ck}}$ psi (2)

($0.7\sqrt{f_{ck}} \leq f_t \leq 1.0\sqrt{f_{ck}}$ MPa)

Class C : $f_t > 12\sqrt{f_{ck}}$ psi (3)

($f_t > 1.0\sqrt{f_{ck}}$ MPa)

Class U는 비균열(uncracked), Class C는 균열(cracked), Class T는 균열과 비균열의 중간(transition) 상태를 각각 나타낸다. <표 1>에는 분류된 각각의 단면에 대한 허용응력도 값을 정리하였고, 이를 국내의 콘크리트 구조설계기준과도 비교하였다.

표에서 보는 바와 같이 사용하중 단계에서는 휨인장응력에 대한 한계가 없는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 단면을 먼저 분류하여 설계하기 때문에 Class U와 Class T는 분류방식에 의한 응력의 한계를 넘지 않도록 설계하며, Class C는 균열에 대한 제한이 없

기 때문이다. 그리고 표 2에는 각각의 분류된 단면의 성질 등을 산정할 때, 필요한 사항들을 정리하였다. 여기에서 Class T는 응력을 산정할 때에는 전체단면을 사용하고, 처짐을 계산할 때에는 균열단면을 사용하도록 하고 있음을 알 수 있다.

2.2 긴장재의 배치

프리스트레스트 콘크리트 부재의 균열을 허용하도록 설계하는 경우 피로나 유해환경에 노출되는 위험을 배제하기 위하여, 18.4 절에서는 10.6.4절과 동일한 개념으로 긴장재의 피복두께를 한정하고 있다. 먼저 class C 로 구분되는 휨부재가 피로나 유해환경에 노출되지 않는 경우에는 표면으로부터 다음과 같은 거리 이상의 위치에 긴장재를 배치하도록 한다.

$$s = \frac{540}{\Delta f_{ps}} - 2.5c_c \quad \text{단 } s < 12(36/f_{ps}) \quad (4)$$

표 1. 허용인장응력도의 비교

		허용응력	ACI 318-99 (psi)	ACI 318-02 (psi)	국내기준 (MPa)
도입단계	휨압축응력		$0.6f_{ci}$	$0.6f_{ci}$	$0.6f_{ci}$
	휨인장응력		$3\sqrt{f_{ci}}$	$3\sqrt{f_{ci}}$	$0.25\sqrt{f_{ci}}$
	단순지지 부재 단부에서의 인장응력		$6\sqrt{f_{ci}}$	$6\sqrt{f_{ci}}$	$0.5\sqrt{f_{ci}}$
사용단계	휨압축응력	프리스트레스와 장기하중	$0.45f_{ck}$	$0.45f_{ck}$	$0.4f_{ck}$
		프리스트레스와 전체하중	$0.6f_{ck}$	$0.6f_{ck}$	
	휨인장응력	일반적인 경우	$6\sqrt{f_{ck}}$	-	$0.5\sqrt{f_{ck}}$
		심한 부식의 우려가 있는 경우	-	-	$0.25\sqrt{f_{ck}}$
		특수한 경우	$12\sqrt{f_{ck}}$	-	$1.0\sqrt{f_{ck}}$

표 2. 휨을 받는 프리스트레스트 콘크리트 부재의 분류

	단면의 구분		
	Class U	Class T	Class C
가정된 단면의 거동	비균열	비균열과 균열의 중간	균열
사용하중의 단면	전체단면	전체단면	균열단면
도입단계의 허용응력	318-99와 동일	318-99와 동일	318-99와 동일
비균열 단면의 허용압축응력	318-99와 동일	318-99와 동일	-
사용단계의 응력	$f_t \leq 7.5\sqrt{f_{ck}}$	$7.5\sqrt{f_{ck}} \leq f_t \leq 12\sqrt{f_{ck}}$	-
처짐계산	전체단면	균열단면, Bilinear	균열단면, Bilinear

표 3. 인장변형도와의 관계 및 강도감소계수

	ϵ_t	c/d	ω_p	ϕ
Compression-controlled	≤ 0.002	≥ 0.6	$\geq 0.51\beta_1$	0.65 혹은 0.7
Transition	0.002~0.005	0.375 ~ 0.6	$0.32\beta_1 \sim 0.51\beta_1$	식
Tension-controlled	≥ 0.0075	≤ 0.375	$\leq 0.32\beta_1$	0.9
Moment redistribution allowed	≥ 0.0075	≤ 0.29	$\leq 0.24\beta_1$	0.9

여기서 Δf_{ps} 는 decompression stress f_{dc} 와 사용하중 상태에서 균열단면해석에서 얻어진 긴장재 응력의 차이이다. 그러나 class C 로 구분되는 휨부재가 피로나 유해환경에 노출되는 경우에는 상기 식에 의하여 계산된 최대간격의 2/3을 초과하지 않도록 하며, 일반철근과 긴장재가 함께 사용될 때는 계산 값의 5/6 을 초과하지 않도록 한다.

2.3 인장변형도에 따른 강도감소계수

ACI 318-02 기준에서는 인장 변형도의 크기에 따라 강도감소 계수를 달리한다. 단면의 종류를 인장 변형도 ϵ_t 값에 따라 <표 3>과 같이 단면의 성능을 구분하며, 압축지배(compression-controlled)와 인장지배(tension-controlled)는 각각 압축파괴와 인장파괴가 발생하는 경우를 나타낸다. 그리고 중간단계(transition)는 그 중간단계를 나타낸다. <표 3>에는 ϵ_t 값을 ω_p 및 c/d 의 값으로 환산한 값도 함께 나타내었는데, 이는 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{c}{d} = \frac{1}{d} \frac{a}{\beta_1} = \frac{1}{d} \frac{1}{\beta_1} \frac{A_{ps} f_{ps}}{0.85 f_{ck} b} = \frac{0.003}{\epsilon_t + 0.003} \quad (5)$$

$$\omega_p = \frac{A_{ps}}{bd} \frac{f_{ps}}{f_{ck}} = 0.85 \beta_1 \frac{0.003}{\epsilon_t + 0.003} \quad (6)$$

그리고 각각의 인장 변형도 값에 따라 다음과 같은 강도감소계수를 적용한다.

$$\begin{aligned} \phi &= 0.9 - \frac{0.005 - \epsilon_t}{0.005 - \epsilon_y} \cdot (0.9 - \phi_c) \\ \phi &= 0.48 + 83\epsilon_t \quad (\phi_c = 0.65 \text{ 일 경우}) \\ \phi &= 0.57 + 67\epsilon_t \quad (\phi_c = 0.70 \text{ 일 경우}) \end{aligned} \quad (7)$$

ACI 318-99까지는 ϵ_t 가 ϵ_y 에 해당할 때의 보강비 값의 75%를 최대보강비하며 이를 바탕으로 다음과 같이 제한하였다.

$$\omega_p \leq 0.36\beta_1 \quad (\text{ACI 318-99}) \quad (8)$$

ACI 318-02에서 압축지배 때의 ω_p 값에 0.75를 곱하면 $0.3825\beta_1$ 이 되므로, 결과적으로 ACI 318-99까지 기준의 최대 값인 $0.36\beta_1$ 에 매우 근접한 값을 알 수 있다.

2.4 인장변형도에 따른 부모멘트의 재분배

ACI 318-99에서는 다음과 같은 방법으로 부모멘트를 재분배

할 수 있도록 하고 있다.

$$R_m = 20 \left[1 - \frac{\omega_p}{0.36\beta_1} \right] \quad \text{단 } \omega_p \leq 0.24\beta_1 \quad (9)$$

<표 3>에서 보는 바와 같이 최대보강비 $0.24\beta_1$ 은 ACI 318-02 기준에서 한계인장변형도의 값으로 설정한 0.0075의 경우와 동일하게 부모멘트 재분배를 허용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 ACI 318-02 기준에서는 모멘트 재분배 값을 계산하는 수식을 다음과 같이 규정하고 있다.

$$R_m = 1000\epsilon_t \quad (10)$$

이들의 관계를 비교하기 위하여 인장변형도에 따른 변화를 계산하여 <그림 1>에 나타내었는데, ACI 318-99와 ACI 318-02의 차이는 인장변형도의 크기가 커짐에 따라 커짐을 알 수 있다.

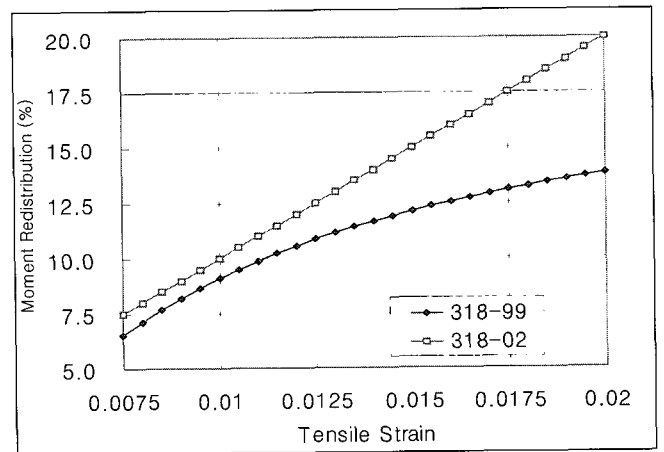


그림 1. 부모멘트 재분배 값의 비교

3. 맺는말

ACI 318-02기준에서 중요한 변화는 부분프리스트레스 개념의 도입과 일반 철근 콘크리트의 경우와 동일한 방법으로 인장변형도에 따라 강도감소계수 및 부모멘트 재분배에 적용하고 있다는 점이다. 부분프리스트레스 개념의 도입을 통하여 실무에서 발생할 수 있는 어려움을 해결하고자 하였으며, 인장변형도에 따른 강도감소계수 및 부모멘트 재분배 계수의 산정은 일반 콘크리트 부재와 프리스트레스 콘크리트 부재의 설계법을 하나의 일반적인 방법으로 통일하고자 하는 시도로 볼 수 있다. □