

비부착 긴장재를 갖는 프리스트레스트 콘크리트 보에서 긴장재 응력의 과대평가

Overestimation of Ultimate Tendon Stress in a Prestressed
Concrete Beam with Unbonded Tendons



이종윤*
Lee, Jong-Yun



임재형**
Lim, Jae-Hyung



문정호***
Moon, Jeong-Ho



신경재***
Shin, Kyung-Jae

ABSTRACT

The present study is to examine the ACI code equations for computing the unbonded tendon stress at flexural failure of prestressed beams. The equations examined for their validity are Eq. 18-4 and Eq. 18-5 of the ACI 318-95. Since the possibility of overestimation was expected with the equations, a numerical study, first, was carried out with influential variables included. From this study, it was found that amount of reinforcements, effective prestress, location of tendons, and loading type may affect the overestimation of the unbonded tendon stress. Then, an experimental study was carried out with those variables. A total of 8 specimens was tested to prove the theoretical findings as well as the effect of those variables. As a result, it was proven that the ACI Code equations can overestimate significantly the unbonded tendon stress for certain cases.

Keywords : ACI Code equations, overestimation of tendon stress, prestressed concrete, unbonded tendon

* 정회원, 한남대학교 건축공학과 대학원생

** 정회원, (주) ALT 구조 이사

*** 정회원, 한남대학교 건축공학과 교수

·본 논문에 대한 토의를 1999년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2000년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

본 연구와 관련한 기존연구⁽¹⁾에서 ACI 표준식이 비부착 긴장재의 응력을 과소평가할 가능성이 있는 실험체군과 과대평가할 가능성이 있는 실험체군을 제작하여 실험을 실시하고, 현행의 ACI 표준식이 비부착 긴장재의 응력을 과소 또는 과대평가할 수 있음에 대하여 연구하였다. 그 결과, 비부착 긴장재의 응력에 영향을 미치는 변수들의 조합에 의한 과소 또는 과대평가할 가능성이 있는 실험체군에서 현행의 ACI 표준식이 비부착 긴장재의 응력을 과소평가할 가능성에 대해서는 충분한 결과를 얻을 수 있었으나, 과대평가할 가능성에 대해서는 소정의 콘크리트 설계강도에 도달하지 못하였음과 실험체의 상세설계 등과 같은 문제 때문에 충분한 결과를 얻지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 ACI 표준식 (18-4)와 (18-5)가 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 수 있는 가능성이 있는 경우에 대한 기존연구⁽¹⁾의 추가적인 상세연구로써 해석적 연구를 실시하고, 그 결과를 토대로 실험을 실시하여 해석연구의 결과와 비교하고자 하였다. 또한 기존의 설계식에 의한 결과와도 비교하고, ACI 표준식 및 각 설계식의 타당성에 대하여 검증하고자 하였다.

2. 과대평가 요인 분석

2.1 ACI 표준식 평가

본 연구에서는 기존연구로부터 얻어진 실험결과를 이용하여 이를 ACI 표준식과 비교하였으며, 이를 Fig. 1에 나타내었다. 그런데 ACI 표준식에 의한 긴장재의 응력증가량은 긴장재의 응력증가량이 적게 발생하는 구간(A)에서 안전율이 적게 포함된 상태로 실험결과에 근접하게 혹은 추세선과 같이 약간 과대하게 예측되고 있으며, 긴장재의 응력증가량이 많이 발생하는 구간(B)에서는 과소평가되는 양상을 나타내고 있다. 즉, Fig. 1의 점선으로 표시한 바와 같이 전반적으로 긴장재의 응력증가량을 예측함에 있어서, 긴장재의 응력증가량의 많고 적음에 관계없이 ACI 표준은 거의 동일한 긴장재의 응력증가량을 예측하고 있

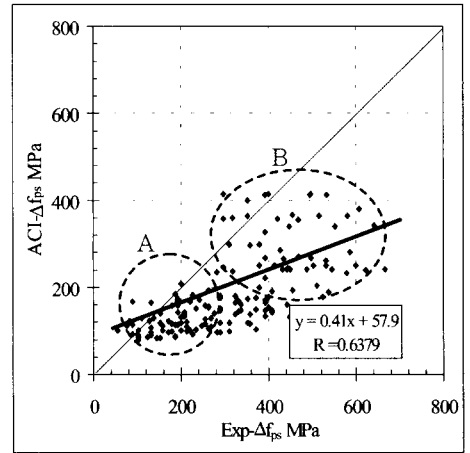


Fig. 1 Comparison of predicted Δf_{ps} by ACI code equation

는 것으로 판단된다. 각각의 실험체에 대해 분석한 결과, A구간에 존재하는 실험체는 유효프리스트레스의 크기가 크고, 작용하중의 형태가 1점 집중하중이 작용하는 실험체들이었고, B구간에 존재하는 실험체들은 유효프리스트레스의 크기가 작고 작용하중의 형태가 2점 집중하중 또는 4점 집중하중(등분포하중)이 작용하는 실험체들이 대부분이었다.

참고문헌(1)에서는 상기의 결과를 토대로 실험체를 제작하고 실험을 실시하여 ACI 표준이 비부착 긴장재의 응력을 과소평가할 가능성이 있음을 증명하였으나, 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성에 대해서는 충분히 증명하지 못하였다. 왜냐하면 변형도 적합조건에 의한 해석으로 긴장재의 응력증가량이 적게 발생할 수 있도록 실험체를 결정하였으나, 실험체의 제작과정에서의 예측하지 못한 오차와 보강지수에 대한 확실한 분석의 부족 때문이었다.

따라서 본 연구에서는 긴장재의 응력증가량이 적게 발생할 수 있도록 실험체를 제작하지 않고, 평형방정식 및 변형도 적합방정식 개념에 근거하여 실험체를 계획하고 실험을 실시하여 ACI 표준식의 과대평가 가능성을 분석하고자 하였다.

2.2 과대평가 요인

기존연구 결과⁽⁴⁾⁽⁵⁾의 내용을 분석하면, 다음과

같이 5가지의 경우에서 ACI 규준식은 비부착 긴장재의 응력을 과대로 평가할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

- (1) 일반철근의 사용량이 많은 경우
- (2) 비부착 긴장재의 양이 많은 경우
- (3) 긴장재가 중립축 근처에 배근된 경우
- (4) 일점 집중하중이 작용하는 경우
- (5) 유효프리스트레스의 크기가 큰 경우

힘의 평형방정식에서 알 수 있듯이, 부재에 사용되는 보강철물, 즉 일반철근이나 비부착 긴장재가 많을수록 개개의 긴장재에 발생하는 응력증가량은 작아지게 된다. 그리고 보강철물이 많아질수록 연성적인 파괴보다는 취성적인 파괴가 발생하여 상대적으로 긴장재의 응력증가량이 작아질 수 있다. 따라서 일반철근이나 긴장재의 양을 크게 할수록 ACI 규준식이 긴장재의 응력을 과대평가하는 경우가 발생할 수 있다.

ACI 규준식에 따르면 비부착 긴장재의 양이 식의 분모에 있기 때문에 긴장재의 양이 작아질수록 긴장재의 응력을 크게 평가하게 된다. 그리고 긴장재가 중립축 근처에 배근되면 긴장재의 변형도값은 긴장재가 중립축으로부터 먼 위치에 배근될 때보다 작아지게 되고, 이는 응력증가량이 작아질 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 ACI 규준식은 긴장재의 위치를 변수로 포함하지 않고 있기 때문에 긴장재가 중립축에 근접할수록 긴장재의 응력은 과대평가될 수 있다고 판단된다.

또한 ACI 규준에서는 하중조건을 고려하고 있지 않지만, 기존의 실험연구 결과⁽⁵⁾에서 나타난 바와 같이, 일점 집중하중이 작용할 때가 등분포하중이 작용할 때에 비하여 소성범위가 짧게 나타나고 있기 때문에 긴장재의 응력증가량이 작게 발생할 수 있다고 사료된다.

그리고 현재의 ACI 규준에서 긴장재의 응력변화량은 유효프리스트레스의 크기와는 무관한 것으로 되어 있다. 그러나, 주어진 단면에서 힘의 평형을 고려하면, 긴장재에 작용하는 인장력이 콘크리트에 작용하는 압축력의 크기와 동일하여야 한다. 그런데 긴장재의 응력산정식 $f_{ps} = f_{se} + \Delta f_{ps}$ 를 보면 유효프리스트레스의 크기에 긴장재의 응

력증가량을 가산한 값이 비부착 긴장재의 극한응력이 된다. 따라서 위의 식에서 긴장재의 인장응력과 콘크리트에 작용하는 압축력이 같다면, f_{se} 가 클수록 Δf_{ps} 는 작아져야 한다. 그 결과, 유효프리스트레스가 커지면 현재의 ACI 규준식은 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성이 있는 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 (1)~(5)의 경우에 대한 변수별 효과분석을 통하여, ACI 규준식이 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성에 대해서 분석하였다.

2.3 변수별 효과분석

본 연구에서는 ACI 규준식이 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성에 대해서 분석하기 위하여 비부착 긴장재의 응력에 영향을 미칠 수 있는 변수들을 사용하여 변형도 적합조건식의 해석법에 의한 결과와 ACI 규준식에 의한 결과를 비교하였다. 해석연구에 사용될 변수는 이미 기존연구에서 고찰된 변수별 효과에 관한 해석⁽⁴⁾ 및 실험⁽⁵⁾⁽⁶⁾연구결과와 ACI 규준식의 평가결과⁽¹⁾를 토대로 선정되었는데, 비부착 긴장재의 응력에 영향을 미치는 변수중에서 현행의 ACI 규준식이 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성이 있는 보강재 양을 중심으로 하였다. 즉, 현행의 ACI 규준식으로 비부착 긴장재의 응력을 평가함에 있어서 변수로 고려되고 있지 않은 일반철근 양을 중심으로한 보강지수를 변수로 하였다. 해석에 사용된 변수 및 모델은 다음과 같다.

- (1) $b_w \times h = 20\text{cm} \times 40\text{cm}$ (장방형)
 $d_p = 30\text{cm}$, $d_s = 35.6\text{cm}$, $d' = 5\text{cm}$
- (2) 유효프리스트레스 (f_{se}) : $0.5f_{pu} - 0.7f_{pu}$
- (3) 긴장재의 양 (A_{ps}) : $0.48 \sim 4.68 \text{ cm}^2$
($\rho_p = 0.0008 \sim 0.0078$)
- (4) 인장철근 양 (A_s) : $0.0 \sim 20.69 \text{ cm}^2$
($\rho_s = 0.0 \sim 0.029$)
- (5) 스패/춤 비 (L/d_p) : $5 \sim 50$
- (6) 작용하중의 형태 :
1점 집중하중 ($f=10$)
2점 집중하중 및 등분포하중 ($f=3$)

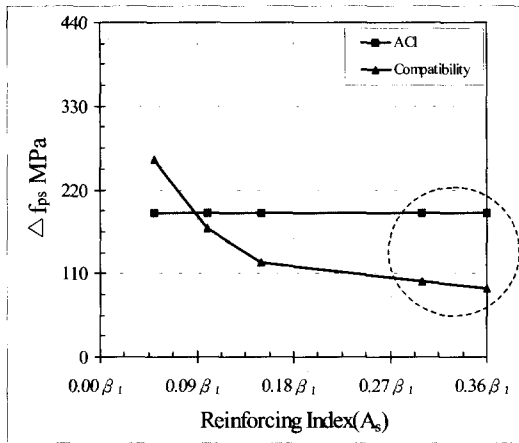


Fig. 2(a) Amount of nonprestressed steel

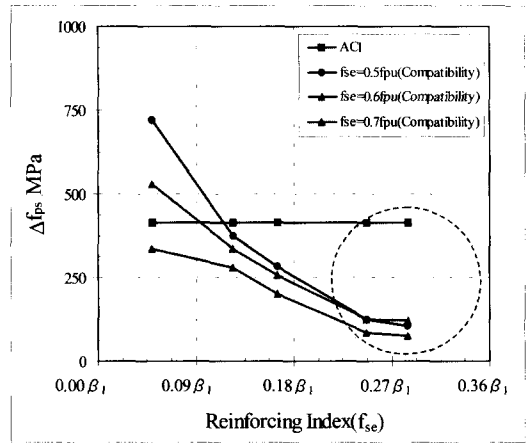


Fig. 2(b) Effective prestress

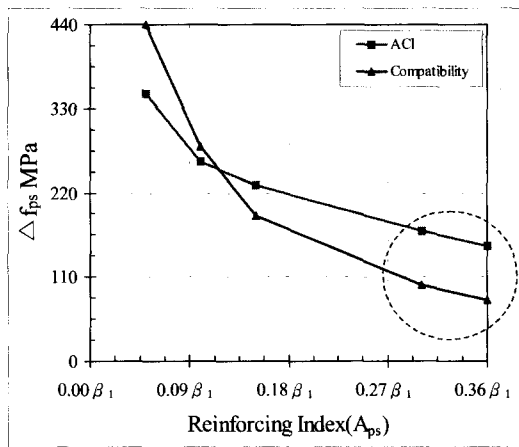


Fig. 2(c) Amount of tendon

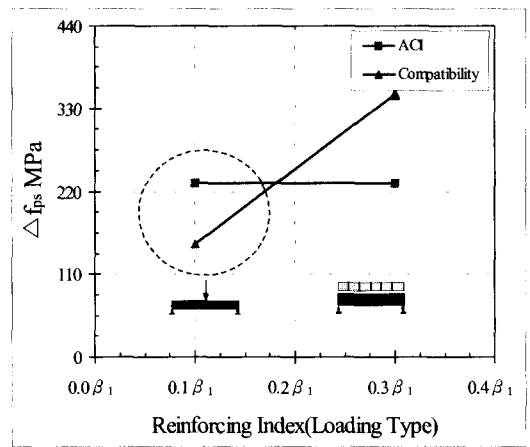


Fig. 2(d) Loading type

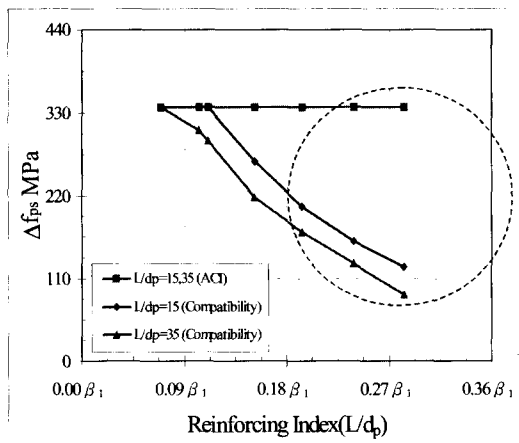


Fig. 2(e) Span/depth ratio ($L/d_p \leq 35$)

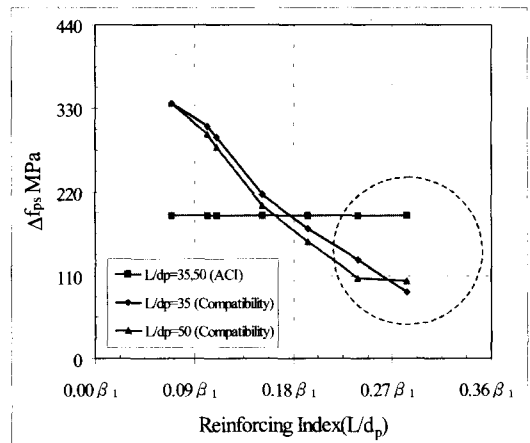


Fig. 2(f) Span/depth ratio ($L/d_p > 35$)

이상의 변수들에 대한 해석결과를 Fig. 2(a)~ Fig. 2(f)에 나타내었다. 그림에서 가로축은 비부착 긴장재의 응력에 영향을 미칠 수 있는 변수들의 조합에 의한 보강지수이고, 세로축은 긴장재의 응력증가량이다.

그리고 범례에 나타낸 ACI는 ACI 318-95 표준식⁽⁸⁾에 의한 결과이고, Compatibility는 변형도 적합조건에 의해 해석⁽³⁾⁽⁷⁾한 결과이다. 그림에 나타낸 점선원으로 표시되어 있는 부분은 ACI 표준식의 값이 변형도 적합조건에 의한 해석값을 초과하여 나타나는 부분으로 현행의 ACI 표준식이 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성이 있는 부분이다.

그림에서 나타낸 바와 같이 ACI 표준식은 긴장재의 양이 많고, 일반철근량이 많으며, 유효 프리스트레스의 크기가 큰 경우에 비부착 긴장재의 응력을 과대평가하는 것으로 나타났다. 또한 작용하중의 형태가 일점 집중하중일 경우에도 ACI 표준식은 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 즉, 변형도 적합조건(Compatibility)에 의한 결과보다 ACI 표준식에 의한 결과가 높게 나타나고 있는 것은 현행의 ACI 표준에서 일반철근양, 유효프리스트레스의 크기, 작용하중의 형태 등과 같은 변수를 고려하고 있지 않기 때문인 것으로 사료된다.

2.4 기존설계식에 의한 결과와의 비교

본 연구에서는 ACI 표준식을 기존의 설계식과도 비교하여 각각의 장단점에 대하여 분석하고, 그 결과를 ACI 표준식에 반영할 수 있는지에 대한 연구를 수행하였다. 현행 ACI 표준식의 과대평가 요인 분석 및 변수별 효과분석 결과는 ACI 표준에서 규정하고 있는 보강지수 ω 에 의한 보강비의 개념으로 설명할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 단면의 형태를 일정한 크기로 고정하고, 보강지수를 $0.08\beta_1$, $0.15\beta_1$, $0.2\beta_1$, $0.3\beta_1$, $0.36\beta_1$ 등으로 분류하여 ω_p 또는 $\omega_p + (d/d_p)$ ($\omega - \omega' \leq 0.36\beta_1$)을 만족하는 범위내에서 스패/츄름 비는 25, 작용하중의 형태는 1점 집중하중, 유효프리스트레스는 $0.7f_{pu}$ 로 하면서, 긴장재의 양과 일반철근의 양을 변수로 하여 ACI 표준식

과 기존의 설계식들에 의한 결과를 비교하여, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그 밖의 다른 변수들도 영향을 미칠수 있으나, 본 논문에서는 보강지수만에 대한 효과를 각 설계식에 대하여 분석하였다.

그림에 나타낸 범례에서 ACI는 ACI 318-95 표준식⁽⁸⁾에 의한 결과이고, AASHTO LRFD는 AASHTO LRFD 표준식⁽⁹⁾에 의한 결과이며, Moon/Lim은 문정호/임재형의 설계식⁽³⁾⁽⁷⁾에 의한 결과이다. 또한 Compatibility는 변형도 적합조건에 의해 해석⁽³⁾⁽⁷⁾한 결과이다.

Fig. 3의 점선 원으로 표시되어 있는 부분은 ACI 표준식에 의해 비부착 긴장재의 응력을 평가할 때, 기존의 설계식보다 과대평가하는 부분을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 긴장재와 일반철근을 혼용하여 사용하는 부분프리스트레스 콘크리트 부재의 경우에 보강지수가 $0.36\beta_1$ 에 근접할수록 인장축에 발생하는 인장력을 일반철근과 긴장재가 분담하여 부담하여야 하므로, 긴장재의 응력은 일반철근이 적게 배근된 경우보다 작아지게 된다. 그러나 ACI 표준식에서는 일반철근의 영향을 고려하고 있지 않기 때문에 일반철근의 양과 긴장재의 응력증가량은 무관하게 나타난다. 그러므로 ACI 표준식에서 규정하고 있는 최대보강비 $0.36\beta_1$ 에 근접한 보강지수를 갖는 부재에서는 ACI 표준식이 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 수 있는 것으로 사료된다.

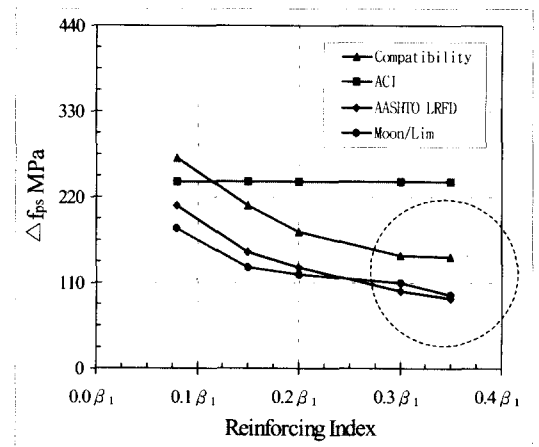


Fig. 3 Comparison of results predicted by existing design equations and ACI code equation

이상과 같이 몇가지 관점에서 ACI 규준식을 분석하여 볼 때, ACI 규준식은 비부착 긴장재의 응력을 비교적 간단한 방법으로 예측할 수 있는 장점이 있지만, 특정조건에서는 긴장재의 응력을 과대평가할 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 상기의 변수별 효과에 대한 분석결과를 토대로 실험을 실시하여, ACI 규준식이 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성이 있는 실험체에 대한 실험을 통하여 이를 증명하고자 하였다.

3. 실험

3.1 실험체 계획 및 제작

본 연구에서의 실험체 수는 총 8개이고, 변수는 긴장재의 양(보강지수 ω)과 긴장재의 위치 등이다. 실험체는 ACI 318-95의 규준에 따라 설계하였으며, 콘크리트의 강도와 유효프리스트레스는 규준에서 규정하는 휨부재의 콘크리트 허용응력과 긴장재의 허용응력 등을 만족하는 범위에서 결정하였다. 보강철근의 양은 최대 철근비 ($0.36\beta_1$)에 근접하는 값을 사용하였으며, 긴장재는 덕트와 긴장재의 마찰력에 대한 영향을 무시하기 위하여 직선배치하였다. 또한, 전단에 의한 파괴를 방지하기 위하여 충분한 전단보강근을 사용하였다. Table 1에 실험체 일람을 나타내었고, Fig. 4에 대표적인 실험체의 상세를 나타내었다.

3.2 가력 및 측정방법

실험은 단순지지되어 있는 보의 상부에서 500kN 용량의 복동식 오일잭으로 하중을 가하고, 오일잭에 부착되어 있는 500kN 용량의 로드셀로 하중의 크기를 측정하였다.

하중의 가력은 계획된 가력하중의 이력에 따라 실시하였다. 실험체 및 유효프리스트레스의 안정화를 도모하기 위하여 예측된 초기 균열하중의 60%에 해당하는 하중으로 초기에 2회 반복가력하였고, 이후 초기균열하중, 항복하중 순서로 반복가력 하였다. 항복하중이후에는 변위제어 방식으로 중앙부 변위의 양이 25mm, 50mm, 75mm,

Table 1 Specimen list

	ω	ρ_p	L/d _p	d _p (cm)	d _s (cm)
A-1	0.252	0.00107	20.5	18.5	24.5
A-2	0.237	0.00092	17.7	21.5	
B-1	0.27	0.00160	20.5	18.5	
B-2	0.252	0.00138	17.7	21.5	
C-1	0.286	0.00214	20.5	18.5	
C-2	0.27	0.00184	17.7	21.5	
D-1	0.288	0.00268	20.5	18.5	
D-2	0.284	0.00231	17.7	21.5	

*NOTE :

b : 20cm D : 30cm L : 380cm
 Loading Type : 1-point Loading
 Tendon profile : Straight
 f_{pu} : 1860MPa Grade f_{se} : 0.7 f_{pu}
 f_{py} : 1636MPa
 f'_c : 34.34MPa f_y : 420MPa Grade
 $\phi 6$: 0.1982cm²(3-wire mono-strand)
 D10 : 0.71cm²(Deformed bar)
 D13 : 1.27cm²(Deformed bar)
 A_s' : 2-D10 A_s : 8-D13

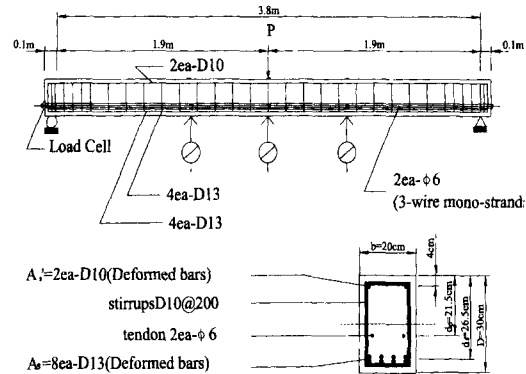


Fig. 4 Details of specimen

100mm 일때로 1회씩 순차적인 반복가력을 실시하였다. 실험의 종료는 최대하중이후 가력하중이 감소될 때와 긴장재의 응력이 항복하중이상이 되면 긴장재 파단의 위험이 있으므로, 하중의 가력을 중단하고 실험을 종료하였다. 그리고 이때의 하중을 최대하중으로 하였으며, 긴장재의 극한응력은 최대하중에 도달될 때로 하였고, 실험체의 양단에 설치된 로드셀에 의해 측정하였다.

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 최종파괴형태

대부분의 실험체들에서 초기균열의 발생위치는

최대 모멘트가 발생하는 중앙부에서 인장철근의 위치까지 수직미세균열로 나타났으며, 점증적으로 하중이 증가하면서 항복하중에 도달할 때까지 좌우로 일정한 간격의 수직 휨균열이 지지부로 확산되는 양상을 보였다. 항복하중 이후에는 휨균열의 확산범위가 소성형질로 가정된 범위보다 더 넓은 구간까지 진행되었는데, 이는 보강된 일반철근 양이 규준에서 규정하는 최소철근비 0.2%보다 훨씬 많은 최대 철근비에 해당하는 보강재가 배근되었기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 그리고, 최대 휨모멘트 구간에서 균열의 폭이 증가되면서 압축측 콘크리트 연단까지 휨균열이 진행된 후, 압축측 콘크리트의 압괴가 발생하면서 최종적인 파괴에 도달하였다.

3.3.2 하중-긴장재의 응력증가량 곡선

본 연구에서 실험된 실험체에 대한 점증반복가력의 하중-긴장재의 응력증가량 곡선을 포락선으로 간략화하여 Fig. 5에 나타내었다. 긴장재의 응력증가량은 실험체의 양단부에서 로드셀로 측정된 값의 평균이다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이, 모든 실험체에 대한 하중-긴장재의 응력증가량 곡선은 하중-변위 곡선과 비슷한 양상을 나타내고 있는데, 초기균열이 발생한 이후 항복하중에 도달할 때까지 긴장재의 응력변화는 거의 나타나지 않았으나, 항복하중 이후에는 긴장재의 응력변화가 하중의 변화량 비율보다 급격히 증가하는 양상을 나타내고 있다. 즉 일반철근이 항복한 이후에 대부분 긴장재의 응력증가가 발생하고 있다. 이는 일반철근이 항복하기 이전에는 긴장재의 유효프리스트레스와 인장철근이 부재의 인장응력을 부담하고 있었으나, 인장철

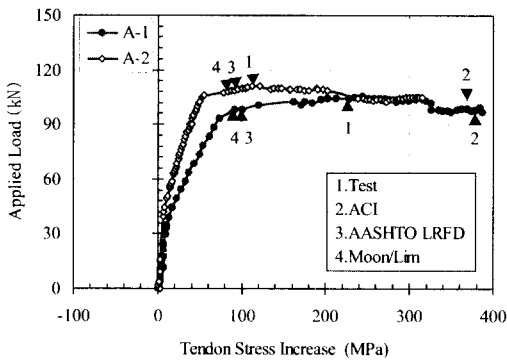


Fig. 5(a) Load-tendon stress increase curves of A-series specimens

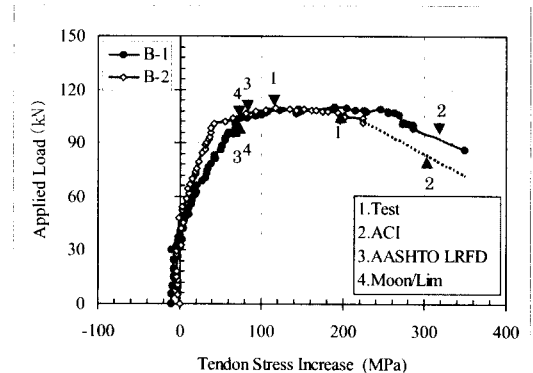


Fig. 5(b) Load-tendon stress increase curves of B-series specimens

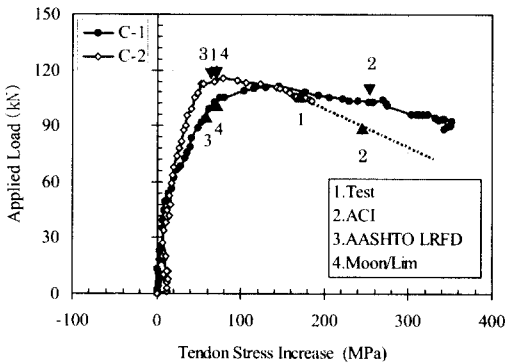


Fig. 5(c) Load-tendon stress increase curves of C-series specimens

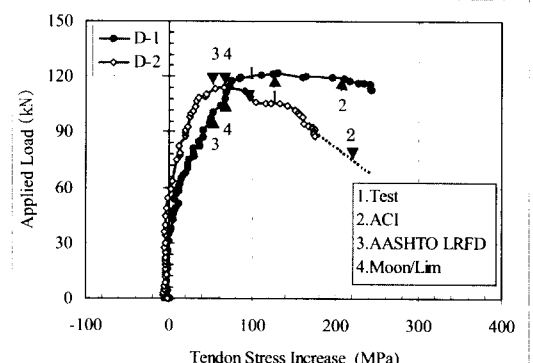


Fig. 5(d) Load-tendon stress increase curves of D-series specimens

근이 항복한 이후 추가적인 하중의 증가는 긴장재가 부담하게 되었기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

Fig. 5에 나타낸 결과에 의하면 현행의 ACI 규준식에 의한 결과는 실험결과를 훨씬 상회하고 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 보강지수가 최대철근비 $0.36\beta_1$ 에 근접하도록 설계된 부재의 경우, ACI 규준식은 긴장재의 응력을 과대평가할 수 있는 것으로 판단된다.

3.3.3 기존의 설계식 결과와 비교

기존의 설계식에 의한 결과를 실험결과와 비교하여 Fig. 6에 Δf_{ps} 로 나타내었고, Table 2에 f_{ps} , Δf_{ps} 의 실험값과 기존의 설계식에 의한 결과와의 비로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 변형도 적합조건에 의한 결과는 실험결과를 매우

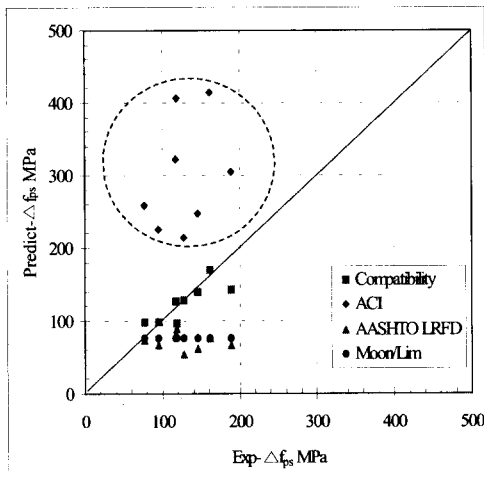


Fig. 6 Analysis of results by ACI code equation

정확하게 예측하고 있는 것으로 나타났다. 그러나, ACI 규준식에 의한 결과는 실험결과보다 훨씬 많은 양의 긴장재 응력증가를 예측하고 있는 것으로 나타났다. 또한 AASHTO LRFD 규준식과 Moon/Lim이 제안하고 있는 설계식에 의한 결과는 적절한 안전율을 가지고 비부착 긴장재의 응력을 예측하고 있는 것으로 나타났다.

그런데 Moon/Lim의 설계식에 의한 결과에서 긴장재의 응력증가를 긴장재의 응력증가량과 무관하게 일정한 값으로 예측하고 있는 것으로 보이고 있는데, 이는 설계식을 제안함에 있어서 한계규정에 의한 결과때문이다. 즉 Moon/Lim의 설계식은 긴장재의 응력증가를 산정함에 있어서 현행의 ACI 규준식과는 다르게 일반철근의 양에 의한 효과와 유효프리스트레스 크기의 효과를 고려하고 있으며, 이러한 효과 때문에 긴장재의 응력증가량이 매우 적게 예측될 수 있다. 이 때문에 Moon/Lim의 설계식에서는 ACI 규준에서도 정의하고 있는 비부착 긴장재의 응력에 대한 하한값의 규정을 채택하고 있으며, 그 결과에 의해 Fig. 6에서와 같은 결과를 나타내고 있다. 그리고 Table 2에서도 알 수 있듯이 ACI 규준은 비부착 긴장재의 응력, 특히 긴장재의 응력증가량을 과대평가할 가능성이 있는 결과를 나타내고 있으나, Moon/Lim의 설계식은 적절한 안전율을 가진 결과를 나타내고 있다.

4. 결론

해석과 실험연구를 실시한 결과, 현행의 ACI 규준식은 비부착 긴장재의 응력을 다음과 같은

Table 2 Comparison of tendon stress

Specimens	Experiment (MPa)		Compatibility (ratio to Exp.)		ACI (ratio to Exp.)		AASHTO LRFD (ratio to Exp.)		Moon/Lim (ratio to Exp.)	
	f_{ps}	Δf_{ps}	f_{ps}	Δf_{ps}	f_{ps}	Δf_{ps}	f_{ps}	Δf_{ps}	f_{ps}	Δf_{ps}
A-1	1548	218	0.96	1.00	1.1	1.77	0.89	0.47	0.89	0.47
A-2	1422	119	1.0	0.82	1.2	3.19	0.95	0.74	0.96	0.64
B-1	1492	189	0.94	0.76	1.1	1.61	0.92	0.36	0.92	0.40
B-2	1421	117	1.04	1.00	1.1	2.75	0.95	0.70	0.97	0.65
C-1	1449	146	1.0	0.96	1.2	1.70	0.96	0.43	0.97	0.52
C-2	1380	77	1.0	1.00	1.05	3.36	0.93	0.95	0.95	0.99
D-1	1431	128	1.0	1.00	1.1	1.67	0.97	0.43	1.00	0.60
D-2	1366	95	0.96	1.08	1.03	2.35	0.95	0.70	0.96	0.80

경우에 과대평가할 수 있는 것으로 나타났다.

- 긴장재 양은 적으나 일반철근 양이 많아 최대보강비($\omega_{max} = 0.36\beta_1$)에 근접한 경우
- 유효프리스트레스 f_{se} 의 크기가 큰 경우
- 긴장재가 중립축에 근접하는 경우
- 소성힌지의 길이가 작은 경우
(1점 집중하중이 작용하는 경우)

이상으로 나열한 경우중에서 몇가지의 경우가 동시에 발생할 경우에는 긴장재의 응력에 대한 과대평가의 정도가 더욱 커질 수 있으며, 긴장재의 응력이 과대평가될 경우에 부재의 내력을 과대평가할 수 있기 때문에 불안정한 설계의 가능성이 있다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 (1997-1998)년 학술진흥재단 학술 연구조성비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. 임재형, 문정호, 이리형, "비부착 긴장재의 응력산정을 위한 극한강도 설계식의 평가", 한국콘크리트학회 논문집 제11권 3호, 1999. 6, pp 113-122.
2. 임재형, 문정호, 음성우, 이리형, "프리스트레스 콘크리트 부재에서 비부착 긴장재의 극한응력 평가에 관한 연구(I) -기존연구 및 ACI 규준식의 고찰-", 한국콘크리트학회 논문집 제9권 4호, 1997. 8, pp 167-176.
3. 임재형, 문정호, 음성우, 이리형, "프리스트레스 콘크리트 부재에서 비부착 긴장재의 극한응력 평가에 관한 연구(II) -변형도 적합조건을 이용한 설계

식의 제안-", 한국콘크리트학회 논문집 제9권 5호 1997. 10, pp 105-114.

4. 임재형, 이리형, "비부착 긴장재의 극한응력에 영향을 미치는 변수별 효과에 관한 해석적 연구", 대한건축학회 논문집 제13권 10호 1997. 10, pp 291-300.
5. 임재형, 문정호, 이리형, "비부착 긴장재의 응력에 영향을 미치는 중요변수에 대한 실험연구", 한국콘크리트학회 논문집 제11권 1호, 1999. 2, pp 209-219.
6. 임재형, 문정호, 이리형, "비부착 긴장재의 응력을 평가하기 위해 제안된 설계식의 타당성 검증", 한국콘크리트학회 논문집 제11권 2호, 1999. 4, pp 127-137.
7. Lee, L.-H., Moon, J.-H., and Lim, J.-H., "Proposed methodology for computing of unbonded tendon stress at flexural failure", ACI Structural Journal, 1999, (accepted for publication).
8. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1995, 369 pp.
9. AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specification, SI unit 1st Ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994.
10. Harajli, M. H., and Kanj, M. Y., "Ultimate flexural strength of concrete members prestressed with unbonded tendons", ACI Journal, Vol. 88, No. 6, 1991, pp 663-673.
11. Chakrabarti, P. R., "Ultimate stress for unbonded post-tensioning tendons in partially prestressed beams", ACI Journal, Nov.-Dec., 1995, pp 689-697.

요 약

본 연구는 현행의 ACI 규준식이 비부착 긴장재의 응력을 평가할 때, 과대평가할 가능성이 있는 경우에 대한 연구이다. 기존의 연구결과⁽¹⁾의 분석에 의하면, 비부착 긴장재의 응력에 영향을 미치는 유효프리스트레스의 크기, 일반철근의 양, 긴장재의 위치, 작용하중의 형태 등과 같은 변수들을 조합하여 보강지수가 ACI 규준에서 최대로 규정하는 $0.36\beta_1$ 에 근접한 실험체일 수록 ACI 규준식은 비부착 긴장재의 응력을 과대평가할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 비부착 긴장재의 응력에 영향을 미치는 변수들을 조합하여 해석연구를 실시하고 그 결과를 토대로 실험을 실시하였다. 그 결과, 현행의 ACI 규준식으로 비부착 긴장재의 응력을 평가하면 보강지수가 $0.36\beta_1$ 에 근접할 수록 긴장재의 응력은 과대평가되었다.

(접수일자 : 1999. 3. 9)