프리텐션 부재의 휨부착에 의한 강연선 정착길이 연구

An Experimental Study on Development Length of Strand in Pretensioned Concrete Members

오 병 환* 최 영 철** 김 의 성***

Oh, Byung Hwan Choi, Young Cherl Kim, Eui Sung

ABSTRACT

An experimental study was carried out to estimate development lengths of the prestressing strand in pretensioned beams. Recent studies had indicated that current design provisions were inadequate. Objective of this investigation is to determine the effect of strand diameter and concrete cover in pretensioned beams. Strand of the 1.52cm diameter is more useful and economic than that of the 12.7mm diameter, but current provision does not include 15.2mm diameter strand in experimental data. Because the property of strand has been developed, current provision need to be improved.

Based on the experimental data, it was determined that bond failure would be prevented if no cracking occured in the transfer zone of a pretensioned strand.

1. 서론

정착길이는 전달길이와 휨부착 길이로 이뤄져 있다. 전달길이는 강연선의 프리스트레스 힘을 강연선과 콘크리트의 부착에 의해서 유효 프리스트레스 응력까지 콘크리트에 전달시키는데 필요한 길이이고, 외부 하중에 의한 모멘트에 의해서 강연선의 인장응력이 유효 프리스트레스를 넘어서 증가하게 되는데 이 강연선의 인장응력의 증가에 저항하기 위해 생긴 부가적인 부착응력을 휨부착응력이라고 하며 이에 필요한 전달길이를 휨부착길이라고 한다. 따라서 정착길이는 프리스트레싱과 외부하중에 의한 강연선의 인장력에 저항하는데 필요한 전체 정착길이이다. 외부하중에 의해서 균열이 발생하면 그 균열 주위의 강연선의 인장응력은 아주 급격히 올라간다. 이러한 인장력의 증가로 강연선의 직경은 감소하게되어 강연선과 콘크리트 사이의 부착이 파괴되면 슬립이 발생하게 되고 강연선의 프리스트레싱이 사라지면서 정착구 파괴를 일으킨다. 정착구 파괴는 취성파괴이므로 이에 대한 규정이 명확해야한다. 본 연구에서는 24개의 부재의 파괴실험을 통해 현 설계기준(ACI 318-95)의 적합성을 확인하고 강연선의 직경과 콘크리트 덮개에 따른 정착길이의 영향을 알아보았다.

2. 정착길이에 대한 예측식

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 서울대학교 토목공학과 석사과정

*** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사과정

2.1 현 설계기준 ACI 318-95식

힘의 평행에 의해 정착길이는 다음과 같이 구해진다.

$$L_t = \frac{f_{se}}{U_{b2}}\left(\frac{A_{ps}}{P_{ps}}\right) = \frac{f_{se}}{3} d_b, \quad L_{fb} = \frac{(f_{ps} - f_{se})}{U_{b2}} \frac{A_{ps}}{P_{ps}} = (f_{ps} - f_{se}) d_b$$

$$L_d = L_t + L_{fb} = 0.015\left(\frac{f_{se}}{3} d_b + (f_{ps} - f_{se}) d_b\right)$$

여기서, f_{ps} = 파괴 응력 (kg/cm^2) f_{se} = 유효 프리스트레스 응력 (kg/cm^2)

P_{ps} = 주변의길이 (cm) A_{ps} = 강연선의 넓이 (cm)

U_{b1} = 평균 전달 부착응력 (kg/cm^2) U_{b2} = 평균 휨부착응력 (kg/cm^2)

U_{b1}, U_{b2}는 실험적으로 구해지며 각각 29.601 kg/cm^2, 10.074 kg/cm^{2}이다.

2.2 기존의 다른 예측식

(1) Russell, Bruce Wayne

$$L_d = \frac{M_u}{M_{cr}} L_t$$ 여기서, M_u = 극한 모멘트 M_{cr} = 균열 모멘트

(2) Zia and Mostafa

$$L_d = 1.5\left(\frac{f_{si}}{f_{ci}}\right) d_b - 11.684 + 0.0225(f_{su} - f_{se}) d_b$$

여기서, f_{si} = 초기 강연선의 응력 (kg/cm^2) f_{ci} = 초기 콘크리트강도 (kg/cm^2)

f_{su} = 강연선의 인장강도 (kg/cm^2)

3. 정착길이 실험

3.1 실험재료 및 변수

저 릴랙세이션 SWPC 7B를 사용하였으며, 직경 1.27cm, 1.52cm의 두 종류를 사용하여 직경에 대한 정착길이와의 관계를 알아보았다. 콘크리트는 설계강도 500 kg/cm^{2}를 목표로 하였으며, 부재의 높이를 20cm, 폭을 직경+10cm로 일정하게 하고 콘크리트의 덮개를 3cm, 4cm, 5cm로 변화를 주었다.

3.2 실험장치 및 방법

강연선과 콘크리트의 상대적인 슬립과 부재의 처짐을 측정하기 위한 LVDT와 강연선의 하중에 따른 응력을 보기 위해 타설전 강연선에 철근 게이지를 설치하였다. 균열 모멘트와 파괴 형태를 결정하기 위해서 콘크리트 게이지를 부재의 상 하부에 설치하였다. 정착길이를 구하기 위해 동일한 조건의 부재를 4개씩 제작하여 재하위치를 변화시키면서 각각의 파괴형태를 결정하여 휨파괴와 정착구 파괴의 경계점으로 정착길이를 구하였다.

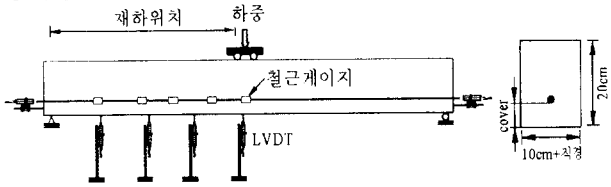

그림 1 실험장치와 부재의 단면도

4. 실험 결과

4.1 파괴형태의 규명

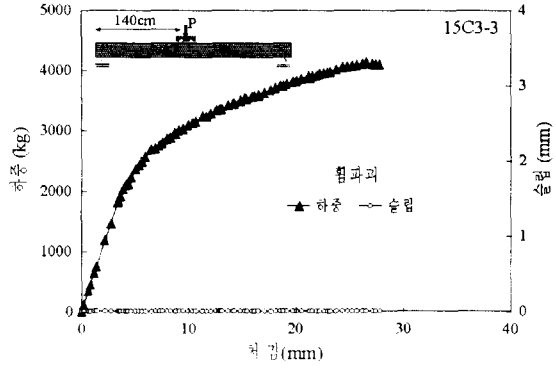

그림 2 파괴모드 I

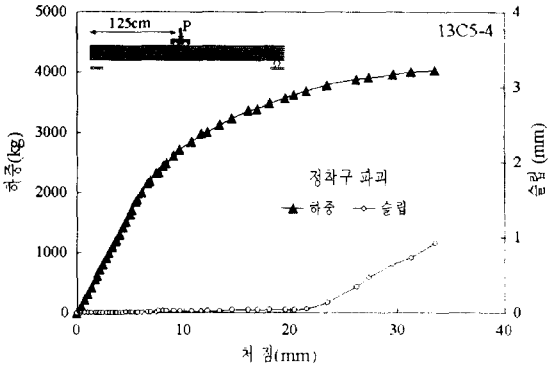

그림 3 파괴모드 II

4.1.1 휨파괴

휨파괴는 그림 2에서 강연선과 콘크리트의 상대적인 슬립이 없이 하중이 극한 휨강도까지 올라간다. 보통의 휨파괴는 파괴시의 극한 휨강도가 계산에 의한 단면의 공칭 휨강도보다 높게 나온다. 15C3-3의 실험에 의한 극한 휨강도(2979.30 kgm)가 예상 극한 휨강도(2834.81 kgm)보다 5.1%크게 나왔다. 정착구파괴의 경우는 극한 휨강도에 미치지 못하고 부재가 파괴는 경우가 대부분이다. 그리고 휨파괴의 전형적인 형태는 콘크리트 상부에 crushing 파괴가 일어난다.

4.1.2 정착구 파괴

정착구 파괴는 콘크리트와 강연선사이의 부착강도의 거의 완전한 손실을 의미한다. 그림 3에서 보듯이 강연선과 콘크리트의 상대슬립이 발생하면서 예상 휨강도에 미치지 못하고 파괴된다. 균열이 전달길이 근처에서 발생하면 강연선 강연선의 응력이 증가하게 되고 상대슬립 이 발생하게 되며 균열깊이가 강선의 위치까지 오게 되면 슬립이 증가하면서 부착이 파괴되어 정착구 파괴를 발생 시킨다. 그림 4는 공칭 휨강도와 정착길이 의 관계를 나타낸 것이다. 외력에 의한 휨 강도가 전달길이나 휨 부착길이 이내에서 단면의 공칭 휨강도를 넘어서게 되면 정착구 파괴가 발생된다.

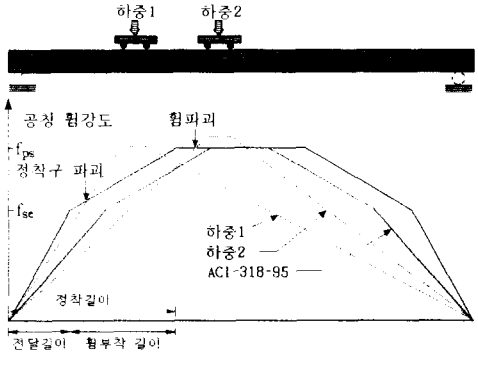

그림 4 공칭모멘트와 파괴모드

표1. 다른 정착길이 결과값과 비교

부재번호	ACI	Russell	Zia and Mostafa	실험
13C3	160.50	122.61	198.69	135.0
13C4	159.90	89.18	191.51	131.2
13C5	158.76	79.59	191.19	127.5
15C3	200.36	168.43	265.35	150.0
15C4	198.58	141.42	260.93	132.0
15C5	197.85	111.63	258.92	128.0

4.2 실험 결과 해석

4.2.1 강연선의 직경의 영향

15.2mm 강연선의 평균 정착길이는 12.7mm 강연선의 평균 정착길이 보다 4.14% 큰 결과를 보이며 콘크리트 덮개가 3cm인 경우에 대해서는 그 폭이 크다. 그러나 현 설계기준처럼 강연선의 직경에 선형적인 비례를 보이지는 않는다. 현 설계기준에 의한 정착길이의 값은 실험치 보다 큰 보수적인 결과를 보이고 있으며, 특히 직경이 15.2mm 강연선에 대해서는 실험치 보다 45.56% 크다.

4.2.2 콘크리트 덮개의 영향

콘크리트 덮개의 크기가 증가할수록 강연선의 정착길이는 감소하는 결과를 보인다. 그림 6에서 보듯이 12.7mm 강연선의 경우에는 콘크리트 덮개가 증가할수록 정착길이는 선형적으로 감소하나 15.2mm 강연선에 대해서는 콘크리트 덮개가 3cm인 경우에 다른 경우보다 상당히 큰 정착길이를 필요로 하고 있다.

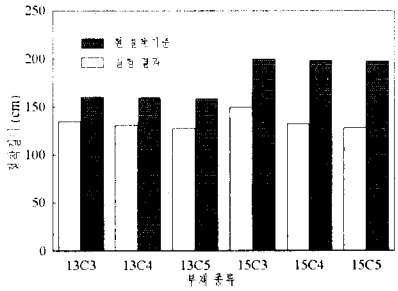

그림 5 현 설계기준과 비교

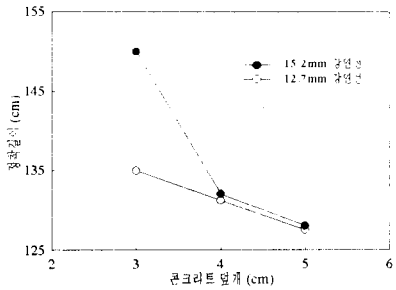

그림 6 콘크리트 덮개에 따른 정착길이

5. 결 론

본 실험을 통해서 볼 때 외부하중에 의해 전달길이 부근에서 균열이 발생하면 강연선과 콘크리트사이에 슬립을 일으키게 되고 부착력이 파괴되어 정착구파괴를 유도한다. 따라서 전달길이 근처에 균열이 생기지 않게 설계하면 프리텐션 부재의 정착구 파괴를 막을 수 있다. 본 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현 설계기준 ACI 318-95식에 의한 강연선의 정착길이는 본 실험과 비교했을 때 15.2mm 강연선에 대해서 상당히 보수적인 결과를 보이고 있다.

(2) 12.7mm 강연선의 정착길이는 콘크리트 덮개(3cm, 4cm, 5cm)가 증가할수록 선형적으로 감소하나 15.2mm 강연선에서는 콘크리트 덮개가 3cm인 경우에 큰 폭의 정착길이의 증가가 있었다. 이에 대한 해석적인 연구를 수행할 필요가 있다.

참고문헌

1) Russell, Bruce Wayne, "Design guidelines for transfer, development and debonding of large diameter seven wire strands in pretensioned concrete girders", The university of Texas at Austin, 1992

2) Chew, Chong Key, "Development length of prestressing strand", The university of Tennessee, 1991