

인장을 가하지 않은 PS강연선의 정착길이에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Development Length of Untensioned Prestressing Strand

최준영* 하상수** 김승훈*** 최창식**** 이리형****
Choi, Jun Young Ha, Sang Su Kim, Seung Hun Choi, Chang Sik Lee, Li Hyung

ABSTRACT

The nature of bond of untensioned prestressed strand in concrete differs from that of plain or deformed reinforcing bar as well as tensioned prestressed strand. There is a very limited amount of published research information regarding bonding of this type reinforcing. In order to use and design untensioned strand as reinforcing, relationships defining the load transfer characteristics of the strand are necessary. A program based upon pullout tests was designed to develop data relating the critical parameters for determining load transfer behavior of the untensioned strand.

The purpose of this study is to investigate the characteristics of bond and development length between untensioned strand and concrete. The test variables include diameter of strands (9.3mm, 12.7mm) and development lengths. The maximum bond stress at the 9.3mm and 12.7mm strands decreases with the increase of the rate of development length. The untensioned prestressed strands displayed bond performance when secure development length more than 80% according to the development of deformed bars equation.

1. 서론

철근콘크리트 구조물에서 인장을 가하지 않고 부착된 강연선은 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 산업에서 일반적으로 사용되며, 보강재의 균열조절과 프리캐스트요소사이의 연결재로 사용된다. 그러나 인장을 가하지 않은 보강에 대한 방법과 합리적인 설계방법은 규정되어 있지 않은 실정이다. 콘크리트에서 인장을 가하지 않은 PS강연선의 부착특성은 이형철근과 인장력을 가한 PS강연선과는 다르게 작용한다. 인장을 가하지 않은 PS강연선의 실험적 연구에 대한 자료가 아주 제한되었기 때문에 이러한 종류의 보강재의 부착을 적용하기위해서 보다 더 많은 실험적 연구가 필요하다. PS강연선의 경우 정착길이에 대한 기준식이 프리스트레스트 유효응력을 고려한 것을 기준으로 하기 때문에 이를 이용하여 프리스트레스트 유효응력을 고려하지 않은 연결재로 사용될 경우, 정착길이가 크게 산정된다는 단점을 가지고 있다.

- * 정회원, 한양대학교 건축공학부 석사과정
- ** 정회원, 한양대학교 초대형구조시스템연구센터 연구교수, 공학박사
- *** 정회원, 한밭대학교 건축공학부 전임강사, 공학박사
- **** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

또한 인장을 가하지 않은 PS강연선의 정착길이 산정식에 대해서는 관련설계 지침이 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 인장을 가하지 않은 PS강연선의 정착길이 산정을 위해 실험적 연구를 수행하였으며 이를 바탕으로 효율적인 응력전달과 정착성능을 가진 정착길이를 규명하고자하였다.

2. 실험체 계획 및 제작

2.1. 실험체 계획

본 연구에서 고려된 실험 변수는 PS강연선의 지름(9.3mm, 12.7mm)과 이형철근의 정착길이 산정식을 기초로 한 정착길이의 변화를 주어 총 54개의 PS강연선에 대해 실험을 하였다. 상기와 같은 실험 변수를 채택한 이유는 인장을 가하지 않은 PS강연선의 산정식이 없으므로 이형철근에 대한 정착길이 산정식을 이용하였을 때를 기준으로 정착성능을 발휘할 수 있는 정착길이를 밝히기 위한 것이다.

2.2. 정착 및 이음길이 설계기준 및 적용

우리나라에서 정착 및 이음길이의 설계기준(콘크리트 구조설계기준)은 대체로 ACI 318-02 기준을 근거로 한다. 인장철근에 대한 정착길이 산정은 식 (1)과 식 (2)에 나타난 바와 같이 정착길이 l_{db} 와 해당하는 보정계수를 곱하여 정착길이를 산정하는 기본식과 상세식에 의해 결정되며, 인장을 가한 강연선의 정착길이 산정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{식(1) 인장철근 정착길이 기본식} \quad & \text{식(2) 인장철근 정착길이 상세식} \quad & \text{식(3) 강연선 정착길이 산정식} \\ l_{d1} = \frac{0.6d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times (0.8\alpha\beta\lambda) \quad & l_{d2} = \frac{0.9d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \left(\frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{C + K_{tr}} \right) \quad & l_{d3} = 0.145 \left(f_{ps} - \frac{2}{3} f_{pe} \right) d_b \end{aligned}$$

α = 철근배치 위치계수 β = 예폭시 도막 계수 λ = 경량콘크리트계수 γ = 경량콘크리트계수
 C = 철근간격 또는 피복두께에 관련된 치수 K_{tr} = 횡방향 철근 지수

2.3. 실험체 제작

실험의 변수에 의해 PS강연선의 종류와 정착길이에 따라 총 54개의 PS강연선을 콘크리트 블록에 배치하였다. 각 변수별 3개씩의 PS강연선을 제작하여 실험체 제작과정과 실험중 발생하는 오차를 최소화하고자 하였다. 그리고 PS강연선의 정착길이에 따라 3가지 그룹으로 나누어 콘크리트 블록을 제작하였다. 실험체1에는 가장 길이가 긴 각각의 강연선별 3가지씩 나누어 배치하고 실험체2, 3 또한 동일한 방법으로 배치하였다. 그리고 일정한 콘크리트 블록 내에 강연선의 정착길이를 조정하기 위해 강연선지름과 같은 PVC파이프를 연결하였다.

표 1 실험체 일람표

실험체명	실험변수(9.3mm)		실험체명	실험변수(12.7mm)	
	강연선 정착길이 (cm)			강연선 정착길이 (cm)	
AP-1,2,3	식(3)적용	214	BP-1,2,3	식(3)적용	310
A120-1,2,3	120%	174	B120-1,2,3	120%	257
A110-1,2,3	110%	158	B110-1,2,3	110%	233
A100-1,2,3	100%	142	B100-1,2,3	100%	210
A90-1,2,3	90%	127	B90-1,2,3	90%	187
A80-1,2,3	80%	111	B80-1,2,3	80%	163
A70-1,2,3	70%	95	B70-1,2,3	70%	140
A60-1,2,3	60%	79	B60-1,2,3	60%	117
A50-1,2,3	50%	63	B50-1,2,3	50%	93

2.4. 재료의 역학적 특성

실험체에 사용된 콘크리트의 설계 압축강도는 30 MPa (300kgf/cm²)로 계획하였다. 공시체는 KS F 2404에 따라 실린더형 몰드를 사용하였으며, 실험체와 동일한 조건하에 양생 시켰다. 콘크리트 압축강도의 시험결과는 표2와 같다. 실험에 사용된 강연선(7연선 12.7mm(SWPC7B), 9.3mm(SWPC7A))의 재료적 특성을 파악하기 위하여 KS B 0801(금속재료 인장 시험편)의 '라'호의 규정에 의하여 인장 시험편을 3개씩 제작하여 인장 실험을 실시하였으며, 각각의 시험결과는 표3에 나타내었다.

표 2 콘크리트 압축 강도 시험 결과

실험체명	콘크리트(MPa)
실험체 1	330
실험체 2	328
실험체 3	334

표 3 강연선의 인장 강도 시험 결과

종류	f _y (MPa)	ε _y (×10 ⁻⁶)	f _u (MPa)	E _s (GPa)	연신율 (%)
7연선(12.7mm)	1,990.0	9,200	2,400.0	211.8	3.5
7연선(9.3mm)	1,851.2	9,988	2,086.0	187.3	3.5

3. 실험방법

3.1. 재하 및 측정방법

본 연구에서 일면 인발시험법을 채택하여 부착거동 실험을 실시하였다. 실험장치는 그림과 1과 그림 2에 나타나 있다. 실험체에 매입된 강연선의 한쪽을 300kN 단동실린더를 이용하여 PS강연선을 잡아 당겼으며 콘크리트와 PS강연선 사이의 미끄러짐(slip)은 LVDT로 측정하였다. 이때의 인발 하중과 이에 상응하는 슬립은 자료 획득 장치를 통해 측정되도록 하였다.

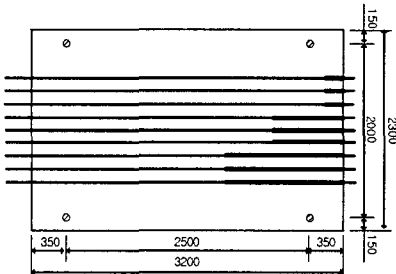


그림 1 실험체 도면

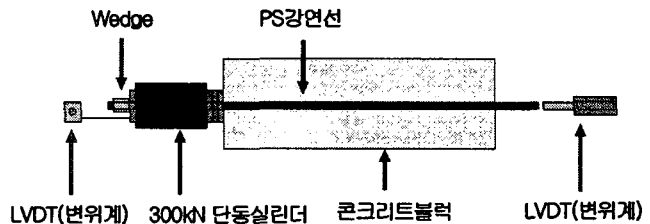


그림 2 실험체 세팅

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 실험결과

PS강연선의 인발시험의 결과는 PS강연선의 인장하중을 부착면적으로 나누어 평균부착응력으로 도출하였다. 실제 부착응력은 균등하게 분배되지 않으나, 본 실험에서는 매립된 PS강연선을 따라 부착응력이 일정하게 분배된다고 가정하여 다음과 같이 산정하였다.

$$\tau = \frac{P}{\pi DL}$$

P : 최대하중, D : PS강연선의 공칭지름(mm), L : PS강연선의 정착길이(mm)

실험결과 9.3mm PS강연선의 경우에는 정착길이가 길어질수록 평균 부착응력은 감소하였다. 또한 50%, 60%의 경우에는 다른 경우에 비해 부착응력이 비교적 큰 비율로 증가하였다. 12.7mm PS강연선은 9.3mm에서와 같이 비슷한 양상으로 나타났다. 50%~70%까지의 분포에 비해 80%이상에서는 부착응력의 차이가 줄어들었다. 자유단에서 슬립의 결과는 9.3mm PS강연선일 때는 그래프에서 나타난

것과 같이 70%까지는 슬립이 발생한 것을 알 수 있다. 각각의 경우에 대해 3개씩의 경우 큰 차이 없이 부착응력과 슬립과의 관계를 나타내었다. 12.7mm PS강연선에서는 50%, 60%일 때는 슬립이 발생하였고, 70%경우에는 슬립이 조금 발생하였다. 그리고 80%이상의 정착길이에서는 슬립이 발생하지 않았다.

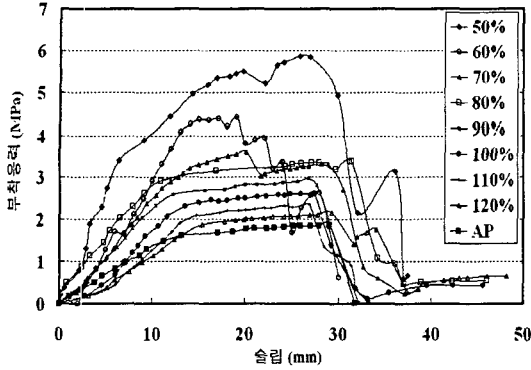


그림 3. 9.3mm PS강연선 Loaded End & Slip

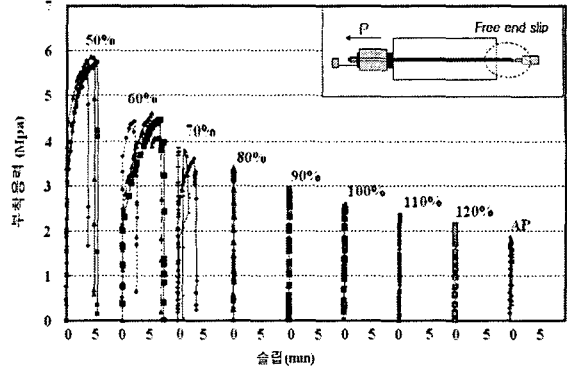


그림 4. 9.3mm PS강연선 Free End & Slip

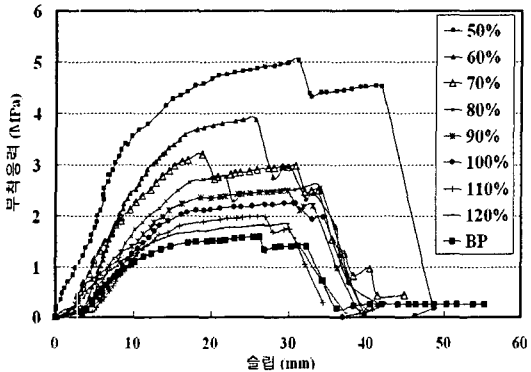


그림 5. 12.7mm PS강연선 Loaded End & Slip

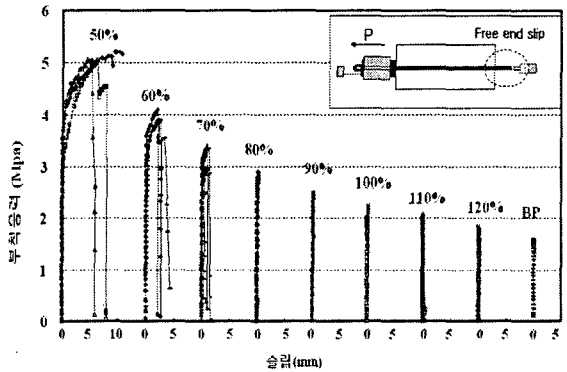


그림 6. 12.7mm PS강연선 Free End & Slip

5. 결론

실험에서 주요변수인 정착길이가 지름을 변수로 연구를 수행하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) PS강연선의 정착길이가 증가할수록 평균부착 응력은 감소하였다.
- (2) 9.3mm PS강연선은 인장 이형철근의 정착길이가 산정식의 80%, 12.7mm PS강연선 또한 80%이상의 정착길이에에서 슬립이 발생하지 않고 완전히 정착되었다.
- (3) PS강연선의 지름에 따른 부착응력의 크기는 9.3mm PS강연선이 12.7mm PS강연선에 비해 14% 크게 나타났으며, PS강연선의 지름이 클수록 부착응력은 감소하였다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조설계기준", 2003.
2. ACI committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02)", American Concrete Institute, 2003.
3. Panya. N., Nipon. J. "Pullout Capacity of Non-Prestressed Bent Strands for Prestressed Concrete Girders", PCI Journal, Vol.47, No.4, July-August, 2002, pp.90~103.