

압축강도 및 피복두께에 따른 프리텐션 부재의 전달길이 변화에 관한 연구

An Experimental Study on Influence of Concrete Strength and Cover Size on Transfer Length of Prestressing Strand in Pretensioned Prestressed Concrete Members

오 병 환* 김 동 백** 김 의 성*** 최 영 철****
Oh, Byung Hwan Kim, Dong Baik Kim, Eui Sung Choi, Young Chert

ABSTRACT

In recent times, large strands have become increasingly popular in the pretensioned prestressed industry and have found wide applications in varying geometries of sections. However, use of such elements and their behavior in several situations have been questioned with respect to anchoring of these strands in concrete. In addition, the experimental results available on bond are limited and information relating to large strands is rare.

This study was conducted to determine the influence of some of the inadequately examined properties on transfer length of prestressing strand. The principle variables considered were strand size, concrete strength and clear bottom cover. The experimental results indicate clearly that concrete strength at transfer and cover size influence transfer length significantly. An attempt was made to suggest prediction equation for transfer length including above parameters.

1. 서론

최근 들어 급증하고 있는 PSC 구조물의 사용과 더불어 구조체 단부에서의 소요 부착 성능 발현에 대한 관심이 늘어나고 있다. 특히 강연선과 콘크리트의 부착을 통해 소요 긴장력이 도입되는 프리텐션 부재의 경우 올바른 강도 예측 및 설계를 위하여 전달길이(transfer length) 및 정착길이(development length)에 대한 합리적인 산정식이 규정되어야 한다. 하지만 전달길이에 대한 각국의 시방 기준 사이에 일관성이 없고 기존 논문상의 비합리적 실험 변수 설정 등을 고려할 때 보다 일관된 실험 및 해석 기법 확립의 필요성은 크다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각종 문헌 분석 결과를 토대로 강연선의 크기, 프리스트레스 도입시의 콘크리트 강도, 피복두께 등을 주 변수로 설정하고 총 24개의 프리텐션 부재를 제작하여 각 변수의 영향을 정량적으로 평가하고 현 시방 기준의 개선 방향을 모색하였다.

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한경대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사수료

**** 서울대학교 토목공학과 석사과정

2. 현행 시방서 규정

프리텐션 부재의 전달길이란 부재단으로부터 소정의 프리스트레스가 도입된 단면까지의 거리를 나타내며 이는 프리스트레스 힘을 부착에 의해 PS 강재로부터 콘크리트에 전달하는데 필요로 하는 길이를 의미한다. 현행 국내 시방서에서는 ACI 규정과 마찬가지로 강선의 유효프리스트레스 및 직경의 함수로 전달길이를 추정하고 있다.

$$l_t = \left(\frac{\sigma_{se}}{3} \right) d_b$$

여기서, σ_{se} : 강선의 유효 프리스트레스 (kg/cm^2), d_b : 강선의 공칭 직경 (cm)

3. 실험 개요

3.1 시험체 구분

PS 강선은 가장 일반적으로 사용되는 저탄소강 SWPC 7B ($d_b=12.7, 15.2\text{mm}$)를 사용하였으며 프리스트레스 도입시의 콘크리트 목표 강도는 350kg/cm^2 및 450kg/cm^2 로 하였다. PSC 보 시험체의 형상 및 구분은 아래 그림과 같다.

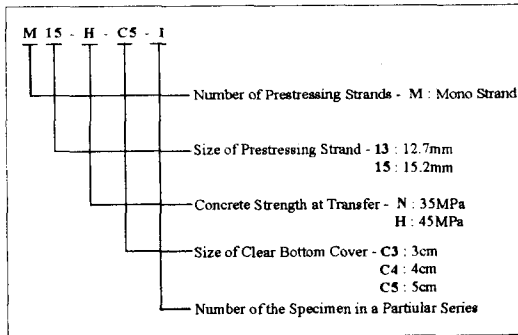


그림 1 시험체 구분

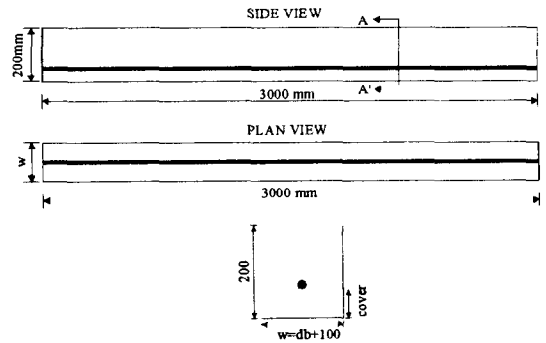


그림 2 시험체 상세

3.2 실험 절차

- 1) Jacking Frame 설치 및 PS 강선 배치(그림 3)
- 2) 스트레인 게이지 부착 (그림 4)
- 3) 강연선 긴장작업 ($= 0.75f_{pu}$)
- 4) 콘크리트 타설 및 양생
- 5) 소요 압축강도 발현 확인 및 탈형
- 6) DEMEC 포인트 부착 및 초기 측정(그림 4)
- 7) slip 측정을 위한 LVDT 설치
- 8) 프리스트레스 도입을 위한 강선 절단
- 9) 경과 시간별 변형률(strain gauge, DEMEC gauge) 및 slip 측정

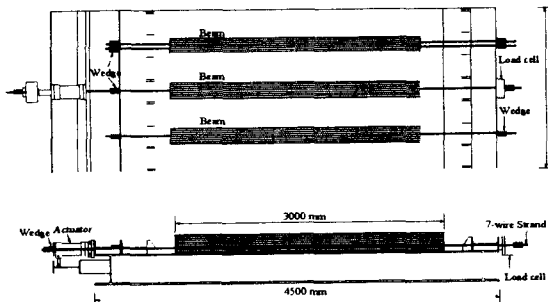


그림 3 Jacking Frame 형상

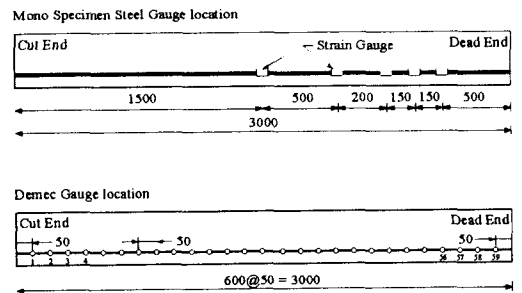


그림 4 strain gauge 및 DEMEC 포인트 상세

4. 실험 결과

4.1 변형률 분포 및 전달길이 산출

DEMEC 게이지를 이용하여 측정된 콘크리트 표면 변형률 분포로부터 PS 강선의 전달길이를 추정하기 위하여 95% AMS(Average Maximum Strain)법을 사용하였다. 또한 프리스트레스 도입후 경과 시간에 따른 전달길이의 변화를 측정하였으며 대표적인 변형률 곡선과 전달길이 산정 결과를 아래 그림 5, 6에 도시하였다.

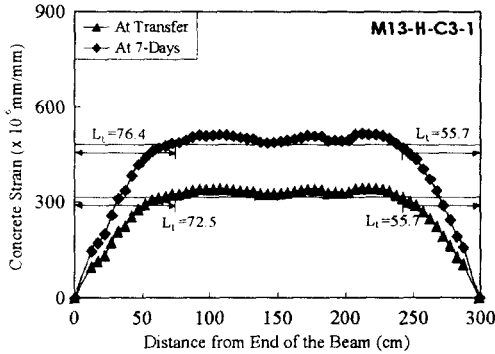


그림 5 변형률 분포 및 전달길이(M13-H-C3-1)

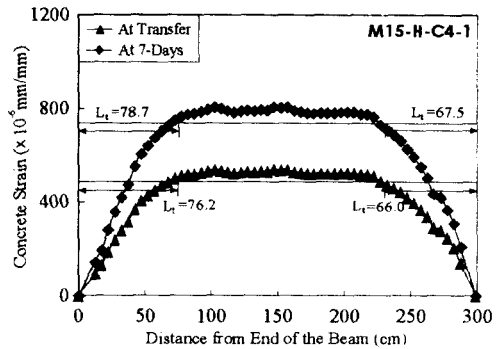


그림 6 변형률 분포 및 전달길이(M15-H-C4-1)

4.2 실험 결과 분석

4.2.1 강선 직경의 효과

평균전달길이는 12.7mm, 15.2mm 강선에 대하여 각각 60.6cm, 75.8cm로써 현 시방기준이 보수적인 결과를 산출하는 것으로 나타났다. 한편 강선 직경의 증가에 따른 전달길이의 증가율은 약 25%로써 이는 전달길이가 강선의 직경에 선형적으로 비례하는 것으로 규정되어 있는 현 시방 기준(20%)과 거의 일치하는 결과를 나타내었다.

4.2.2 긴장력 도입시 콘크리트 압축강도의 효과

현행 시방서의 전달길이 산출식은 긴장력 도입시의 콘크리트 압축강도에 관계없이 전달길이를 계산하도록 규정되어 있으나 본 실험 결과 그림 7에 나타난 바와 같이 콘크리트 압축강도 증가에 따른 전달길이의 감소 경향이 두드러지게 나타났다.

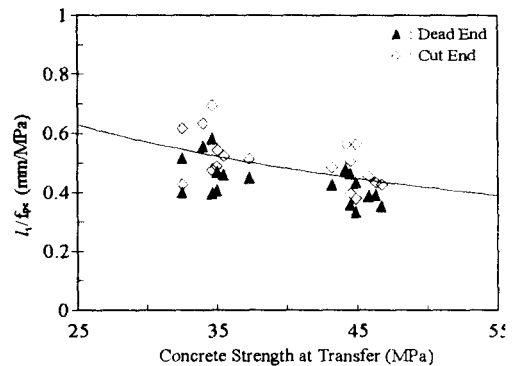


그림 7 압축강도에 따른 전달길이의 변화

4.2.3 순 피복두께의 효과

그림 8에 도시된 바와 같이 순 피복두께의 증가에 따라 전달길이는 감소하였으나 피복두께가 4cm를 넘어서면서 완만한 감소 추세를 나타내었다.

4.2.4 긴장력 도입 방법에 따른 전달길이 변화

본 실험에서는 부착성능 발현에 가장 불리한 상황을 모사하기 위해 diamond saw cutting을 통해 PS 강선의 긴장력을 콘크리트에 전달하였으며 이러한 급격한 긴장력 도입의 효과는 그림 8에서와 같이 cut end에서 약 15%의 전달길이 증가를 발생시켰다.

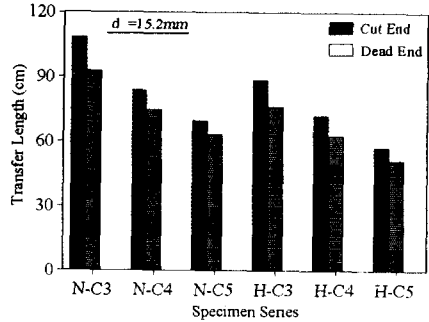
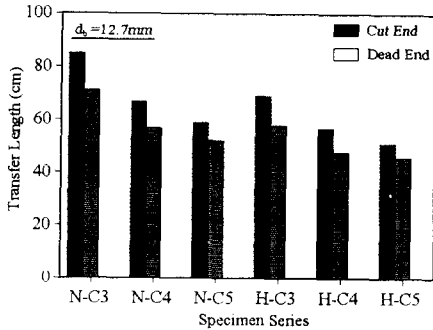


그림 8 피복두께에 따른 전달길이 변화

4.2.5 시간 경과에 따른 전달길이 변화

긴장력 도입후 각 부재의 변형을 분포를 90일간 측정 한 결과 크리프 및 건조수축으로 인해 상대적인 변형률 크기는 증가하였으나 전달길이는 큰 변화가 없이 최대 약 5%의 증가를 나타내었다.(그림 5,6)

4.2.6 강선의 슬립 변화

측정된 강선의 슬립량과 전달길이의 관계를 회귀분석 한 결과 전달길이 내에서 선형 변형률 분포를 가정하여 산출된 이론식 $L_t=281\Delta$ 과 잘 부합되는 것으로 나타났으며(그림 9) 이를 통해 강선의 단부 슬립은 전달길이 추정에 매우 유효한 것으로 판단된다.

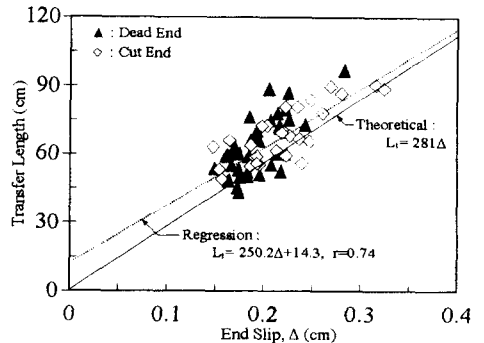


그림 9 강선 슬립 vs 전달길이

5. 결론

본 연구에서는 프리텐션 부재의 PS 강연선 전달길이에 관한 현 시방 기준의 적정성을 검토하고 나아가 기준의 개선 방향을 모색하고자 총 24개의 프리텐션 부재를 제작하여 각 변수의 영향을 정량적으로 평가하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 현 시방서의 전달길이 산출식은 본 실험 결과를 토대로 평가할 때 보수적인 결과를 산출하는 것으로 나타났다.
- (2) 콘크리트 압축강도 및 피복두께 증가에 따른 전달길이의 감소 경향이 두드러지게 나타나 이들 영향을 현행 시방서의 전달길이 산출식에 반영하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- (3) 급격한 긴장력 도입은 약 15%의 전달길이 증가를 발생시키며 시간 경과에 따른 전달길이 변화는 최대 5% 이내로 나타났다.
- (4) 측정된 강선의 슬립량과 전달길이의 관계를 회귀분석한 결과 전달길이 내에서 선형 변형률 분포를 가정하여 산출된 이론식과 잘 부합되는 것으로 나타났으며 강선의 단부 슬립은 전달길이 추정에 매우 유효한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) Deatherage, Harold J., and Burdette, Edwin, G., "Development Length and Lateral Spacing Requirements of Prestressing Strand for Prestressed Concrete Bridge Products", Transportation Center, The University of Tennessee, Knoxville, February 1991.
- 2) Unay, I.O., Russell, B., Burns, N. and Kreger, M., "Measurement of Transfer Length on Prestressing Strands in Prestressed Concrete Specimens", Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, March 1991.