

직접인발실험에 의한 FRP Tendon의 정착 길이 산정에 관한 연구

A Study on the Development Length of Fiber Reinforced Polymer Tendon by Direct Pullout Test

이 승 주* 정 우 태** 박 영 환*** 황 금 식****
Lee, Seung Joo Jung, Woo Tai Park, Young Hwan Hwang, Geum Sic

ABSTRACT

This paper presents the experimental results on the development length of FRP tendons by direct pullout test. Two types of FRP tendons, namely, CFCC tendon and KICT tendon, and PS tendon were investigated. The development length defined as the minimum embedment length required to develop the ultimate tensile strength was suggested using the test results. It was found that the development length from the direct pullout test was greater than those of various standards. This may result from the fact that the wedge effect does not exist because there is no prestressing force in the direct pullout test. Further study and experiment are necessary to derive the reasonable development length for FRP tendon.

1. 서론

현재 FRP 긴장재를 이용한 콘크리트 구조물의 설계 및 시공에 관한 대부분의 설계지침과 보고서에서는 PS콘크리트 구조물에 관한 설계철학을 그대로 이용하거나 일부분에 대한 개선을 통하여 구조물의 설계 및 시공에 적용하고 있는 실정이다. 그러나 지금까지 이루어진 많은 실험연구 결과들에 의하면, FRP 긴장재의 물리적·역학적 거동은 여러 가지 면에서 강연선의 거동과 매우 상이함을 알 수 있다. 이와 같은 차이점들은 재료 특성에 있어서 큰 변동성과 FRP 긴장재와 콘크리트 사이의 상호작용 메커니즘에서의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 따라서 FRP로 보강한 부재에 대한 합리적인 설계 방법을 구축하기 위해서는 FRP 재료의 특성뿐만 아니라 콘크리트 구조와의 상호작용(interaction) 특성에 대한 규명이 우선되어야 한다.

이와 같은 맥락에서, 본 연구에서는 다양한 FRP 보강재의 역학적인 거동 중에서 부착성능을 근거로 하여, FRP 긴장재의 재료강도를 발현할 수 있는 콘크리트 구조물의 정착 길이를 규명하기 위한 실험을 수행하였다. 이와 같은 시험을 통하여 얻어진 FRP 긴장재의 정착 길이는 FRP 긴장재를 콘크리트 구조물에 적용할 경우, 최소 정착 길이로 사용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 CSA Standard S806-02에서 제안한 정착 길이 산정 시험법에 따라 강연선과 CFCC Tendon 및 KICT Tendon에 대하여 정착 시험을 수행하였다.

*정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

***정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

****동원건설주식회사 대리

2. 실험 개요

정착 시험체에 매립되는 긴장재는 PS 강연선과 CFCC Tendon 및 KICT Tendon 시제품이며 다음의 표 1에서 보이는 바와 같이 기본 정착 길이를 PS 강연선은 60D, CFCC 및 KICT Tendon 시제품은 각각 50D로 제작하였다. 기본적으로 CSA기준의 표준정착시험방법에 따라 몰드를 제작하였으며, 40MPa의 설계 강도로 배합한 콘크리트는 타설 후 28일의 양생기간을 거친 후 압축시험을 통해 그 설계 강도를 확인하였다. 다음의 그림 1은 정착 길이 시험체의 치수 및 형상을 보여준다.

표 1 FRP 보강재의 정착 길이

종류	지름 (D)	xD	정착길이									제작 개수
			0.4	0.55	0.7	0.85	1	1.15	1.3	1.45	1.6	
PS Tendon	12.7	60	305	419	533	648	762	876	991	1105	1219	3 set
FRP Tendon CFCC	12.5	50	250	344	438	531	625	719	813	906	1000	1 set
KICT Tendon	11.4	50	228	313.5	399	484.5	570	655.5	741	826.5	912	3 set
합계			81 개									

KICT Tendon

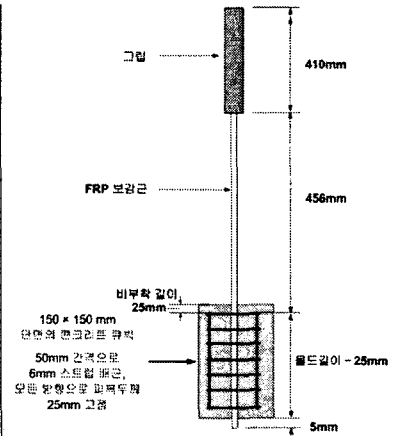


그림 1 정착 길이 시험체의 치수 및 형상

3. 실험결과 및 고찰

강연선의 문힘 길이는 20D~96D사이로 하여 제작하였으며 실험을 통하여 문힘 길이가 증가할수록 초기 슬립이 발생하는 하중의 시작점이 증가하는 것으로 나타났다. 그림 2에서는 문힘 길이가 69D인 상인 st-k1.15-02 시험체에서 부터 슬립 발생 후 강연선 내부에서 소선과단이 발생함을 보여주고 있으며 강연선은 슬립 후 기계적인 맞물림에 의하여 내부에서 점점 더 큰 인장력이 도입됨을 알 수 있다. 그림 3은 정착시험 결과를 바탕으로 강연선의 정착 길이를 추정한 것이다. 추정결과 강연선의 파단하중에 도달하는 정착 길이는 141D임을 알 수 있다.

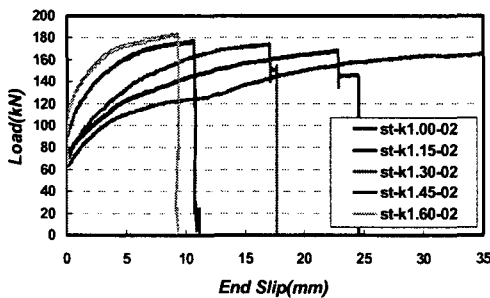


그림 2 강연선의 하중-슬립 곡선

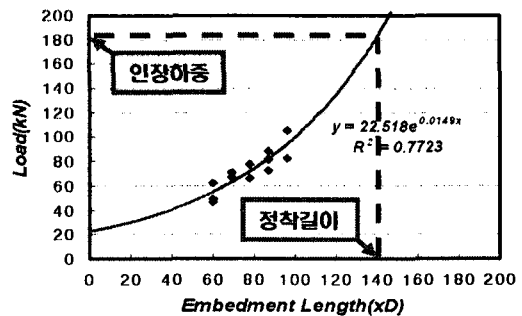


그림 3 강연선의 하중-문힘길이 곡선

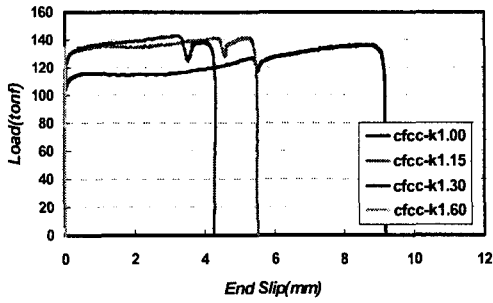


그림 4 CFCC의 하중-슬립 곡선

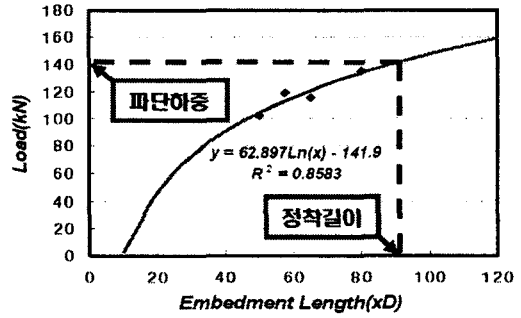


그림 5 CFCC의 하중-물집길이 곡선

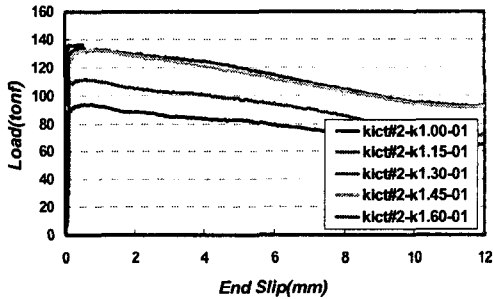


그림 6 KICT Tendon의 하중-슬립 곡선

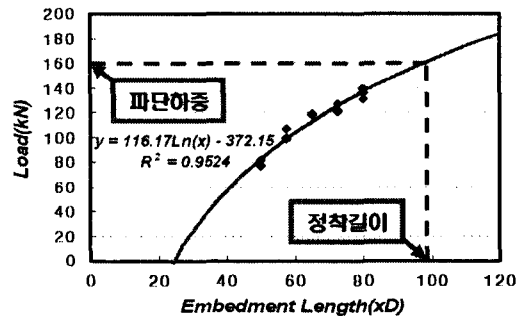


그림 7 KICT Tendon의 하중-물집 길이 곡선

CFCC의 물집 길이는 30D~80D사이로 제작하였다. 강연선은 슬립발생 이후에 부착응력의 증가가 일정량까지 지속적으로 증가하였는데 CFCC는 증가량이 작았다. 이는 정착시편 내부의 부착응력은 일정하게 분포하고 있으나 슬립 발생 후의 기계적인 맞물림의 효과가 미미하기 때문에 발생한 결과로 판단된다. 그림 4를 통하여 물집 길이가 증가할수록 초기의 슬립이 발생하는 하중의 시작점이 증가함을 확인하였으나 물집 길이에 상관없이 모든 시험체에서 슬립 발생 후에도 긴장재 내부의 소선파단은 발생하지 않았다. 그림 5는 정착시험 결과를 바탕으로 CFCC의 정착 길이를 추정한 것으로서 CFCC의 파단하중에 도달하는 정착 길이는 91D로 나타났다.

KICT Tendon의 물집 길이는 30D~80D사이로 하여 제작하였다. 강연선은 슬립발생 이후에 부착응력의 증가가 일정량까지 지속적으로 증가함을 보여주는데 KICT Tendon은 피크점을 기점으로 부착응력이 감소함을 알 수 있다. 이는 정착시편 내부의 부착응력은 일정하게 분포하고 있으나 슬립 발생 후의 기계적인 맞물림의 효과가 미미하기 때문에 발생한 결과로 판단된다. 그림 6을 통하여 물집 길이가 증가할수록 초기 슬립하중이 증가함을 확인하였다. 그러나 물집 길이에 상관없이 모든 시험체에서 슬립 발생 후에도 긴장재 내부의 소선파단은 발생하지 않았다. 그림 7은 정착시험 결과를 바탕으로 KICT Tendon의 정착 길이를 추정한 것으로서 KICT Tendon의 파단하중에 도달하는 정착 길이는 91D로 나타났다.

PS 강연선, CFCC Tendon, KICT Tendon의 정착 시험을 통하여 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 통하여 각각의 최소 정착 길이를 추정하였다. 표 2는 추정된 정착 길이와 국내의 기준에서 제시된 식에 의한 정착 길이를 나타내었다.

표 2 정착 길이 비교

기준	PS 강연선	CFCC Tendon	KICT Tendon
실험값 기준	141D	91D	98D
부착응력 기준	186D	45D	47D
도로교 설계기준	93D	-	-
ACI 기준	90D	24D or 55D	33D or 75D
CSA 기준	59D	24D or 55D	33D or 75D
JSCE	-	50D~65D	-

4. 결론

PS 강연선의 경우 국내의 기준식에서 도출된 정착 길이는 59D~93D로 실험값으로 추정된 정착 길이보다 작게 나타났다. 이것은 PS 강연선뿐만 아니라 CFCC 및 KICT Tendon에서도 실험값으로 추정된 정착 길이가 더 크게 나타났다. 국내의 기준에서 제시된 정착 길이 산정식은 유효 긴장력이 포함된 전달길이 계산항이 포함되어 있다. 본 연구에서 수행한 정착시험은 직접 인발시험으로써 긴장재에 초기 긴장력 없이 수행되었다. 초기 긴장이 있는 경우 정착이 끝난 상태에서는 정착단의 썩기 작용에 의해 정착 길이가 짧아질 수 있다. 그러나 본 연구에서 수행된 정착시험은 초기 긴장력이 0으로 이러한 썩기 작용을 기대할 수 없으므로 국내의 기준에서 제시된 식으로 도출된 정착 길이가 보다 커지게 된 것으로 판단된다. 향후 지속적인 시제품 개발에 따라 정착 길이 시험을 추가로 실시하여 지속적인 데이터 수집은 물론 FRP 긴장재의 정착 길이 산정식 도출에도 사용될 것이다.

감사의 글

본 논문은 건설핵심기술 연구개발사업의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. L. Javier Malvar, "Tensile and Bond Properties of GFRP Reinforcing Bars", ACI Materials Journal, Vol.92, No.3, May-june, 1995, pp.276-285
2. ACI Committee 440, "Guide for the Design and construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", American Concrete Institute, May, 2003.
3. Canadian Standard Association, "Design and Construction of Building Components with Fiber Reinforced Polymers", 2002
4. JSCE, "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials", 1997
5. Charles W. Dolan, H.R. Hamilton, Charled E. Bakis, Antonio Nanni, "Design Recommendation for Concrete Structures Prestressed with FRP Tendons" FHWA Volume 3, 2001
6. 한국건설기술연구원, "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발", 2004
7. 한국건설기술연구원, "FRP 긴장재 및 정착장치의 개발과 활용을 위한 연구", 2006