

# 개발중인 스트랜드형 FRP 긴장재의 인장특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Tensile Characteristics for Strand Type FRP Tendon in Development

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

### ABSTRACT

This paper presents the results of tensile characteristics for developing FRP tendon with strand type. The performance targets were decided to compare the tensile characteristics of developing FRP tendon. Test specimens were manufactured by applying some improvements to enhance the tensile characteristics. The influence factors on the tensile characteristics have been found from the test results. Those are the fiber weight fraction, the pitch, the FRP cross sectional area, and the type of external fibers. The tensile characteristics were satisfactory compared to the performance targets.

### 1. 서론

철근콘크리트 또는 프리스트레스트콘크리트 구조물은 재료적, 시공적 요인 또는 염해나 중성화 등과 같은 원인에 의해 지속적으로 노후화되며, 이러한 노후화는 재료의 성능을 감소시키는 요인이 된다. 특히 철근의 부식문제는 철근의 단면 손실로 인한 내하력 감소 및 콘크리트 균열유발로 구조물의 수명이 저하된다. 철근부식을 억제하기 위한 방법들(철근 표면처리, 콘크리트 수밀성 강화, 피복두께 증가, 전기방식 등)이 제시되고 있지만 이러한 방법들은 철근 부식의 문제를 근본적으로 해결할 수 없다. 따라서 국내외적으로 철근 또는 강연선을 대체하고 부식환경에서 자유롭게 사용할 수 있는 재료로 섬유보강 복합재료(Fiber Reinforced Polymer Composites)가 대두되었다. FRP 보강재는 자중이 작고 취급이 용이할 뿐만 아니라, 최근에 구조적 성능 및 사용성 등에 있어서도 철근과 동등한 성능을 지니는 제품이 선진외국에서 개발되고 있다. FRP 복합재료를 활용한 건설기술 개발에 주력하고 있는 선진국은 미국, 일본, 영국, 프랑스, 캐나다 등으로 주요 연구개발 분야는 교량에의 적용을 위한 FRP 주부재, FRP 보강근, FRP 긴장재, FRP 격자 등이다. 이 중에서 FRP 보강근 및 긴장재의 경우는 양산 체제가 구축되어 주요 국가에 수출되고 있는 실정이다.

\* 한국건설기술연구원 연구원

\*\* 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\*\* 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\*\*\* 동원건설주식회사 대리

국내의 경우는 기존 콘크리트 보수보강 분야에서 FRP 적용이 활발하게 이루어지고 있지만, FRP 구조부재, 보강재 등의 개발에 대한 연구는 기초연구 상태에 머물러 있는 실정이다. 이에 한국건설기술연구원은 FRP 긴장재 개발 연구를 시작하여 외국 FRP 긴장재의 성능과 유사 또는 이상인 제품을 개발 중에 있으며, 본 연구에서는 1, 2, 3차에 걸쳐 개발된 FRP 긴장재의 인장특성에 대해 살펴보겠다.

## 2. FRP 긴장재의 인장 시험

### 2.1. 시험 시편 및 시험 방법

FRP 보강재의 인장특성을 규명하기 위해서는 정착장치의 개발이 필수적이다. FRP 복합재료는 철근과 달리 횡방향 전단강도가 낮기 때문에 프리스트레스트 시스템에서의 정착 또는 인장특성값 파악을 위한 시험시, 정착구와 맞물리는 부위의 FRP 보강재가 조기에 파단되는 경우가 발생된다. 이러한 현상으로 인하여 FRP 보강재의 인장강도 시험시에는 인장강도의 편차가 크게 발생되며, 강도를 정확하게 평가할 수 없다. 따라서 이와 같은 현상을 방지하기 위해 FRP 보강재에 가해지는 높은 국부압축 응력을 적절히 분산시킴으로써 설계기준 강도를 발현할 수 있는 적정 그립장치의 개발이 필요하다(한국건설기술연구원, 2004). 한국건설기술연구원(2006)은 강제슬리브를 이용하여 FRP 인장특성을 파악하였다. 예비시험을 통하여 강제슬리브 내의 최적의 채움재를 도출하고, 상용 FRP 긴장재를 이용하여 인장특성을 확인하였다. 따라서 본 연구에서도 강제슬리브를 사용하여 인장특성을 파악하고자 한다.



그림 1 FRP 긴장재 1차



그림 2 FRP 긴장재 2차



그림 3 FRP 긴장재 3차

인장특성 시험편은 1, 2, 3차로 생산된 FRP 긴장재로 개수는 각각 3개로 하였다(그림 1~그림 3). 생산된 FRP 긴장재의 일반적인 제원은 표 1과 같다. 인장시험 시험편은 강제 슬리브를 시험 양쪽에 설치하였고 강제 슬리브 길이를 제외한 순길이는 40D 이상을 확보하였다(CSA, 2002). 채움재는 무수축 모르터를 사용하였고, 강제 슬리브 제작 및 시공은 예비시험 시험편과 같은 방법으로 하였다. 그림 4는 인장시험 전경을 나타내었다. 재하는 980 kN 용량의 UTM을 사용하였고, 재하속도는 0.0835 mm/sec로 하였다. 시험편 중앙에 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다.



그림 4 인장시험 전경

표 1 FRP 긴장재 1, 2, 3차 기본 제원

생산번호	겉보기직경 (mm)	공칭직경 (mm)	공칭단면적 (mm <sup>2</sup> )	유효단면적 (mm <sup>2</sup> )	순길이 (mm)	1피치길이 (mm)
1	13.2	12.1	115.0	87.96	690	300
2	11.4	10.4	84.8	68	690	210
3	12.3	11.1	96.77	72	690	210

## 2.2. 목표성능 설정

그림 5, 그림 6은 FRP 긴장재의 요구성능을 설정하기 위해 기존 상용화된 PS 강선 및 9종류의 FRP 긴장재의 인장강도, 탄성계수, 부착강도를 조사하였다(JSCE, 1997). FRP 긴장재를 PS 강선의 대체 재료로 활용하기 위해서는 기본적으로 PS 강선의 역학적 특성값을 만족하여야 할 것이다. PS 강선 및 기존 FRP 긴장재의 역학적 특성을 고려하여 FRP 긴장재 목표성능을 인장강도 1800 MPa 이상, 탄성계수 140 GPa 이상으로 설정하였다.

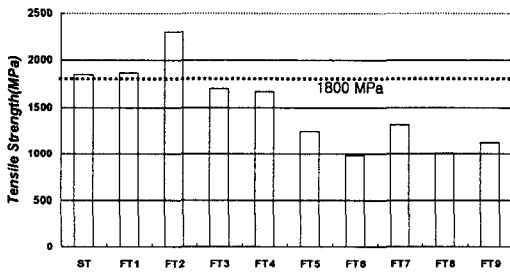


그림 5 FRP 긴장재 인장강도 설정

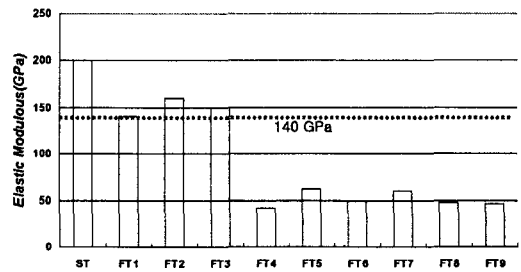


그림 6 FRP 긴장재 탄성계수 설정

## 2.3. 실험결과

1차 제작된 3개 시편의 인장강도 및 탄성계수는 공칭직경기준의 목표 요구성능 1800 MPa과 140 GPa에 대하여 약 96%, 약 78% 성능을 발휘하였다. 1차 FRP 긴장재의 인장특성이 목표성능보다 낮은 이유는 상용 FRP 긴장재와 비교할 때, 섬유무게함유율, 피치간격 등에서 차이가 발생된 것으로 판단되었다. 따라서 2차 생산시에 이러한 점을 보완하여 제작하였다.

2차 생산된 FRP 긴장재의 인장 특성은 목표성능 대비 약 131%, 134%(각각 인장강도, 탄성계수)의 성능을 발휘하였다. 1차 FRP 긴장재의 인장성능을 보완한 결과로써 섬유무게함유율이나 피치가 FRP 긴장재의 인장특성을 좌우하는 요소임을 알 수 있다.

3차 제작된 FRP 긴장재의 인장특성은 목표성능 대비 인장강도의 135%, 탄성계수의 91%로 나타났다. 3차 생산된 FRP 긴장재가 2차와 다른 점은 생산시 직경 조정 및 외피를 조절한 것이다. 제직섬유의 변경, 단면적 증가 등으로 인장강도는 목표성능을 초과하였는데 탄성계수는 9% 낮게 측정되었다. 따라서 섬유함유율, 피치뿐만 아니라 제직섬유의 종류 역시 인장 특성을 좌우하는 요소로 판단된다.

표 2 FRP 긴장재 1, 2, 3차 인장 시험 결과

시편번호	인장강도(MPa)	탄성계수(GPa)	인장강도(MPa)	탄성계수(GPa)	인장강도(MPa)	탄성계수(GPa)
1	1,843	109.15	2,336	167.45	2,373	126.03
2	1,785	111.68	2,418	206.63	2,472	129.91
3	1,569	107.94	2,342	186.84	2,423	127.14
평균	1,732	109.59	2,366	188	2,423	127.69
목표성능대비	0.96	0.78	1.31	1.34	1.35	0.91

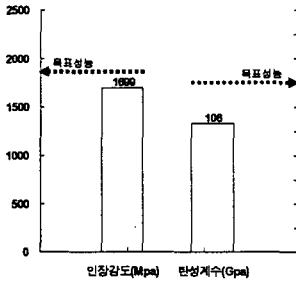


그림 7 목표성능 비교(1차)

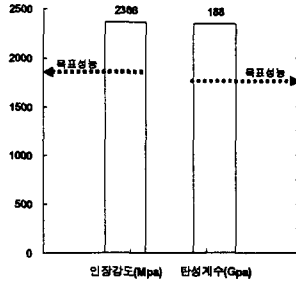


그림 8 목표성능 비교(2차)

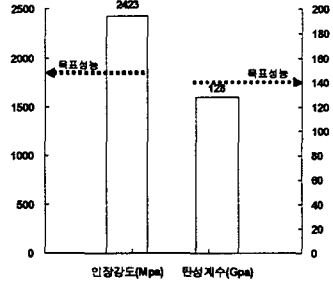


그림 9 목표성능 비교(3차)

### 3. 결론

본 연구에서는 개발중인 FRP 긴장재의 인장특성을 파악하기 위한 실험을 수행하였고 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- (1) 1, 2, 3차 FRP 긴장재의 인장특성을 고찰한 결과, 인장강도 및 탄성계수에 영향을 미치는 인자로 섬유무게함유율, 피치, 단면적 및 제직 섬유로 나타났다.
- (2) 3차 FRP 긴장재의 탄성계수가 목표성능보다 낮은 원인은 단면 내에서 변형이 2차 FRP 긴장재보다 많이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 제직 섬유 변경 및 내부 변형을 줄일 수 있는 방안이 필요하다.

### 감사의 글

본 논문은 건설핵심기술연구개발사업의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술개발", 2004
2. 한국건설기술연구원, "FRP 긴장재 및 정착장치의 개발과 활용을 위한 연구", 2006
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