

# 하이브리드 섬유 보강 시멘트 복합체의 인장 특성에 관한 연구

## A Study of Tension Properties on Hybrid Fiber Reinforced Cement-Based Composit

안 영 태\*                      홍 성 곁\*\*  
An, young Tae\*              Hong, Sung Gul\*\*

---

### ABSTRACT

The cement-based composites have been used for construction industry because of their economy, suitability for architecture and structure function, fire resistance, low fee of repair, easiness for acquisition. but the limited strain capacity of these makes them tension-weak, brittle, and considerable notch-sensitive.

As one of solution, FRC(fiber reinforced concrete) have been investigated for regulating weakness of the cement-based composites. In these day different fiber types are proposed for better performance such as HFRC(hybrid fiber reinforced concrete). This study shows experimental results to search the ultimate strength, the ultimate mean strain, and the tension toughness of HFRC. The tension toughness is proportional to the amount of steel fiber and carbon fiber. In this experimental program we kept the total of steel fiber and carbon fiber as 1.0%, 1.5%, respectively.

---

### 1. 서 론

건설재료로 흔하게 쓰이는 콘크리트는 경제성, 건축적 및 구조적 기능에 대한 재료의 적합성, 내화성, 낮은 보수비, 재료 취득의 용이성 등에서 우수하나, 인장강도가 압축강도의 약 10% 정도로 인장축에 균열을 유발시켜 철근을 부식시키게 하기 쉽고, 취성파괴가 일어나기 쉽다. 그리고, 건조수축이 일어나는데 이 건조수축을 억제하면 처짐이나 균열이 생길 수 있다. 또한 인성이 약해서 에너지 흡수능력이 현저히 떨어진다.

이 취약점을 보완하기 위해 섬유보강콘크리트에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 과거 대부분의 연구는 단종, 단일길이 섬유에 의한 영향에 대해서만 이루어 졌으나, 1990년대부터는 종전과 달리 섬유의 길이를 달리 하거나, 2가지 종류 이상의 fiber를 혼입하는 하이브리드(異種) 섬유보강콘크리트(Hybrid fiber reinforced concrete. HFRC)가 연구의 주된 경향을 이루고 있다.

---

\* 정희원, 서울대학교 건축학과 석사과정  
\*\* 정희원, 서울대학교 건축학과 교수

본 연구에서는 steel fiber와 carbon fiber 의 총 부피를 1.5%, 1.0%로 고정하고, steel fiber와 carbon fiber의 부피 비를 달리하여, 직접 인장 실험을 실시한다. 이때, 인장강도에 영향을 주는 굵은 골재를 제거한 모르타르로 실험을 한다. 이 실험의 목적은 steel fiber와 carbon fiber의 부피비를 변화에 따라서 변하는 최대인장강도, 인장 toughness, 평균 strain 값들을 구하고, 그 값들이 최대가 되는 fiber간의 최적의 비를 찾는 것이다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험재료

#### (1)모르타르

A. 시멘트 :H사 보통포틀랜드 1종 시멘트를 사용하였으며, 비중은 3.15이고 28일 압축강도는  $380kg/cm^2$ 이다.

B. 잔골재: 김포 강모래

#### (2) FIBER

표 1 FIBER 종류별 물리적 특성

	Steel fiber	Carbon fiber
섬유직경	0.5mm	7 $\mu$ m
섬유길이	30mm	6mm
인장강도	120kgf/mm <sup>2</sup>	415kgf/mm <sup>2</sup>
Aspect Ratio	60	-

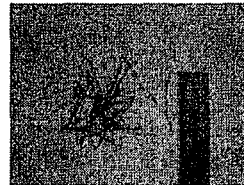


그림 1 steel fiber

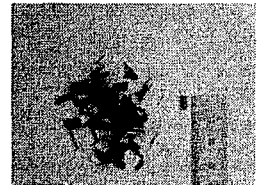


그림 2 carbon fiber

### 2.2 배합조건

각각의 부피비를 시멘트: 모래: 물=1:2.5:0.57 로 배합하였으며, 슬럼프 값은 19cm이다.

### 2.3 실험변수 및 실험체 제작

steel fiber와 carbon fiber 의 총 부피를1.5%, 1.0%로 고정하고 fiber간의 부피비를 달리해서 총 15 종류의 실험체를 제작해서 실험한다. 실험체 크기는 가로 150mm, 세로 150mm, 높이 500mm의 직육면체이고, 실험체 중간에 3mm 깊이의 notch를 내서 그 부분에서 인장파괴가 일어나도록 유도한다. 하중재하는 최대강도 이후의 toughness을 측정하기 위해 변위 제어를 한다.

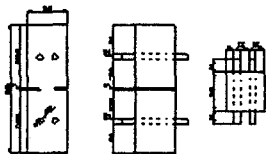


그림 3 실험체 size

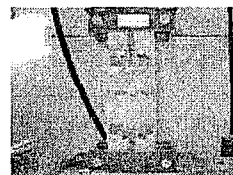


그림 4 실험체 setting

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1극한 강도 (1.5%)

그림(1.5%)에서 보는 바와 같이 carbon fiber의 양이 상대적으로 작을수록 그 효과가 증대되며, steel fiber와 carbon fiber의 비가 5:1(TSC51-1.5) 일 때, 최대 값을 나타낸다. carbon fiber만 혼입된 실험체의 경우, fiber가 혼입되지 않은 순수 모르타르와 강도의 차이가 없다. 1.0%의 경우 실험체의 개수가 적어서, 정확한 결론을 도출할 수 없으나, 1.5%의 추세와 같은 경향을 보이므로, 그 결과 역시 carbon fiber의 양이 steel fiber양과 비교하여 상대적으로 작은 경우에 더 효율적이라고 사료된다.

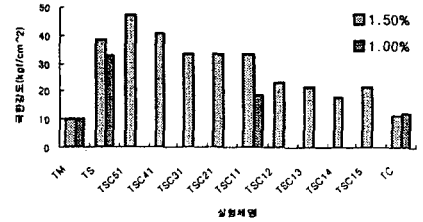


그림 5 극한 강도

#### 3.2 인장 toughness(1.5%, $I_t$ )

인장 toughness의 그래프는 ultimate strength 그래프와 비슷한 경향을 보이는데, steel fiber와 carbon fiber의 비가 5:2(TSC52)일 때 인장 toughness는 최대 값을 나타낸다. 인장 toughness의 증가율은 ultimate strength의 증가율보다 높은 성질을 보이고 있는데, 이것은 콘크리트의 단점인 취성적 성질을 보완할 수 있는 중요한 해결책이 될 수 있다.

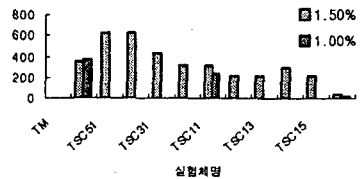


그림 6 인장 toughness( $I_t$ )

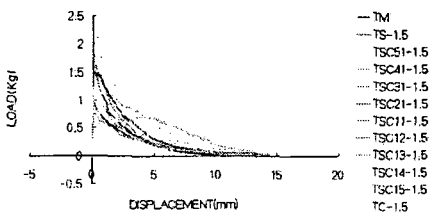


그림 7 Load & Displacement(1.5%)

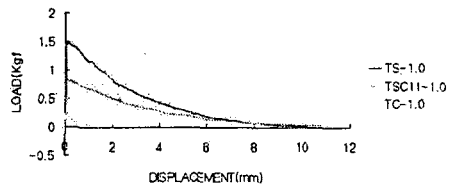


그림 8 Load & Displacement(1.0%)

#### 3.3 평균 strain(1.5%)

평균 strain 역시 최대강도 및 인장 toughness와 비슷한 경향을 보이며, steel fiber와 carbon fiber의 비가 5:1(TSC51) 일 때, 최대 값을 나타낸다. carbon 만 첨가된 실험체는 fiber 무첨가 실험체와 비슷한 평균 strain 값을 나타낸다.

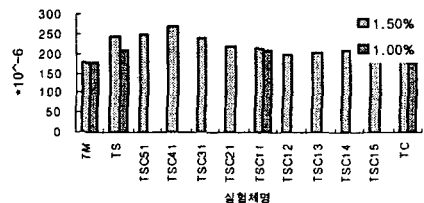


표 2 fiber 혼입율 및 결과 data

steel fiber와 carbon fiber의 부피비		실험체명	최대강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장 toughness( $I_t$ )	평균 strain (mm)
모르타르		TM	10.18	1	180×10 <sup>-3</sup>
총혼입율:1.5%	steel : carbon=1:0	TS-1.5	38.67	353.70	245×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=5:1	TSC51-1.5	47.36	626.44	251×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=4:1	TSC41-1.5	40.80	629.66	270×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=3:1	TSC31-1.5	33.22	419.96	237×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=2:1	TSC21-1.5	33.13	316.77	220×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:1	TSC11-1.5	33.27	314.29	212×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:2	TSC12-1.5	23.33	222.59	200×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:3	TSC13-1.5	21.91	222.38	204×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:4	TSC14-1.5	18.22	284.75	207×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:5	TSC15-1.5	21.98	216.27	190×10 <sup>-3</sup>
총혼입율:1.0%	steel : carbon=1:0	TC-1.5	11.29	31.50	189×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:0	TS-1.0	32.82	372.05	209×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=1:1	TSC11-1.0	18.80	240.96	209×10 <sup>-3</sup>
	steel : carbon=0:1	TC-1.0	12.07	11.02	180×10 <sup>-3</sup>

#### 4. 결론

본 연구는 steel fiber와 carbon fiber의 총 부피 합을 1.0%, 1.5%로 고정하고, carbon fiber와 steel fiber의 부피 비를 변화시킴으로써, 최적의 효과를 나타내는 비를 찾는 것이다. 최대강도, 인장 toughness, 평균 strain의 전체적 경향은 다량의 steel fiber에 소량의 carbon fiber를 혼입시, 최대 효율을 보이는 것이다. 실험을 통해 도출한 주요한 결과는 다음과 같다.

- (1) 최대강도는 TSC51-1.5에서 최고 값을 보이고, TSC41-1.5가 그 다음을 잇고 있다. 100% steel fiber가 혼입된 것 보다는 16.7%, 20%의 carbon fiber가 혼입된 실험체가 더 효율성을 보이고 있다.
- (2) 인장 toughness는 TSC41-1.5에서 최고 값을 보이는데, 최대강도의 결과와는 다르게 TSC31-1.5도 100% steel fiber가 혼입된 것 보다 높은 인장 toughness 값을 보이고 있다. 이는 하이브리드(異種) 섬유보강콘크리트(Hybrid fiber reinforced concrete, HFRC)가 인장 toughness에 더 효율적임을 보이고 있다.
- (3) 평균 strain도 위 2가지 결과와 비슷한 양상을 보이고 있으며, TSC41-1.5에서 최대 값을 보이고 있다.

#### 참고문헌

1. Barzin Mobasher and Cheng Yu Li, "Mechanical Properties of Hybrid Cement-Based Composites" ACI Materials Journal/ May-June 1996
2. R.N. Swamy "Fiber reinforced Cement and Concrete" Proceeding of the Forth RILEM International Symposium.
3. Wu Yao, Jie Li, Keru Wu "Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction" CEMENT and CONCRETE RESEARCH 33(2003)27-30