

# 강섬유가 고강도 SFRC의 압축강도에 미치는 영향

## the Effect of Steel Fiber on the Compressive Strength of High Strength Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites

강 수 태\*    박 정 준\*    고 경 택\*\*    김 성 욱\*\*\*    이 장 화\*\*\*\*  
Kang, Su Tae   Park, Jung Jun   Koh, Kyung Taek   Kim, Sung Wook   Lee, Jang Hwa

### ABSTRACT

Many researchers have reported that adding steel fiber to concrete improved its tensile and flexural strength significantly, but relatively few studies have been made on the compressive behavior of SFRC(steel fiber reinforced concrete). It is still less in case of high strength SFRC. The main objective of this research is to examine the effect of adding steel fiber on the compressive strength of high strength SFRC using fiber reinforcing index( $RI$ ,  $V_f(l/d)$ ). It was found from the study that compressive strength was noticeably increased in proportion to  $RI$ .

### 1. 서론

지난 3~40여 년 동안 섬유보강 복합체는 구조재료로서 매우 많은 분야에서 사용되면서 복합체의 역학적 성질에 많은 연구들이 이루어져 왔다. 콘크리트는 본질적으로 수많은 결함과 미세균열을 가지고 있다. 하중이 재하될 경우 이러한 미세균열의 급격한 진전으로 인해 낮은 인장강도를 나타내고 상대적으로 낮은 휨강도와 인성을 가지며 충격에 대해서도 저항성이 약하다. 일반적으로 콘크리트에 섬유를 보강할 경우 인장강도와 휨강도에 상당한 진전을 이룰 수 있는 것으로 밝혀졌다. 이것은 섬유가 미세균열의 진전을 구속하고 따라서 인장균열의 발생을 늦춰서 인장강도를 증진시키기 때문이다. 섬유가 인장특성을 향상시킨다는 관점에서 섬유보강 콘크리트에 대한 지금까지 대부분의 연구가 일축인장 또는 휨거동에 관한 것이었고 상대적으로 압축하중을 받는 콘크리트의 특성에 관한 연구는 미흡한 상태이다. 특히 고강도 SFRC의 경우는 더욱 더 그러하다. 최근에 들어 고강도 시멘트 복합재료들의 현장 적용사례가 차츰 늘어가고 있다. 이에 무엇보다도 압축거동에 대한 파악이 우선되어야 한다. 본 연구에서는 초세립 미립자로 구성된 고강도 시멘트 복합재료에 인성을 향상시키고 더불어 여러 가지 역학적 성능을 향상시키도록 강섬유를 혼합한 강도 100MPa 이상에 이르는 고강도 SFRC의 물시멘트비의 영향과 더불어 강섬유의 영향을 규명하고자 하였다.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

## 2. 배합설계 및 실험방법

### 2.1 배합설계

강섬유 보강 콘크리트의 압축거동은 물결합재비와 섬유혼입률(0, 1, 2, 3%), 그리고 강섬유의 형상비 등 3개의 실험변수에 따른 영향으로 나누어 파악하였다. 표 1은 각각의 시험체에 대해 고려한 변수들의 값을 나타낸 것이다.

콘크리트 배합설계는 표 2와 같으며, 물과 고성능 감수제를 통해 요구되는 혼합 워커빌리티를 맞추었다.

본 실험에 사용한 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트이며 혼화제는 실리카폼을 사용하였으며, 골재는 0.5mm이하의 모래만을 사용하였고, 굵은 골재는 사용하지 않았다. 잔골재는 비중 2.62, SiO<sub>2</sub> 93% 정도의 특성을 나타내었고, 충전재는 SiO<sub>2</sub> 98% 이상, 평균입경 13 $\mu$ m, 비중 2.6인 것으로 사용하였다. 시멘트 복합체의 유동성을 확보하기 위해 폴리칼본산계의 고성능 감수제를 사용하였다. 강섬유는 인장강도 2,500 MPa, 직경 0.2 mm, 길이 13 mm로 형상계수 65의 고탄성용 강섬유를 사용하였으며, 형상비 영향을 고려할 때는 일반적으로 SFRC에 많이 사용되는 크기인  $\Phi 0.5 \times 30$  mm 또는  $\Phi 0.7 \times 35$  mm의 강섬유를 혼합하여 사용하였다.

표 1 실험변수 및 시험체

No.	Mixture	Fiber parameters		
	w/b	V <sub>f</sub> (%)	A <sub>r</sub>	RI
1	0.3	1	65	0.65
2	0.3	2	65	1.30
3	0.3	3	65	1.95
4	0.3	5	65	3.25
5	0.2	-	-	-
6	0.3	-	-	-
7	0.4	-	-	-
8	0.2	3	65	1.95
9	0.3	3	65	1.95
10	0.4	3	65	1.95
11	0.3	3	55	1.65
12	0.3	3	60	1.80
13	0.3	3	61.5	1.85
14	0.3	3	63	1.89
15	0.3	3	65	1.95

$b=(c+f)$  c: cement f: silica fume  
 V<sub>f</sub> = fiber volume fraction  
 A<sub>r</sub> = aspect ratio  
 RI = fiber reinforcing index

### 2.2 실험방법

시험체는  $\Phi 100 \times 200$  mm의 크기의 원주형으로 제작하였으며, 콘크리트 믹싱은 0.3m<sup>3</sup> 용량의 강제식 회전 믹서기를 사용하였으며, 섬유는 진동을 이용한 섬유 투입기를 제작하여 일정한 비율로 균일하게 투입하였다. 양생은 탈형 후 20°C 수중에서 28일 동안 양생을 실시하였다.

시험체의 재하는 재하용량 500 tonf의 유압식 만능재료시험기를 사용하였으며, 가력은 시험체가 완전 파괴될 때까지 변위 제어하였다. 측방향 변형률은 자체 제작한 Compressor Meter에 세 개의 LVDT를 120°등간격으로 설치하여 측정하였다. 변형률의 측정은 원주형 시험체의 측방향 길이를 3등분하여 중앙구간에서 측정하였다.

표 2. 시멘트 복합체의 기본 배합표(중량비)

W/B	시멘트	실리카폼	충전재	잔골재	고성능감수제
0.2, 0.3, 0.4	1	0.25	0.3	1.1	0.016

## 3. 실험결과 및 분석

섬유를 포함하는 시멘트 복합재료의 경우 인장강도나 휨강도의 증진에 비하면 압축강도의 증진효과는 상대적으로 작다. 일반적으로 일반강도 콘크리트의 경우 0에서 최대 15%의 강도증진을 볼 수 있다. 섬유의 혼입은 매트릭스의 압축강도를 증진시키는 것은 아니다. 따라서 매트릭스의 강도와 섬유의 혼입이 압축강도에 미치는 영향은 개별적으로 고려해야 한다.

매트릭스의 강도는 일반적으로 물결합재비의 함수로 나타낼 수 있다. 그리고 섬유의 혼입으로 인한 강도의 영향은 섬유와 관련한 변수들을 고려한 함수형태로 나타낼 수 있다. 일반적으로 섬유혼입률  $V_f$ 와 섬유의 형상비  $l/\phi$ , 그리고 섬유의 부착강도  $\tau$ 가 강도와 관련 있는 변수이며, 본 연구에서는 부착강도는 일정한 것으로 가정하고 섬유혼입률과 형상비를 가지고 섬유가 강도에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 두 변수를 결합한  $V_f(l/\phi)$ 를 섬유보강지수(reinforcing index)라 하여 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 분석하는데 이용하였다.

### 3.1 물결합재비에 따른 압축강도의 변화

섬유의 혼입에 따른 압축강도의 영향을 규명하기 위해서 우선 섬유가 혼입되지 않은 고강도 시멘트 복합체의 물결합재비와 압축강도와의 관계를 규정할 필요가 있다. 표 1에서 No.5에서 10까지의 물결합재비에 따른 압축강도 실험결과를 통해 다음과 같은 물결합재비와 압축강도와의 경험적인 관계식을 추정하였다.

$$f'_c = \frac{23.44}{(w/c)} - 4.18$$

그림 1과 그림 2는 섬유를 혼입하지 않은 경우와 형상비 65의 강섬유를 3% 혼입한 경우에 대해 물결합재비를 0.2에서 0.4까지 변화시켰을 경우 시험체의 압축강도 변화를 보여주고 있다. 그림 2를 보면 섬유를 혼입한 경우와 혼입하지 않은 경우를 비교할 때, 물결합재비가 증가할수록 섬유의 영향을 고려한 상대압축강도는 다소 증가하는 경향이 있으나, 압축강도의 증가량을 살펴보면 물결합재비가 낮을수록 더 크게 나타났다.

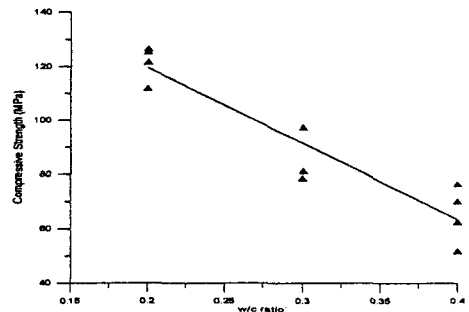


그림 3 물결합재비와 압축강도 관계

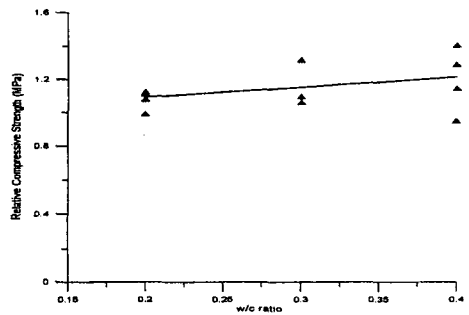


그림 4 물결합재비와 상대압축강도 관계

### 3.2 섬유혼입에 따른 압축강도의 변화

물결합재비 0.3에 대해 섬유혼입률 0, 1, 2, 3, 5%로 2회에 나누어 실험한 결과를 통해 섬유혼입률이 압축강도에 미치는 영향을 파악하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 섬유의 혼입률이 증가할수록 선형적으로 강도가 증가함을 볼 수 있었다. 그리고 형상비 값의 변화에 따른 압축강도의 변화는 그림 4에서 보는 바와 같다. 실험범위 내에서 형상비의 값이 증가함에 따라 압축강도가 조금 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 부착강도가 작용하는 면적이 증가함에 따른 결과로 판단된다.

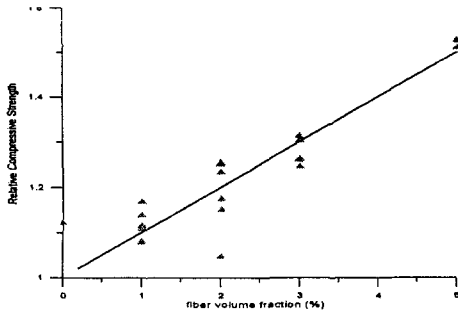


그림 5 섬유혼입률과 상대압축강도 관계

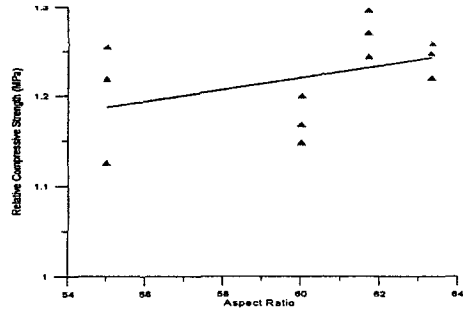


그림 6 섬유 형상비와 상대압축강도 관계

### 3.4 섬유보강지수와 압축강도와의 관계

섬유보강지수(reinforcing index,  $RI$ ),  $V_f(l/\phi)$ 가 압축강도에 미치는 영향을 살펴보면 그림 5와 같이 보강지수와 압축강도가 선형적인 관계를 나타내었다. 보통강도 콘크리트와 비교할 때 고강도 콘크리트에서는 섬유의 보강에 따라 압축강도가 증가하는 것을 확연히 관찰할 수 있다. 이것은 일반강도 콘크리트의 경우, 섬유의 부착강도가 완전히 발휘되기 전에 매트릭스의 파괴가 일어나 섬유가 제대로 역할을 못하는 반면 미립자로 구성된 고강도 복합체에서는 섬유의 부착강도가 발휘되기까지 매트릭스가 저항할 수 있기 때문에 판단된다.

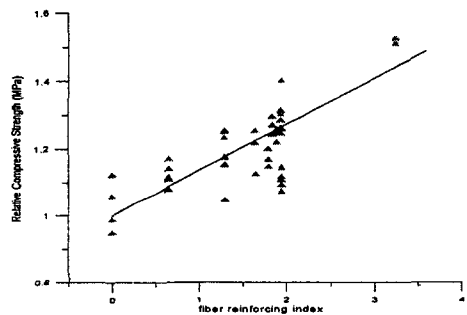


그림 7 섬유보강지수와 상대압축강도 관계

### 4. 결론

고강도 SFRC에서 섬유의 영향은 물결합재비가 낮을수록 섬유로 인한 압축강도의 증가량이 더 크게 나타났으며, 섬유혼입률이 증가할수록 압축강도의 증진효과가 크게 나타났다. 또 상대적으로 적은 값이지만 형상비가 증가함에 따라 압축강도가 다소 증가하는 경향이 나타났으며, 섬유보강지수와 압축강도와의 관계는 선형적인 관계로 나타났다. 이것은 섬유보강지수가 증가함에 따라 매트릭스 파괴면을 따라 작용하는 부착력의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 부척량 외, "강섬유보강 콘크리트의 압축응력-변형률 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 6권 6호, 통권32호, 1990. 12., pp. 295-307
2. A. S. Ezeldin and P. N. Balaguru, "Normal- and High-Strength Fiber Reinforced Concrete under Compression", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 4, No. 4, November, 1992, pp. 415-429