

# 강섬유 보강콘크리트의 재료적 성상에 관한 고찰

## Investigation of Material Properties of the Steel Fiber Reinforced Concrete

이 현 호<sup>\*</sup>                      권 영 호<sup>\*</sup>                      허 무 원<sup>\*\*</sup>                      정 현 석<sup>\*\*</sup>  
Hyun-Ho Lee                      Yeong-Ho Kwon                      Moo-Won Hur                      Hyun-Seok Jung

### ABSTRACT

As composite materials, the addition of steel fiber in concrete significantly improves the engineering properties of structural members. The purpose of this study is to define the strengthening effect of steel fiber in a point of material usage. From the material test, compression strength, tensile splitting strength and flexural strength were evaluated by steel fiber volume fraction ( $V_f$ ) and aspect ratio (AR) of steel fiber. In case of AR 67,  $V_f$  2.0% could be achieved maximum steel fiber strengthening effect. And the AR 80 case,  $V_f$  1.0% could be achieved maximum effect than the effect of  $V_f$  1.5%.

### 1. 서 론

구조부재에 강섬유가 미치는 보강효과는 압축강도, 휨강도 등으로 평가할 수 있으며, 강섬유 형상비(aspect ratio, AR) 및 강섬유 보강량(steel fiber volume fraction %,  $V_f$ )이 이러한 제 강도에 미치는 특성을 평가할 필요가 있다. 또한 강섬유 보강이 응력-변형도 곡선 및 하중-변위 곡선에 미치는 영향 및 휨인성 증진에 미치는 영향도 평가할 필요가 있다.

### 2. 재료성능실험

일반콘크리트에 있어서 강섬유 보강효과를 평가하기 위하여 강섬유 형상비 3종류, 강섬유 보강량 3종류를 변수로 실린더 공시체( $\phi 10 \times h20$  cm) 및 휨실험체( $b15 \times h15 \times l55$  cm)를 제작하여 압축강도( $f_{ck}$ ), 할렬인장강도( $f_{sp}$ ), 휨강도( $f_b$ )를 평가하였다. 휨강도 시험결과는 휨인성지수( $f'_b$ )로 평가되었다. 본 연구에 사용한 강섬유는 양 단 고리가 있는 우리나라 C사의 제품이며, 강섬유 길이를 지름으로 나눈 형상비(aspect ratio, A.R.) 67, 75, 80의 기성품을 사용하였다. 여기서 형상비는 섬유길이 60 mm를 기준으로 지름의 크기를 변경한 것으로, 형상비 67, 75, 80에 대한 각각의 지름은 0.9, 0.8, 0.75 mm이었다. 표 1에 자세한 실험체 일람을 나타내었으며, 콘크리트의 설계강도는  $240 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 계획하였다.

\* 동양대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\* 동양대학교 건축공학과 학생

표 1 시험체 일람

Specimen name	V <sub>f</sub> (%)	A.R.
N00-00	0.0	-
N10-67	1.0	67
N15-67	1.5	67
N20-67	2.0	67
N10-75	1.0	75
N15-75	1.5	75
N20-75	2.0	75
N10-80	1.0	80
N15-80	1.5	80
N20-80	2.0	80

표 2 압축강도, 활렬인장강도, 휨강도 시험결과표

Specimen name	f <sub>ck</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	f <sub>sp</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	f <sub>b</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )
N00-00	326	29.9	27.2
N10-67	337	47.3	42.1
N15-67	341	62.3	50.7
N20-67	374	75.6	64.3
N10-75	327	55.0	59.7
N15-75	360	58.6	61.4
N20-75	335	75.3	88.4
N10-80	337	75.6	95.6
N15-80	369	77.8	78.4
N20-80	322	70.5	77.7

### 3. 강도특성 평가

표 2에 콘크리트표준시방서 해설(2000)<sup>3)</sup>에 의한 압축강도, 활렬인장강도 및 휨강도를 나타내었으며, 휨강도 및 휨인성계수는 다음 식 (1)로 계산할 수 있다.

$$f_b = \frac{P\ell}{bh^2}, \quad f'_b = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \times \frac{\ell}{bh^2} \quad (1)$$

여기서, f<sub>b</sub> : 휨강도 (kgf/cm<sup>2</sup>), f'<sub>b</sub> : 휨인성계수 (kgf/cm<sup>2</sup>)

δ<sub>tb</sub> : 휨스팬의 1/150에 해당하는 처짐 (cm), 스패 45cm인 경우 3mm임

P : 최대하중 (kgf), ℓ : 스패 (cm), b : 단면 폭 (cm), h : 단면 높이 (cm)

그림 1에 나타낸바와 같이 형상비(A.R.) 67에 있어 압축강도는 강섬유 보강량(V<sub>f</sub>) 2.0%에서 가장 우수한 보강효과(비보강시험체에 비하여 15% 증진)를 나타내었으며, V<sub>f</sub> 1.0%, 1.5%에 있어서의 보강효과는 미미한 것으로 나타났다. A.R. 75, 85의 경우 V<sub>f</sub> 1.5%에서 최대 보강효과(비보강 시험체에 비하여 10% 및 13% 증진)를 나타내었으며, V<sub>f</sub> 2.0%의 보강효과는 AR 75의 경우 3% 증진, A.R. 80의 경우 1% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 V<sub>f</sub> 1.0%의 강도증진효과는 미미한 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 강섬유 형상비에 따른 강섬유보강콘크리트(steel fiber reinforced concrete, SFRC)의 압축강도를 최대로 증진시킬 수 있는 적정 강섬유 보강량을 추정할 수 있는데 AR 67의 경우 V<sub>f</sub>는 2.0%, A.R. 70이상의 경우 V<sub>f</sub>는 1.5%가 적정한 것으로 평가되었다. 이는 A.R.이 커지면 커질수록 콘크리트의 체적에 따라 산정되는 강섬유량이 많아짐에 기인한 것으로, 콘크리트 배합시 강섬유 뭉침현상(fiber balling)에 의한 강도능력 증진이 저하된 것으로 판단된다. 또한 V<sub>f</sub> 1.0%의 경우에는 강섬유가 충분히 콘크리트내에 분산되지 못한 것으로 평가되어, 압축강도의 증진이 미흡한 것으로 판단되었다.

그림 2에 나타낸바와 같이, 활렬인장강도(splitting tensile strength)는 압축강도에 비하여 강섬유 증진효과가 매우 우수한 것으로 나타나, 비보강시험체에 대비 최소 158%, 최대 260% 증진되었다. A.R. 67 및 A.R 75의 활렬인장강도도는 V<sub>f</sub> 2.0%에서 최대 증진이 나타났으며, A.R. 80의 경우 V<sub>f</sub> 1.5%에서 최대증진효과가 나타났다. 여기서 A.R. 80, V<sub>f</sub> 2.0%의 경우, 강섬유 뭉침현상에 의한 능력 증진효과가 미흡한 것을 압축강도와 같이 확인할 수 있었다. 따라서 A.R. 80이상되는 경우의 활렬인장강도의 증진을 위한 적정 V<sub>f</sub>는 1.5%, AR 80이하의 경우 적정 V<sub>f</sub>는 2.0%로 평가되었다.

그림 3에 나타낸바와 같이, 휨강도는 활렬인장강도보다 우수한 강섬유 증진효과가 있는 것으로 나타났으며, 비보강시험체에 대비 최소 155%, 최대 352% 증진되는 것으로 평가되었다. A.R. 67 및 A.R. 75의 휨강도는 V<sub>f</sub> 2.0%에서 최대 증진효과 있는 것으로 평가되었으며, A.R. 80의 경우 V<sub>f</sub> 1.0%에서 최대증진(352% 증진)이 나타났다. 따라서 A.R. 80 V<sub>f</sub> 2.0%의 경우, 압축강도, 활렬인장강도와 마찬가지로 강섬유의 뭉침현상에 의한 능력 증진효과가 미흡한 것을 알 수 있었다. 그리고 V<sub>f</sub> 1.5%인 경우

288%의 증진효과가 나타났다. 이는 압축강도결과와 할렬인장결과와는 다른 것으로 평가되나, 할렬인장에서의  $V_f$  1.0% 및 1.5%의 결과가 유사한 것으로 미루어 보아 보다 많은 시험결과로 확인할 필요가 있는 것으로 판단된다. 따라서 A.R.이 80 이상되는 경우 휨강도 증진을 위한 적정  $V_f$ 는 1.0%, A.R.이 80 이하의 경우 적정  $V_f$ 는 2.0%로 평가되었다.

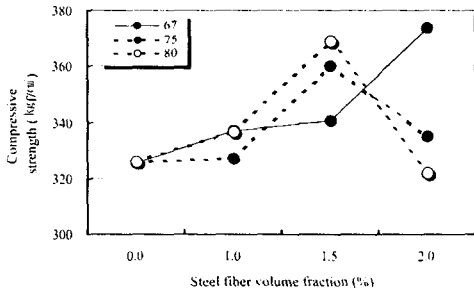


그림 1 압축강도와  $V_f$  상관

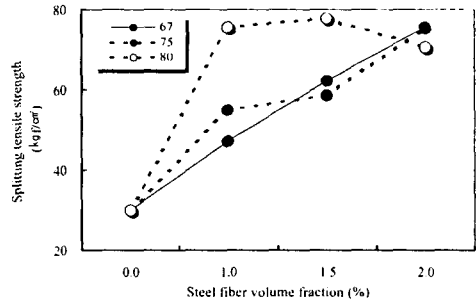


그림 2 할렬인장강도와  $V_f$  상관

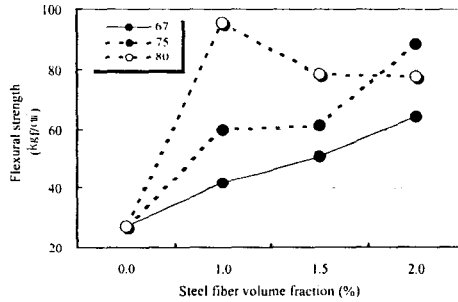


그림 3 휨강도와  $V_f$  상관

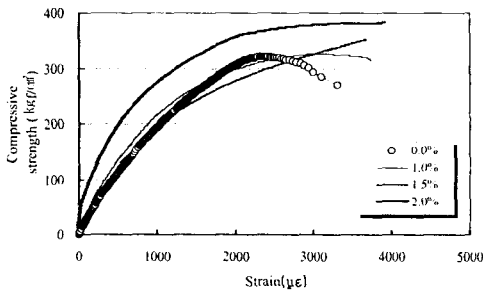


그림 4  $V_f$ 에 따른 압축응력-변형도 곡선(A.R. 67)

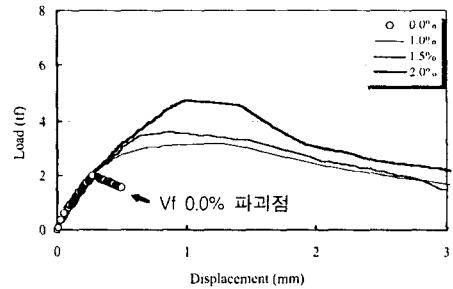


그림 5  $V_f$ 에 따른 휨하중-변위 곡선(A.R. 67)

#### 4. 응력-변형도 및 하중-변위 특성

그림 4에 A.R. 67의 압축응력-변형도를  $V_f$  변수로 정리된 결과를 나타내었다. 그림4에서 강섬유 보강이 없는 경우 최대하중이후 급격한 하중저하를 나타내어 취성적인 콘크리트의 특성을 확인할 수 있었다.  $V_f$  1.0% 및  $V_f$  1.5% 경우 비보강보다는 최대하중시의 곡선 기울기가 완만하며,  $V_f$  2.0%의 경

우에는 강도증진이 최대로 발현됨은 물론 최대하중이 상당히 오랫동안 지속된다. 이상으로부터 A.R.에 따른 적정 강섬유 보강은 최대압축강도의 증진은 물론, 취성적인 콘크리트 특성을 개선함을 확인할 수 있었다. SFRC에 있어서 강섬유보강효과는 전단뿐만 아니라 휨에서도 우수한 것으로 평가할 수 있는데, 본 연구에서도 그림 5에 나타난 바와 같이 강섬유 보강량이 증가할수록 휨강도 및 변형능력의 증진을 명확히 확인할 수 있었다. 그림 5는 A.R. 67의  $V_f$ 별 휨강도 증진효과를 나타낸 것으로  $V_f$  0.0%인 비보강 실험체는 낮은 휨강도 뿐만 아니라, 변형능력도 약 0.6 mm에 해당하는 것으로 나타났다. 이에 반하여  $V_f$  2.0%는 휨강도 및 변형능력의 증진이 매우 우수한 것으로 평가되었다.  $V_f$  1.0%, 1.5%의 증진효과는 2.0%에 비하면 그 보강효과가 다소 떨어지는 것으로 나타났으며, 이는 압축강도의 증진에 미치는 강섬유 보강효과와도 유사한 현상으로 평가될 수 있다.

표 3에 에너지 능력으로 표현되는 휨인성계수( $f'_b$ )를 A.R. 및  $V_f$ 로 구분하여 나타내었다. 휨인성계수는 변위 또는 처짐이 스패ん길이의 1/150(3 mm)에 해당할 때의 에너지 면적을 의미한다. 표 3에서  $V_f$  0.0%인 경우 부재의 취성적인 특성으로 인하여 처짐이 3 mm에 도달하지 못하였으나, 에너지면적을 구하여 휨인성계수를 산정한 것이다. A.R. 67, 75의 경우  $V_f$  2.0%에서 최대 휨인성계수 증진효과가, A.R. 80의 경우  $V_f$  1.0%에서 최대 증진효과를 발휘하는 것으로 나타났다. 특히 A.R. 75  $V_f$  2.0%에서 휨인성계수의 증진이 최대로 발휘되었으며, A.R. 80  $V_f$  1.0%의 증진도 매우 우수한 것으로 평가되었다.

표 3 휨인성계수 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

A.R.	$V_f = 0.0\%$	$V_f = 1.0\%$	$V_f = 1.5\%$	$V_f = 2.0\%$
67	287	2107	2054	2337
75	287	1839	3254	6472
80	287	6304	4177	4902

## 5. 결 론

본 연구에서는 강섬유 형상비 및 강섬유 보강량이 압축강도, 활렬인장강도 및 휨강도에 미치는 영향을 평가하였다. 형상비 75 이하인 경우 강섬유 보강량 2.0%의 강도능력 증진효과가 우수한 것으로 평가되었다. 형상비 80 이상인 경우 섬유의 뭉침현상으로 인하여  $V_f$  1.0% 경우의 능력 증진이 우수한 것으로 평가되었다. 향후 보다 많은 실험자료를 통한 압축강도 대 활렬인장강도 상관 또는 압축강도 대 휨강도 상관에 대한 보완·연구가 필요한 것으로 판단되며, 이러한 결과들이 SFRC 부재의 휨강도 및 전단강도에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- 오병환 외 3인, "강섬유 보강 콘크리트의 강도 및 역학적 특성연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제2권, 2호, 1990, pp. 175-178.
- 이현호, 장극관, "강섬유 보강 RC기둥의 전단능력 산정", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 제13권, 2호, 2001, pp. 891-896.
- 한국콘크리트학회, "콘크리트 표준시방서 해설", 한국콘크리트학회, 2000.