

# 강섬유의 종류에 따른 강섬유보강 콘크리트의 강도 및 휨변형 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Strengths and Flexural Deformation of Steel Fiber Reinforced Concrete According to the Steel Fiber-Type

박승범\*      김의성\*\*      홍석주\*\*\*      강형선\*\*\*\*      권혁준\*\*\*\*  
Park, Seung Bum    Kim, Eu Sung    Hong, Seok Joo    Kang, Hyung Sun    Kwon, Hyuk Joon

### Abstract

This report is the results of an experimental study on the relative effectiveness of different types of steel fiber in concrete. The fibers considered in the study were straight-indent and hooked-collated with aspect ratios of about 50~100. A fiber volume of 0~2 percent was used throughout this investigation. The fresh fibrous mixes were characterized by the slump and vebe-time, and the hardened materials by their compressive and flexural load-deflection relationships. Hooked fibers were found to be more effective than straight ones in improving the strength and energy absorption of concrete.

### 1. 서 론

강섬유보강 콘크리트는 강섬유가 콘크리트내에 균일하게 분포하여 조직전체에 균일한 인장력을 부여함으로써 외부응력이 주어질 경우 강섬유를 통하여 응력을 분산시켜 주어 높은 휨인성, 내충격성, 전단강도 등을 대폭 개선시킨 것이라 할 수 있다. 1970년대부터 강섬유보강 콘크리트가 실용화되기 시작한 이래, 사용되는 강섬유는 섬유의 부착과 구조체 내에서의 강섬유의 분산을 양호하게 하기 위한 강섬유 모양의 최적화에 역점을 두어 개발되어 왔다. 강섬유보강 콘크리트 내에서의 강섬유의 효율은 섬유의 형상을 변형함으로써 단순하게 압연강선을 잘라낸 Straight형보다 콘크리트와 섬유간의 기계적 부착력을 증가시킬수 있다.

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 동부건설(주) 기술연구소 소장

\*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 박사과정

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

따라서 본 연구에서는 강섬유 type별로 보강한 콘크리트의 균지 않은 성질과 경화한 후의 역학적 성질에 대하여 연구하여 강섬유의 경제적이고 실용적인 사용방안을 제시하는데 목적을 두었다.

## 2. 사용재료 및 시험방법

### 2.1 사용재료

시멘트는 국내 D사 제품의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 비중 2.59, 조립률이 2.68인 충남 금강 상류에서 채취한 강도래를 사용하였으며, 굵은골재는 충남 금산 H사 제품의 최대치수 19mm이며 비중이 2.65, 조립률이 7.01인 부순돌을 사용하였다.

혼화제는 AE감수제인 국내 M사의 Pozzoloth No. 84-K를 사용하였고, 표준형 AE제로 Vinsol Resin인 AEA202를 사용하였으며, 감수제는 일본 K사 제품의 나프탈렌 실폰산염 고축합물계 Mighty 150을 사용목적에 따라 사용하였다.

한편, 사용된 강섬유는 일본 T사제품의 Straight형 전단섬유 강섬유와 Belgium의 B사제품의 양단Hook형 강섬유를 사용하였으며, 사용된 강섬유의 물리적 성질은 다음 표 1과 같다.

표 1 사용된 강섬유의 물리적 성질

강섬유 종류	길이 (mm)	직경 (mm)	Aspect Ratio ( $l/d$ )	인장강도 ( $kg/mm^2$ )	탄성계수 ( $kg/cm^2$ )
Straight-indent	25	0.5	50	약 70	$2.1 \times 10^6$
Straight-indent	30	0.5	60		
Straight-indent	50	1.0	50		
Hooked-collated	25	0.4	62	약 110	$2.1 \times 10^6$
Hooked-collated	30	0.5	60		
Hooked-collated	50	0.5	100		

### 2.2 배합 및 시험방법

#### 2.2.1 강섬유보강 콘크리트의 배합 및 믹싱

서로 다른 종류의 강섬유를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 제조를 위하여 사용된 배합은 표 2와 같다.

한편, 믹싱은 강섬유의 랜덤 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 일본 C사제품의 섬유분산용 Omni-mixer(용량 30)를 사용하였고, 재료는 먼저 잔골재와 굵은골재를 혼합하고 일정한 속도로 믹서에 강섬유를 투입하여 혼합한 다음 시멘트와 물을 투입하고 혼합하였다.

#### 2.2.2 시험방법

SFRC의 균지 않은 콘크리트의 특성을 파악하기 위한 슬럼프시험은 KS F 2402, Vee-Bee시험은 2427에 준하였으며, 경화된 강섬유보강 콘크리트의 특성은 압축강도, 휨강도 및 휨인성으로 측정하였다. 경화된 SFRC의 특성을 파악하기 위한 압축강도는 KS F 2405, 인장강도는 KS F 2423, 휨강도 및 휨인성 시험은 JCI-SF4에 준하여 측정하였다.

표 2 강섬유보강 콘크리트의 배합

Mix. No.	W/C (%)	혼입률 (Vol.%)	S/a (%)	단위중량 (Kg/m <sup>3</sup> )					AEWRA (wt.%)
				시멘트 C	물 W	산골재 S	굵은골재 G	강섬유 SF	
S-1-2	50	0	36	360	180	611	1111	0	C×0.25
S-1-2		0.5	44	380	190	722	941	39.3	
S-1-3		1.0	52	400	200	825	779	78.5	
S-1-4		1.5	60	420	210	919	627	117.8	
S-1-5		2.0	68	440	220	1004	483	157	
S-2-1	60	0	38	308	185	657	1096	0	C×0.25
S-2-2		0.5	46	325	195	770	925	39.3	
S-2-3		1.0	54	342	205	876	763	78.5	
S-2-4		1.5	62	358	215	973	610	117.8	
S-2-5		2.0	70	375	225	1062	466	157	

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 강섬유 종류별 굳지 않은 강섬유보강 콘크리트의 특성

##### 3.1.1 슬럼프시험

강섬유 혼입률을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%로 증가시킨 경우의 슬럼프 변화는 그림 1에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면 동일 배합시에도 Straight형 전단강섬유보다 양단 Hook 결속형 섬유를 혼입한 경우가 슬럼프값이 좋게 나타났는데 이러한 현상은 날개의 양단Hook 결속형 강섬유가 수용성 접착제로 붙어 있어 믹싱 시 섬유의 분산이 용이하였기 때문인 것으로 판단된다. 강섬유의 길이별 비교는 그림 2에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면 섬유의 길이가 증가할수록 슬럼프 값은 증가하는 경향을 나타내었으나, 25mm의 경우에는 슬럼프의 저하가 적었으나 30mm, 50mm로 섬유의 길이가 증가할수록 슬럼프값의 저하는 현저하였다. 섬유형태별로는 양단 Hook 결속형의 경우가 Straight형 전단섬유보다 슬럼프값의 저하가 적었다.

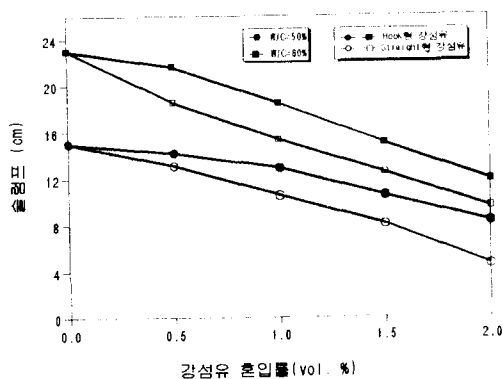


그림 1 강섬유 혼입률과 슬럼프와의 관계

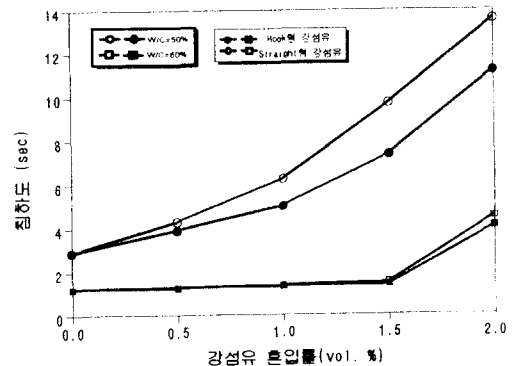


그림 2 강섬유 혼입률과 침하도와와의 관계

##### 3.1.2 VeBe 시험

양단 Hook 결속형 강섬유가 Straight형 전단강섬유에 비해 다소 유동성이 양호하였는데, 이는 Straight형 전단강섬유의 경우 섬유혼입률 1.5%이상에서는 Fiber-ball이 형성되는 등 섬유의 분산

성이 저하된 반면, 양단 Hook 결속형의 경우 섬유혼입률 2.0%에서도 Fiber-ball이 전혀 발생하지 않는 등 강섬유의 분산성능이 양호하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 강섬유 종류별 경화된 강섬유보강 콘크리트의 특성

#### 3.2.1 강섬유보강 콘크리트의 압축강도

압축강도는 Hook형과 Straight형 강섬유사용의 경우 모두 강섬유 혼입률 1.5%까지는 섬유혼입률이 증가할수록 압축강도도 근소하게 증가하였으나, 2.0%에서는 강도가 오히려 감소하였다. 양단 Hook형 강섬유를 사용한 경우가 Straight형 이형전단 강섬유를 사용한 경우에 비해 다소 크게 나타났다으며, 섬유길이에 따라서는 거의 차이가 없는 것으로 나타나 강섬유보강 콘크리트의 경우에 어느 정도까지는 섬유의 길이가 증가하더라도 압축강도에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 강섬유보강 콘크리트의 인장강도

섬유의 혼입량의 증가에 따른 인장강도의 증가폭이 휨강도나 압축강도의 증가폭보다 상당히 크게 증가하는 경향을 나타내었으나, 강섬유 혼입률이 2%인 경우에는 오히려 저하하는 경향을 나타내었으며, 이는 섬유의 체적증가로 인한 기공의 증대와 다짐불량에 의한 것으로 판단된다.

이처럼 활열인장강도의 증가폭이 큰 이유는 활열인장에서는 2축 압축영역에서 전단저항이 증가하여 인장균열이 발생한 후에도 강섬유의 공시체의 파괴를 방해하기 때문인 것으로 판단된다.

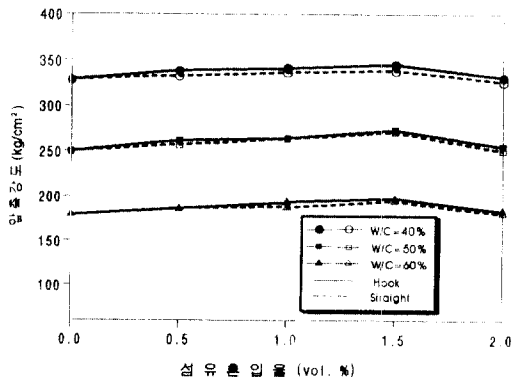


그림 3 강섬유 종류별 압축강도

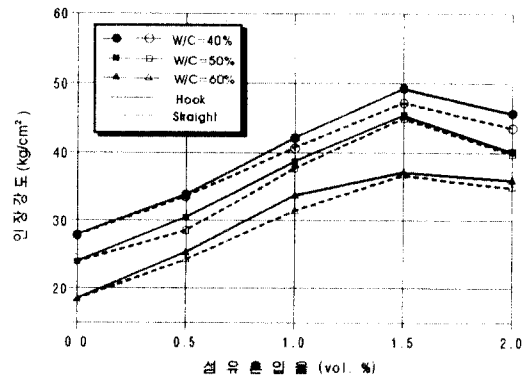


그림 4 강섬유 종류별 인장강도

표 3 강섬유보강 콘크리트의 형상, 길이별 휨강도 및 휨인성시험 결과

강섬유 종류	강섬유치수 (mm)		휨강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	휨인성 (kg·cm)	휨인성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	비고
	단면	길이				
Straight형 전단섬유	0.5×0.5	25 (50)	52.0	621	27.6	( )의 값은 강섬유의 아스펙트비
		30 (60)	52.8	677	30.1	
	0.5×1.0	50 (50)	46.3	838	37.2	
양단 Hook형 (결속형)	∅0.4	25 (60)	53.2	789	35.1	W/C : 50% 혼입률 : 1 vol.%
		30 (60)	53.5	871	38.7	
		50 (100)	49.5	973	43.2	

### 3.2.3 강섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성

강섬유보강 콘크리트의 휨강도는 인장강도와 마찬가지로 강섬유의 혼입률이 증가할수록 휨강도가 현저히 증가하는 경향을 나타내었으나, 강섬유를 1.5% 이상 혼입한 경우에는 휨강도 증가율이 둔화되고 있으며, 믹싱시 Fiberball이 형성되는 등 시공성이 저하되는 것으로 나타나 2.0% 이상의 강섬유 혼입은 섬유보강효과의 저하는 물론 경제성, 시공성 측면에서도 비효과적인 것으로 판단된다. 또한 섬유의 종류에 따라서는 인장강도와 마찬가지로 Hook형 강섬유를 사용한 경우가 Straight형 강섬유를 혼입한 경우에 비하여 다소 높은 휨강도를 나타내었으며, 이는 동

일 섬유길이라 하더라도 Hook에 의한 앵커작용에 의해 섬유와 콘크리트 사이의 부착력이 증대되어 휨거동시 균열발생후의 저항능력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다. 휨인성은 강섬유의 종류에 관계없이 모두 강섬유 혼입률이 증가할수록 최대휨응력과 처짐변형성능은 현저히 개선되는 경향을 나타내어 지금까지 보고된 최대응력 이후의 휨거동과 동일하게 나타났다. 또한 섬유의 종류에 따라서는 Hook형 강섬유를 사용한 경우가 Straight형 강섬유를 사용한 경우에 비하여 우수한 휨보강효과를 나타내었으며, 이는 전술한 것처럼 Hook형 강섬유는 콘크리트가 필요로 하는 균열발생 후의 균열구속능력을 향상시키는 섬유의 정착효과가 증대되기 때문이다.

이를 고찰하여 보면, 강섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성은 보통 콘크리트와 비교해서 현저히 우수한 것으로 나타나, 균열발생시 균열의 진전을 억제하는 효과가 월등하고 갑작스런 외부의 충격하중이 가해져 콘크리트에 변형이 오더라도 잔류내력이 커서 계속적으로 구조물의 안전성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

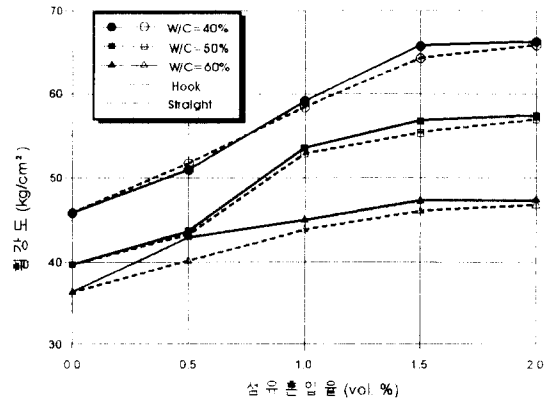
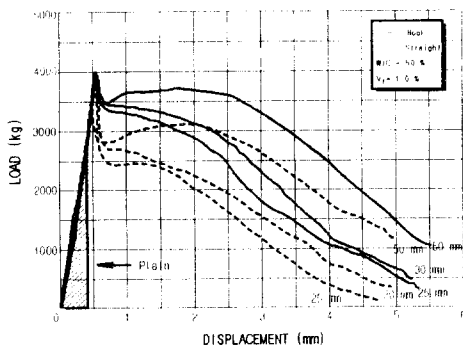
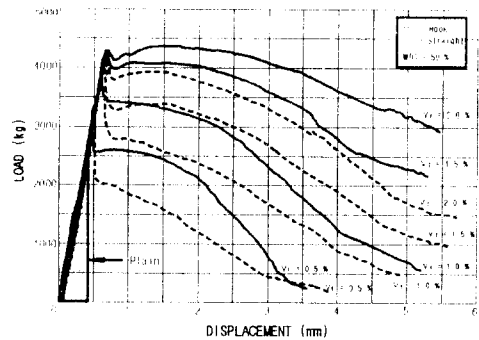


그림 5 강섬유 종류별 휨강도



강섬유의 길이에 따른 강섬유보강 콘크리트의 하중-처짐곡선 (Straight형과 Hook형 비교)

그림 6 강섬유 종류별 길이에 따른 하중-처짐곡선



강섬유의 혼입률에 따른 강섬유보강 콘크리트의 하중-처짐곡선 (Straight형과 Hook형 비교)

그림 7 강섬유 종류별 혼입률에 따른 하중-처짐곡선

## 4. 결 론

### 4.1 강섬유의 종류에 따른 굳지 않은 강섬유보강 콘크리트의 특성

(1) 슬럼프값과 침하도는 각 섬유길이별로 양단Hook 결속형이 Straight형 전단섬유에 비해 보다 양호한 워커빌리티 성능을 나타내었으며, 이는 믹싱시 양단 Hook 결속형의 경우가 섬유분산성능이 월등하였기 때문인 것으로 판단된다. 소요의 컨시스턴시를 얻기 위해서는 강섬유보강 콘크리트가 보통 콘크리트에 비해 보다 많은 단위수량을 필요로 하게 되는데, 워커빌리티가 우수한 양단 Hook 결속형 강섬유를 사용하는 것이 보다 적은 단위수량으로 소요의 컨시스턴시를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 4.2 강섬유의 종류에 따른 경화된 강섬유보강 콘크리트의 특성

- (1) 양단Hook 결속형 강섬유가 최고점 이후의 압축응력하에서 에너지 흡수능력이 전단 Straight형 전단섬유보다 훨씬 효과적이었으며, 압축강도에 대한 섬유보강의 효과는 인장.휨강도보다는 상대적으로 작게 나타나는 경향을 나타냈다.
- (2) 인장강도는 양단 Hook 결속형이 Straight형 전단섬유에 비하여 우수한 경향을 나타내었는데 이는 콘크리트 매트릭스 중에서의 균등분산이 용이하고, 양단Hook 결속형 강섬유의 양단이 콘크리트내에서 앵커 역할을하여 콘크리트의 파괴를 구속함으로써 인장강도가 우수한 것으로 판단된다.
- (3) 휨강도는 강섬유의 혼입률이 증가할수록 휨강도가 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며, 섬유의 종류에 따라서는 양단Hook 결속형 강섬유를 사용한 경우가 전단 Straight형 전단섬유 강섬유를 혼입한 경우에 비하여 다소 높은 휨강도를 나타내었으며, 이는 동일 섬유길이라 하더라도 양단의 Hook만큼 길이가 길고, Hook에 의한 앵커작용에 의해 섬유와 콘크리트 사이의 부착력이 증대되어 휨거동시 균열발생후의 저항능력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다.
- (4) 휨인성은 강섬유의 종류에 관계없이 모두 강섬유 혼입률이 증가할수록 최대휨응력과 처짐변형 성능은 현저히 개선되는 경향을 나타내었다. 또한 섬유의 종류에 따라서는 Hook형 강섬유를 사용한 경우가 Straight형 전단섬유를 사용한 경우에 비하여 우수한 휨보강효과를 나타내었으며, 양단Hook 결속형 강섬유는 콘크리트가 필요로 하는 균열발생 후의 균열구속능력을 증대시키는 섬유의 정착효과가 증대되기 때문인 것으로 판단된다.

## 감사의 말씀

본 연구는 충남대학교와 동부건설(주) 기술연구소 공동으로 수행된 건교부 '95 건설기술연구 개발 사업의 연구내용중 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 관계당국과 여러분께 깊은 감사를 드립니다

## ● 참고문헌 ●

1. Shah, S.P., Rangan, B.V., "Fibre Reinforcement Concrete Properties", ACI J. Proc., Vol.68, No.2, 1971, pp.126~135

2. Swamy, R.N., Mangant, P.S. and Rao, S.V.K., "The Mechanics of Fibre Reinforced Concrete." ACI Pub. SP-44, 1974, pp.1~28
3. TESUSA, "鋼纖維", NKK技術資料, 1991
4. D.J. Hannant, "Fibre Cements and Fibre Concrete", John Wiely & Sons Ltd., 1978
5. GHALI, A. and FAVRE, R. "CONCRETE STRUCTURE, STRESSES AND DEFORMATION", E&FN SPON, 1993, pp.325~439
6. Park, S.B., "Development and Applications of Fiber Reinforced Concrete", J. of KCI, Vol.2, No.1, 1970 7, pp.11~19