

# 원형강섬유 콘크리트의 인성 영향요인

## Influencing Factors on Toughness of Ring Type Fiber Concrete

최 완 철<sup>\*</sup>      이 차 돈<sup>\*\*</sup>      허 준<sup>\*\*\*</sup>      김 수 현<sup>\*\*\*\*</sup>  
Choi, Oan-Chul      Lee, Cha-Don      Hur, Jun      Kim, Su-Hyen

### Abstract

Influencing factors on flexural toughness of ring-type fiber reinforced concrete(RSFRC) are investigated. An experiment proceeding ASTM C 78 is performed to make a comparison between ring-type fibers and double-hook type fibers.

Most specimen with ring type fibers have failed by the cone type failure, while discrete hook type fibers have failed by fiber pullout. For the hook-type fiber reinforced concrete(SFRC), the first crack load increases, as the fiber mixing volume increases. Aspect ratio(fiber length/fiber diameter) is critical for hook type fibers, so the flexural toughness increases significantly, as the length of fiber increases. However, for the ring type, the toughness indices increase as the number of fibers in the specimen increases. Since there is no bond problem between the ring fiber and the concrete matrix, the aspect ratio does not affect the performance of the composite material with the newly developed steel fibers. Influencing factors with respect to flexural toughness RSFRC were observed to be ring diameter, diameter of steel fiber and fiber content.

### 1. 서론

콘크리트는 재료 특성상 취성적 거동과 균열의 생성 및 성장을 억제하기 힘든 단점이 있다. 이러한 역학적 성질을 개선, 보강하기 위해 모체 콘크리트에 섬유질 재료를 분산시켜 콘크리트의 인장강도 및 휨강도를 높이고, 취성적인 파괴성향으로 사용되고 있다(참고문헌 1, 2).

선형 강섬유로 보강된 콘크리트의 경우에는 콘크리트 모체로부터 쉽게 뽑히게 되어 즉, 부착 파괴되어 충분한 인장강도를 발휘하지 못하게 된다. 또한, 단부 절곡된 선형섬유 역시 부착문제를 완전히 해결하지 못하고 여러 가지 형상으로 솔림에 의한 균일한 배향이 곤란하게 된다. 이러한 문제를 개선하고자 폐곡선을 이루는 원형 강섬유가 새로 개발되었고(참고문헌 3), 부착문제가 해결되어 부착파괴가 아닌 섬유파단 또는 콘크리트의 모체파단(참고문헌 5)으로 휨인성과 인장강도 증가가 기대되고 있다.

\*정회원, 숭실대 건축공학과 교수

\*\*정회원, 중앙대 건축공학과 교수

\*\*\*정회원, 숭실대 대학원 석사

\*\*\*\*정회원, 숭실대 대학원 석사과정

최근 연구에서는(참고문헌 3, 4) 폐곡선형인 원형강섬유 보강 콘크리트의 균열억제 및 에너지흡수능력을 휨인성 시험을 통해 기존의 단부 후크형 강섬유와 비교하였다. 단부 후크형 강섬유와 원형강섬유의 형태는 그림1과 같다. 초기균열 하중은 원형강섬유가 선형섬유보다 증가하였지만 원형강섬유와 단부후크형 강섬유의 인성지성 차이는 미세하였다. 선형섬유와 원형섬유의 인성비교시 인성지수  $I_{20}$ 에서 원형강섬유가 단부후크형 강섬유보다 50%정도 원형강섬유가 인성이 우수한 것으로 판단되었다.

원형 강섬유의 직경, 길이, 굽기, 혼입량의 변화가 콘크리트 매트릭스간의 부착력에 대한 영향 요인을 연구하고자 한다.

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 단부 후크형강섬유와 비교하여 성능을 확인하며 원형 강섬유의원형직경, 굽기직경, 혼입량의 변화가 콘크리트 매트릭스 속에서 콘크리트의 인성 개선에 어떠한 영향을주는지 다양한 변수를적용하여 확인하고자 한다. 강섬유 콘크리트의 휨인성 실험을 ASTM C 78(참고문헌 6)에따라 수행하였으며 이들 결과(참고문헌 3, 4)를 이용한다.

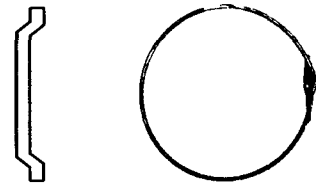


Fig. 1 Double hook & Fiber ring

## 2. 원형강섬유와 선형강섬유 콘크리트의 인성지수 비교

실험에서 얻어진 데이터를 가지고 하중-처짐곡선을 그린 다음, 초기 균열발생 시점에서의 변위값을 분모로, 그 변위에서  $3\delta$ ,  $5.5\delta$ ,  $10.5\delta$  변위의 면적을 분자로 하여 휨인성지수  $I_5$ ,  $I_{10}$ ,  $I_{20}$ 의 값을 얻을 수 있다(참고문헌 9, 10). 이 값들로부터 강섬유 보강 시험체들의 균열 억제능력과 에너지 흡수능력 형상에 어떠한 영향을 주는지 분석한다(표 1, 2).

Table 1. Specimens and test results for HSFRC

Specimen label*	Fiber content (kg/m <sup>3</sup> )	First crack load (kN)	Displ. at first crack load (mm)	Maximum load (kN)	Average toughness indices			Specimen label*	Fiber content (kg/m <sup>3</sup> )	First crack load (kN)	Displ. at first crack load (mm)	Maximum load (kN)	Average toughness indices		
					$I_5$	$I_{10}$	$I_{20}$						$I_5$	$I_{10}$	$I_{20}$
DH150635A	15	-	-	-	1.32	1.98	3.02	DH150650A	15	14.0	0.23	14.0	3.63	6.71	11.54
DH150635B		14.6	0.09	13.6				DH150650B		11.8	0.12	12.6			
DH300635A	30	16.5	0.14	15.5	1.87	3.19	5.33	DH300650A	30	14.3	0.15	14.3	2.74	5.11	9.86
DH300635B		15.3	0.12	15.3				DH300650B		15.8	0.14	15.8			
DH600635A	60	13.1	0.13	16.0	4.76	9.23	15.29	DH600650A	60	15.2	0.24	16.6	5.54	11.95	23.7
DH600635B		16.3	0.25	16.3				DH600650B		19.4	0.16	27.0			

\*Specimen label

NT C FD RD R

NT = fiber type : DH, FR

C = fiber content : 15kg/m<sup>3</sup>, 30kg/m<sup>3</sup> and 60kg/m<sup>3</sup>

FD = fiber diameter : 0.4mm, 0.5mm, 0.6mm, 0.8mm, 1.2mm

RD = ring diameter or fiber length : 20mm, 30mm, 40mm, 50mm, 60mm

R = replication : A, B

Table 2. Specimens and test results for RSFRC

Specimen label*	Fiber content (kg/m <sup>3</sup> )	First crack load (kN)	Displ. at first crack load (mm)	Maximum load (kN)	Average toughness indices			Specimen label*	Fiber content (kg/m <sup>3</sup> )	First crack load (kN)	Displ. at first crack load (mm)	Maximum load (kN)	Average toughness indices		
					I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>						I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>
NFA	-	13.6	0.13	13.7	-	-	-	FR300440A	30	14.4	0.14	19.2	3.35	6.71	16.02
NFB		13.8	0.14	13.8				FR300440B		13.4	0.51	15.7			
FR150420A	15	10.8	0.17	10.8	2.48	4.51	7.31	FR300540A	30	15.3	0.20	16.9	3.36	7.30	13.35
FR150420B		12.5	0.12	12.5				FR300540B		14.9	0.24	19.7			
FR150520A		12.3	0.13	12.3	3.31	5.04	7.12	FR150840A	15	14.8	0.15	14.8	2.66	4.93	8.55
FR150520B		14.6	0.10	14.6				FR150840B		14.6	0.18	14.6			
FR150430A		14.1	0.18	15.4	4.13	7.79	16.35	FR150850A	15	12.5	0.12	12.5	3.79	5.58	9.88
FR150430B		12.0	0.18	13.0				FR150850B		12.0	0.11	12.0			
FR150530A		16.7	0.10	16.7	3.40	6.31	11.60	FR150860A	15	9.1	0.16	9.1	3.71	6.02	12.52
FR150530B		12.5	0.11	12.5				FR150860B		11.4	0.08	19.9			
FR150440A		14.2	0.13	14.2	4.19	7.89	15.48	FR300840A	30	15.4	0.11	15.4	3.31	6.12	10.07
FR150440B		17.5	0.13	17.5				FR300840B		14.6	0.22	14.6			
FR150540A		19.5	0.17	19.5	1.89	3.58	6.32	FR300850A	30	-	-	-	1.30	1.56	2.63
FR150540B		17.0	0.20	17.0				FR300850B		13.6	0.12	13.6			
FR300420A	30	14.9	0.14	14.2	3.66	6.90	11.24	FR300860A	30	16.5	0.15	19.7	2.69	5.53	13.36
FR300420B		14.1	0.14	14.9				FR300860B		13.3	0.15	14.0			
FR300520A		14.8	0.18	14.8	2.24	3.67	5.79	FR301240A	30	13.9	0.12	14.1	2.27	3.78	6.81
FR300520B		16.3	0.12	16.3				FR301240B		14.1	0.12	14.1			
FR300430A		13.4	0.15	18.8	3.23	7.15	13.71	FR301250A	30	11.6	0.14	11.6	3.40	5.49	7.76
FR300430B		13.3	0.09	13.3				FR301250B		15.6	0.10	15.6			
FR300530A		16.7	0.10	16.7	3.35	6.71	16.02	FR301260A	30	12.7	0.14	12.7	2.70	4.89	9.40
FR300530B		12.8	0.21	13.0				FR301260B		10.7	0.12	10.7			

2.1. 선형 강섬유의 혼입량과 길이 변화에 따른 인성지수

단부 후크형 강섬유의 인성지수는 혼입량의 증가함에 따라 인성지수 I<sub>5</sub>, I<sub>10</sub>, I<sub>20</sub>구간에서의 인성지수 값이 크게 증가하는 양상을 보이며, 혼입량이 60kg/m<sup>3</sup>인 시험체의 인성지수 값이 월등히 높게 나타난다. 길이 35mm의 단부후크형 강섬유는 I<sub>5</sub>, I<sub>10</sub>, I<sub>20</sub>구간에서 2.65, 4.80, 7.88의 인성지수 값을 보인 반면, 50mm 단부후크형 강섬유 시험체의 인성지수 값은 3.97, 7.92, 15.03으로 섬유길이가 증가함에 따라 인성지수 값이 증가하는 양상을 보이고 있다(그림 2).

2. 2. 원형 강섬유의 혼입량과 인성지수

원형 강섬유는 혼입량의 증가함에 따른 인성지수 I<sub>5</sub>, I<sub>10</sub>, I<sub>20</sub>구간에서의 증가 양상은 두드러지지 않지만 강섬유의 원형직경 30-4mm에서는 점진적인 증가 양상을 보인다(그림 3). 이는 굵기의 증가로 인해 혼입량에 따른 상대적인 강섬유의 개수가 감소하여 인성증진에 충분한 역할을 못하는 것으로 추측된다.

단부후크형 강섬유가 혼입량 60kg/m<sup>3</sup>에서 시험체의 인성지수 값이 혼입량 30kg/m<sup>3</sup>인 것보다 두배가 증가되었다(그림 2). 이 실험에서는 원형강섬유 혼입량 60kg/m<sup>3</sup>을 사용하지 않았지만 혼입량 30kg/m<sup>3</sup>보다 인성지수 값이 증가될 것이라고 기대된다.

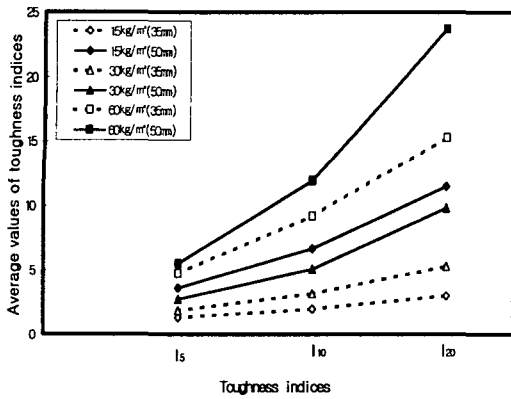


Fig. 2 Average values of toughness indices of HSFRCC

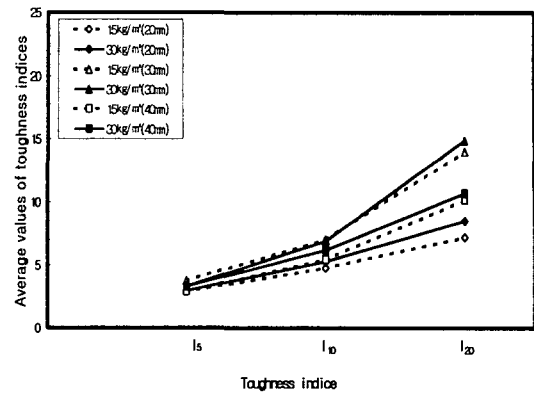


Fig. 3 Average values of toughness indices of RSFRCC

### 3. 원형강섬유 콘크리트의 인성 영향 요인

#### 3.1. 원형강섬유의 원형직경에 따른 인성지수

인성지수  $I_{20}$ 은  $I_5$ ,  $I_{10}$ 에 비하여 인성지수에 큰 영향을 주고 있다. 각각의 원형직경이 증가함에 따라 기능은 증가함을 보여주고 있다(그림 4). 원형직경이 증가할수록 각 섬유에 관한 인성지수 값의 증가는 파괴 메카니즘의 영향으로 추측할 수 있다. 만약 원형직경이 크면 강섬유가 부착하는 영역이 넓어져 항복이 일어나며 반면에 상대적으로 작다면 콘크리트가 콘파괴가 일어나기 전에 원형강섬유가 파단될 것이다.

너무 작은 원형직경의 사용은 균열이 쉽게 일어나며 콘크리트와 섬유의 분리로 인해 바람직하지 않다. 원형강섬유 직경은 상대적인 직경을 고려해야하며 인성지수의 메카니즘에 중요한 역할을 할 것으로 추정된다.

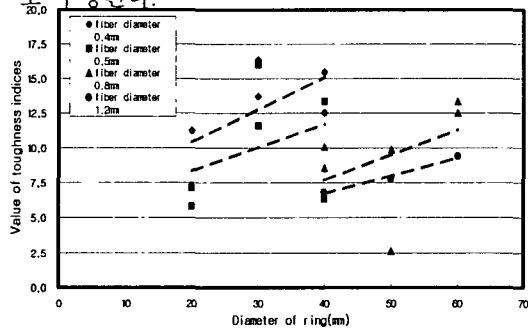


Fig. 4 Effect of ring diameter on the values of toughness index  $I_{20}$

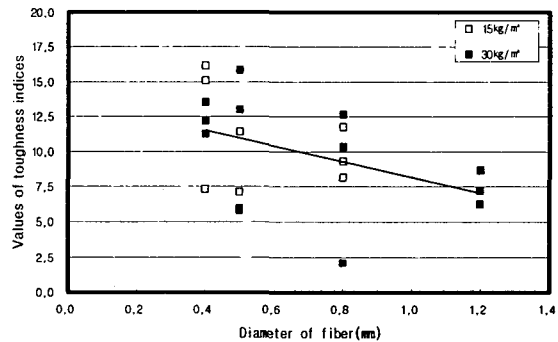


Fig. 5 Effect of fiber diameter on the values of toughness index  $I_{20}$

#### 3.2. 원형강섬유의 섬유직경에 따른 인성지수

섬유직경이 가늘수록 즉, 섬유직경이 작을수록 인성지수 값은 증가한다. 이러한 경향은  $I_5$ ,  $I_{10}$ 에서 나타나고 특히 인성지수  $I_{20}$ 에서 분명히 나타나고 있다(그림 5). 같은 혼입량에서 섬유직경이 반으로 감

소했을 때 섬유개수가 4배로 늘어난다. 본 연구에서는 섬유직경 1.2mm에서 0.4mm까지 감소했을시 섬유개수가 9배로 증가했으며  $I_{20}$ 에서는 대략 7.0에서 11.5배까지 증가하였다(그림 5).

섬유직경은 인성지수에 중요한 역할을 하며 강섬유안에서 충분한 인성을 발휘해 콘파괴가 일어나기 전까지 강섬유가 파단되지 않으면 섬유직경은 가능한 작은 것이 효과적인 것으로 판단된다.

### 3.3. 원형강섬유 개수에 대한 인성지수

혼입량  $15\text{kg}/\text{m}^3$ , 굵기 0.4mm 원형직경 20mm인 원형강섬유를 1로 하여 상대적 원형강섬유의 개수에 대한 인성지수  $I_5$ ,  $I_{10}$ ,  $I_{20}$  값을 살펴보면, 원형 강섬유 개수가 증가함에 따라 인성지수 값의 증가 양상을 보이고, 굵기나 직경에 따른 상대 섬유개수는 편차가 심한 양상을 보인다(그림 6). 대체적 경향은 나타나고 있으나 골재의 크기, 섬유직경의 다양한 배합등에 대한 추후 연구가 수행되어 이에 대한 영향요인을 분석할 수 있을 것이다.

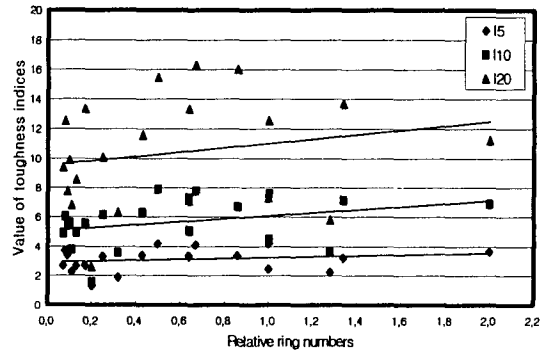


Fig. 6 Relative ring number versus toughness indices

### 4. 선형섬유와 원형섬유의 인성지수 비교

원형강섬유는 원형직경 30mm를 사용하고 단부후크형 강섬유는 50mm를 사용했다. 혼입량은 15, 30 $\text{kg}/\text{m}^3$ 를 사용했다. 두가지 타입의 강섬유에서 각각 우수한 인성을 가진 경우를 비교하였다. 원형강섬유 인성지수가 단부후크형 강섬유 보다 인성지수가 우수한 것으로 분석되었으며 인성지수  $I_{20}$ 에서 원형강섬유가 단부후크형 강섬유보다 50%정도 더 우수하였다. 길이 50mm와 원형직경 30에서 비교한 결과  $I_5$ ,  $I_{10}$ ,  $I_{20}$ 에서 원형강섬유가 우수한 것으로 나타났다(그림 7).

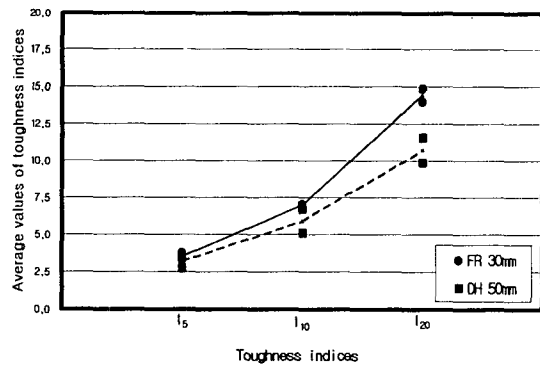


Fig. 7 Comparison of toughness index values between RSFRC and HSFR

### 5. 결 론

휨인성 시험결과 선형인 단부 후크형 강섬유는 콘크리트 매트릭스 내에서 뽑힘이 발생하였다. 원형 강섬유의 대부분은 콘파괴의 형태로 콘크리트가 탈락되었고, 파단된 강섬유도 일부 관찰되었다.

개발된 원형강섬유 콘크리트의 인성지수 영향요인은 섬유직경, 원형직경 그리고 혼입률로서 나타났다. 혼입률이 증가한 만큼 인성지수 값도 증가하는 추세를 보였다.  $I_{20}$ 에서 분석된 결과 섬유직경이 작을수록 인성지수 값이 증가하였다. 혼입률  $15\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $30\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 분석한 결과 섬유직경과 인성지수 값은  $I_{20}$ 에서 분명한 차이를 보였다. 골재의 크기, 섬유직경의 다양한 배합등에 대한 추후연구가 수행되어 이에 대한 영향요인이 밝혀질 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 심종성, 이차돈, “강섬유 보강 콘크리트의 기계적성질 및 구조체 적용을 위한 연구동향”, 콘크리트 학회지, 제 8권 4호, 1996.
2. 오병환, “섬유보강 콘크리트의 전망 및 필요성”, 콘크리트학회지, 제 8권 4호, 1996.
3. 허준, 정의정, 안정호, 최완철, “원형 강섬유 보강 콘크리트의 인성”, 한국콘크리트학회 봄학술 발표논문집, 제11권 1호 통권 20집, pp. 313-318, 1999. 5
4. 최완철, 안정호, 허준, 정의정 “새로개발된 원형강섬유 보강 콘크리트의 인성”, 대한건축학회논문집, 16권 9호 통권 143집, 2000년 9월.
- 5 “정착·부착 기술현황 및 설계”, 대한건축학회, 철근콘크리트분과 위원회, 1997.
6. ASTM C 78 - 84, “Standard Test Methode for FlexuralStrength of Concrete (Using Simple Beam with ThirdPoint Loading)”, ASTM C 78 - 84, 1984
7. JSCE-SF 4, “纖維補強コンクリートの 曲げタフネス 實驗 方法-纖維補強コンクリートの實驗方法に關する 規準”, 日本コンクリート 工學協會, pp.11-17, 1987
8. “강섬유 보강 콘크리트의 설계 및 적용”, 한국구조기술사회, 세미나 자료집, 1998. 9
9. ASTM C 1018 - 94, “Standard Test Methode for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete(using Beam with Third Point Loading)”, ASTM C 1018 - 94, 1994
10. B.I.G. Barr and E. B. D. Hasso, “A Study of Toughness Indices”, Magazine of Concrete Research , Vol. 37 ,No. 132, September 1985.
- 11 ACI Committe 544, Report 544.3R-84,“Guide for Specifying, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete”, J. ACI, Proc., Vol. 81, No. 2 , 1984..
12. James J.Beaudoin, “HANDBOOK OF FIBER-REINFORCED CONCRETE“, Noyes Publications, USA, 1990.
13. Parviz Soroushian and Ziad Bayasi, “Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete”, ACI Material Journal, Vol. 88, No. 2, March-April 1991.
14. H. W. Reinhardt and A. E. Naaman, “High Performance Fiber Reinforced Cement Composites”, E & FN SPON, first edition 1992.