

원형 강섬유 보강 콘크리트의 인성

Flexure Toughness of Fiber Reinforced Concrete with Ring Type Steel Fiber

허 준* 정 의 정** 최 완 철*** 안 정 호****
Hur, Jun Jeong, Eui Jeong Choi, Oan Chul An, Jung Ho

ABSTRACT

This study is aim to evaluate of the flexure toughness of fiber reinforced concrete with ring type steel fiber. The experiment proceeding ASTM C 78 is performed to make a comparison between the ring type fiber and the double-hook type fiber which is recently come in to use. The size of the test specimen is $10 \times 10 \times 35$ mm and the flexure test is proceeded by third-point loading method. The test lasts until 2mm deflection and the loading speed is 0.01mm/min by deflection control. From the experimental results, the specimens with ring type fiber of 30kg/m^3 and 30mm diameter of ring circle show much higher toughness indices than those of the double-hook type fiber of 30kg/m^3 and 30mm long.

1. 서론

콘크리트는 인장이나 동적하중 하에서 취성적 거동을 하여, 균열의 생성 및 성장을 억제하기 힘든 단점이 있다. 콘크리트의 인장강도 및 휨강도를 높이고, 취성적인 파괴성향을 개선시키고자 섬유질 재료를 콘크리트에 분산시켜 균열발생을 감소시키고자 하였지만, 작은 파괴력에 의해 콘크리트 모체로부터 뽑히게 되어 충분한 인장강도를 발휘하지 못하게 되었고, 콘크리트 모체와의 부착성을 높이고자 절곡된 마디나 여러 가지 형상을 갖게 되었지만 쏠림에 의한 균일한 배향이 곤란하게 되었다. 이러한 문제를 개선하고자 폐곡선을 이루는 원형 강섬유가 개발되어 얽힘이나 쏠림현상이 없고, 섬유의 배향방향과 균열면사이의 각도가 변하지 않아 충분한 인장강도를 발휘할 수 있게 하였다.

본 연구에서는 섬유계면의 부착문제를 해결하기 위하여 원형의 강섬유를 사용하는 섬유보강 콘크리트의 성능을 평가하고자 한다. 원형 폐곡선형인 원형 강섬유 보강 콘크리트의 균열억제 및 에너지 흡수능력과 원형 강섬유의 직경, 길이, 혼입량의 변화가 콘크리트 매트릭스간의 부착력에 어떠한 영향이 있는지, 휨인성 시험을 통해 기존의 Double-Hook형 강섬유와 원형 강섬유의 성능을 비교 실험한다.

* 정희원, 숭실대학교 건축공학부 대학원

** 숭실대학교 건축공학부 대학원

*** 정희원, 숭실대학교 건축공학부 부교수

**** 숭실대학교 기계공학과 부교수

2. 휨인성 시험

2.1 실험계획

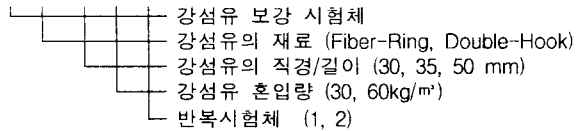
기존에 상용화 되고 있는 B사의 Double-Hook형 강섬유와 비교하기 위하여 혼입량을 30kg/m³와 60kg/m³(투입량 105g과 210g)을 변수로 하는 6종 총 12개의 시험체를 제작한다.

Double-Hook형 강섬유는 굵기가 0.6mm이고 길이가 35mm와 50mm인 제품을 사용하였고, 원형 강섬유는 굵기 0.5mm, 직경 30mm(둘레 94.2mm)인 스프링강을 사용하였다.(표 1)

표 1 휨인성 시험체의 변수 및 시험체명

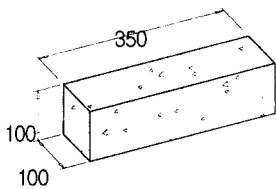
시험체명	재료	굵기 (mm)	길이(직경) (mm)	형상비	혼입량 (kg/m ³)	투입량 (g)
F-FR-30-30-1	화이버링	0.5	94(30)	-	30	105
F-FR-30-30-2				-	60	210
F-FR-30-60-1				-	30	105
F-FR-30-60-2				-	60	210
F-DH-35-30-1	Double Hook	0.6	35	58.33	30	105
F-DH-35-30-2					60	210
F-DH-35-60-1					30	105
F-DH-35-60-2					60	210
F-DH-50-30-1			50	83.33	30	105
F-DH-50-30-2					60	210
F-DH-50-60-1					30	105
F-DH-50-60-2					60	210

<적용 예> F-FR-30-30-1

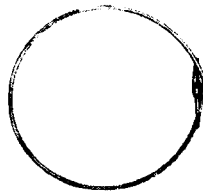


2.2 시험체 제작

ASTM C 78과 ASTM C 1116에 따른 휨인성 시험체는 그림 1(a)와 같다. 투입되는 강섬유는 완전 폐곡선이 이상적이거나, 현재 생산되어진 것이 없으므로 강섬유를 나선으로 만들고, 원형으로 매집지어 완성하였다. (그림 1(b))



(a) 휨인성시험체



(b) 원형 강섬유

그림 1 휨인성시험체

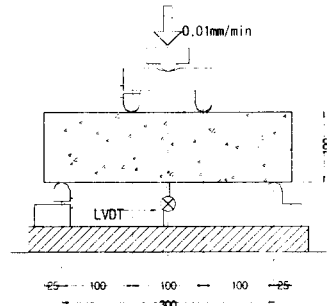


그림 2 휨인성시험체 가력방법

2.3 배합 및 비빔방법

본 실험에서 사용한 콘크리트는 직경 13mm이하의 조골재를 이용하여 350kg/cm² 강도로 설계하였고

(표 2), 콘크리트는 모래와 골재를 넣고 강섬유를 혼입한 후 손비빔으로 골고루 섞은 다음 시멘트와 물을 섞어서 강섬유가 콘크리트 내에서 균등하게 분산되고 얼힘이나 쏠림이 없도록 한다.

표 2 콘크리트 배합비

배합강도 (kg/cm ²)	Slump (cm)	공기량 범위 (%)	W/C (%)	단위수량(kg/m ³)			
				물 (W)	시멘트 (C)	잔골재 (S)	굵은골재 (G)
350	10	2.5	0.48	195.8	407	780	960

2.4 시험방법

휨인성 시험체는 ASTM C 78에 따라 4점 재하실험을 수행하고, 하중과 중앙점에서의 처짐을 측정하였다. 처짐측정의 정밀도를 높여 정밀한 균열 발생값 찾기위해 1/1000 mm LVDT를 사용하였고, 가력기기는 변위조절용 Instron을 사용하여, 재하속도는 0.01mm/min 로 처짐변위는 2mm(ℓ/150)까지 측정하였다.(그림 2)

3. 결과 및 고찰

3.1 휨인성 실험결과

원형 강섬유 휨인성 실험결과를 표 3과 같다. 각 시험체 모두 지간의 3등분 가운데 부분에서 파괴되었고, 실험은 변위가 2mm 될 때 까지 수행하였다.

표 3 강섬유 휨인성 실험결과

시험체명	초기균열하중 (kg)	초기균열변위 (mm)	초기균열응력 (kg/cm ²)	최대하중 (kg)	휨강도 (kg/cm ²)	등가휨강도 (kg/cm ²)
F-FR-30-30-1	1701	0.097	51.03	1701	51.03	36.29
F-FR-30-30-2	1310	0.214	39.30	1325	39.75	27.00
F-FR-30-60-1	1400	0.235	42.00	1559	46.77	46.35
F-FR-30-60-2	1858	0.201	55.74	1948	58.44	62.96
F-DH-35-30-1	1688	0.135	50.64	1688	50.64	27.15
F-DH-35-30-2	1563	0.117	46.89	1563	46.89	14.29
F-DH-35-60-1	1341	0.128	40.23	1628	48.84	45.37
F-DH-35-60-2	1661	0.246	49.83	1661	49.83	32.98
F-DH-50-30-1	1463	0.146	43.89	1463	43.89	33.53
F-DH-50-30-2	1595	0.135	47.83	1610	48.30	40.76
F-DH-50-60-1	1549	0.242	46.47	1698	50.94	55.65
F-DH-50-60-2	1980	0.155	59.40	2758	82.74	70.86

3.2 하중-변위곡선

원형 강섬유 시험체의 혼입량이 30kg/m³일 때 Double-Hook형 강섬유와 비교해보면, 콘크리트가 초기 균열이 발생한 후에 원형 강섬유의 경우는 처짐변위에 비해 완만한 하중저하를 보이지만 Double-Hook형 강섬유의 경우는 급격한 하중저하를 보이고 있다.(그림 3, 그림 4)

혼입량이 60kg/m³일 때 원형강섬유 시험체와 Double-Hook형 강섬유 시험체를 비교해 보면 원형 강섬유 시험체의 성능이 다소 우세한 양상을 보인다.(그림 5, 그림 6)

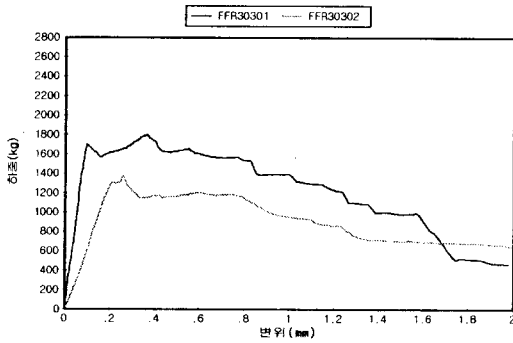


그림 3 혼입량이 30kg/m³인 원형강섬유시험체

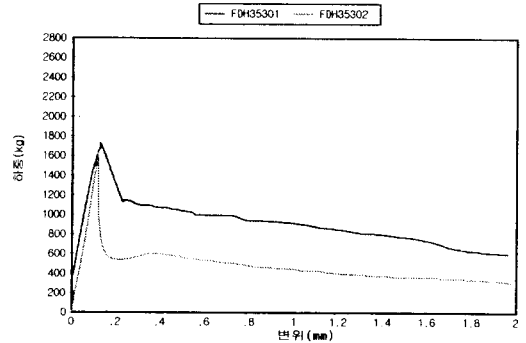


그림 4 혼입량이 30kg/m³인 Double-Hook형강섬유시험체

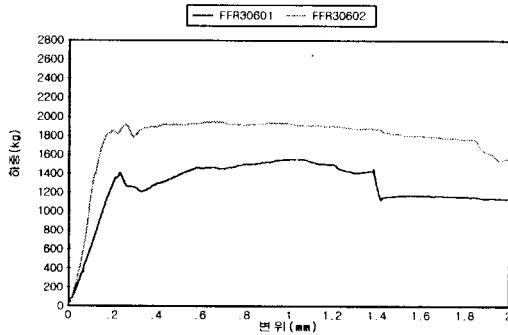


그림 5 혼입량이 60kg/m³인 원형 강섬유 시험체

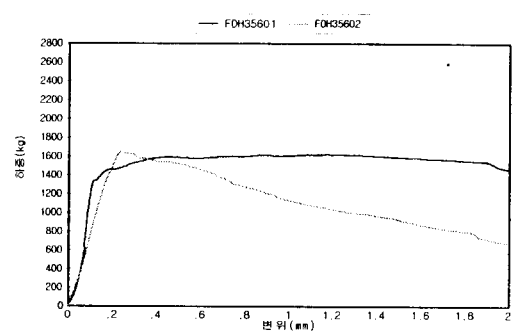


그림 6 혼입량이 60kg/m³인 Double-Hook형 강섬유시험체

3.3 휨인성지수

하중-변위곡선으로부터 초기 균열발생 시점을 기준으로 휨인성지수를 구하면 표 4와 같고, 이 값을 가지고 혼입량과 직경/길이에 따른 인성지수와와의 관계를 분석해보면 다음과 같다..

표 4 강섬유의 인성지수

시험체명	인성지수			인성지수비		잔류강도계수	
	I ₅	I ₁₀	I ₂₀	I ₁₀ /I ₅	I ₂₀ /I ₁₀	R _{5,10}	R _{10,20}
F-FR-30-30-1	2.874	5.744	14.764	2.00	2.57	57.4	90.20
F-FR-30-30-2	3.817	7.972	17.275	2.09	2.17	83.1	93.03
F-FR-30-60-1	3.969	8.287	14.917	2.09	1.80	86.36	66.30
F-FR-30-60-2	4.021	8.017	15.343	1.90	1.91	79.92	73.26
F-DH-35-30-1	1.750	3.071	5.254	1.75	1.71	26.42	21.83
F-DH-35-30-2	2.021	3.320	5.402	1.64	1.63	25.98	20.82
F-DH-50-30-1	2.098	4.044	8.351	1.93	2.07	38.92	43.07
F-DH-50-30-2	3.368	6.182	11.359	1.84	1.84	56.28	51.77
F-DH-35-60-1	5.268	11.144	22.944	2.12	2.06	117.52	118.00
F-DH-35-60-2	4.244	7.311	7.648	1.72	1.05	61.34	3.37
F-DH-50-60-1	6.587	14.181	27.641	2.15	1.95	151.88	134.6
F-DH-50-60-2	4.495	9.712	19.761	2.16	2.03	104.34	100.49

혼입량이 30kg/m³일 때 30mm의 원형강섬유가 직경 35mm의 Double-Hook형 강섬유보다 I₅(3δ), I₁₀(5.5δ), I₂₀(10.5δ) 값이 높다. 50mm의 Double-Hook형 강섬유와 비교하여도 높은 값을 보인다. (그림 7)

혼입량이 60kg/m³일 때 I₅(3δ), I₁₀(5.5δ), I₂₀(10.5δ) 값이 30mm=35mm<50mm순으로 증가하나 원형 30mm와 Double-Hook형 35mm의 인성지수값은 큰 차이가 없다. I₂₀(10.5δ) 구간에서는 50mm Double-Hook형 강섬유의 인성지수가 높게 나타난다. (그림 8)

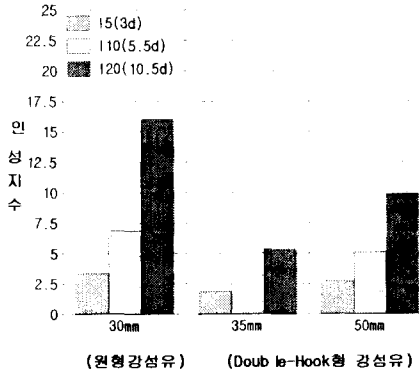


그림 7 혼입량이 30kg/m³인 강섬유 시험체

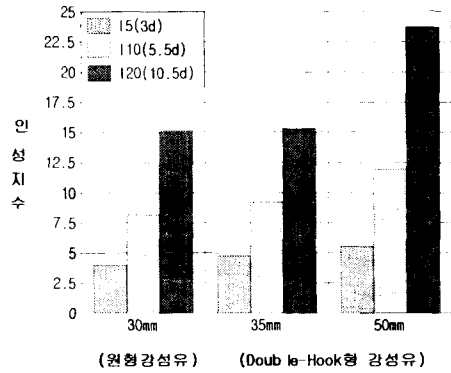


그림 8 혼입량이 60kg/m³인 강섬유 시험체

길이 35mm를 기준으로 본 인성지수는 Double-Hook형인 경우 혼입량 30kg/m³< 60kg/m³임을 알 수 있고 원형인 경우는 직경 30mm, 혼입량 30kg/m³의 강섬유가 혼입량 30kg/m³의 Double-Hook형 강섬유보다 인성지수가 우세하고, 혼입량 60kg/m³의 Double-Hook형 강섬유보다 I₂₀(10.5δ)에서 인성지수가 조금 높음을 알 수 있다.(그림 9)

길이 50mm를 기준으로 본 인성지수는 Double-Hook형인 경우 혼입량 30kg/m³< 60kg/m³임을 알 수 있고, 원형인 경우는 직경 30mm, 혼입량 60kg/m³의 강섬유가 혼입량 30kg/m³인 Double-Hook형 강섬유보다 인성지수가 우세함을 알 수 있다.(그림 10)

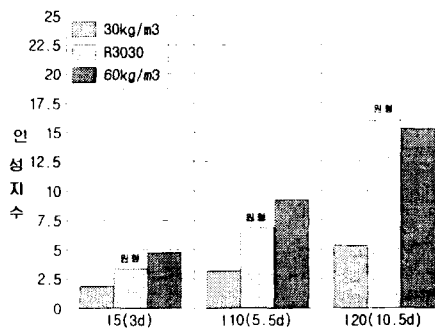


그림 9 섬유길이 35mm를 기준으로 원형강섬유와 Double-Hook형 강섬유의 혼입량에 따른 인성지수

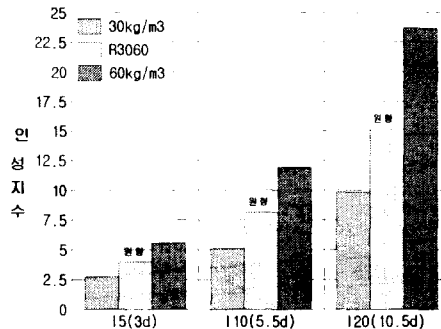


그림 10 섬유길이 50mm를 기준으로 원형강섬유와 Double-Hook형 강섬유의 혼입량에 따른 인성지수

4. 결론

개발된 원형 강섬유와 선형 강섬유의 성능을 혼입량과 직경/길이 에 대하여 차이를 보였다. 휨인성 시험을 통해 비교하였으며 원형 강섬유 보강 콘크리트의 균열억제 및 에너지 흡수능력을 평가하였다.

연구 결과, 개발된 원형 강섬유는 대체로 선형 강섬유에 대해 인성능력이 높게 나타났다. 혼입량이 30kg/m³일 때 직경 30mm인 원형 강섬유의 인성지수가 길이가 각각 35mm, 50mm인 선형 강섬유보다 높음을 보였다. 또한, 혼입량이 60kg/m³로 증가하면 직경 30mm인 원형 강섬유의 인성지수는 길이 35mm인 선형 강섬유와 비슷하지만, 길이 50mm인 선형 강섬유보다는 낮은 값을 보인다.

이상의 결과에 근거하여 원형 강섬유 콘크리트에 대한 연구를 계속적으로 수행중에 있다.

참 고 문 헌

1. ACI, Fiber Reinforced Concrete, SP-44, 1974
2. 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.
3. B.I.G. Barr and E. B. D. Hasso, 「A Study of toughness indices」, Magazine of Concrete Research : Vol.37 ,No.132 : September 1985.
4. Parviz Soroushian and Ziad Bayasi, 「Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete」, ACI Material Journal, V.88, No. 2, March-April 1991.
5. H. W. Reinhardt and A. E. Naaman, 「High Performance Fiber Reinforced Cement Composites」, E & FN SPON, first edition 1992.
6. Nemkumar Banthia and Jean-François Trottier, 「Concrete Reinforced with Deformed Steel Fibers Part II : Toughness Characterization」, ACI Material Journal, V.92, No. 2, March-April 1995.
7. Ashish Dubey and Nemkumar Banthia, 「Influence of High-Reactivity Metakaolin and Silica Fume on the Flexural Toughness of High-Performance Steel Fiber-Reinforced Concrete」, ACI Material Journal, V.95, No. 3, May-June 1998.