

# 강섬유보강 콘크리트의 휨 인성지수와 균열 후 등가인장강도

## Toughness Index and Post-Crack Equivalent Tensile Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete

박 홍 용  
Park, Hong Yong

이 태 림  
Lee, Tae Lim

### ABSTRACT

Steel fibers are added to concrete to improve energy absorption, impact resistance and apparent ductility, and to provide crack resistance and crack controls. This study is to investigate the toughness index and post-crack equivalent tensile strength of steel fiber reinforced concrete properties on the load-deflection behaviors of the steel fiber reinforced concrete beam model specimens.

### 1. 서 론

강섬유보강 콘크리트(Steel Fiber Reinforced Concrete; SFRC)는 콘크리트에 강섬유를 첨가함으로써 콘크리트의 균열, 휨강도, 취성적인 파괴성향 등의 성질을 개선시킨다. 강섬유를 첨가하더라도 일반적으로 콘크리트의 인장강도는 향상되지 않지만, 강섬유보강 콘크리트는 균열이 형성된 후에도 이른바 "균열후 인장강도"를 발휘한다. 본 연구에서는 양단 후크형(double hook type)강섬유를 사용하여 강섬유의 혼입량( $V_f$ ), 직경( $d$ ), 길이( $l$ ) 등의 실험변수가 휨 인성지수와 설계에 반영할 수 있는 균열 후 등가인장강도에 어떠한 영향을 주는지 휨실험을 통해서 강섬유의 성능 비교를 목적으로 한다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 배합 및 사용재료

본 실험에서 콘크리트 재령 28일 압축강도=240kg/cm<sup>2</sup>이 되도록 배합설계를 하였다. 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 강모래(비중:2.52, F.M:2.21) 굵은 골재는 쇄석(비중:2.60,  $G_{max} = 25\text{mm}$ , F.M:6.19)를 사용하였고, 콘

\* 정회원 명지대학교 SOC 공학부 토목·환경공학과 교수

\*\* 정회원 명지대학교 SOC 공학부 토목·환경공학과 대학원 석사과정

크리트 배합비는 표 1과 같다.

표1 콘크리트 배합비

W/C (%)	s/a (%)	air (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )			
			C	W	S	G
48	45	5±1	393	187	780	990

## 2.2 실험변수

실험변수는 강섬유 혼입물과 강섬유의 형상, 치수로 하였으며, 시험체에 따라 20kg/m<sup>3</sup>, 30kg/m<sup>3</sup>, 40kg/m<sup>3</sup>, 50kg/m<sup>3</sup>의 함량을 갖는 시험체를 제작하였다. 이때 강섬유혼입물 (V<sub>f</sub>: 섬유체적/콘크리트체적 X 100)과 형상 등의 공시체 혼입물은 표 2에 나타낸 바와 같다.

표 2 강섬유보강 콘크리트 공시체의 혼입물

시험체명	혼입물V <sub>f</sub> (%)	시험체명	혼입물V <sub>f</sub> (%)	시험체명	혼입물V <sub>f</sub> (%)
H355-30	0.38	H355-40	0.5	H3555-50	0.64
H356-30		H356-40		H356-50	
H357-30		H358-40		H358-50	
H358-30		H358-40		H358-50	
H506-20	0.25	H506-30	0.38	H506-40	0.5
H507-20		H507-30		H507-40	
H508-20		H508-30		H508-40	
H509-20		H509-30		H509-40	
Plain	0				

\* H355-30 H: hook type, 35; l=35mm, 5; d=0.5mm, 30; 혼입량 kg/m<sup>3</sup>

## 2.3 시험방법

강섬유보강 콘크리트 휨강도 시험은 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 따라서 실시하였다. 이 시험방법에 의해 15×15×55cm의 보 공시체를 제작하여 재령 28일에서 그림 1

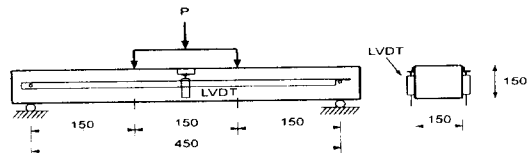


그림 1 휨강도 측정장치

에 나타낸 시험장치를 설치하여 용량 100t의 UTM을 이용하여 재하 하중별 처짐량을 측정하여 하중-처짐곡선, 휨인성지수, 균열후 등가 인장강도를 구하였다. 재하 속도는 0.15~0.3mm/min 범위로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 휨인성지수 산정

ASTM C 1018-94b를 이용하여 인성지수를 계산한다. 인성지수는 그림 2와 같이 초기균열 발생시의 처짐  $\delta$ 의 3 $\delta$ , 5.5 $\delta$ , 10.5 $\delta$ 까지의 흡수에너지와 초기균열 발생

시 흡수에너지의 비율이다.

$$\text{즉, } I_5 = \frac{OABO_5}{OAO_1}, I_{10} = \frac{OACO_3}{OAO_1}, I_{20} = \frac{OADO_4}{OAO_1} \text{ 와 같이}$$

계산한다. 그림 3, 4는 강섬유의 형상비와 혼입량에 따른 하중-처짐 곡선이다. 이것은 인성지수와 균열후 등가인장강도의 계산에 사용되며, 그림 5, 6은 흡수에너지로 하중-처짐곡선의 구간별 누계면적을 나타낸다.

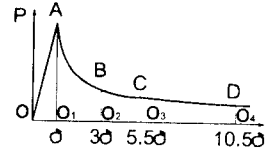


그림2하중-변위곡선

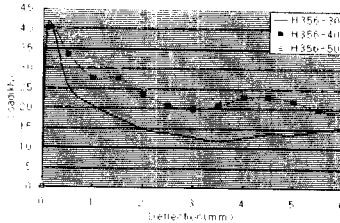


그림 3 동일 형상비에 따른 하중-처짐곡선 (l=30mm, d=0.6mm)

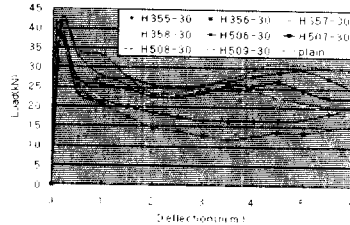


그림 4 동일 혼입량에 따른 하중-처짐곡선 (30kg/m<sup>3</sup>)

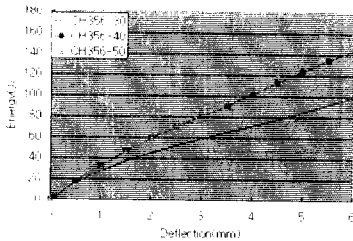


그림 5 동일 형상비에 따른 에너지-처짐곡선(l=30mm, d=0.6mm)

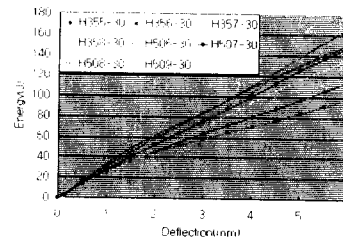


그림 6 동일 혼입량에 따른 에너지-처짐곡선 (30kg/m<sup>3</sup>)

### 3.2 균열 후 등가인장강도의 산정

등가 인장강도는 DBV(독일콘크리트위원회) 지침서에 따라 이상화 응력-변형률 거동을 가정하여 휨인장시험으로 얻은 균열 후 등가인장강도를 계산한다. 그림 7은 등가인장강도  $f_{tc}$ 의 결정방법을 나타내는 하중-처짐 곡선이다.

$$\text{equ } F_u = D^{I_{IV}}/3\text{mm} \text{ (N)} \quad (1)$$

$$f_{tc} = 0.37 \cdot (\text{equ } F_u \cdot l/bd^2) \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

식(1)에서  $\text{equ } F_u$ 는 균열후 등가 하중이며  $f_{tc}$ 는 균열 후 등가인장강도이다. 각 시험체에 대한 계산결과는 표3에 나타내었다

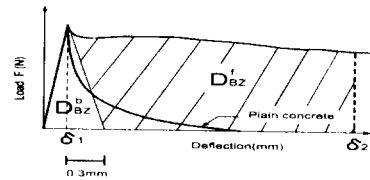


그림 7 등가 인장강도  $f_{tc}$  산정

표 3 인성지수, 등가 인장강도의 계산

시험체	초기균열하중 (kN)	총 변 적 (kN · mm)	인 성 지 수			등가인장강도(N/mm <sup>2</sup> ) f <sub>te</sub>
			I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>	
H355-30	38.91	115.46	4.87	8.39	14.20	0.991
H355-40	40.36	156.87	4.74	8.79	16.71	1.325
H355-50	45.14	187.01	4.79	8.53	16.1	1.498
H356-30	41.1	98.80	4.22	7.45	13.41	0.908
H356-40	40.23	143.53	5.75	11.61	22.00	1.250
H356-50	40.18	157.97	5.18	10.10	19.70	1.078
H357-30	37.19	126.85	4.58	8.42	15.61	1.077
H357-40	37.09	115.70	4.61	8.46	15.90	1.148
H357-50	30.86	128.30	5.21	9.57	15.81	0.736
H358-30	34.4	136.84	5.24	10.11	18.80	1.066
H358-40	39.29	142.25	5.27	10.13	18.10	1.109
H358-50	35.38	127.03	5.34	9.49	18.90	1.209
H506-20	36.86	92.65	4.60	7.51	11.70	0.649
H506-30	33.83	123.20	5.23	10.50	20.91	1.216
H506-40	39.38	127.30	4.70	9.74	17.30	1.216
H507-20	39.12	99.39	5.19	9.35	16.20	0.925
H507-30	38.32	148.86	4.91	8.15	16.10	1.156
H507-40	41.15	137.711	4.77	9.32	17.20	1.164
H508-20	38.44	112.33	4.69	8.95	17.20	1.129
H508-30	37.34	134.47	4.74	8.95	17.30	1.168
H508-40	40.9	145.58	5.20	9.78	18.80	1.351
H509-20	33.21	111.227	4.30	7.20	12.90	0.851
H509-30	42.05	152.86	4.48	8.38	16.20	1.274
H509-40	40.34	146.52	5.06	9.80	18.30	1.371

4. 결 론

4점 휨 실험을 통해 파악한 강섬유의 변수들과 휨 인성지수, 등가인장강도의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 그림 3에서 동일 형상비에 따른 하중-처짐 곡선은 3~4mm 구간에서 H356-30 과 H356-50을 비교해보면 약 2배의 하중차이를 볼 수 있다. 그림 4 와 6에서는 동일 혼입량에 따른 형상비를 변수로 한 경우 길이(l)가 긴 경우가 보다 더 큰 하중을 견딜 수 있고 더 많은 에너지를 흡수한다. 이것은 결국 섬유형상비가 클수록, 혼입량이 많을수록 강섬유의 효과가 크게 나타남을 보인다.

(2) 섬유의 형상에 관계없이 섬유의 혼입률이 증가할수록 또한 형상비가 커질수록 균열후 등가 인장강도는 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 효과에 영향을 미치는 인자는 강섬유의 형상비와 혼입량으로 판단된다.

참고 문헌

1. 社団法人 鋼材倶楽部 SFRC構造設計施工研究會 “鋼纖維補強コンソワリート 設計施工マニュアル”, 1995 pp209-225
2. B.I.G.Barr, E.B.D.Hasso “A study of toughness indices”,1985 PP123-129
3. Bernhard R Maidl “Steel Fiber Reinforced Concrete”,1995 pp128-147