

# 강섬유 보강 슛크리트의 휨인성 평가 방법 연구

## A Study on the flexural toughness evaluation method of steel fiber reinforced shotcrete

김 덕 영 · 김 재 동 (강원대학교 공과대학 자원공학과)

### 1. 서 론

SFRS는 기존의 슛크리트에 강섬유(steel fiber)를 혼입하여 타설하는 것을 말한다. 슛크리트는 일반 콘크리트와 마찬가지로 재료의 특성상 균열의 전파에 대한 저항이나 인장력 등이 약한 취성적 성질을 보이므로 지보재로서 충분한 성능을 발휘하기 위해서는 이러한 단점들을 보완할 수 있는 보강재로서 와이어메쉬나 강섬유 등의 사용이 불가피하다. 그러나 설치 공정에 따른 공기의 지연이나 사용상의 편이성, 강섬유 품질의 향상 등으로 인해 최근 들어서 와이어메쉬보다는 강섬유를 선호하는 추세에 있다.

본 연구는 이와 같이 최근 국내에서 터널의 지보에 널리 사용되기 시작하고 있는 강섬유보강 슛크리트(Steel Fiber Reinforced Shotcrete, 이하 SFRS로 칭함)의 품질 평가 기준인 휨인성 평가 방법(ASTM, ITA, JSCE, EFNARC 및 한국도로공사)에 대한 타당성을 검토하여 SFRS의 품질관리 규정에 대한 개선방안을 제안하는데 그 목적을 두었다.

### 2. 국내의 품질검사 규정

SFRS의 품질 검사는 강도 등과 같이 콘크리트에 적용되고 있는 일반적인 항목들에 더하여 휨인성시험을 규정하고 있다. 인성이란 균열의 생성 및 발달에 대한 재료의 내성을 의미하는 것으로 그 값이 클수록 균열에 대한 저항이 큰 것을 의미한다.

현재 세계적으로 적용되고 있는 SFRS의 휨인성에 대한 품질검사규정에는 미국의 ASTM C 1018에 의한 인성지수를 산정하고, ASTM C 1116에 의해 Performance level을 평가하는 방법과 인성지수와 잔류강도계수를 사용하여 SFRS의 등급을 평가하는 ITA 규정, 등가휨강도를 산정하여 휨인성을 평가하는 일본의 JSCE-SF4 규정 그리고 휨인성 시험편에서 일정 처짐 변위에서의 잔류강도를 산정하여 잔류 강도 등급을 평가하고 slab test를 통해서 SFRS의 에너지 흡수력을 평가하는 두 가지 방법을 사용하는 유럽통합규격인 EFNARC (EUROPEAN SPECIFICATION for SPRAYED CONCRETE)을 들 수 있다.

### 3. 시험 장치 및 방법

#### 3.1. 시험장치

시험기는 미국 SBEL(Structural Behavior Engineering Laboratories)사의 서보시스템(Servo Dynamic Test System, Model 547)으로 프레임의 최대 가압 용량은 100톤이다. 또한, 시험과 동시에 LVDT와 Load cell로부터 나오는 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 기록할 수 있는 아날로그/디지털 변환기(A/D Convertor)가 별도의 486기종 개인용 컴퓨터에 내장되어 있어서 Data를 기록할 수 있게 되어있다.







#### 3.2. 휨인성 시험편의 제작 및 양생

##### <시험 대상 강섬유>

본 연구에서는 가공방법과 형상에 따라 특징적인 6가지 강섬유를 연구 대상으로 하였다. 총 13회

의 SFRS 현장 타설에 의해, 해당 3개씩 총 39개의 시험편을 제작하였다.

Table 1. Specification of steel fiber used for test

Series	Shape	Size (mm)	Tensile strength (MPa)	Aspect ratio	Fiber volume concentration $V_f(\%)$	Fiber type	Brand Name
A1		0.4×0.8×35 (t×w×l)	over 700	54.7	0.51	II	Hot Fiber II
A2		0.4×0.8×30 (t×w×l)		46			
A3		0.4×0.8×35 (t×w×l)		54.7			
B1		0.4×0.8×35 (t×w×l)	over 700	54.7	0.51	II	Hot Fiber II
B2					0.51		
B3					0.57		
C1		0.7×35 (∅×l)	over 1,000	50	0.51	I	Hot Fiber I
D1		0.5×30 (∅×l)	over 1,100	60	0.51	I	Kony-me
D2					0.70		
E1		0.7×35 (∅×l)	over 1,200	50	0.51	I	Pos Fiber
E2					0.63		
F1		0.7×35 (∅×l)	over 1,200	50	0.51	I	Hook Fiber
F2					0.63		

<시험편 제작 및 양생>

강섬유 보강 슛크리트의 휨인성시험을 위한 시험편의 제작은 ASTM C 1018규정에 의거, 타설현장에서 슛크리트 머신을 이용하여 성형틀에 타설한 후 100×100×350mm의 빔 형태로 saw cutting하여 각 series에 따라 3개씩 제작하였다.

시험편은 타설 후 재령 28일 까지 23±1.7℃로 유지된 양생조에서 수중양생하였다.

3.3. 휨인성시험 방법

본 시험은 ASTM C 1018에 의거 3등분점 재하(third point loading)법에 의하여 실시하였으며, 변위 측정은 중앙점 순수 처짐 측정 방법으로 하였다. 시험조건은 다음과 같다.

- 3등분점 재하법 사용
- 변위속도는 0.1mm/min.
- 중앙점 순수처짐변위 측정
- 중앙점 순수 처짐 변위 2mm까지 시험

본 연구에서 가압조건과 중앙점 순수 처짐 변위 측정은 한국도로공사 규정에 의거하였으며 결과의 처리에서 휨인성지수(Flexural Toughness Indices)와 잔류강도계수(Residual Strength Factor)는 ASTM C 1018에 의하여 계산하였고, 잔류 강도 등급(Residual Strength class)은 EFNARC 규정에 의해 계산하였다. 등가휨강도(Equivalent flexural strength) 및 인성계수(Toughness quotient)는 한국도로공사의 강섬유보강스�크리트 품질 관리 규정에 의하여 산정하였다.

$$\text{인성계수계산식} : Re = \frac{f_e}{f_u} \times 100(\%) \quad (1)$$

Table 2. Summary of evaluation for flexural toughness

Specification Series of specimens	$f_u$ (MPa)	$f_e$ (MPa)	ASTM	EFNARC	ITA	$R_e$ (%)
A1	4.00	1.72	1	0	2	42
A2	3.31	2.78	4	1	4	84
A3	3.15	2.56	3	1	4	81
B1	4.60	2.54	3	1	3	55
B2	5.38	2.98	2	1	3	55
B3	5.78	2.07	2	0	2	35
C1	4.92	3.43	2	2	3	69
D1	4.68	3.18	2	2	3	68
D2	4.96	4.11	2	3	4	82
E1	4.27	1.68	0	1	1	39
E2	4.70	2.69	2	1	3	56
F1	5.07	3.48	2	2	3	68
F2	4.35	2.92	2	2	3	67

#### 4. 결 론

현장 타설에 의해 제작된 총 39개의 휨인성시험용 시험편을 대상으로 휨인성시험을 실시해서 등가휨강도( $f_e$ )와 인성계수( $R_e$ )를 산정한 후 ASTM, ITA, EFNARC의 휨인성 평가 규정과 비교·분석하였다. 연구결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 현행 한국도로공사에서 SFRS의 휨인성을 평가하는 기준으로 사용하는 인성계수( $R_e$ )값은 시험결과 획득되는 휨강도( $f_u$ )에 영향을 받으므로 SFRS의 휨인성을 완벽하게 반영하지 못하고, 휨강도( $f_u$ )가 SFRS의 휨인성에 대한 정량적인 값을 왜곡하므로 휨인성 평가 방법으로 타당하지 않다고 판단된다.
- 2) ASTM의 Performance level에 의한 SFRS의 휨인성 평가는 중앙점 순수 처짐 변위 0.7mm이상의 변위에서 발생하는 휨인성을 고려하지 않으므로 SFRS의 휨인성을 완벽하게 반영할 수 없으며, 인성지수 산정의 기준이 되는 first-crack선정시 해석자의 주관이 개입될 소지가 있다.
- 3) Morgan이 제안한 ITA의 SFRS 등급은 시험한 시험편에 대한 평가에서 비교 분석한 타 규정에 비해 높은 등급을 나타냈다.
- 4) EFNARC의 잔류 강도 등급에 의한 SFRS의 휨인성 평가방법은 대체적으로 등가휨강도( $f_e$ )와 동일한 경향을 보이나, 등급 산정에 중앙점 순수 처짐 변위 0.5mm이내에서 발생한 휨인성은 고려되지 않는다.
- 5) SFRS의 휨인성 평가시 인성계수( $R_e$ )를 산정할 때 계산식에서 휨강도( $f_u$ )를 설계휨강도( $f_{u, design}$ )로 적용하여 산정하는 방법을 적용하는 것이 가장 타당하다고 판단된다.

#### 5. 참 고 문 헌

- 1) ASTM C1018-94b Standard test method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)
- 2) JSCE-SF4 Method of tests for Flexural strength and Flexural toughness of steel fiber reinforced concrete
- 3) EFNARC EUROPEAN SPECIFICATION for SPRAYED CONCRETE
- 4) ACI 544 Committee, "State of Art Report on Fiber Reinforced Concrete." J. of ACI, Vol 70.