

고인성 섬유보강 시멘트 복합재료의 휨인성 밀도

Flexural toughness density of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites

김 동 주*

Kim, Dong Joo

ABSTRACT

This research initially suggest flexural toughness density as a key parameter describing energy absorption capacity of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites [HPFRCC] regardless of the size of specimen. Two types of high strength steel fibers, Hooked and Twisted fiber, were used in two types of flexural specimen ($100 \times 100 \times 350 \text{mm}^3$ and $150 \times 150 \times 500 \text{mm}^3$) to estimate and validate the flexural toughness density.

요 약

본 연구는 최근 많은 관심을 받고 있는 고인성 섬유 보강 시멘트 복합재료의 휨 하중 하에서 에너지 흡수 능력을 시험체의 크기와 관계없이 비교 평가할 수 있게 하는 휨인성 밀도를 처음으로 제시하였다. 두가지 종류의 강섬유 (Hooked and Twisted steel fiber)를 두가지 휨인장시험체 크기 ($100 \times 100 \times 350 \text{mm}^3$ and $150 \times 150 \times 500 \text{mm}^3$)를 사용하여, 고인성 섬유보강 시멘트 복합재료에 대한 휨 시험을 수행하였고, 새로 제안된 휨인성 밀도 값을 제시하였다.

1. 서 론

최근 고인성 섬유보강 시멘트 복합재료 (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites, HPFRCC)에 대한 많은 관심과 연구가 진행되고 있다. 하지만, 아직까지도 표준화된 인장 시험법이 없는 실정이고, 휨 시험방법에 대한 표준시험법(KSF 2566, ASTM C1018-97, ASTM C1609/C1609M-05)들 만이 있는 실정이다. 이 휨인장 시험방법 역시 두가지 크기의 시험체의 사용을 허용하고 있어, 많은 연구자들이 다른 기하학적인 형상의 휨인장 시험을 수행하여 다른 종류의 HPFRCC의 비교평가가 어려운 현실이다. 본 연구에서는 시험체의 기하학적인 형상으로부터 기인한 구조적인 영향을 모두 배제하여 다른 종류의 HPFRCC의 휨 하중하에서의 에너지 흡수능력을 정량적으로 비교평가 할 수 있는 휨인성 밀도를 새로운 재료인자로 제안하였다.

2. 휨인성 밀도 (Flexural Toughness Density)

휨하중을 받고 있는 시험체가 선탄성영역내에 있다고 가정하면, 하중이 P 일때 예상되는 변위는 $\delta = 23PL^3/1296EI$ 이다. 여기서 L은 시험체의 길이, E는 탄성계수, 그리고 I는 단면2차 모멘트이다. 하중-처짐 변위 선도에서 주어진 변위까지의 면적은 휨 인성 (Flexural Toughness)라고 정의되고, 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$\text{Flexural Toughness} = \frac{1}{2} \times P \times \delta = \frac{1}{2} \times \frac{23}{1296E} \left(\frac{fbh^2}{L} \right)^2 \times \frac{L^3}{bh^2/12} = \frac{f^2}{E} \times \frac{1}{2} \times \frac{23bhL}{1296} \quad [1]$$

식 [1]에서 휨인성(Flexural Toughness)은 재료물성치 f^2/E 와 시험체 형상과 하중재하 위치와 관련된 구조적 영향 ($1/2$) \cdot ($23bhL/1296$)의 함수인 것을 알 수 있다. 따라서, 위의 식 [1]에서 구조적인 영향을 제외하여 아래와 같이 휨인성 밀도 (Flexural Toughness Density, FTD)를 정의하였다.

* 정회원, 세종대학교, 토목환경공학과, 전임강사

$$FTD = \text{Flexural Toughness} / \left(\frac{23bhL}{2592} \right) = \frac{f^2}{E} \quad [2]$$

제안된 휨인성 밀도는 응력 단위이며, 재료물성치의 하나로써 사용될 수 있다. 만약 시험체의 형상과 하중재하 위치가 달라진다면, 분모의 수식을 변화하여 적용가능하다. 두가지 종류의 강섬유를 사용하여 아래와 같이 휨 인장 시험을 수행하였고, 그에 따라 휨인성 밀도를 계산하여 비교하였다.

3. 실험 방법 및 사용재료

2.1 사용재료

두가지 종류의 보강섬유(비틀림 그리고 훅크드 강섬유, 표2)가 부피비로 1%가 압축강도가 84MPa인 시멘트 몰탈(표1)에 사용되었다. 그리고, 시험체는 $100 \times 100 \times 350 \text{mm}^3$ 와 $150 \times 150 \times 500 \text{mm}^3$ 의 두가지로 준비되었다.

표1. 매크릭스 재료배합 중량비와 압축강도

시멘트 (Type III)	플라이애쉬	모래	실리카흙	감수제	점성제	물	압축강도 (MPa)
0.80	0.20	1.00	0.07	0.04	0.012	0.26	84

표2. 사용된 보강섬유 제원

보강섬유 종류	직경 (mm)	길이 (mm)	밀도 (g/cc)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
비틀림 강섬유	0.3*	30	7.9	2206**	200
훅크드 강섬유	0.38	30	7.9	2100	200

2.2 실험 방법

KSF 2566와 ASTM C1018-97에서 규정하는 절차와 방법에 따라서 휨인장 시험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

시험체의 크기가 휨거동에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해, 등가 휨 응력과 처짐선도를 그림 1에 나타내고 있다. 작은 크기의 시험체를 사용한 경우가 더욱 연성적인 거동을 보이고 있으며, 비틀림 강섬유를 사용한 경우가 훅크드 강섬유를 사용한 경우보다 높은 등가 휨 강도를 나타내었다.

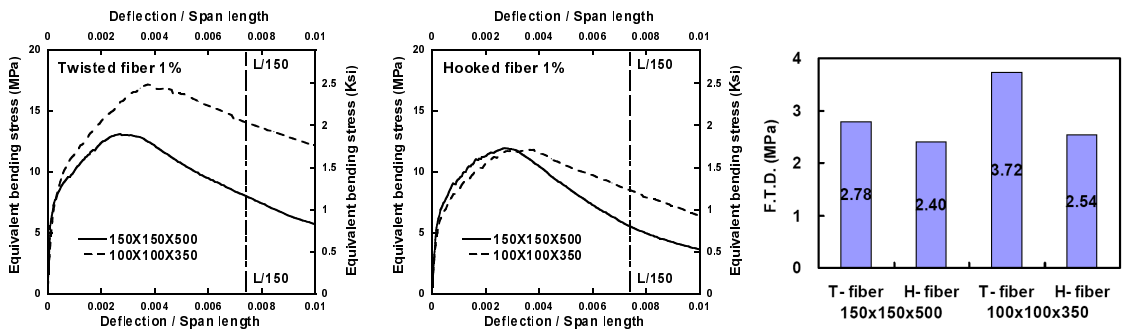


그림1. 휨인장 실험 결과

4. 결론

고인성 섬유보강 시멘트 복합재료의 시험체 크기가 휨거동에 미치는 영향을 평가하였고, 휨하중하에서 에너지 흡수능력을 정량적으로 평가할 수 있는 휨인성 밀도의 사용을 제안하였다. 비틀림 강섬유를 사용한 경우 훅크드 섬유를 사용한 경우보다 높은 등가 휨응력과 휨인성 밀도를 보이고 있고, 작은 크기의 시험체가 큰 에너지 흡수 능력을 가진 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 세종대학교 교내연구비 지원에 의한 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ASTM C 1609/C 1690M - 05, "Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber Reinforced Concrete (using beam with third - point loading)," American Society of Testing and Materials, Jan. 2006, pp. 1-8.
2. ASTM C 1018 - 97, "Standard Test Method for Flexural Toughness and First - Crack Strength of Fiber Reinforced Concrete (using beam with third - point loading)," American Society of Testing and Materials, Oct. 1998, pp. 544-551.
3. KSF 2566, "강섬유보강 콘크리트 휨인성 시험방법," 기술표준원, 2005년 12개정.