

하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 인장거동에 미치는 변형속도의 영향

Effect of Strain Rate on Tensile Behavior of Hybrid Fiber Reinforced Cement-based Composites

손민재* 김규용** 이보경*** 이상규*** 김경태* 남정수****
 Son, Min-Jae Kim, Gyu-Yong Lee, Bo-Kyeong Lee, Sang-Kyu Kim, Gyeong-Tae Nam, Jeong-Soo

Abstract

In this study, the tensile behavior of single and hybrid fiber reinforced cement composite according to strain rate was evaluated. Experimental results, in the strain rate 10⁻⁶/s, fiber reinforced cement composite showed improved of tensile strength and decrease of strain at peak stress as SSF volume content increased. In the strain rate 10¹/s, the single and hybrid reinforced cement composite's tensile properties are improved, because of the improved bond strength between the fiber and matrix. And hybrid fiber reinforced cement composite showed high energy absorption capacity, because the SSF prevented the cracking and fracture of the surrounding matrix when during the HSF pull-out.

키워드 : 변형속도, 하이브리드 섬유보강, 인장강도, 동적증가계수
 Keywords : strain rate, hybrid fiber reinforced, tensile strength, dynamic increase factor

1. 서론

섬유의 길이가 긴 매크로 섬유와 길이가 짧은 마이크로 섬유를 적절한 비율로 혼합하여 보강하는 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체는 주 균열(Macro crack)과 미세 균열(Micro crack)에 대하여 효율적으로 저항할 수 있어, 높은 인장강도 및 에너지 흡수 능력을 나타내기 때문에 방호·방폭을 위한 재료로 주목받고 있다. 그러나 이러한 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 우수한 성능은 정적하중을 기반으로 한 것이기 때문에, 높은 변형속도에 대한 인장거동의 분석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 후크형 강섬유(Hooked steel fiber, HSF)와 스무스 강섬유(Smooth steel fiber, SSF)를 단일 보강한 시멘트복합체와 두 섬유를 하이브리드 보강한 시멘트복합체의 인장특성에 미치는 변형속도의 영향을 분석하였다.

2. 실험계획 및 방법

표 1은 본 연구의 실험계획을 나타낸 것으로 f_{ck} 는 50MPa로 설정하였으며, 시험체는 길이 30mm, 직경 0.5mm, 인장강도 1,140MPa의 후크형 강섬유와 길이 12mm, 직경 0.2mm, 인장강도 2,700MPa의 스무스 강섬유를 혼합하여 제작하였으며, 변형 측정범위 외에서 시험체가 파괴되는 것을 방지하기 위하여 양 끝에 각각 2개의 와이어 매쉬를 보강하였다. 변형속도는 10⁻⁶/s와 10¹/s로 설정하였으며, 평가항목은 인장응력-변형 곡선, 인장강도, 동적증가계수로 설정하였다.

표 1. 실험 계획

f_{ck} (MPa)	Specimen ¹⁾	V_f (vol.%)	Strain rate (/s)	Properties
60	HSF2.0	2.0	10 ⁻⁶	Stress-strain curve Tensile strength Dynamic Increase Factor (DIF)
	HSF1.0+SSF1.0	1.0+1.0		
	SSF2.0	2.0	10 ¹	

1) HSF2.0 : Hooked steel fiber reinforced cement composite
 HSF1.0+SSF1.0 : Hooked+Smooth steel fiber reinforced cement composite
 SSF2.0 : Smooth steel fiber reinforced cement composite

* 충남대학교 건축공학과 석사과정
 ** 충남대학교 건축공학과 교수·공학박사, 교신저자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)
 *** 충남대학교 건축공학과 박사과정
 **** 충남대학교 건축공학과 조교수·공학박사

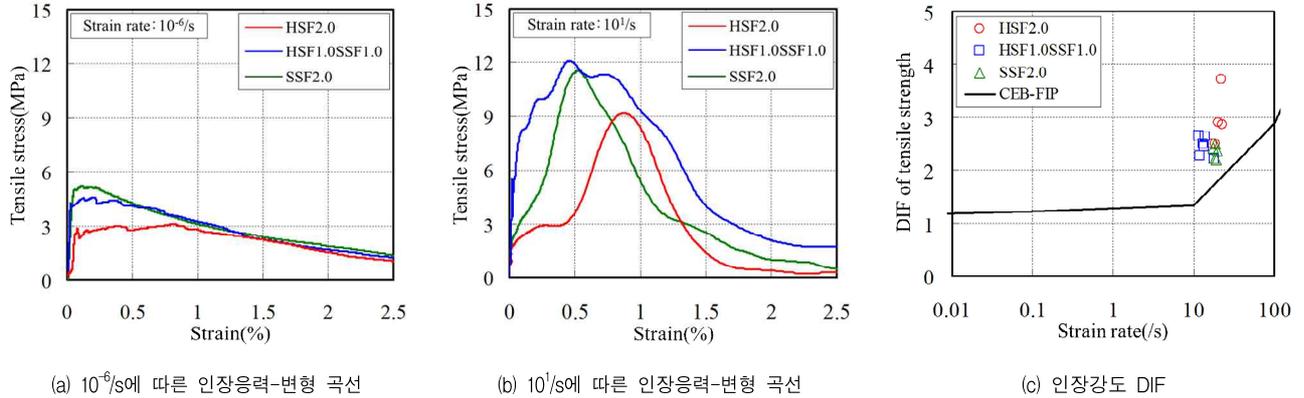


그림 2. 변형속도에 따른 단일 및 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 인장거동

3. 실험결과 및 고찰

그림 2(a)에 변형속도 $10^{-6}/s$ 에 따른 인장응력-변형 곡선을 나타내었다. HSF2.0은 낮은 인장강도를 나타내었지만, 높은 피크응력 점의 변형을 나타내었으며, SSF의 혼입률이 증가할수록 피크응력 점의 변형이 감소하는 반면, 인장강도가 향상되는 것을 확인하였다. 이는 SSF의 혼입률이 증가할수록 균열단면에 작용하는 혼입섬유의 개체수가 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 그림 2(b)에 변형속도 $10^1/s$ 에 따른 인장응력-변형 곡선을 나타내었다. 변형속도가 증가함에 따라 섬유와 매트릭스 사이의 부착력이 향상되어 인장강도, 피크응력 점의 변형, 에너지 흡수 능력이 모두 향상된 것을 확인하였다. HSF2.0은 높은 인장강도 향상률을 보였으나, 피크응력 점의 변형은 향상률이 높지 않았다. HSF1.0SSF1.0의 경우 변형속도 $10^{-6}/s$ 와 달리, 변형속도가 증가함에 따라 SSF2.0보다 높은 인장강도와 에너지 흡수 능력을 나타내었다. 이는 HSF가 인발될 때 주변 매트릭스들에 미세한 균열과 파괴가 발생하는데, 주변에 있던 SSF로 인해 균열 및 파괴가 발생하지 않아 높은 인장강도와 에너지 흡수 능력을 나타낸 것으로 사료된다. 그림 2(c)에 단일 및 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 인장강도 DIF를 나타내었다. 인장강도 DIF는 변형속도 $10^1/s$ 에 대해 측정된 인장강도를 변형속도 $10^{-6}/s$ 에서 측정된 인장강도로 나누어 산출하였으며, 다음에 제시된 식 (1)에 나타낸 CEB model code 기준과 비교하였다.

- 동적인장강도증가율

$$\begin{aligned}
 DIF_d &= f_t/f_{ts} = \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_s}\right)^{1.016\delta} \quad \text{for } \epsilon \leq 10s^{-1} \\
 &= \beta \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_s}\right)^{1/3} \quad \text{for } \epsilon \geq 10s^{-1}
 \end{aligned} \quad (1)$$

인장강도 DIF를 비교한 결과, HSF2.0이 가장 높은 변형속도 민감도를 나타내었으며, SSF의 혼입률이 증가할수록 DIF가 감소하는 것을 확인하였다. 이를 통해, 섬유의 단부가 변형된 경우 변형속도가 증가함에 따라 섬유가 인발과정을 겪으면서 매트릭스와 상당한 마찰을 발생시키기 때문에 높은 DIF를 나타낸 것으로 사료된다.

4. 결 론

HSF와 SSF가 하이브리드 보강된 시멘트복합체는 높은 변형속도에서 단일 섬유보강 시멘트복합체보다 높은 인장강도와 에너지 흡수능력을 나타내었으며, 이는 HSF섬유가 인발되는 과정에서 발생하는 주변 매트릭스의 균열 및 파괴를 SSF가 저지하기 때문인 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A5A1037548)

참 고 문 헌

1. Ahmed, S, Maalej, M. Tensile strain hardening behaviour of hybrid steel-polyethylene fibre reinforced cementitious composites, Construction and Building Materials, pp.96~106, 2009