

고변형속도 조건에서 섬유 혼합비가 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 인장특성에 미치는 영향

Fiber blending Ratio Effect on Tensile Properties of Hybrid Fiber Reinforced Cement-based Composites under High Strain Rate

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 properties of mono and hybrid fiber reinforced cement-based composite according to fiber blending ratio under the high strain rate was evaluated. Experimental results, the HSF1.5PVA0.5 shown the highest tensile strength because the PVA fiber suppressed the micro cracks in the matrix around the hooked steel fiber and improved the pull-out resistance of hooked steel fiber. Thus, DIF of strain capacity and fracture toughness of HSF1.5PVA were greatly improved. Also, the fracture toughness was greatly improved because the tensile stress was slowly decreased after the peak stress by improvement of the pull-out resistance of hooked steel fiber at strain rate 101/s.

키워드 : 변형속도, 동적증가계수, 섬유 혼합 비율, 후크형 강섬유, 폴리비닐알코올 섬유
 Keywords : strain rate, dynamic increase factor, fiber blending ratio, hooked steel fiber, polyvinyl alcohol fiber

1. 서론

길이, 직경 및 형상이 다른 두 종류 이상의 섬유를 혼합한 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체는 높은 인장강도 및 에너지 흡수 능력을 나타낼 수 있다고 보고되고 있다. 그러나 이러한 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 성능은 정적하중을 기반으로 한 것이기 때문에, 높은 변형속도에 대한 인장거동의 분석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 고변형속도(Strain rate $\geq 10^1$ /s) 하에서 후크형 강섬유(Hooked steel fiber, HSF)와 PVA 섬유(Polyvinyl alcohol fiber, PVA)를 하이브리드 보강한 시멘트복합체의 섬유 혼합비율에 따른 인장특성을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

표 1은 본 연구의 실험계획을 나타낸 것으로 시험체는 길이 30mm, 직경 0.5mm, 인장강도 1,140MPa의 후크형 강섬유와 길이 12mm, 직경 0.0426mm, 인장강도 1,300MPa의 PVA 섬유를 혼합하여 제작하였으며, 변형속도는 10^{-6} /s와 10^1 /s로 설정하였다. 평가항목은 인장응력-변형 곡선, 최대 응력 점인 인장강도, 최대 응력 점에서의 변형인 변형능력, 시험체가 파괴될 때까지의 인장응력-변형 곡선 하의 면적인 파괴인성, 동적특성값을 정적 특성값으로 나눈 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 - Strain capacity - Fracture toughness - Dynamic Increase Factor (DIF)
	HSF1.5PVA0.5	1.5+0.5		
	HSF1.0PVA1.0	1.0+1.0	10^1	
	HSF0.5PVA1.5	0.5+1.5		

1) HSF : Hooked steel fiber mono reinforced cement-based composite
 HSF+PVA : Hooked steel fiber+Polyvinyl alcohol fiber hybrid reinforced cement-based composite

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)와 (b)에 변형속도에 따른 인장응력-변형 곡선을 나타내었다. 변형속도 10^{-6} /s에서 HSF2.0은 변형경화거동 이후, 섬유가 인발되

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

면서 응력이 감소하였다. PVA를 0.5% 치환한 경우, 변형능력은 감소하였으나 응력이 증가하는 경향이 확인되었다. 이후 PVA가 1.0%이상으로 치환될 경우 응력이 감소하고, 변형능력이 증가하는 경향이 확인되었다. 변형속도 $10^1/s$ 에서는 변형속도가 증가함에 따라 섬유와 매트릭스의 부착력이 향상되어 인장강도 및 파괴인성이 크게 향상되었으나, PVA의 혼입률이 증가할수록 변형능력이 감소하는 경향이 확인되었다.

그림 1(c), (d)와 (e)에 섬유 혼합비율에 따른 인장특성에 미치는 변형속도의 영향을 나타내었다. 인장강도의 경우 HSF1.5PVA 0.5에서 가장 높은 인장강도가 나타났으며, 이는 PVA가 HSF의 인발저항성을 향상시켰기 때문인 것을 사료된다. 변형능력의 경우, 변형속도에 따라 상반되는 결과가 확인되었으며, 이는 PVA의 파괴메커니즘이 변형속도에 의해 달라지기 때문인 것으로 판단된다. 파괴인성의 경우, HSF를 단일 보강한 경우보다 HSF와 PVA를 하이브리드 보강한 경우가 더 높은 파괴인성을 나타내는 것으로 확인되었으며, 이는 PVA가 HSF의 인발저항성을 향상시켰기 때문인 것으로 판단된다.

그림 1(f)에 DIF를 나타내었으며, 인장강도 DIF는 HSF2.0이 가장 높았으나 변형능력 및 파괴인성은 HSF1.5PVA0.5가 가장 높은 것을 확인하였다.

4. 결 론

후크형 강섬유 1.5vol%와 PVA 섬유 0.5vol.%를 하이브리드 보강할 경우, HSF를 단일 보강한 경우보다 더 높은 인장강도 및 파괴인성을 나타내었다. 이는 PVA가 HSF의 주변 매트릭스에서 발생하는 마이크로 균열을 억제함으로써 HSF의 인발저항성을 향상시켰기 때문인 것으로 사료되며, 이로 인해 더 높은 변형능력 및 파괴인성 DIF를 나타낸 것으로 판단된다.

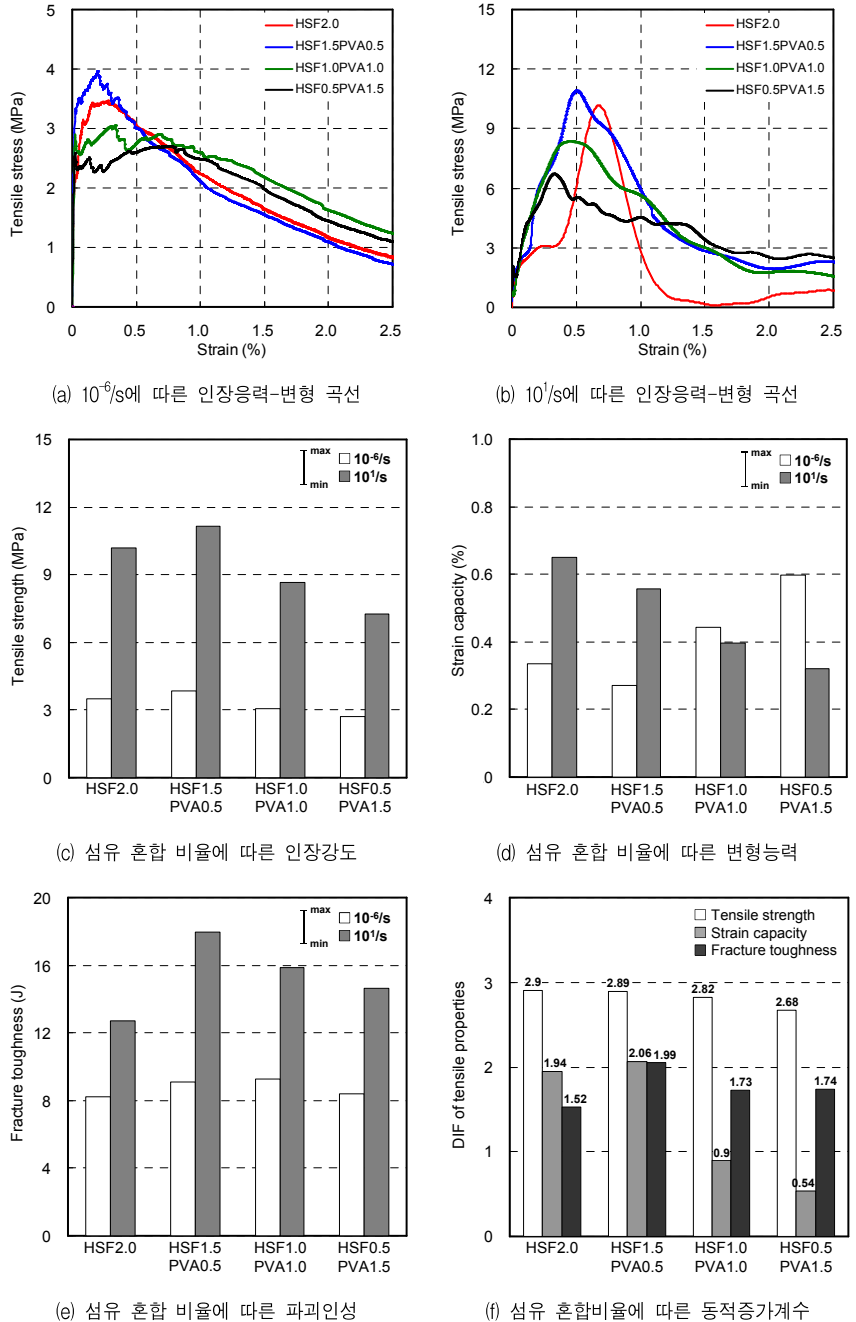


그림 1. 변형속도에 따른 단일 및 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체의 인장특성

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

Acknowledgement

참 고 문 헌

1. Tran, T. K, Kim, D. J, Synergistic response of blending fibers in ultra-high-performance concrete under high rate tensile loads, Cement and Concrete Composites, pp.132~145, 2017