

강섬유를 하이브리드 보강한 섬유보강 시멘트복합체의 인장특성에 미치는 변형속도의 영향

Strain Rate Effect on the Tensile Properties of Steel Fiber Hybrid Reinforced Cement Composites

김인호*

Kim, In-Ho

김규용**

Kim, Gyu-Yong

이상규***

Lee, Sang-Kyu

손민재***

Son, Min-Jae

김경태*

Kim, Gyeong-Tae

남정수****

Nam, Jeong-Soo

Abstract

In this study, the tensile properties 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 $10^1/s$, 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.

키 워 드 : 변형속도, 하이브리드 섬유보강, 인장강도, 균열 패턴

Keywords : strain rate, hybrid fiber reinforced, tensile strength, cracking pattern

1. 서 론

섬유의 길이가 긴 매크로 섬유와 길이가 짧은 마이크로 섬유를 적절한 비율로 혼합하여 보강하는 하이브리드 섬유보강 시멘트복합체는 매크로 균열과 마이크로 균열에 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 60MPa로 설정하였으며, 시험체는 길이 30mm, 직경 0.5mm, 인장강도 1,140MPa의 후크형 강섬유와 길이 12mm, 직경 0.2mm, 인장강도 2,700MPa의 스무스 강섬유를 혼합하여 제작하였다. 변형속도는 $10^{-6}/s$ 와 $10^1/s$ 로 설정하였으며, 평가항목은 인장응력-변형 곡선, 인장강도, 피크 응력에서의 변형, 에너지 흡수 능력, 균열 패턴으로 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 at peak stress - Energy absorption capacity - Cracking pattern
	HSF1.5+SSF0.5	1.5+0.5		
	HSF1.0+SSF1.0	1.0+1.0	10^1	
	HSF0.5+SSF1.5	0.5+1.5		

1) HSF : Hooked steel fiber mono reinforced cement composite

HSF+SSF : Hooked+Smooth steel fiber hybrid reinforced cement composite

* 충남대학교 건축공학과 석사과정

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

*** 충남대학교 건축공학과 박사과정

**** 충남대학교 건축공학과 조교수·공학박사

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)에 변형속도 10^{-6} /s에 따른 인장응력-변형 곡선 및 균열 패턴을 나타내었다. HSF2.0은 낮은 인장강도를 나타내었지만, 높은 피크응력 점의 변형 값을 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. 한편, SSF의 혼입률이 증가할수록 균열의 수가 증가하는 경향이 확인되어, 피크 응력 점의 변형이 감소하는 경향과 상반되는 결과로 나타났다. 이는 SSF의 혼입률을 증가로 마이크로 균열이 증가하지만, HSF의 혼입률 감소로 균열 폭이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

그림 1(b)에 변형속도 10^1 /s에 따른 인장응력-변형 곡선 및 균열 패턴을 나타내었다. 변형속도가 증가함에 따라 섬유와 매트릭스 사이의 부착력이 향상되어 인장강도, 균열 패턴, 피크응력 점의 변형, 에너지 흡수 능력이 모두 향상된 것을 확인하였다. HSF2.0은 높은 인장강도 향상률을 보였으나, 피크응력 점의 변형은 향상률이 높지 않았다. 한편 SSF의 혼입률이 증가할수록 HSF2.0에 비해 피크 응력 점의 변형 값은 감소하지만, 인장강도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 에너지 흡수 능력이 크게 향상된 것을 확인하였다.

섬유보강 시멘트복합체는 변형속도 10^{-6} /s와 달리, 변형속도가 증가함에 따라 HSF가 인발될 때 주변 매트릭스들에 미세한 균열과 파괴가 발생하는데, HSF와 SSF를 하이브리드 보강한 경우, 주변에 보강되어 있는 SSF로 인해 균열 및 파괴가 발생하지 않아 높은 인장강도와 에너지 흡수 능력을 나타낸 것으로 사료된다. 특히 HSF1.0SSF1.0의 에너지 흡수 능력이 가장 크게 향상되었는데, 이는 SSF가 매트릭스의 미세한 균열과 파괴를 억제할 만큼 충분히 보강되었으며, 변형 연화구간에서 HSF가 시멘트복합체의 응력 저하를 감소시켰기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

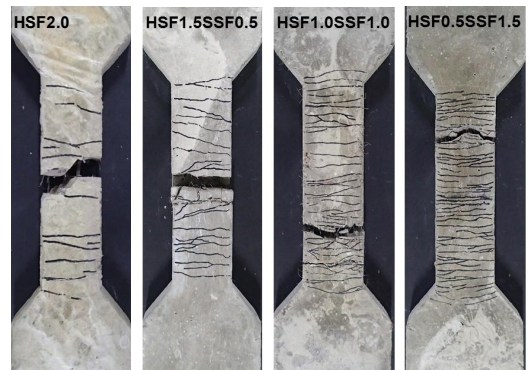
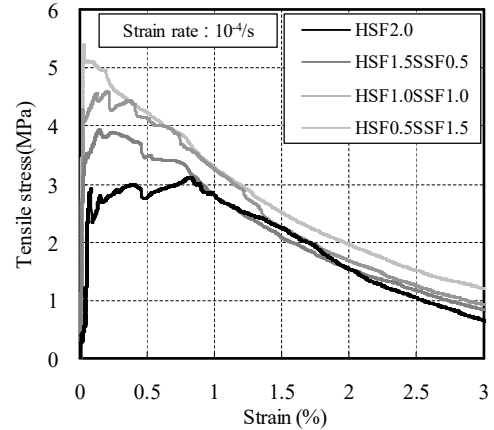
HSF와 SSF가 하이브리드 보강된 시멘트복합체는 높은 변형속도에서 단일 섬유보강 시멘트복합체보다 높은 인장강도와 에너지 흡수능력을 나타내었으며, 이는 HSF섬유가 인발되는 과정에서 발생하는 주변 매트릭스의 균열 및 파괴를 SSF가 저지하기 때문인 것으로 사료된다.

Acknowledgement

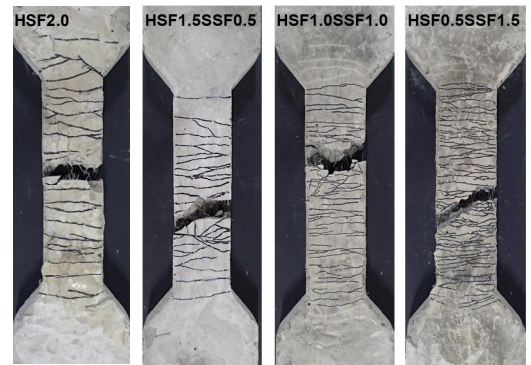
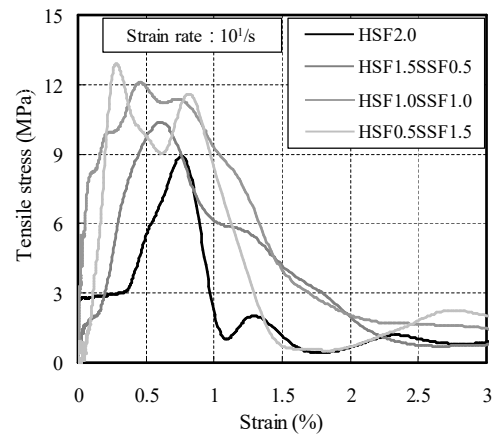
이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A1B03034776)

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



(a) 변형속도 10^{-6} /s



(b) 변형속도 10^1 /s

그림 1. 변형속도에 따른 섬유보강 시멘트 복합체의 응력-변형 곡선 및 균열 패턴