

열응력을 받은 하이브리드 섬유보강 시멘트 복합체의 내충격성능 평가

Evaluation of Impact Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cementitious Composites Subjected to Thermal Stress

한승현¹ · 김규용^{2*} · 이예찬³ · 유하민³ · 박준영¹ · 남정수⁴

Han, Seung-Hyeon¹ · Kim, Gyu-Yong^{2*} · Lee, Yae-Chan³ · Eu, Ha-Min³ · Park, Jun-Young¹ · Nam, Jung-Soo⁴

Abstract : In this study, the effect of hybrid fiber reinforcement on the residual strength and impact resistance of high-strength cementitious composites exposed to high temperatures was investigated. A cementitious composites was manufactured in which 0.15 vol% of polypropylene fiber (PP) and 1.0 vol% of smooth steel fiber (SSF) were double-mixed, and a residual strength test was conducted while thermal stress was applied by heating test, and then a high-velocity impact test was performed. In the case of general cementitious composites, the rear surface is damaged due to explosion and low tensile strength during high temperature or impact, while hybrid fiber reinforced cementitious composites can repeatedly absorb and distribute stress until multiple fibers are damaged to suppress the propagation of impact and resistance to explosion. Therefore, this study analyzed the residual strength of cementitious composites exposed to high temperatures depending on whether hybrid fibers were mixed or not, and collected research data on fracture behavior through high-speed impact tests to evaluate impact resistance and mechanical properties.

키워드 : 섬유보강, 열응력, 내충격성, 잔존 강도, 고속 충격시험

Keywords : fiber-reinforced, thermal stress, impact resistance, residual strength, high-velocity impact test

1. 서론

최근 구조물의 대형화, 고층화 기술이 발전하면서 고강도 콘크리트는 수요의 증가와 함께 중요한 건설재료로 사용되고 있다. 이러한 고강도 콘크리트는 조밀한 매트릭스로 인해 우수한 내구성을 가지는 특성이 있으나 고온에 노출되면 내부 팽창에 취약하여 폭발 가능성이 높은 것으로 조사된다. 또한, 구조물에서의 화재 발생은 위험 물질의 폭발을 유도해 콘크리트에 고열과 충격하중의 복합작용을 발생시킬 수 있다. 따라서, 본 연구는 이를 보완하기 위해 고강도 시멘트 복합체에 폴리프로필렌 섬유(Polypropylen fiber; PP)와 스무스 강섬유(Smooth steel fiber; SSF)를 보강한 후 잔존 강도 및 내충격성능을 평가하였다.

2. 실험 방법

표 1에 실험 계획 및 고성능 섬유보강 시멘트 복합체의 역학적 특성을 나타냈다. 고열과 충격 에너지에 대한 복합하중의 저항성을 높이기 위해 PP와 SSF를 동시 혼입하여 시험체를 제작하였고, 가열 후 잔존 강도 및 내충격성능을 평가하였다. 본 내충격 시험에서는 고온에 노출된 시험체에 210m/s의 목표속도로 비상체를 충돌하여 고속 비상체 충격시험을 진행하였다.

표 1. 실험 계획

시험체 명	고성능 섬유보강 시멘트 복합체				고속 비상체 충격시험	시험체 평가항목	
	보강섬유 및 혼입률	두께 (mm)	가열온도 (°C)	역학적 특성(MPa)			
				압축강도			인장강도
HF-30	PP 0.15vol.% + SSF 1.0vol.%	T40 T60 T80	30	97.7	8.12	<ul style="list-style-type: none"> - 시험체 크기 : 200mm×200mm×T - 비상체 형태 : Ø25mm 반구형 - 비상체 중량 : 66.8g - 비상체 충격 속도 : 약 210m/s - 비상체 충격 에너지 : 약 1.47kJ 	
HF-100			100	94.4	8.41		
HF-200			200	98.2	8.65		
HF-300			300	113.4	7.36		
HF-500			500	93.5	7.28		
HF-700			700	59.7	6.54		

1) 충남대학교, 석사과정

2) 충남대학교, 교수, 교신전자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)

3) 충남대학교, 박사과정

4) 충남대학교, 교수

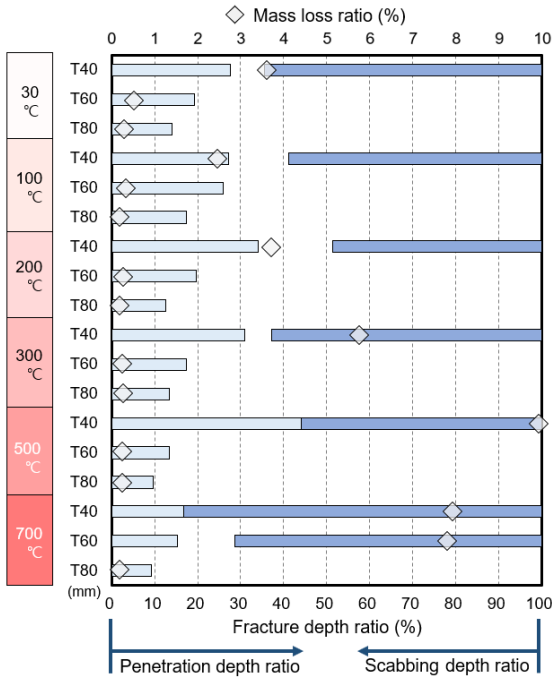


그림 1. 시험체 파괴 깊이 비율 및 중량손실 비율

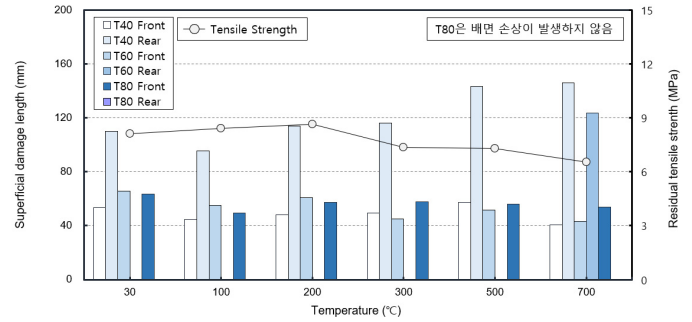


그림 2. 표면 손상 길이 및 잔류 인장강도

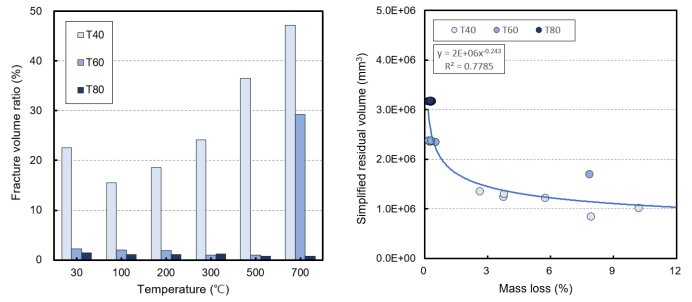


그림 3. 파괴 부피율

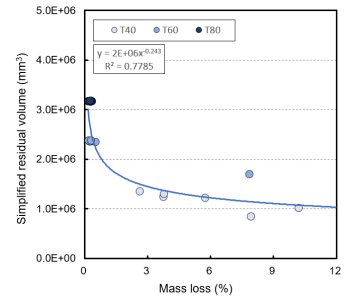


그림 4. 부피-질량손실 관계

3. 결론

본 실험에서 PP와 SSF의 이중 혼입 시 모든 시험체에서 700°C 가열 구간까지 폭렬이 발생하지 않는 것으로 관찰되었으며, 그림 1은 고속 비상체 충돌 시험 후의 비상체 관입 및 파괴 깊이 비율을 나타냈고 이에 따른 질량 손실 비율을 표현하였다. T40 시험체는 가열 200°C까지 잔류 인장강도의 증가에 따라 배면 파괴 깊이가 억제되는 경향을 보였으며, T80 시험체의 경우 가열 온도 30~700°C의 전 구간에서 비상체의 충격하중 작용 후에도 배면 박리가 발생하지 않았다. 이는 약 1.47 kJ의 충돌 에너지에서 T80 미만의 범위에 배면 박리한계두께가 존재할 것으로 사료 된다.

그림 2는 비상체 충돌 후 시험체 전면과 후면의 손상 길이를 나타냈다. T40 시험체의 경우는 가열 구간 100°C부터 온도 상승에 비례하여 배면 손상 길이가 증가했으며 이는 열응력이 시험체에 작용하여 내충격성능 감소에 영향을 준 것으로 판단된다.

그림 3은 시험체의 전·후면 파괴 면적의 모습을 원뿔의 형상으로 단순하여 표현한 후 부피를 도출하여 두께별 파괴 부피율을 계산하였다. 700°C 가열 시 T40, T60 시험체는 총 부피의 25% 이상 파괴되는 모습을 보였으며, 시험체 두께의 증가가 파괴 부피 비율을 감소시키는 것으로 나타났다. 이를 활용해 그림 4에서 잔존 부피와 질량 손실률의 상관성을 분석한 결과, 높은 연관관계를 보였다.

본 연구의 시험체는 고온 노출 후 내충격성능이 감소되는 경향을 보이나, 실험 결과상 시험체에 비상체 충돌 시 잔존 압축강도가 전면의 관입 억제에 크게 영향을 미치지 않았다. 반면 모든 가열 구간에서 배면 파괴가 발생한 T40 시험체의 파괴 거동을 관찰했을 때, 잔류 인장강도 증가의 영향이 배면 파괴를 억제하는 것으로 나타났다. 또한 기존에 300°C에서 폭렬이 발생한 무보강 시험체 대비 PP 혼입 시 700°C 가열 구간까지 폭렬이 억제되었으며, PP와 SSF의 동시 혼입이 잔존 강도를 증가시켜 T80 시험체에서 배면 파괴가 발생하지 않아 내충격성을 높여주는 것으로 평가된다.

감사의 글

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다(No. 2019R1A2C2085867).

참고문헌

1. 남정수, 김홍섭, 이인철, 미야우치 히로유키, 김규용. 고속 비상체 충돌 및 접촉폭발에 의한 섬유보강 콘크리트의 내충격 성능 평가. 콘크리트학회 논문집. 2013. 제25권 1호. pp. 107-114.