Steel단섬유보강 시멘트복합체의 내충격성능

Impact Resistant Performance of Steel Short Fiber-reinforced Cement Based Composites

남 정 수* 김 홍 섭** 최 경 철** 이 상 규*** 손 민 재*** 김 규 용****
Nam, Jeong-Soo Kim, Hong-Seop Choe, Gyeong-Cheol Lee, Sang-Kyu Son, Min-Jae Kim, Gyu-Yong

Abstract

The aim of this study is to investigate the impact resistant performance of steel short fiber-reinforced cement based composites (SFRCCs) containing 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0% volume fraction of steel short fibers subjected to high velocity impact of steel projectile (the diameter of 19.05mm and the mass of 28.13g). The gunpowder impact facility was used for impact tests, and the impact velocity was from about 350 to 700m/s. The specimens were damaged in various failure modes, which are penetration, scabbing, and perforation. Comparing with Plain specimen, SFRCCs have superior capacity on the scabbing limit, and slightly bulged in the back side under the impact velocity of 700m/s. In addition, the impact resistant performance of SFRCCs improved with increase of steel short fiber volume ratio. The fibers play an important role in controlling the local damage of SFRCCs.

키 워 드 : steel단섬유, 시멘트복합체, 고속비상체, 내충격성능
Keywords : steel short fiber, cement based composites, high-velocity projectile, impact resistant performance

1. 서 론

콘크리트구조물에 폭발 등의 극한하중이 작용하면 파괴된 콘크리트 덩어리나 금속파편 등이 수100~수1000m/s의 고속으로 비산하여 인명이나 구조물에 대한 2차 피해를 일으킬 수 있다. 따라서 이에 대한 대책마련으로 최근, steel 단섬유를 혼입한 섬유보강 시멘트복합체를 이용하여 동적하중에 대한 응력-변형관계 등의 역학특성, 저속충돌실험에 대한 연구사례들이 보고되고 있다[1]. steel섬유는 부착, 인장강도 및 탄성계수가 우수하기 때문에 인장 또는 휨응력에 의해 발생하는 시멘트매트릭스 내부의 균열분산 및 제어능력을 기대할 수 있다. 그러나 비상체의 충돌속도 100m/s 이상에서의 steel 단섬유보강 시멘트복합체 (steel short fiber-reinforced cement based composites, 이하 SFRCCs)에 관한 연구는 아직 미비한 실정으로, 고속비상체의 충돌에 대한 SFRCCs의 파괴특성에 대한 파악이 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 steel 단섬유를 1.0, 1.5, 2.0 및 3.0%의 체적혼입율로 보강한 SFRCCs에 대한 고속충돌실험을 실시하고 그 파괴특성을 섬유를 보강하지 않은 Plain시험체와 비교 · 검토하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험계획

본 연구에서 검토한 SFRCCs시험체는 1종 포틀랜드시멘트와 플라이애시를 결합재로 하여, 7호 규사를 잔골재로 각각의 steel 단섬유 혼입율에 따라 제작하였다. steel 단섬유는 smooth 타입으로 길이 12mm, 직경 0.16mm, 인장강도 2700MPa의 것을 사용하였다. SFRCCs의 배합조건은 섬유혼입율을 제외하고 W/B 0.4, FA 치환율 20wt.%, S/B 40wt.%로 동일하게 하였으며, 테이블 플로우 180±20mm를 만족하는 조건에서 시험체를 제작하였다. 역학특성 및 내충격성능 평가는 시험체를 온도 20±3℃의 환경에서 28일간 기건양생을 실시한 후, 진행하였다.

2.2 실험방법

압축강도, 탄성계수, 인장강도와 같은 역학특성 평가는 KS기준에 준하여 실시하였으며, 고속충돌실험은 시험체 치수 가로×세로 300mm, 두께 100mm를 대상으로 직경 19.05mm, 질량 28.13g의 강비상체를 활용하여 충돌속도 약 350~700m/s로 시험체에 충돌시키는 것으로 실시하였다. 본 연구에서 사용한 고속충돌실험장치의 개요는 그림 1에 나타내었으며, 충돌실험이 종료된 후, 시험체의 손상정도는 표면파괴, 배

* 충남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
** 충남대학교 건축공학과 BK21플러스 박사후연구원, 공학박사
*** 충남대학교 건축공학과 대학원생
**** 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)

면파괴, 관통의 3수준으로 구분하여 평가하고, 시험체의 파괴깊이와 직경 등을 정량적으로 측정하였다.

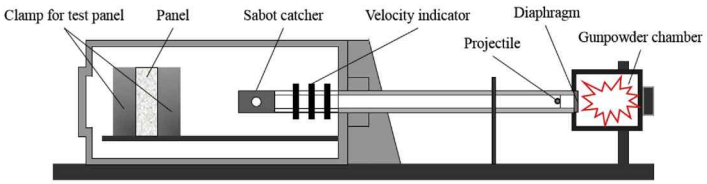


그림 1. 고속충돌실험장치의 개요

표 1. 역학특성 평가결과

시험체 종류	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	인장강도 (MPa)
Plain	55.19	19.72	3.14
S1.0	42.44	12.32	6.53
S1.5	42.37	11.74	7.06
S2.0	43.76	11.30	7.28
S3.0	45.22	11.42	8.94

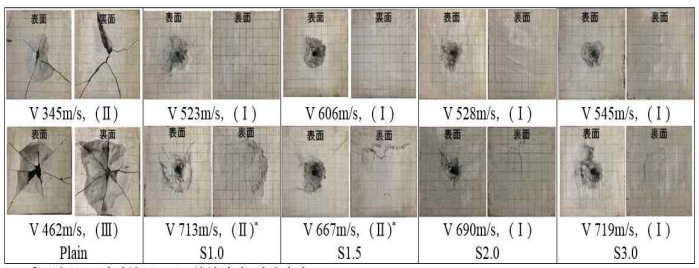
3. 실험결과 및 고찰

3.1 역학특성

표 1에 역학특성 평가결과를 나타내었다. SFRCCs시험체의 압축강도, 탄성계수는 steel 단섬유를 혼입하지 않은 Plain에 비해 낮게 평가되었으나, 인장강도는 steel 단섬유의 혼입율이 증가할수록 향상되었다. 최저 섬유혼입율인 1.0%의 S1.0시험체에서도 Plain시험체에 비해 2배 이상의 인장강도가 측정되었다.

3.2 내충격성능

그림 2, 표 2 및 그림 3에 고속충돌실험에 의한 SFRCCs시험체의 파괴성상 측정결과를 나타내었다. SFRCCs시험체는 섬유혼입율에 관계없이 충돌속도 약 600m/s의 범위까지 배면에 미세균열만 관찰되는 정도로 매우 우수한 내충격성능을 발휘하였다. 또한, 충돌실험 전후의 질량변화율의 경우, Plain시험체의 경우, 관통파괴와 함께 약 25%의 질량손실이 나타났으나 SFRCCs시험체의 경우, S1.0 1.48%, S1.5, S2.0, S3.0시험체는 1% 이하의 질량손실로 배면박리뿐만 아니라 충돌후의 시험체의 파편 비산이 크게 억제되는 것으로 나타났다.



V : 충돌속도, (파괴등급), * : 부분적인 배면박리

그림 2. 고속비상체의 충돌속도에 따른 시험체의 파괴성상 일례

표 2. 최대충돌속도에서의 손상측정 결과

시험체 종류	충돌속도 (m/s)	손상정도 (mm)				질량변화율 (%)
		표면		배면		
		직경	깊이	직경	깊이	
Plain	462	196	26.0	256	74.0	24.89
S1.0	713	150	49.7	213*	0.0	1.48
S1.5	678	107	49.0	204*	0.0	0.90
S2.0	690	105	48.5	0.0	0.0	0.75
S3.0	719	104	43.5	0.0	0.0	0.74

* 시험체 배면의 부분적 박리와 부풀음이 관찰된 개소의 직경을 합산

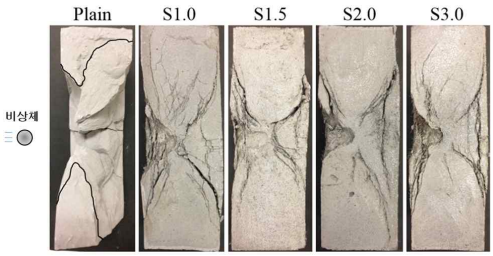


그림 3. 최대충돌속도에서의 단면파괴성상

4. 결 론

섬유혼입율에 따른 SFRCCs의 내충격성능을 검토한 결과, 섬유혼입율이 증가할수록 내충격성능이 향상되었으며, 최저 섬유혼입율인 1.0%의 범위에서도 균열의 분산과 억제능력을 확인할 수 있었다. 또한, 섬유혼입율 2.0% 이상에서의 SFRCCs는 최대충돌속도의 범위에서 시험체 배면에 미세균열은 발생하였으나, 배면박리와 같은 국부손상은 억제되었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF - 2015R1A2A2A 01007705).

참 고 문 헌

1. Yoo et al., Response of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete beams with continuous steel reinforcement subjected to low-velocity impact loading, Composite Structures, Vol.126, pp.233~245, 2015