

# 고인성 시멘트 복합재료를 사용한 현장타설 끼움벽 골조의 구조성능

## Structural Performance of Cast-In-Place Infill Wall Frames using High Performance Fiber Reinforced Cement Composites

이혜연<sup>\*</sup> 김선우<sup>\*\*</sup> 박완신<sup>\*\*</sup> 이갑원<sup>\*\*\*</sup> 최창식<sup>\*\*\*\*</sup> 윤현도<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Lee, Hye Yeon Kim, Sun Woo Park, Wan-Shin Lee, Gab-Won Choi, Chang Sik Yun, Hyun-Do

### ABSTRACT

High performance fiber reinforced cement composites(HPFRCCs) is a class of high ductile fiber reinforced cementitious composites developed for applications in the sensitive construction industry. HPFRCCs has undergone major evolution in both materials development and the range of emerging applications. This paper is to evaluate structural strengthening performance of LRCF(Lightly reinforced concrete frame) using the HPFRCCs. The experimental results, as expected, show that the crack load, yield load, and limited load are superior for specimen with HPFRCCs infill wall due to crosslink effect of fibers in concrete.

### 1. 서론

현재 국내에서는 1960~70년대에 건설된 수많은 주거용 및 상업용 건축물 등이 노후화되고 비내진 상세를 가짐으로써 강화된 내진규정을 만족하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 보다 경제적이고 구조 성능이 우수한 보수·보강 기법의 개발을 통해 비내진 상세를 갖는 기존 구조물의 강도, 내구성 등 구조 성능의 개선 및 우수한 성능을 갖는 신재료의 적용을 통해 보수·보강 효과의 극대화가 요구되고 있다. 또한 콘크리트의 취성적 성질을 보완하고 균열에 대한 저항능력을 개선하고자 고인성 섬유보강 시멘트복합체(High performance fiber reinforced cement composites, 이하 HPFRCCs)에 관한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있으며, 이러한 섬유보강 시멘트복합체의 적용을 통해 국부적인 균열 방지, 폭넓은 균열확산 및 연성적인 특성을 갖도록 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 비내진 상세를 갖는 기존 철근콘크리트 골조(Lightly reinforced concrete frame, 이하 LRCF)가 소정의 구조성능을 확보하게 하기 위한 보강기법 중 고인성·고내구성을 갖는 섬유보강 시멘트복합체의 현장타설(Cast-In-Place, 이하 CIP)을 통한 끼움벽체를 적용하여 비내진 상세를 갖는 기존 철근콘크리트 구조물 시스템의 보강기법과 그 성능을 규명하고자 한다.

### 2. 사용재료

본 연구에서는 국부적인 균열방지 및 반복하중 하에서 강성 또는 내력저하를 피하기 위하여 비내진 상세 골조의 끼움벽체에 SC혼입률 0.75%와 PE혼입률 0.75%를 하이브리드한 HPFRCCs(SC0.75+PE0.75)를 적용하였으며 사용된 섬유의 형상, 기계적 특성 및 배합비는 다음 그림 1 및 표 1, 2와 같다.



(a) PE (b) SC  
그림 1 섬유의 형상

표 1 섬유의 기계적 특성

섬유	단위중량 (ton/m <sup>3</sup> )	길이 (mm)	직경 ( $\mu$ m)	인장강도 (MPa)
PE	0.97	15	12	2,500
SC	7.85	32	405	2,300

표 2 HPFRCCs의 배합비

물 (kg)	시멘트 (kg)	모래 (kg)	PE (g)	SC (g)
59.1	98.5	39.4	800	6476

\* 정회원, 대전대 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 박사과정

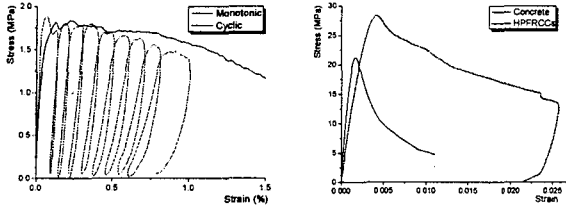
\*\*\* 정회원, 대한주택공사 부장

\*\*\*\* 정회원, 한양대 건축공학부 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

## 2.1 재료시험

본 실험에 사용된 콘크리트 및 HPFRCCs의 재료 시험은 KS F 2404에 따라 시험편을 제작하여, 시험을 실시하였으며 시험 결과는 그림 2 및 표 3, 4와 같다.



(a) HPFRCCs의 인장강도 (b) 콘크리트 및 HPFRCCs  
그림 2 재료의 응력-변형률 관계 곡선

표 3 HPFRCCs의 인장강도

가력방법	균열강도 $\sigma_{crack}$ (MPa)	변형률 $\epsilon_{crack}$ (%)	인장강도 $\sigma_t$ (MPa)	변형률 $\epsilon_t$ (%)
단조	0.86	0.018	1.84	0.225
반복	1.65	0.029	1.90	0.073

표 4 콘크리트 및 HPFRCCs의 강도 특성

	28일 압축강도 $f_{cu}$ (MPa)	변형률 $\epsilon_u$
콘크리트	21.23	0.00171
HPFRCCs	28.37	0.00413

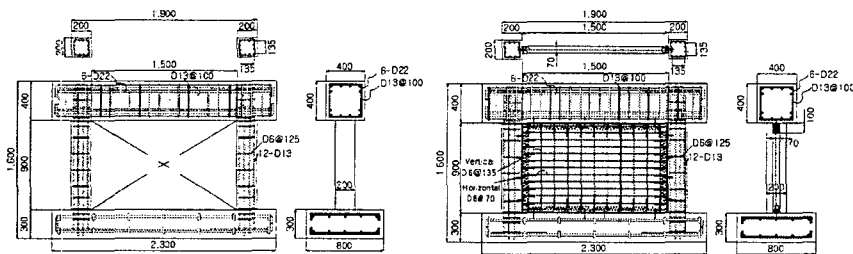
## 3. 실험

### 3.1 시험체 계획

현장타설 콘크리트 및 섬유보강 시멘트복합체를 이용한 보강벽체의 파괴양상 및 거동특성을 실험적으로 규명하기 위하여 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조와 골조에 보강벽체를 이용하여 증설한 끼움벽 골조를 그림 3 및 표 5에 나타난 바와 같이 1/3로 축소하여 시험체를 제작하였다.

### 3.2 실험방법

시험체의 설치상황은 그림 4에 나타난 바와 같이 벽체의 기초부가 완전고정 상태가 되도록 강봉을 사용하여 반력바닥에 긴결하였으며, 횡방향 하중이 가력되는 동안 실제 건축물에서의 슬래브의 벽체 횡지지효과 및 축하중에 의한 면의 좌굴이 발생하지 않도록 횡하중 가력선상에 좌굴 방지용 보 및 볼지그(Guide beam & Ball jig)를 추가적으로 설치하였다. 횡하중은 반력벽에 설치된 액추에이터(Actuator)를 이용하여 변위의 배율로 점증되는 변위제어방식으로, 부재각별로 각각 3회씩 반복 가력되었으며, 축력은 1층 경계부재에 작용하는 축하중을 재현하기 위하여 반력바닥 하부에 설치된 오일잭(Oil jack)을 이용하여  $0.1A_{gf, cu}$ 의 하중을 실험 종료시까지 일정하게 유지하였다.



(a) LRCF 시험체 (b) CIP-C 및 CIP-H 시험체  
그림 3 시험체의 배근 및 상세(Unit : mm)

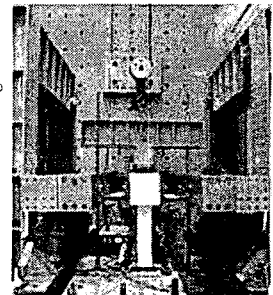


그림 4 시험체 설치상황

표 5 시험체 일람표

시험체명	벽두께 (mm)	축하중 (kN)	콘크리트 압축강도 $f_k$ (MPa)	벽체			경계부재		
				$l_w \times h_w \times t$ (mm)	$\rho_v$ (%)	$\rho_h$ (%)	B×D (mm)	$\rho_v$ (%)	$\rho_h$ (%)
LRCF	70	282.24	21.00	-	-	-	200×200	0.38	0.15
CIP-C				1,500×900×70	0.23	0.13			
CIP-H**									

\* CIP-C : Cast In Place by Concrete  
\*\* CIP-H : Cast In Place by HPFRCCs

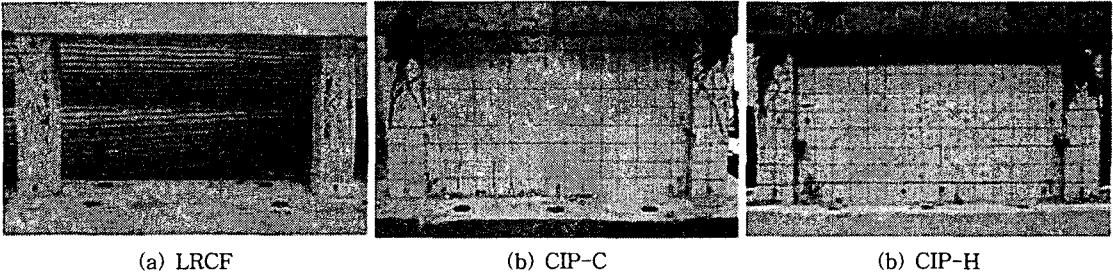


그림 5 최종 파괴상황

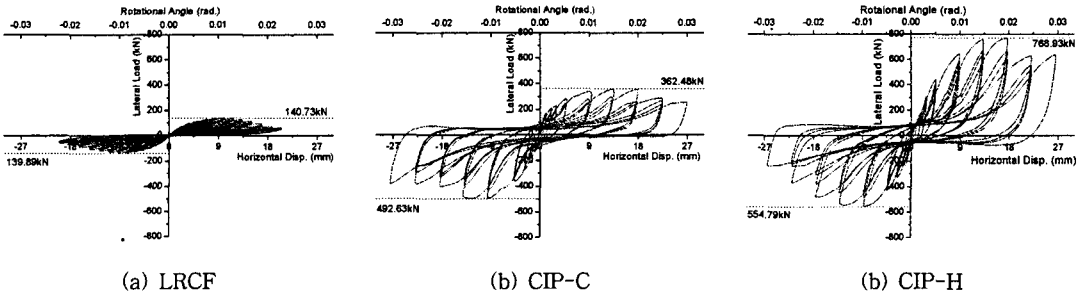


그림 6 하중-변위 관계 곡선

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 균열 및 파괴양상

시험체 파괴형태는 그림 5에 나타난 바와 같다. LRCF 시험체는 변위각 0.002rad.에서 기둥 하부에 초기 휨 균열이 발생되었으며, 변위각이 증가함에 따라 경계부재의 휨 균열이 점차 상부로 진전되는 양상을 보였다. 0.01rad.에서 최대하중이 저감되며 균열폭이 증가하다 0.016rad.에서 피복이 박리되고 최종파괴에 이르렀다. CIP-C 시험체는 변위각 0.002rad.에서 벽기둥 접합부 부분과 기둥 단부에 초기 균열이 발생하였다. 변위각 0.003rad.에서 벽체에 초기균열이 발생하였으며 0.005rad.에서 벽체에 사인장 균열이 발생하였다. 변위각 0.02rad.로 제어시 벽과 기둥의 부착력이 증가하여 최대하중이 저감되기 시작하였다. 0.03rad.에서 기둥 상부의 피복 박리가 발생하였고 균열폭이 증가하여 최대 하중에서 22%의 내력이 감소하며 최종 파괴가 일어났다. CIP-H 시험체는 변위각 0.002rad.에서 벽기둥 접합부 부분과 기둥 측면부에 초기 균열이 발생하였다. 변위각 0.003rad.에서 끼움벽체에 미세한 초기균열이 발생하였으며 0.005rad.에서 벽체에 사인장 균열이 발생하였다. 변위각 0.02rad. 시 최대하중이 저감되기 시작하였으나 일반 콘크리트 끼움벽인 CIP-C 시험체와 달리 명확한 균열은 발생하지 않았다. 이는 HPFRCCs 끼움벽체 내에서 섬유가 교차작용으로 인한 마이크로 및 매크로균열 제어에 따른 것으로 판단된다. 0.03rad.에 이르러 기둥 상부에서 피복 박리가 발생하였고 균열폭이 증가하여 내력이 감소하며 최종 파괴되었다.

##### 4.2 하중-변위 관계

그림 6은 LRCF, CIP-C 및 CIP-H 시험체의 하중-변위 관계 곡선을 나타낸 그림이다. 그림 6(a)에서 나타난 바와 같이 LRCF 시험체의 경우 최대하중이 140.73kN으로 나타났으며 최대하중 이후 완만한 내력감소를 보이고 있었다. 또한, 그림 6(b) 및 (c)에서 나타난 바와 같이 CIP-C 및 CIP-H 시험체의 최대하중은 각각 492.26kN 및 768.93kN으로 나타나 무보강시험체인 LRCF 시험체에 비해 각각 265.50 % 및 446.39%의 내력증가를 보였다.

표 6 강도 및 강성 비교표

시험체명	항복강도 (kN)	최대강도 (kN)	항복강성 (N/mm)	극한강성 (N/mm)
LRCF	55.88	140.73	41.58	15.38
CIP-C	141.68	495.26	314.84	58.71
CIP-H	297.84	768.93	100.62	44.12

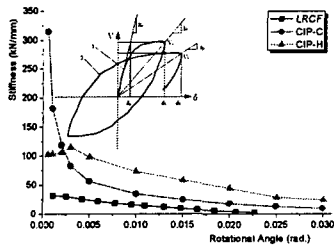


그림 7 강성특성

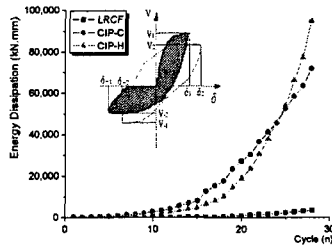


그림 8 누적에너지 소산능력

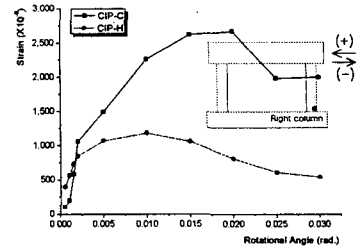


그림 9 철근변형률

그림 7은 각 시험체의 강성특성을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 LRCF 시험체의 초기강성은 31.73kN/mm이며, 극한내력시 강성은 2.93kN/mm로 초기강성에 비해 약 90.77% 감소하는 것으로 나타났다. CIP-C 시험체의 경우 초기강성은 314.84kN/mm으로 무보강 시험체에 비해 892.25% 강성값이 크게 나타났으며 극한하중시 강성은 9.46kN/mm로 초기강성의 3.01%를 나타내었다. 또한 CIP-H 시험체의 경우 초기강성은 101.99kN/mm으로 무보강 시험체에 비해 221.43% 강성값이 크게 나타났으며 극한하중시 강성은 24.04kN/mm로 초기강성의 23.57%를 나타내었으며 무보강 시험체에 비해 720.48% 증가하였다.

#### 4.3 누적에너지 소산능력

그림 8은 사이클별 누적된 에너지소산특성을 나타낸 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 정가력시 첫 번째 사이클에서 LRCF, CIP-C 및 CIP-H 시험체의 에너지 소산면적은 각각 23.56, 99.83 및 49.38kN·mm로 나타났고 동일사이클(n=28)에서 에너지 소산면적은 3,525.95, 71,690.68 및 94,949.75kN·mm로 나타났으며 CIP-C 및 CIP-H 시험체의 에너지소산면적은 무보강 시험체인 LRCF에 비해 각각 1,033.24% 및 1,692.88% 크게 나타났다.

#### 4.4 철근의 변형률

그림 9는 CIP-C 시험체와 CIP-H 시험체의 경계부재에서 철근변형률 분포를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 CIP-C 시험체의 경우 정가력시 우측 기둥 주근의 최대변형률이 2,672.64로 CIP-H 시험체에서의 주근 변형률(1,183.96)에 비해 125.74% 크게 나타났다. 이는 정가력시 우측 기둥은 인장상태에 놓이게 되어 하부에서 초기 휨균열이 발생하게 되면 하중은 주근에 의해서만 전달되며 섬유보강 시멘트복합체를 적용한 끼움벽체에서는 벽체의 거동이 골조의 기둥의 변형에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 비내진 상세를 갖는 기존 골조에 고인성 시멘트복합체를 사용하여 끼움 전단벽을 설치할 경우의 보강효과 및 반복하중에 따른 구조거동을 파악하기 위하여 실험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 섬유보강 시멘트복합체를 적용한 끼움벽체에서는 최대하중에 이르기까지 명확한 균열 발생 및 진전이 나타나지 않은 것으로 보아 콘크리트 내 보강섬유의 가교작용에 인한 마이크로 및 매크로 균열 제어에 기인한 것으로 판단된다.
- 2) HPRFRCs 끼움벽 시험체인 CIP-H 시험체의 최대하중은 768.93kN으로 나타나 일반콘크리트 끼움벽체인 CIP-C 및 무보강시험체인 LRCF 시험체에 비해 각각 45.51% 및 446.39%의 내력증가를 보여 섬유보강이 벽체의 전단내력에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 3) 섬유보강벽체를 보강한 골조의 기둥에서의 철근변형률을 분석한 결과 정가력시 하부의 인장측 철근의 변형률이 일반콘크리트 끼움보강벽과 차이를 나타내는 것으로 보아 비내진 상세를 갖는 골조의 구조적 거동에도 영향을 미치는 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 박우철, 박완신, 한병찬, 윤현도, 정수영(2003) "현장타설 끼움벽체로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 비선형 해석" 대한건축학회논문집, 19권, 2호, pp.41-48.
2. 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전예스터, 김선우(2004) "하이브리드 섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 반복 인장거동" 대한건축학회 학술발표논문집, 24권, 2호, pp.119-122.
3. 윤현도, 최창식, "고강도 콘크리트 전단벽의 전단강도", 대한건축학회 논문집, 제19권, 5호, 2003, pp.53-60.
4. Sugano, S., "Guidelines for Seismic Retrofitting (Strengthening, Toughening, and/or Stiffening), Design of Existing Reinforced Concrete Buildings", Proceeding of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, Michigan, May 1981, pp. 189-246.
5. L. F. Kahn, R. D. Hanson, "Infilled Walls for Earthquake Strengthening", Journal of the Structural Division, 1979, pp.283-297.