

변형경화형 시멘트 복합체를 사용한 프리캐스트 끼움벽판의 내진성능

Seismic Performance of Precast Infill Walls with Strain-Hardening Cement Composite

김 선 우* 전에스더* 김 윤 수** 지 상 규** 장 광 수** 윤 현 도***
Kim, Sun Woo Jeon, Esther Kim, Yun Su Ji, Sang Kyu Jang, Gwang Soo Yun, Hyun Do

ABSTRACT

The seismic behavior of the lightly reinforced concrete frames (LRCFs) was controlled by the nonductile behavior of the critical regions. These critical regions require retrofit to improve the seismic behavior of the lightly reinforced concrete frames. Critical column end regions must be retrofit to increase the global ductility capacity. The objective of this research is to evaluate structural strengthening performance of lightly reinforced concrete frame with Strain hardening cement composite(SHCC) experimentally. The experimental investigation consisted of a cyclic load tests on 1/3-scale models of precast infill walls. Reinforcement detail of infill wall was variables in the experiment. The experimental results, as expected, show that the multiple crack pattern, strength, ductility and energy dissipation capacity are superior for specimen with SHCC infill wall due to bridging of fibers and stress redistribution in cement matrix.

요 약

최근 빈번하게 발생하는 지진으로 인해 내진규정이 강화된 바 있으며, 국내에서도 인접 국가들의 지진피해 발생으로 인해 지진에 대한 안전지대가 될 수 없다는 인식이 고조되어 건축구조설계기준에서의 내진규정이 강화되었다. 그러나 기존 비내진상세를 갖는 건축물을 해체하여 요구성능을 얻고자 하는 경우 경제적, 환경적 손실이 크므로 비내진상세를 갖는 라멘구조물을 끼움벽을 통해 보강하는 것이 합리적일 것이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 변형경화형 시멘트 복합체인 SHCC를 끼움벽에 적용하였으며, 일반배근 및 대각보강근에 따른 내진성능을 정량적으로 평가함으로써 SHCC 적용에 따른 배근상세 감소 및 시공성 향상을 꾀하고자 한다. 실험체는 1/3 축소모형의 프리캐스트 끼움벽으로 제작되었으며, 실험결과 다수의 미세균열이 발생하여 기존 콘크리트에서 발생하는 명확한 전단균열 및 급격한 내력저하는 발생하지 않았다. 이는 SHCC 내 혼입된 PVA 및 PE 섬유와 가교작용에 의한 것으로 벽체에 전달되는 횡하중에 의한 응력을 재분배했기 때문인 것으로 사료된다.

* 정회원, 충남대학교, 고지능콘크리트구조연구실, 박사과정

** 정회원, 충남대학교, 고지능콘크리트구조연구실, 석사과정

*** 정회원, 충남대학교, 건축공학과, 교수

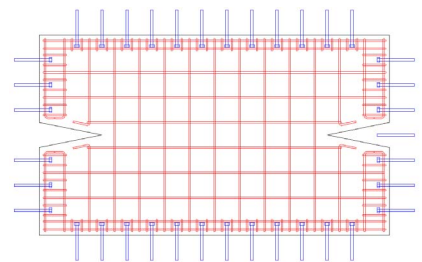
1. 서 론

우리나라는 일본에서 지진이 빈번하게 발생함에 따라 그에 따른 여진으로 인한 피해를 입고 있으며, 지난 5월에는 진도 7.9의 대지진이 중국 쓰촨성 일대를 강타하는 등 지진으로 인한 인명·재산 피해가 사회문제로 대두되고 있다. 이러한 전세계적인 지진발생률 증가에 따라 내진규정이 강화된 바 있으며, 국내에서도 인접 국가들의 지진피해 발생으로 인해 지진에 대한 안전지대가 될 수 없다는 인식이 고조되어 건축구조설계기준¹⁾에서의 내진규정이 강화되었다. 국내의 건설산업은 70년대 주택보급 및 사회기반시설 확충사업 등으로 인해 급격히 성장하였으며, 최근에는 수도권권을 중심으로 한 초고층 주상복합건물 뿐만 아니라 반도체 등 첨단산업을 위한 플랜트 등을 국내·외에 건설하고 있으며, 이와 같은 구조물에 내진설계개념이 도입되고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 급격히 증가된 주거, 상업, 산업용 건축물의 경우, 사용자의 요구에 의해 용도변경이 이루어지고 있으며, 이에 따라 건축물의 해체 및 신축 등과 같이 건설산업이 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 건설산업은 석유화학, 철강산업에 이어 3번째로 많은 CO₂를 배출하는 시멘트산업²⁾에 기반을 두고 있으며, 구조물의 신축시 이를 간과할 경우 국제경쟁력이 약화될 수 있다. 따라서 용도 변경 및 강화된 내진규정을 만족시키기 위해서 필요한 신축 대신 기존 구조물의 성능을 보완하면서도 CO₂ 배출량을 최소화할 수 있는 보다 효과적인 건설기술이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존 비내진 상세를 갖는 라멘구조물에 대해 해체·신축 과정 대신 끼움벽을 통해 내진보강하고, 이 때 기존 콘크리트의 취성적 파괴특성을 보완할 수 있는 변형경화형 시멘트 복합체(Strain Hardening Cement Composite, SHCC)를 적용함으로써 내진성능 향상을 통한 구조물의 보강 뿐만 아니라, 균열 제어 등 내구성 증진을 통해 보다 환경 친화적인 구조물 보강방안을 제시하고자 한다.

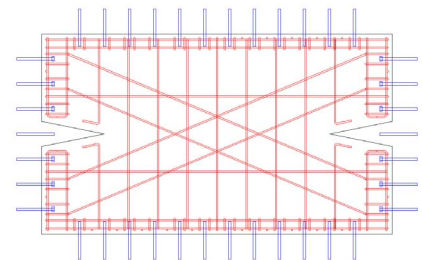
2. SHCC 끼움벽 실험

2.1 실험체 계획

본 연구에서는 시멘트 복합체에 보강섬유를 혼입함으로써 기존 콘크리트의 취성적 성질을 보완함은 물론 보강섬유의 가교 작용에 의한 인장성능 향상으로 철근콘크리트 부재의 보강근량을 감소시키고 시공성을 향상시킬 수 있는 SHCC 끼움벽을 개발 및 이의 내진성능을 실험적으로 검토하기 위하여 총 2개의 끼움벽 실험체를 제작하였으며, 실험체의 배근상세 및 일람은 그림 1 및 표 1과 같다.



(a) PIW-4



(b) PIW-5

그림 1. Infill wall 실험체의 배근상세

표 1. 실험체 일람표

Specimen	f_{ck}^* (MPa)	$l_w \times h_w \times t$ (mm)	Notch	Reinforcement	ρ_v (%)	ρ_h (%)	ϕ	Used fibers
PIW-4**	50	1,400×800×70	Yes	Conventional	0.39	0.75	D6	PVA0.65+PE0.1
PIW-5				Diagonal	0.33	0.70		

* f_{ck} : 콘크리트 압축강도, t_w : 벽두께, ρ_v : 수직철근비, ρ_h : 수평철근비, ϕ : 철근직경

** PIW: Precast Infill Wall

2.2 사용재료

본 연구에서는 시멘트 복합체에 변형경화특성을 부여하기 위한 보강섬유 중 마이크로 합성섬유 중 인장강도 및 탄성계수 등 기계적 특성이 매우 우수한 PE 섬유를 사용하였다. 또한 PE 섬유에 비해 기계적 특성은 다소 저하되나 시공성능 및 섬유의 단가를 고려한 경제성이 우수한 PVA 섬유를 사용함으로써 보강 섬유 사용시 소요성능 및 경제성을 모두 고려하고자 하였다. 사용된 보강섬유의 형상 및 기계적 특성은 그림 2 및 표 2와 같다. 표에 나타난 바와 같이 PE 섬유의 인장강도와 탄성계수는 PVA에 비해 1.56 및 1.87배 높은 물리적 특성치를 갖는다. 시멘트는 T사의 조강포틀랜드 시멘트(비중 3.14)를 사용하였고, S사에서 생산된 접착제용 규사 7호(비중 2.61, 직경 10~120 μm)를 잔골재로 사용하였다. 사용된 재료의 배합을 통한 SHCC의 역학적 특성은 표 3과 같다.

2.3 실험 방법

실험체의 설치상황은 그림 3에 나타난 바와 같이 횡방향 하중이 가력되는 동안 실제 철근콘크리트 골조 내에서 벽체 횡지지효과 및 축하중에 의한 면외 좌굴이 발생하지 않도록 4점 회전단으로 가력항을 계획 및 제작하였다. 횡하중은 반력벽(Reaction wall)에 설치된 1,000kN 용량의 액츄에이터(Actuator)를 이용하여 변위의 배율로 집중되는 변위제어방식(Displacement control method)으로 가력되었으며, 횡력은 부재각(실험체의 횡변위/측정점의 높이)으로 제어되었으며, 반복 가력시 강도저하를 평가하기 위하여 부재각별로 각각 2회씩 반복 가력하도록 제어되었다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 4는 PVA0.65+PE0.1을 혼입한 SHCC 끼움벽의 최종파괴양상을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 미세한 균열이 다수 발생하면서 일반적인 콘크리트 끼움벽에서 나타나는 벽체 하부의 심각한 균열³⁾은 발생하지 않았으며, 이로 인해 내력의 급격한 저하나 끼움벽의 피복박리 현상도 발생되지 않았다. 특히 대각보강된 PIW-5 실험체의 경우 일반배근인 PIW-4 실험체보다 작은 균열폭을 보이며서 균열로 인한 피해가 다소 완화되는 것으로 나타났다. 그러나 종국적인 파괴에 이르는 주요한 전단 균열은 기존 콘크리트 끼움벽체와 마찬가지로 노치로부터 시작되어 하부로 이어지는 것으로 나타나, 손상을 유도하기 위한 노치를 둘 경우 노치 부분에서의 집중적인 균열발생을 어느 정도 저하시키기 위한 보강방안이 필요할 것으로 판단되었다.

그림 5는 SHCC 끼움벽 실험체의 하중-변위 관계곡선을 나타낸 것이다. 노치를 갖는 PIW-4 실험체의 경우에는 각각 553.21 및 -486.85kN의 최대내력을 보였으며, 대각보강근을 갖는 PIW-5 실험체에서는 정·부방향에서의 최대하중이 각각 549.21 및 -466.07kN으로 나타났다.



그림2. 보강섬유의 형상
(a) PE (c) PVA

표2. 섬유의 기계적 특성

종류	비중 (g/cm ³)	길이 (mm)	직경 (μm)	형상비	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
PE	0.97	15	12	1250	2500	75
PVA	1.30	12	39	307	1600	40

표3. SHCC 재료시험 결과

측정항목 실험체	압축		휨		직접인장	
	f_{cu} (MPa)	ϵ_{cu} (μ)	f_r (MPa)	δ (mm)	f_t (MPa)	ϵ_t (%)
PVA0.65+PE0.1	55.61	4,034	8.70	0.296	2.39	0.191

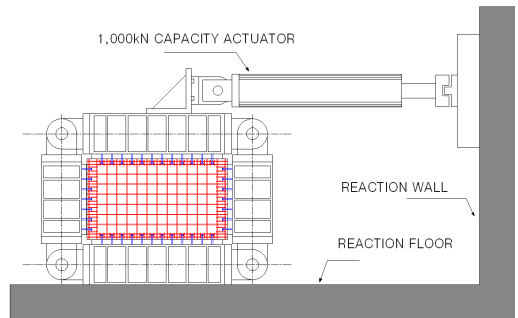


그림3. 실험체 설치상황

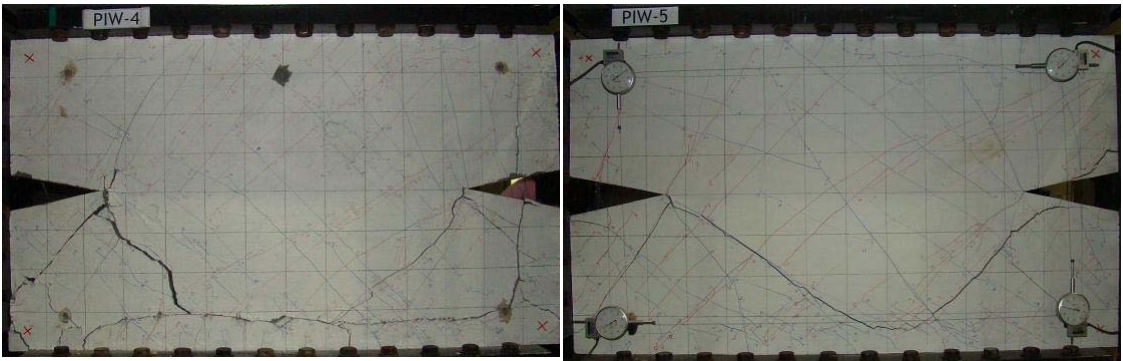


그림 4. SHCC Infill Wall의 최종 파괴양상

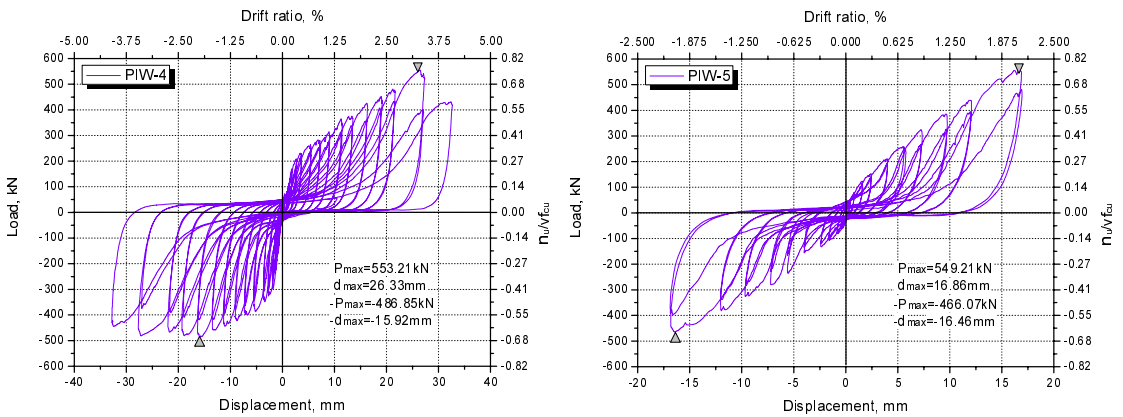


그림 5. SHCC Infill Wall의 하중-변위 관계곡선

4. 결론

기존 비내진상세 구조물의 내진보강을 위한 프리캐스트 끼움벽 보강공법에 내진성능 및 내구성 향상을 위한 SHCC를 적용하여 내진성능을 실험적으로 평가한 결과, 대각보강근을 사용한 경우 일반보강근보다 보강근비가 부족하더라도 벽체에 전달되는 횡하중을 보강섬유가 저항할 수 있을 것으로 판단되었으며, 보다 다양한 섬유배합을 통한 요구성능별 끼움벽 배합설계 및 배근상세가 요구될 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 학술진흥재단 기초과학연구(KRF-2006-311-D00916) 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21사업의 지원비를 받았습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건축구조설계기준, 대한건축학회, 2005
2. 윤석경, 시멘트산업 대체연료의 온실가스 배출계수 개발 및 저감량 평가 연구, 세종대학교 대학원 석사학위논문, 2007
3. 윤현도, 김선우, 이갑원, 최창식, 이해연, 고인성 시멘트 복합체를 사용한 끼움벽으로 보강된 비내진상세 철근콘크리트 골조의 내진성능, 대한건축학회 논문집(구조계), 2006, 22(5), 31-38