

# 현장타설 끼움 벽으로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 내진거동

## Seismic Behavior of Non Ductile Reinforced Concrete Frame Retrofitted With Cast-In Place Infilled Shear Wall

이혜연\*      김선우\*\*      한병찬\*\*\*      윤현도\*\*\*\*      최창식\*\*\*\*\*  
Lee, Hye Yeon   Kim, Sun Woo   Han, Byung Chan   Yun, Hyun Do   Choi, Chang Sik

### ABSTRACT

RC frames built prior to the advent of the philosophy of ductile concrete is one type of existing construction susceptible to damage. Strengthening and stiffening of such frames has been accomplished by infilled frames with cast-in-place, reinforced concrete walls. Placement of CIP shear walls within strategic bays of a structure appears to be a logical and economical method to strengthen a reinforced concrete frame and to stiffen a building in order to reduce architectural and mechanical damage. This study investigates the seismic performance of cast-in place infilled shear wall within existing frames. The object of this study is to clarify the seismic capacity and characteristics in the hysteretic behavior of bare frame, CIP infilled shear wall and CIP infilled wall reinforced diagonal bars.

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

내진규준이 제정되기 이전에 세워진 비내진 상세를 갖는 국내 건축물에 대한 내진성능의 평가 및 보수보강이 시급한 실정이다. 따라서 이러한 건축물에 대한 내진보강기법에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 현장타설(Cast-In Place) 끼움 전단벽에 의한 내진보강 기법은 기존 건축물의 골조 내에 철근콘크리트 전단벽을 증설하여 소요강도 및 강성을 확보하면서도 건축 및 설비적인 손상을 최소화 할 수 있는 합리적이고 경제적인 내진보강공법이다. 그러나 국내에서는 비내진 상세를 갖는 기존골조에 설치된 끼움 전단벽에 관한 연구가 아직 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 내진성능의 향상이 요구되는 중저층 철근콘크리트 건축물에 대한 내진보강 방안으로 현장타설(Cast-In Place) 콘크리트 끼움벽으로 내진보강된 골조와 기존 비내진 상세를 갖는 골조의 반복 횡하중 재하시의 강도 및 파괴 특성 등의 내진거동을 비교 분석하고, 궁극적으로는 끼움 전단벽 공법의 현장적용 타당성의 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

#### 1.2 현장타설 끼움 전단벽에 의한 보강공법

본 연구에서 채택한 보강공법은 일본건축종합시험소의 '철근콘크리트 증설벽 내진 보강설계 및 시공지침'에 기초한 것으로 매립 앵커볼트에 대한 전단실험결과를 근거로 기존 골조와 끼움벽의 거동 및 내진성능을 평가하였다. 기존골조와 끼움벽의 일체화를 위하여 'ㄱ'자 프레임을 제작하여 앵커볼트로 고정하였으며 벽체 경계면에 스프링을 설치하여 벽체의 응력의 집중을 방지하며 연성을 확보하도록 하였다.

\* 정회원, 대전대학교 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 강사, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수, 공학박사

## 2. 실험

### 2.1 사용재료

실험체에 사용된 철근, 콘크리트에 대한 재료적 특성을 파악하기 위하여 KS F 2405 및 KS B 0802의 규정에 따라 시험편을 제작하여 재료시험을 실시하였으며, 그 결과는 표 1 및 그림 1에 나타내었다. 그리고 벽체 상부에 타설한 무수축 모르타르는 오일 처리된 100 $\mu$ m의 PVA 섬유를 0.2% 혼합하여 제작하였다.

### 2.2 실험체 개요

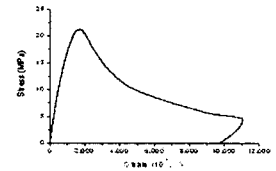
그림 1과 같이 철근콘크리트 끼움벽체를 1/3 크기로 축소하여 제작하였다. 프레임(Frame) 실험체는 비내진 상세를 갖는 순수 골조로 제작하였고 CIP-1 실험체는 순수 골조에 대각선 철근이 없는 끼움벽으로 보강하였다. CIP-2 실험체는 끼움벽에 대각선 철근을 배근하여 전단에 대한 연성을 확보하도록 설계하였다. 각 시험체의 일람 및 배근상세는 표 2, 그림 2와 같고, 끼움벽의 보강상세는 그림 3에 나타낸바와 같다.

표 1 콘크리트 및 철근의 재료시험 결과

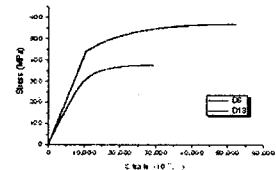
28일 압축강도 $f_{ck}$ (MPa)	콘크리트탄성계수 $E_c$ (MPa)	극한변형 $\epsilon_u (\times 10^{-6})$	포아송비	철근종류	항복강도 $f_y$ (Ma)	항복변형률 $\epsilon_s (\times 10^{-6})$	인장강도 $f_t$ (MPa)
21.23	21.92	11,085	0.15	D6	291.19	9,451.10	375.01
				D13	444.96	11,005.08	568.59

표 2. 실험체 일람표

실험체명	콘크리트 압축강도 $f_{cu}$ (MPa)	벽두께 (mm)	축하중 (kN)	벽체			경계부재		
				$l_w \times h_w \times t$ (mm)	$\rho_v$ (%)	$\rho_h$ (%)	$B \times D$ (mm)	$\rho_v$ (%)	$\rho_h$ (%)
Frame	21.23	70	282.24	-	-	-	200 $\times$ 200	0.38	0.15
CIP-1	21.23	70	282.24	1500 $\times$ 900 $\times$ 70	0.23	0.13	200 $\times$ 200	0.38	0.15
CIP-2	21.23	70	282.24	1500 $\times$ 900 $\times$ 70	0.22	0.14	200 $\times$ 200	0.38	0.15



(a) 콘크리트

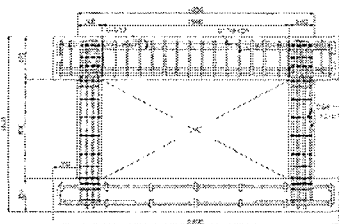


(b) 철근

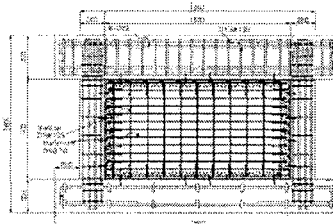
그림 1 재료의 응력-변형률 관계곡선

### 2.3 실험체 설치상황

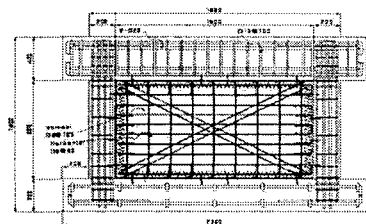
실험체 설치상황은 그림 4에 나타낸바와 같으며 실험체에 축하중을 도입하기 위하여 반력바닥 하부에 설치된 두 대의 1500kN 용량의 오일잭을 사용하여 경계부재 상부에 282.24kN의 하중을 실험 종료 시까지 일정하게 가력하였다. 실험체의 수평하중은 시험체에 맞추어 제작한 가력철물을 통하여 반력벽에 설치된 1000kN 용량의 액츄에이터로 반복 가력하며, 이때의 변위 이력은 그림 5과 같이 동일 변위각에서 3회 반복하여 점증 가력하였다.



(a) Frame



(b) CIP-1



(c) CIP-2

그림 2 실험체 배근도 (단위 : mm)

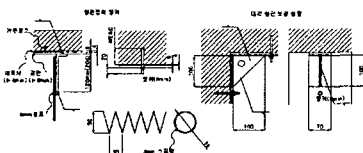


그림 3 실험체 보강상세 (단위: mm)

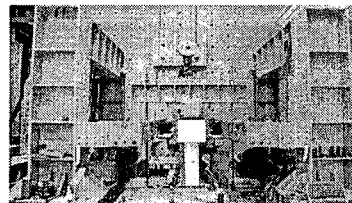


그림 4 실험체 설치상황

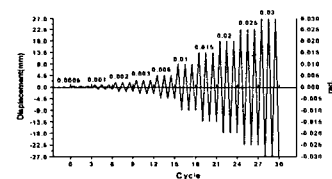


그림 5 변위이력

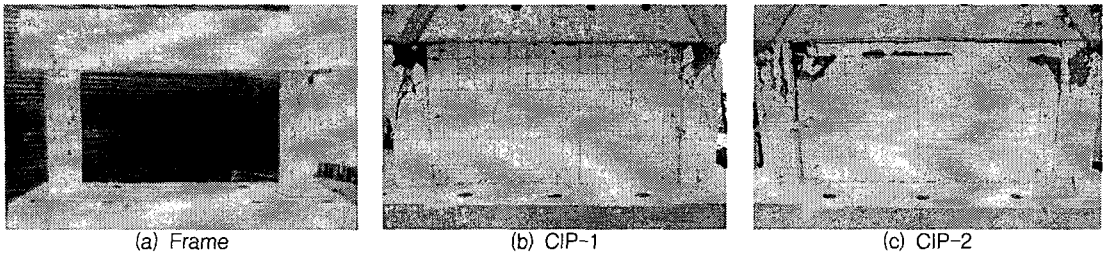


그림 6 실험체 파괴 형태

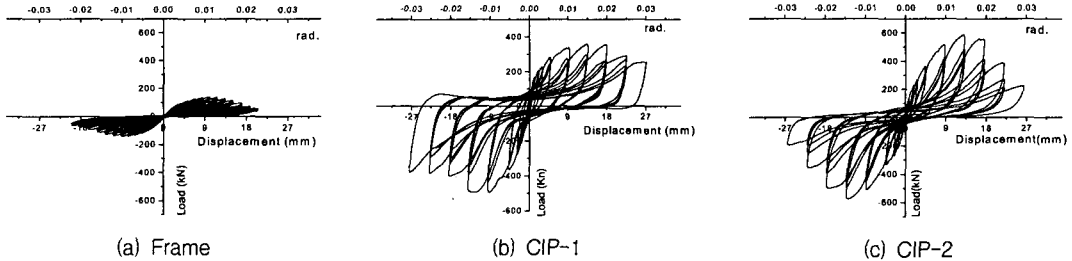


그림 7 하중-변위 관계 곡선

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 실험체 균열 및 파괴형태

실험체 파괴형태는 그림 6에 나타난 바와 같다. 프레임(Frame) 실험체는 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-1 실험체는 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 제어 시 벽과 기둥의 부착력이 저하되며 최대하중이 저감되기 시작하였다. 0.03rad.에서 기둥 상부의 피복 박리가 발생하였고 균열 폭이 증가하여 최대 하중에서 22%의 내력이 감소하며 최종 파괴가 일어났다.

CIP-3 실험체의 경우 변위각 0.003rad.에서 기둥 단부에 초기 균열이 시작되어 변위각이 증가함에 따라 균열이 중앙으로 진전되었으며 변위각 0.01rad. 제어 시 끼움벽체에 사인장 균열이 발생하였다. 0.02rad.에서 최대하중이 저감되며 벽체 상부에 큰 균열과 박리가 발생하였다. 0.03rad. 제어 시 끼움벽 상부의 무수축 모르타르의 박리가 많아지고 기둥 균열폭이 커지면서 극한강도의 내력이 58% 감소한 상황에서 실험을 종료하였다.

#### 3.2 하중-변위, 강성 및 강도 분석

하중-변위 관계곡선과 강도 곡선을 그림 7과 8에 나타내었다. CIP-1 실험체의 하중-변위 관계곡선을 보면 정(+)사이클과 부(-)사이클의 강도 차이가 크게 나타나는데 이는 한쪽 기둥이 먼저 항복하면서 그곳에 응력이 집중되어 하중의 불균형 현상이 발생한 것으로 타설 시의 문제로 인한 것이었다. 따라서 실험결과 분석 시에는 부(-)사이클을 기준으로 분석하였다.

표 3은 실험결과와 강도 및 강성을 비교한 표이다. 순수 골조인 프레임(Frame) 실험체와 끼움벽으로 보강된 CIP-1 실험체의 항복강도 및 극한강도를 비교해보면 150%이상 향상되어 끼움벽 설치로 인한 내진보강 효과가 매우 우수함을 알 수 있었다. 또한 대각 철근으로 보강한 CIP-2 실험체와 비교해보면 10% 정도의 극한강도가 향상되었다. 또한 그림 9의 강성저하 곡선을 보면 항복 후 변위가 커짐에 따라 CIP-2 실험체의 강성이 우수하게 나타남을 알 수 있었다. CIP-1과 CIP-2의 항복강도나 극한강도는 비슷하게 나타났으나 CIP-2가 항복강성의 경우 90% 증가하였고 극한강성의 경우 23%가 증가하여 전단 보강근의 효과가 우수하게 나타났다. 그러나 끼움벽의 경우 극한하중이 지남에 따라 하중이 급격히 떨어지며 균열 및 박리가 급증하고 취성적인 파괴가 일어나 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

표 3 강도 및 강성 비교표

실험체명	항복강도 (kN)	극한강도 (kN)	항복강성 (N/mm)	극한강성 (N/mm)
Frame	55.88	139.89	41.58	15.38
CIP-1	141.68	528.44	314.84	58.71
CIP-2	148.44	578.12	164.93	42.82

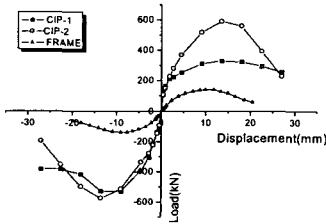


그림 8 실험체별 강도 곡선

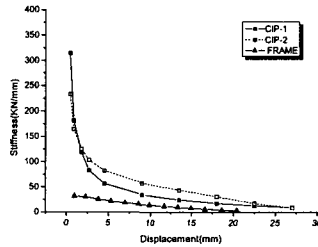


그림 9 실험체별 강성저하 곡선

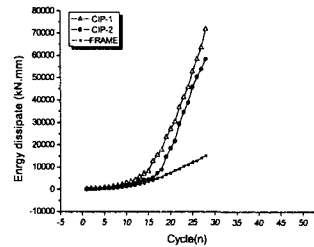


그림 10 실험체별 누적에너지소산능력

### 3.3 에너지 소산능력

누적된 에너지소산면적을 나타낸 그림 10에 의하면, 끼움벽으로 보강하기 전과 보강한 후의 실험체가 에너지를 흡수할 수 있는 능력이 크게 증가한 것을 볼 수 있다. 반면에 대각 철근의 유무에 따른 에너지 소산면적은 대각보강이 없는 CIP-1 실험체가 CIP-2 실험체보다 20%정도 크게 나타났다.

### 4. 결론

본 연구에서는 비내진 상세를 갖는 기존 골조에 끼움 전단벽을 증설할 경우의 보강효과 및 반복하중에 대한 거동을 파악하기 위하여 3개의 실험체를 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CIP-1 실험체는 기존 순수골조에 비하여 항복강도 150%, 극한강도 300%의 증가율을 보여 내진 보강공법으로써 효과적인 것으로 나타났다.
- 2) 대각근의 유무에 따른 끼움벽의 성능은 강도나 에너지 소산면적에서는 크게 향상된 결과를 얻지 못하였으나 항복강성의 경우 90% 증가하였고 극한강성의 경우 23%의 증가를 보여 벽체의 횡하중 저항성이 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 실험체는 정밀하게 설계되고 시공되었음에도 불구하고 기존 골조 및 벽체는 완벽한 일체거동을 하지 못하고 극한강도가 지남에 따라 슬립이 발생하였다. 또한 극한강도 이후에 급격한 파괴가 일어나는 것으로 나타나 이에 대한 보완 연구가 향후 필요한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 한국과학재단에서 시행한 2004년도 목적기초연구사업 지역대학우수과학자지원연구 「철근콘크리트 끼움 전단벽을 갖는 비 내진 상세 골조의 내진성능」(과제번호 : R05-2004-000-11136-0) 연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 박우철, 박완신, 한병찬, 윤현도, 정수영, "현장타설 끼움벽체로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 비선형 해석" 대한건축학회논문집 19권, 2호, 2003, pp.41~48.
2. 김선우, 이갑원, 박완신, 한병찬, 최창식, 윤현도, "재생골재 콘크리트 보강블록을 이용한 증설벽의 구조거동", 대한건축학회 봄학술발표 논문집, 2004, pp.11~14.
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.
6. J. P. Moehle, "State of Research on Seismic Retrofit of Concrete Building Structures in the US", US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures-State of Research and Practice.