

블록 끼움벽과 현장타설 끼움벽으로 보강된 비내진 상세 철근콘크리트 골조의 구조성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Performance of Lightly Reinforced Concrete Frame Retrofitted with Concrete Block and Cast-In Place Infilled Wall

최 창 식* 이 혜 연** 김 선 우*** 윤 현 도****
Choi, Chang-Sik Lee, Hye-Yeon Kim, Sun-Woo Yun, Hyun-Do

Abstract

In many other countries framed structures with inadequate lateral strength and stiffness have been strengthened by providing reinforced concrete infilled wall. There is a general agreement among researchers those infilled walls have 3-5times greater lateral strength compared with bare frame. The main objective of this research is to investigate the behavior and strength of reinforced concrete frames infilled with concrete block and cast-in-place reinforced concrete panels used for strengthening the structure against seismic action. For this purpose three 1/3 scale, one-bay, one-story reinforced concrete infilled frames were tested under reversed cyclic loading simulating the seismic effect. The results indicate that infilled walls increase both strength and stiffness significantly under lateral loads. Especially Strength capacity and initial stiffness of CIP infilled wall increased 3.8 times and 6.6 times higher than lightly reinforced concrete frame.

요 지

끼움벽에 의한 내진보강은 국외에서는 내진 보강공법 중 가장 널리 사용되어지는 신뢰성 있는 공법이나 국내에서는 아직 비내진 상세를 갖는 골조의 내진보강에 대한 분석이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 재생세골재를 사용한 끼움벽과 현장타설 철근콘크리트 끼움벽의 반복 횡하중 실험을 통하여 끼움벽의 구조성능을 비교분석하였다. 실험결과 두 실험체 모두 기존골조와 비교하여 크게 향상된 성능을 나타냈으며 특히 현장타설 끼움벽 실험체는 순수골조 실험체에 비하여 강도 및 초기강성이 각각 3.8배, 6.6배 향상하며 파괴 시까지 안정적인 거동을 보여 기존골조의 내진보강공법으로 합리적인 것으로 판단되었다.

Keywords : Infilled Wall, Concrete block, Cast-In-Place, Strengthening, Shear Wall

핵심 용어 : 끼움벽, 보강블록, 현장타설 공법, 보강공법, 전단벽

* 정희원, 한양대 건축대학 건축공학부 부교수

** 정희원, 대전대 대학원 석사과정

*** 정희원, 충남대 대학원 박사과정

**** 정희원, 충남대 건축공학과 부교수

E-mail : ccs5530@hanyang.ac.kr 02-2220-2371

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2005년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

최근 국내외적으로 지진에 대한 구조물의 거동특성 및 내진설계에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며 이러한 연구 성과를 근거로 보다 안전하고 경제적인 건축물을 설계할 수 있도록 구조설계 개념 및 규준이 재정립되고 있다. 그러나 내진규준이 제정되기 이전에 세워진 건축물의 경우 Fig. 1과 같은 큰 피해가 예상되어 내진성능 확보를 위한 보수·보강이 시급한 실정이다. 따라서 국내외적으로 이러한 건축물의 횡하중 저항능력 및 강성을 증진시키기 위한 많은 내진보강 연구가 이루어지고 있다.

내진보강 방법은 크게 내진벽 증설, 브레이스 설치, 날개벽 증설, 기둥 및 보의 보강으로 나눌 수 있다.⁽¹⁰⁾ 이러한 내진보강 방법 중에서 끼움벽 공법은 기존 건축물의 골조 내에 철근콘크리트 전단벽을 증설하여 건축물이 지진하중에 저항하기 위하여 보유해야할 강도 및 강성을 확보할 수 있는 합리적인 보강공법이다. 이 공법은 구조적인 손상을 최소화하면서 소량의 벽을 보강하는 것만으로 내진성능을 크게 향상시킬 수 있는 경제적인 보강공법으로 국외에서는 이미 그 성능이 입증되어 실제 내진보강에 많이 사용되어지고 있다.

그러나 국내에서는 현재까지 내진상세개발에 중점을 둔 연구가 주로 진행되었으며 비내진 상세를 갖는 골조의 내진보강에 대한 분석이 아직 미흡한 실정이다.

특히 끼움벽에 의한 보강효과 및 거동에 대한 분석은 시작단계로써 끼움벽의 현장 적용을 위하여 이에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 끼움벽의 큰 분류인 조적조 블록 끼움벽과 현장타설 철근콘크리트 끼움벽의 구조성능의 비교를 통하여 그 거동을 규명하고자 한다.

2. 전단벽의 전단강도식

2.1 ACI 318⁽¹¹⁾

ACI 318-02의 전단벽의 전단설계방법에서는 콘크리트의 기여분을 아래 두식에 의해 계산된 값 중작은 값을 적용하도록 규정하고 있다.

$$V_c = 3.3 \sqrt{f_{ck}} h d + \frac{N_u d}{4 l_w} \quad (1)$$

$$V_c = \left[0.6 \sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w (1.25 \sqrt{f_{ck}} + \frac{0.2 N_u}{l_w h})}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] h d \quad (2)$$

여기서 N_u 는 벽체에 작용되는 계수 축하중으로 인장일 때 부(-)이고 $(M_u/V_u - l_w/2)$ 의 값이 부(-)일 때는 위 식을 적용할 수 없다.

수평 전단보강근의 기여분(V_s)은 다음 식(3)으로 산정된다.

$$V_s = \frac{A_s f_y d}{s} \quad (3)$$

전단벽의 공칭 전단강도는 식(1) 또는 식(2)에 의해 산정된 콘크리트 기여분과 식(3)에 의한 수평 전단보강근의 기여분의 합으로 산정된다.

ACI 규준의 내진설계를 위한 특별규정에서는 전단벽에 콘크리트의 압괴에 의한 취성적인 파괴를 방지하기 위하여 전단벽의 공칭 전단강도를 다음과 같은 값 이하가 되도록 규정하고 있다.

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f_{ck}} + \rho_n f_y) \leq 0.83 \sqrt{f_{ck}} h d \quad (4)$$



(a) 기둥 (b) 접합부

Fig. 1 지진피해 사례(골조)

2.2 AIJ 기준⁽⁶⁾

현행 AIJ 철근콘크리트 구조계산규준에서 전단벽의 전단강도는 다음 식(5)을 이용하도록 규정하고 있으며 $\rho_s \sigma_{sy}$ 가 $vf_{ck}/2$ 를 초과하는 경우 $\rho_s \sigma_{sy} = vf_{ck}/2$ 로 하도록 제안하고 있다.

$$V_u = t_w L_{ua} v \rho_s \sigma_{sy} \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w L_{ua} v f_{ck} / 2 \quad (5)$$

$$\tan \theta = \sqrt{(h / L_{ua})^2 + 1} - h / L_{ua} \quad (6)$$

$$\beta = (1 + \cot^2 \phi) \rho_s \sigma_{sy} / (v f_{ck}) \quad (7)$$

여기서, σ_{sy} 는 벽체 전단보강근의 신뢰강도로 395 MPa 이하이며, t_w 는 벽체두께, ρ_s 는 벽체의 전단보강근비, ϕ 는 트러스 기구에서 압축지주의 경사각이며 $\cot \phi = 1$, L_{um} 및 L_{ub} 는 아치 및 트러스기구의 등가 벽체길이, v 는 콘크리트의 유효강도계수이다.

3. 끼움벽 공법

3.1 재생골재 블록 보강블록 끼움벽⁽⁴⁾

보강블록을 이용하여 보강블록을 조직하는 이 공법은 사회적으로 큰 문제가 되고 있는 건설 폐기물인 폐콘크리트를 블록으로 재활용이 가능하며 콘크리트 타

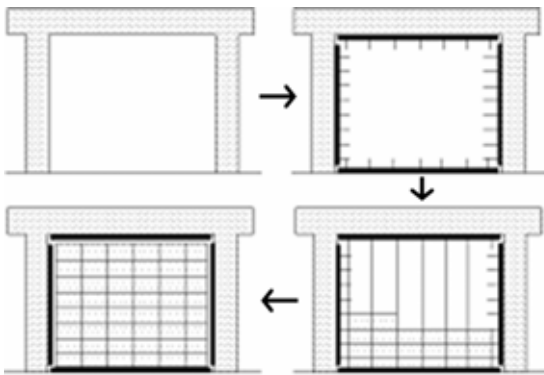


Fig. 2 재생골재 블록에 의한 보강방법

설 및 거푸집 작업이 별도로 요구되지 않는 경제적인 보강공법이다. 또한 건축물의 리모델링 과정에서 발생하는 소음 및 진동의 피해를 최소화함으로써 공사로 인한 주거환경의 피해를 줄일 수 있다.

재생골재 블록의 증설방법은 Fig. 2와 같으며 철근 배근과 블록조적을 병행하여 끼움벽 보강 실험체를 제작하였다. 그리고 블록 끼움벽에 배근되는 철근은 기존 골조에 고정시킨 채널을 통해 배근함으로써 그 성능을 충분히 발휘할 수 있도록 하였다.

3.2 현장타설 끼움벽^{(3),(5)}

현장타설 끼움벽 공법은 기존 골조 내에 철근콘크리트 전단벽을 증설하여 기존 골조의 내진거동을 크게 향상시킬 수 있는 공법으로 국외에서는 그 성능이 입증되어 사용되고 있다. 그러나 현장타설에 따르는 시공적 어려움과 보강 기술에 따라 그 성능이 크게 좌우되어 이에 대한 보완연구가 계속적으로 이루어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 현장타설 끼움벽의 기존 골조와의 일체성 확보를 위하여 철근콘크리트 증설벽 시공지침⁽⁷⁾의 매립 앵커볼트 접착공법을 사용하였으며 기존 골조에 'ㄱ'자 프레임을 제작하여 이를 통해 벽 철근을 정착하였다. 벽체 경계면에는 스프링형 나선철근을 4면에 배근하여 콘크리트의 구속 및 벽체 응력 집중을 방지하는 역할을 하도록 하였다.



Fig. 3 현장타설 끼움벽 보강방법

4. 실험

4.1 실험체 계획

비내진 상세를 갖는 골조의 블록 끼움벽 및 현장타설 끼움벽의 구조성능을 실험적으로 규명하기 위하여 Fig. 4와 같이 3개의 실험체를 1/3 축소 제작하였다.

실험체는 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조(Lightly Reinforced concrete Frame, 이하 LRCF)와 기존 골조에 재생골재 콘크리트 블록 끼움벽으로 보강된 실험체(Block Unfilled Wall, 이하 BIW) 그리고 기존 골조에 현장타설 철근콘크리트 끼움벽으로 보강된 실험체(Cast-in-place Unfilled Wall, 이하 CIW)로써 실험체 상세는 Table 1과 같다.

Table 1 실험체 일람표

실험체명	벽두께 (mm)	축하중 (kN)	벽체			경계부재		
			lw×hw×t (mm)	ρv (%)	ρh (%)	B × D (mm)	ρv (%)	ρh (%)
LRCF	-	282	-	-	-	200×200	1.07	1.10
BIW	70	282	1,500×900×70	0.33	0.70	200×200	1.07	1.10
CIW	70	282	1,500×900×70	0.33	0.70	200×200	1.07	1.10

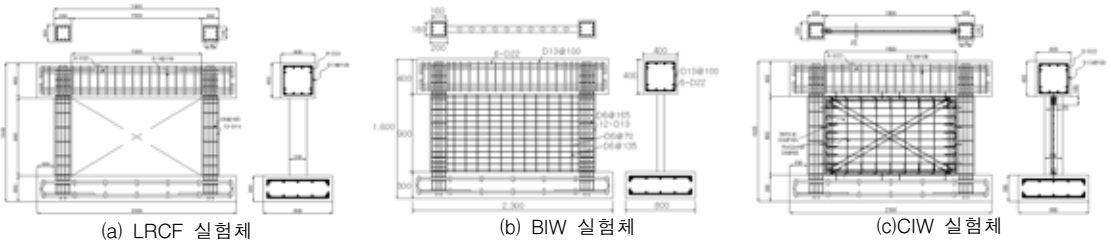


Fig. 4 실험체 배근도 (단위 : mm)

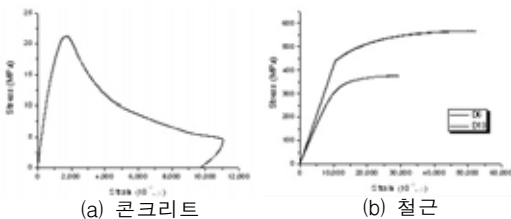


Fig. 5 재료의 응력-변형률 관계



Fig. 6 블록압축강도시험

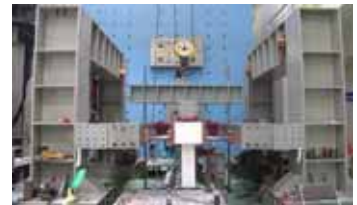


Fig. 7 실험체 설치상황

4.2 재료시험

실험에 사용된 철근 및 콘크리트 재료시험은 KS B 0802 및 KS F 2405의 규정에 따라 시험편을 제작하여 재료시험을 실시하였으며 재료시험 결과는 Fig. 5 및 Table 2와 같다. BIW실험체에 사용된 재생블록의 압축강도와 흡수율 시험은 GR F 4002의 품질기준에 따라 Fig. 6과 같이 재료시험을 실시하였으며 Table 3과 같이 그 기준에 적합한 것으로 나타났다.

Table 2 철근 및 콘크리트의 기계적 특성

철근	철근의 종류	항복강도, fy (MPa)	항복변형률, ey	인장강도, fu (MPa)	포아송비
		D6	291.19	0.0019	375.01
	D13	444.96	0.0022	568.59	0.29
콘크리트	28일 압축강도, fcu (MPa)	탄성계수, Ec (GPa)	극한변형률, eu	포아송비	
	21.23	21.92	0.00171	0.15	

Table 3 재생골재를 사용한 보강블록의 강도 및 흡수율

제품	성질	압축강도 (MPa)		흡수율 (%)	
		시험값	KS기준	시험값	KS기준
재생콘크리트 블록		10.18	8 이상	8.98	10 이하
재생콘크리트 벽돌		13.90	8 이상	9.14	10 이하

4.3 실험방법

실험체 설치상황은 Fig. 7에 나타낸바와 같으며 실험체에 축하중을 도입하기 위하여 반력바닥 하부에 설치된 두 대의 1500kN 용량의 오일잭을 사용하여 경계부재 상부에 $0.1f_{ck}$ 의 하중을 실험 종료 시까지 일정하게 가력하였다. 실험체의 수평하중은 실험체에 맞추어 제작한 가력철물을 통하여 반력벽에 설치된 1000kN 용량의 액츄에이터로 반복 가력하며, 이때의 변위 이력은 동일 변위각에서 3회 반복하여 점증 가력하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 파괴양상

Fig. 8은 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조와 끼움벽체의 파괴양상을 비교하여 나타낸 것이다.

LRCF 실험체의 경우 부재회전각 0.002 rad.에서 경계부재 하부에 초기 휨균열이 발생되었으며, 하중이 증가됨에 따라 부재 회전각이 증가하여 경계부재의 휨균열은 상부로 점차 진전되는 양상을 보였다. 특히, 극한하중 이후 하중이 감소하여 0.015 rad.에 이르러 경계부재에서 균열이 상부로 진전되었고 피복 콘크리트가 박리되면서 균열 폭이 증가하여 최종 파괴되는 양상을 보였다.

BIW 실험체의 경우 부재회전각 0.002 rad.에서 증설벽체에서 초기 사인장 균열이 발생하였다. 하중이 증가됨에 따라 부재의 회전각이 증가하여 증설벽체 전체로 균열이 확산되었고 경계부재의 인장 측에 균열이 발생하였다. 부재회전각 0.01 rad. 도달 시 증설벽체

의 피복이 계면을 따라 집중적으로 박리되기 시작하였으며, 부재 회전각이 0.015 rad.에 이르러 경계부재의 주근이 좌굴하여 피복박리가 발생하였고 균열폭이 증가하면서 파괴되는 양상을 보였다.

CIW 실험체는 부재회전각 0.002rad.에서 벽-기둥 접합부 부분과 기둥 단부에 초기 휨균열이 발생하였다. 변위각 0.003rad.에서 벽체에 초기 균열이 발생하였으며 변위가 증가할수록 균열이 확대되어 회전각 0.005rad.에서 벽체에 사인장 균열이 발생하였다. 부재회전각 0.02rad.로 제어 시 벽과 기둥의 부착강도가 급격히 저하되며 최대하중이 감소하기 시작하였다. 0.03 rad.에서 기둥 상부의 피복 박리가 발생하였고 균열 폭이 점차 증가하며 최종 파괴되는 양상을 보였다.

5.2 하중-변위 관계 및 강성 분석

Fig. 9는 실험체 별 하중-변위 관계 곡선을 나타낸 그림이다. Fig. 9(a)에서 나타난 바와 같이 LRCF 실험체의 경우 최대하중이 140.73kN으로 나타났으며 최대하중 이후 완만한 내력감소를 보이고 있었다. 또한, Fig. 9(b)에서 나타난 바와 같이 BIW 실험체의 최대하중은 189.82kN으로 나타나 무 보강 실험체인 LRCF 실험체에 비해 각각 35 %의 내력증가를 보였다.

CIW 실험체의 경우에는 내력의 향상이 두드러지게 나타났는데, LRCF 실험체의 최대하중과 비교하여 3.8배 증가하였으며 같은 철근비와 같은 벽 크기를 갖는 BIW 실험체와 비교하여도 2.8배 증가하여 현장타설 끼움벽에 의한 보강공법의 성능이 매우 우수한 것을 알 수 있었다.

Table 4 끼움벽체의 변위연성 및 강도실험결과 비교

실험체	V_y (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	R_y (rad.)	ID (%)
LRCF	55.9	139.9	1.34	9.09	6.77	0.0015	2.1
BIW	81.0	189.8	0.9	10.8	8.33	0.001	3.8
CIW	141.7	528.4	0.45	9.00	20.00	0.0005	2.9

V_y :항복하중, V_{max} :최대하중, Δ_y :항복변위, Δ_u :최대변위, $\mu = \Delta_u/\Delta_y$:변위 연성비, R_y :항복부재각, ID :층간변위비

Fig. 9는 실험체별 강도 저하곡선 ACI 및 AIJ의 일반 전단벽 규준식과 비교하여 나타낸 것이다. CIW 실험체의 경우 일반전단벽 규준식보다 크게 향상된 내력을 확보하는 반면 BIW 실험체는 조적조이기 때문에 기준식 적용 시 유효율이 필요할 것으로 판단되었다.

Fig. 11은 각 실험체 별 강성저하특성을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 LRCF 실험체의 초기 강성은 37kN/mm이며, 극한내력시 강성은 14kN/mm로 초기강성에 비해 약 62% 감소하는 것으로 나타났

다. BIW 실험체의 경우 초기강성은 141kN/mm으로 무보강 실험체에 비해 3.8배 증가하였으며 극한하중시 강성은 18kN/mm로 초기강성의 12%를 나타내었다. CIW 실험체의 경우 초기강성은 245kN/mm으로 무보강 실험체에 비해 6.6배, BIW 실험체에 비해 1.7배 크게 나타났으며 극한하중시 강성은 58kN/mm로 초기강성의 24%를 나타내었으며 무보강 실험체에 비해 4배 증가하였다.

5.3 에너지 소산능력



Fig. 8 최종 파괴양상

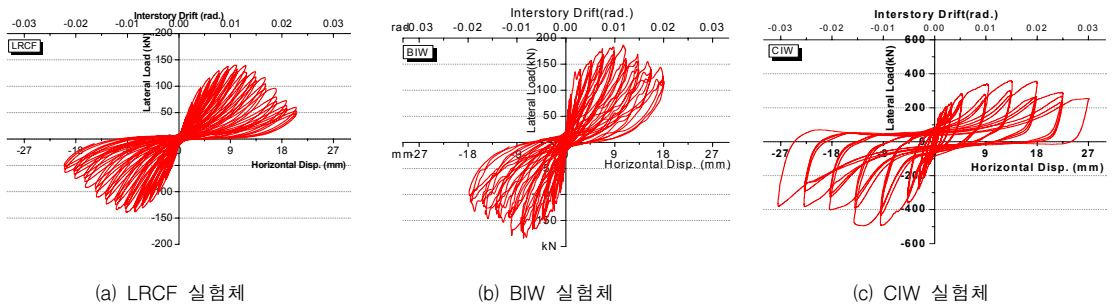


Fig. 9 하중-변위 관계 곡선

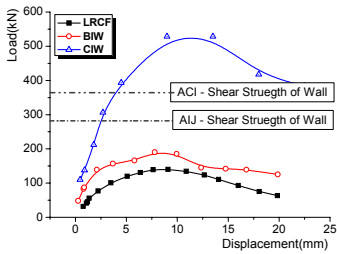


Fig. 10 실험체별 강도저하

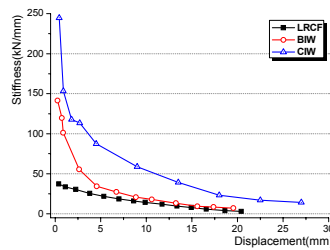


Fig. 11 실험체별 강성저하

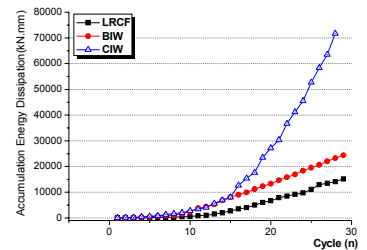


Fig. 12 누적 에너지 소산면적

시험체별 누적된 에너지 소산면적을 나타낸 Fig 12를 보면 최대 에너지 소산면적은 LRCF 실험체의 경우 15,119kN·mm를 나타냈으며 BIW와 CIW는 각각 24380kN·mm, 71691kN·mm를 나타내었다. LRCF 실험체의 경우 기둥 및 보 만이 하중에 저항할 수 있어 에너지 소산능력이 상대적으로 낮게 나타났으며 BIW는 CIW 실험체에 비교하여 3배가량 낮게 나타나 콘크리트 일체 타설에 비하여 블록 조적조 끼움벽의 에너지 소산능력이 크게 저하됨을 알 수 있다.

5.4 철근 변형률

Fig. 13은 각 실험체의 기둥 단부 철근 최대 변형률을 비교하여 나타낸 것이다. 순수골조인 LRCF 실험체의 경우 하중이 가해지는 WV4의 변형률이 1.68×10^{-3} 으로 가장 크게 나타났으며 기둥 안쪽의 변형률과 기둥 바깥쪽 변형률의 차이가 큰 편으로 나타났다. 조적 끼움벽인 BIW 실험체는 전체적인 철근 변형률이 다른 실험체에 비하여 높게 나타났으며 LRCF와 마찬가지로 WV4의 변형률이 2.14×10^{-3} 으로 가장 컸

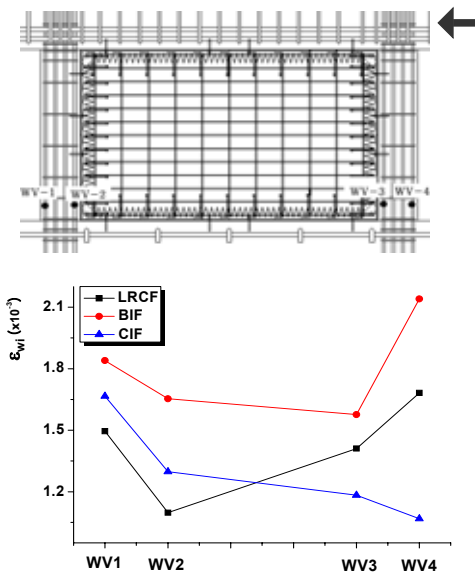


Fig. 13 최대내력시 기둥 주근의 변형률

다. CIW 실험체는 WV4의 변형률은 1.06×10^{-3} 으로 상대적으로 적게 나타났으며 WV1이 1.66×10^{-3} 으로 가장 크게 나타났다.

다른 구조의 끼움벽을 설치한 BIW와 CIW 실험체의 철근변형률은 BIW가 전체적으로 30% 가량 높게 측정되어 CIW 실험체에 비하여 BIW 실험체는 골조가 부담해야 하는 내력의 비중이 큰 것으로 판단되었다.

6. 결론

기존 골조의 내진성능 향상을 위하여 재생 세골재 끼움벽과 현장타설 끼움벽의 내진 보강 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실험체별 항복강도는 LRCF 실험체에 비하여 BIW 실험체는 1.5배의 증가율을 보였으며 CIW 실험체는 2.5배의 증가율을 나타냈다. 또한 극한강도는 LRCF 실험체에 비하여 BIW 실험체는 1.4배 증가하였으며 CIW 실험체는 3.8배가 증가하여 끼움벽에 의한 강도향상이 우수한 것으로 나타났다. 특히 현장타설 끼움전단벽의 경우 항복 이후에도 강도가 계속하여 상승하며 극한하중 이후에도 급격한 파괴양상을 보이지 않으며 안정적인 거동을 보였다.
- 2) 각 실험체의 누적 에너지 소산면적을 비교한 결과 LRCF 실험체에 비하여 BIW실험체는 1.6배의 증가율을 나타냈으며 CIW 실험체와 비교하여 4.7배의 증가율을 나타내 끼움벽 증설시 에너지 소산면적도 크게 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 각 실험체의 변위연성비를 비교하여 보면 LRCF 실험체는 6%, BIW 실험체는 8%의 연성비를 보이나 CIW실험체의 경우 20%의 변위 연성비를 보여 구조체에서 현장타설 끼움벽으로 보강할 경우 연성적인 거동이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) ACI 및 AIJ의 일반 철근콘크리트 내진벽의 전단 강도와 실험결과를 비교한 결과 CIW 실험체는 매우 안정적으로 거동하였다. 그러나 BIW 실험체와의 비교는 철근콘크리트 규준식과 조적 실험체이기 때문에 무리가 있을 것으로 사료되며 이에 따른 유효율의 세밀한 검토가 향후 필요할 것으로 판단된다.

- 5) 실험체 기둥 단부 동일위치에서의 철근변형률을 비교한 결과 BIW 실험체의 철근 변형률이 CIW 실험체에 비해 30% 가량 높게 나타나 조적 끼움골조의 경우 골조가 부담하는 내력의 비중이 큰 것으로 판단된다.
- 6) BIW 실험체는 LRCF 실험체에 비하여 강도 및 강성, 에너지소산능력 등 대부분의 구조성능 관련 지표에서 향상된 성능을 보였으나 조적 구조의 단점으로 인하여 CIW 실험체와 같이 크게 증가하지는 않았다.
- 7) CIW 실험체의 경우 기존 골조와 비교하여 일반적으로 강도는 3~5배가량 증가하며 강성이나 연성비에서도 크게 향상된 성능을 볼 수 있었다. 따라서 현장타설 철근콘크리트 끼움벽에 의한 보강방법은 내진성능을 크게 향상시킬 수 있는 합리적인 보강공법으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단의 2004 목적기초연구사업(과제번호: R05-2004-000-11136-0)과 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2004 건설핵심기술연구 개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 윤현도, 최창식, “고강도 콘크리트 전단벽의 전단강도”, 대한건축학회논문집, 제19권 5호, 2003, 05월, pp 53-60.
2. 정수영, 윤현도, 한병찬, 박완신, 박우철, “현장타설 끼움벽체로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 비선형 해석”, 대한건축학회논문집, 제 19권 2호, 2003, 02월,

- pp.41-47
3. 최창식, 윤현도, 김재건, 한병찬, 김선우, 이혜연, “개구부가 있는 현장타설 끼움벽의 내진성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제24권 2호, 2004, 10월, pp.167-170
4. 김선우, 이갑원, 박완신, 한병찬, 최창식, 윤현도, “재생골재 콘크리트 보강블록을 이용한 증설벽의 구조성능”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 1호, 2004, 04월, pp.11-14.
5. 최창식, 윤현도, 한병찬, 김선우, 이혜연, “현장타설 끼움벽으로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 내진 거동”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제16권 2호, 2004, 11월, pp.453-456.
6. (財)日本建築學會, “鐵筋コンクリート構造計算基準同解説”, 1998
7. (財)日本建築總合試験所構造部, “鐵筋コンクリート増設壁耐震補強設計及び施工指針”, 2001.
8. Altin, S., Erosy, U., and Tankut, T., “Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills”, Report No. METU/SML-90/01, Civil Engineering Dept., Middle East Technical University, Ankara, Turkey, June, 1990.6.
9. L. F. Kahn, R. D. Hanson, “Infilled Walls for Earthquake Strengthening”, Journal of the Structural Division, 1979, pp.283-297
10. S.Sugano, “Guidelines For Seismic Retrofitting (Strengthening, Toughening and/or Stiffening), Design of Existing Reinforced Concrete Buildings”, Proceedings of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, Michigan, May 1981, pp.189-246.
11. ACI Committee 318 (2002), “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318 R-02)”, American Concrete Institute, Michigan.

(접수일자 : 2005년 3월 23일)