

기존 골조의 내진성능 향상을 위한 철근콘크리트 현장타설 끼움벽의 보강성능 평가

Evaluation on Seismic Performance of Existing Frame retrofitted with RC CIP Infill Walls

김선우* · 윤현도** · 김윤수*** · 지상규***

Kim, Sun Woo · Yun, Hyun Do · Kim, Yun Su · Ji, Sang Kyu · Lee, Min Jung

Abstract

A reinforced concrete (RC) cast-in-place (CIP) infill wall retrofitting method may provide an improved seismic performance and economical efficiency for the non-ductile Rahmen structures. In this study, four one story-one bay non-ductile frame were constructed and retrofitted with CIP infill wall to evaluate seismic performance of CIP infill wall-frame. From the test results, infill wall-frame exhibited a marked increase in shear strength compared to non-ductile RC frame specimen. But the ductility and story-drift at maximum load were decreased when shear strength of infill wall larger than that of existing RC frame. Therefore, it is confirmed that adequate reinforcement detail is required to assure sufficient seismic performance.

key words : RC CIP Infill wall, Shear strength, Ductility, Energy dissipation capacity

1. 서 론

현행 내진규정¹⁾은 구조물이 설계하중(Design load) 및 내진상세를 확보하여 연성적 거동 및 최대변위 제한조건을 만족함과 동시에 강진시 먼저 보에 소성힌지가 형성(강한 기둥-약한 보)됨으로써 바람직한 에너지 소산기구가 형성되도록 요구하고 있다. 특히 2006년 5월 건축법이 개정되면서 이러한 내진성능에 대한 요구가 크게 강화되었으나, 현재와 같은 내진설계가 규정된 1989년 이전에 지어진 철근콘크리트 라멘구조의 경우 내진설계의 요구조건을 충족하지 못하는 실정이다. 현재 지진이 빈번하게 발생되고 있는 일본의 경우 실제로 적용된 공법 중 끼움벽 보강, 철근콘크리트 기둥의 보강, 날개벽 추가보강 등이 대부분을 차지하고 있는 것으로 보고²⁾되고 있으며, 이 중 가장 널리 사용되고 있는 끼움벽 보강공법의 경우 끼움벽 강도 및 배근상세, 골조와의 접합부 강도특성에 따라 끼움벽 보강골조의 횡강성 증가와 최대 횡변위 제어효과 등이 상이하게 나타난다.

2. 연구범위 및 목적

본 연구에서는 비내진 상세를 갖는 골조에 철근콘크리트 현장타설 끼움벽으로 보강된 골조의 내진성능을 일반적으로 건축물에 필연적으로 사용되는 창문형 개구부를 변수로 하여 실험적으로 평가하고, 기존 끼움벽 보강골조에 대한 연구결과와 비교·분석함으로써 현행 내진규정 충족 및 경제적인 끼움벽 보강시스템 개발을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 충남대학교 건축공학과 · 박사과정 · E-mail : cong123@cnu.ac.kr
** 정회원 충남대학교 건축공학과 · 교수
*** 충남대학교 건축공학과 · 석사과정

3. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 끼움벽에 의한 비내진상세 골조의 내진보강 효과를 실험적으로 규명하기 위하여 그림 1 및 표 1과 같이 기존 골조 1개 및 개구부 유무를 변수로 2개의 끼움벽 골조 등 총 3개의 실험체를 계획하였다. 모든 실험체는 1/3 축소모델로 제작하였으며, 기둥의 횡보강근량 및 배근간격을 현행 내진규정 이전의 배근상세에 준하였다. 끼움벽 보강시 기존 골조와 끼움벽의 일체화를 위하여 프레임을 제작하여 앵커(ρ_a : 0.32%)로 고정하였다. 사용된 콘크리트의 압축강도는 1980년대 건축물에 가장 널리 사용된 21MPa로 계획하였으며, 철근 및 콘크리트의 강도특성은 표 2 및 3에 나타난 바와 같다.

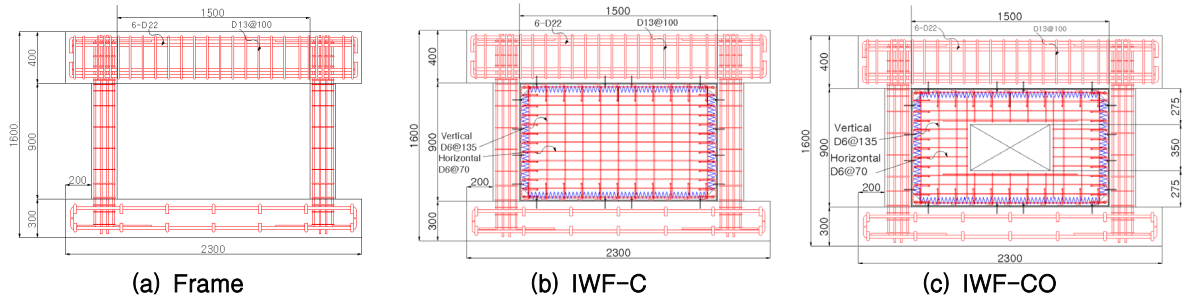


그림 1. 실험체 배근상세

표 1. 실험체 계획

Specimen	Column (Frame)*						Wall*						
	B × D (mm)	f_{ck} (MPa)	ρ_v (%)	ρ_h (%)	ϕ	N (kN)	$l_w \times h_w \times t$ (mm)	f_{ck} (MPa)	ρ_v (%)	ρ_h (%)	ρ_a (%)	ϕ	A_o (mm ²)
Frame							—	—	—	—	—	—	—
IWF-C	200×200	21	3.81	0.36	D13	282.2	1,500×900×70	21	0.33	0.70	0.32	D6	—
IWF-CO													0.39

* f_{ck} :콘크리트 압축강도, t_w : 벽두께, N: 축하중, B×D: 골조의 기둥단면, ρ_v :수직철근비, ρ_h :수평철근비, ρ_a :앵커근비,

ϕ :철근직경, A_o :개구부 면적비($\sqrt{\text{개구부 면적/벽체 면적}}$)

** IWF-CD/O : Infill Wall-Frame-CD/O(CIP Diagonal reinforcement/Opening)

표 2. 철근의 기계적 특성

Rebar	f_y (MPa)	ϵ_y (%)	f_u (MPa)	Poisson's ratio	Elongation (%)
D6	291.19	0.19	375.01	0.28	13.1
D13	444.96	0.22	568.59	0.29	15.8

표 3. 콘크리트의 강도특성

	f_{cu} (MPa)	ϵ_{cu} (%)	E_c (GPa)
Concrete	21.23	0.171	21.46

4. 실험결과 및 분석

4.1 끼움벽 보강 골조의 내진성능 평가

그림 2 및 3은 각 실험체의 하중-변위 관계 곡선 및 강성저하특성을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 2에 나타난 바와 같이 Frame 실험체의 경우 최대하중이 140.73kN으로 나타났으며 최대하중 이후 1.55의 연성비를 보이는 등 완만한 내력감소를 보이고 있다. IWF-C 실험체의 최대하중은 각각 495.26kN으로 나타나 Frame 시험체에 비해 252% 높게 나타났으나, 끼움벽 신설로 인해 1.32의 연성을 나타내는 등 보강으로 인한 취성적 파괴특성을 보였다. 개구부가 설치된 IWF-CO 실험체는 422.55kN의 최대내력을 보여 개구부가 없는

IWF-C 실험체에 비해 14.68% 낮은 것으로 나타났으며, 개구부 주변의 부분적 균열패턴으로 인해 1.19의 연성능력을 보이는 등 횡하중에 매우 취약한 것으로 나타났다. 또한 그림 3에 나타난 바와 같이 개구부 모서리 부분의 대각균열로 인해 층간변위 0.5%에서 강성이 급격히 감소하였으며, 이로 인해 에너지소산특성도 IWF-C 실험체에 비해 50%에 가까운 감소를 보였다. 일반적인 건축물에 필요한 창문 등과 같은 개구부는 구조물의 내진성능 및 내진보강효과를 저감시키는 결과를 가져올 것으로 판단되며, 본 연구에서와 같은 끼움벽 설치시 내진성능을 충분히 확보하기 위한 개구부 보강 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 각 실험체의 강도, 변위, 강성, 연성, 에너지소산능력 등 실험결과를 정리하여 표 4에 나타내었다.

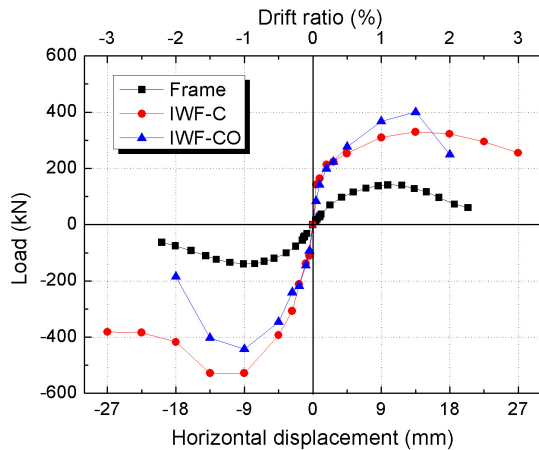


그림 2. 하중-변위 관계곡선

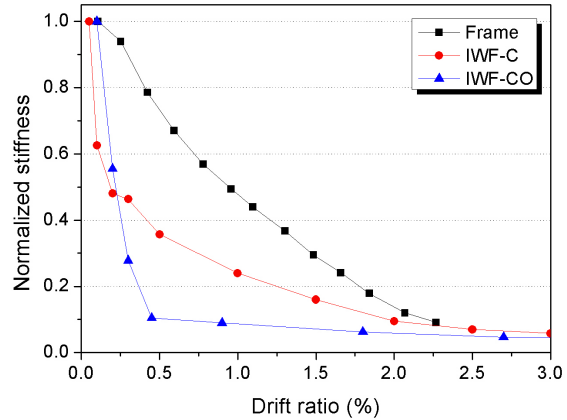


그림 3. 강성

표 4. 실험결과

실험체명	항복하중			최대하중			연성	누적에너지 소산능력 (kN · m)
	하중 (kN)	변위 (mm)	강성 (kN/mm)	하중 (kN)	변위 (mm)	강성 (kN/mm)		
Frame	55.88	1.34	41.70	140.73	9.88	15.38	1.55	12,485
IWF-C	141.68	0.45	314.84	495.26	8.44	58.68	1.32	57,199
IWF-CO	83.32	0.45	185.15	422.55	8.59	49.17	1.19	28,548

4.2 기존 연구와의 비교 · 분석

실험 결과 끼움벽 보강시 개구부 설치에 따라 끼움벽 보강 골조의 내력, 연성, 에너지소산능력 등 내진성능이 상이하게 나타났으며, 실험결과를 기존 연구결과와 비교함으로써 기존 골조와 신설 끼움벽간의 관계를 규명하고자 하였다. 이를 위해 기존 골조의 내진보강에 관한 Hayashi³⁾, Sugano⁴⁾, Higashi⁵⁾ 등의 실험결과 중 현장타설 끼움벽(CIP infill wall)으로 보강된 골조에 관한 실험결과를 비교하여 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 기존 골조에 대한 끼움벽의 전단내력비에 따른 끼움골조의 전단내력을 기존 골조의 전단강도로 무차원화하여 각 연구자별로 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 기존 골조에 비해 끼움벽의 전단내력이 높아질수록 끼움벽 골조의 전단강도는 향상되는 것으로 나타났으나, 그림 4(b)와 같이 끼움벽의 기존 골조에 대한 전단내력비가 증가함에 따라 최대전단내력시 층간변위는 감소하는 것으로 나타났다. 특히 기존 골조에 대한 끼움벽의 전단내력비가 1.0을 넘어서부터 기존 골조의 연성능력이 50% 이상 손실되는 것으로 나타나 콘크리트 끼움벽을 이용한 기존 골조의 내진보강시 구조물의 연성능력 확보 및 최대변위 제한조건을 만족하기 어려울 것으로 판단되었다. 기존 실험결과를 분석한 결과, 끼움벽으로 저층부 골조를 보강할 경우, 보강된 구조물의 연성능력 확보 및 최대변위 제한조건을 만족시키기 위해서는 기존 골조에 대한 끼움벽의 전단내력비가 1.0 이하로 되도록 설계하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 특히 본 실험결과에서 나타난 바와 같이 지진과 같은 횡하중 하에서 소요내진성능을 충족시키기 위해서는 개구부와 같이 벽체의 전단

성능을 저하시키는 요소를 설치시에는 이에 대한 보강대책이 우선적으로 강구되어야 할 것으로 사료된다.

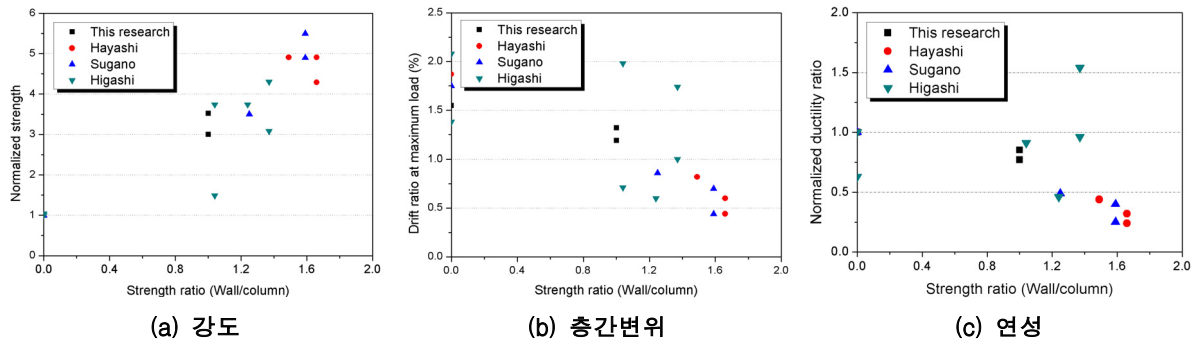


그림 4. 기둥에 대한 끼움벽 강도비에 따른 강도 및 층간변위 비교

5. 결 론

- 1) 끼움벽으로 보강된 골조의 전단내력은 보강 전에 비해 현저하게 증가하는 것으로 나타났으나 최대강도 이후 벽체 경계면의 부착강도가 저하되면서 골조 기둥 상부에 집중적인 손상이 발생되었다. 또한, 끼움벽에 개구부를 설치한 경우에는 개구부 양 옆 날개벽의 전단파괴가 두드러지게 나타나 구조물의 내진성능을 저하시킬 것으로 예상되어 기존 골조의 손상방지 및 지연을 위한 적정 접합부 상세뿐만 아니라 개구부 설치를 위한 개구부 보강기법에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.
- 2) 기존 골조의 내진보강에 관한 기존 연구결과 중 CIP 끼움벽으로 보강된 골조에 관한 실험결과를 본 연구의 실험결과와 비교한 결과, 기존 골조에 대한 끼움벽의 전단내력비가 1.0 이상시 끼움벽 골조의 연성능력이 순수 골조에 비해 50% 이상 손실되었으며, 최대내력시 층간변위도 감소하였다. 따라서 기존 골조의 내진보강시 구조물의 전단내력 증가뿐만 아니라, 연성능력 확보 및 최대변위 제한조건을 만족시키기 위해서는 기존 골조에 대한 보강 끼움벽 설계시 소요내진성능에 필요한 배근상세가 고려되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며, 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-311-D00916).

참고문헌

1. 대한건축학회 (2005). "건축구조설계기준"
2. Sugano, S. (1981). "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, pp. 189-246.
3. M. Hayashi and K. Yoshinaga (1994). "An experimental study of practical application of composite structures of a frame and an earthquake-resistant wall", Synopses of the conference of architecture institute of Japan, AIJ, Tokyo (Japan), pp.1617 - 1618.
4. Sugano S. (1980). "Aseismic strengthening of existing reinforced concrete buildings, Proceedings of the first seminar on repair and retrofit of structures. US/Japan Cooperative Earthquake Engineering Research Program.
5. Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y. (1981). "Experimental Studies on Retrofitting of Reinforced Concrete Structural Members", Proceedings of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp.126-155.