

현장끼움벽으로 보강된 철근콘크리트 골조의 비선형 유한요소해석

A Nonlinear Finite Element Analysis to Reinforced Concrete Frame Retrofitted with Cast-In Plate Infilled Shear Wall

한민기* 이해연** 김선우*** 이갑원**** 최창식***** 윤현도*****

Han, Min Ki Lee, Hye Yeon Kim, Hyo Jin Lee, Kab Weon Choi, Chang Sik Yun, Hyun Do

ABSTRACT

This paper discussed finite element method(FEM) models of the reinforced concrete frame retrofitted with cast-in plate infilled shear wall and analysed under constant axial and monotonic lateral load using ABAQUS. Detailed finite element models are created by studying the monotonic load response of the designed connection of reinforced concrete frame and cast-in plate infilled shear wall. The developed models account for the effect of material inelasticity, concrete cracking, geometric nonlinearity and bond-slip of steel, frame and infilled shear wall. In order to verify the proposed FEM, this study behaved analysis considered a diagonal reinforced steel. The analytical results compared with the experimental results.

1. 서론

현장타설(Cast-in place, 이하 CIP) 끼움벽 공법은 기존 건축물의 골조 내에 철근콘크리트 전단벽을 증설하여 건축물의 강도 및 강성을 크게 향상시키는 공법이나 매립앵커볼트와 나선형 할열방지 철근 등 골조와 끼움벽 사이의 상호 인자들에 의해 골조와 끼움벽의 경계면의 응력전달 및 변형 메커니즘을 분석하기가 매우 어렵기 때문에 끼움벽 구조의 거동은 아직까지도 그 거동이 완벽하게 규명되지 않았다. 또한, 이에 대한 해석모델이 구축되어 있지 못하므로 끼움벽의 거동에 대한 연구는 대부분 실험적 연구에 의존하였다.

그러므로 본 연구에서는 범용 비선형 유한요소 해석프로그램인 ABAQUS 6.5¹⁾를 이용하여 이러한 CIP 공법으로 보강된 철근콘크리트 골조의 거동 및 내력평가에 대한 유한요소해석(Finite element analysis, 이하 FEA)을 수행하여 해석모델을 개발하고 이를 실험 자료를 통해 검증함으로써 제안된 해석모델의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 선정 시험체

2.1. 개요

본 연구에서는 CIP 공법으로 보강된 철근콘크리트 골조에 대한 해석모델을 구축하기 위해 기존의

*정회원, 충남대학교 대학원, 석사과정

**정회원, 대전대학교 대학원, 석사과정

***정회원, 충남대학교 대학원, 박사과정

****정회원, 대한주택공사 대전충남본부 건설관리팀장, 부장

*****정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*****정회원, 충남대학교 건축학부 교수, 공학박사

본 연구는 2005년도 한양대학교 일반연구비 지원 연구의 일부임.

표 1. 시험체 일람표

시험체명	콘크리트 압축강도 f_{ck} (N/mm ²)	철근 항복강도 f_y (N/mm ²)		기둥 두께 (mm)	벽두께 (mm)	축하중 (kN)	벽체			경계부재		
		D6	D13				$l_w \times h_w \times t$ (mm)	ρ_v (%)	ρ_h (%)	$B \times D$ (mm)	ρ_v (%)	ρ_h (%)
Frame	21.23	291.19	444.96	70	70	282.24	-	-	-	200×200	0.38	0.15
CIP-1	21.23	291.19	444.96	70	70	282.24	1500×900×70	0.23	0.13	200×200	0.38	0.15
CIP-2	21.23	291.19	444.96	70	70	282.24	1500×900×70	0.22	0.14	200×200	0.38	0.15

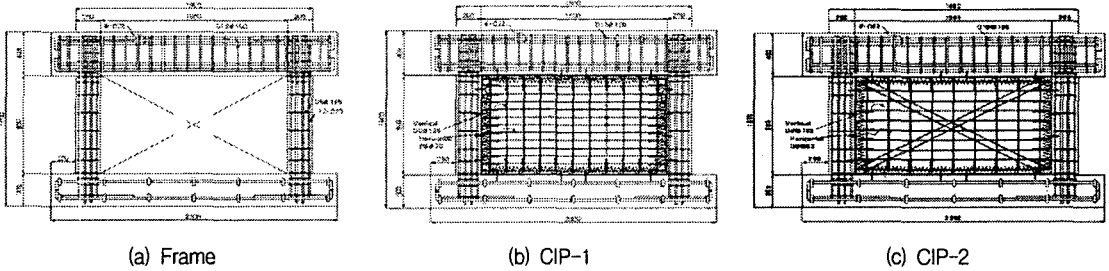
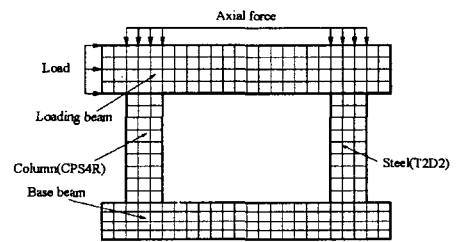


그림 1. 시험체 상세

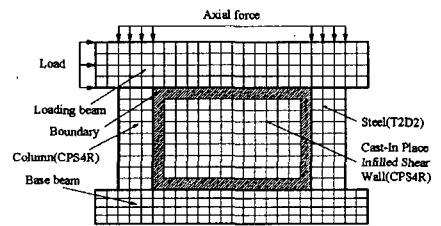
실험된 시험체를 선정하였다. 선정된 시험체는 2004년 한국 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집에 발표된 논문²⁾에 사용된 시험체로써 비내진 상세를 갖는 순수 골조로 제작된 Frame 시험체, 순수 골조에 대각선 철근이 없는 끼움벽이 보강된 CIP-1 시험체 및 끼움벽에 대각선 철근을 배근한 CIP-2 시험체이다. 시험체 일람표 및 상세는 각각 표 1 및 그림 1과 같다.

2.2 이상화

그림 2는 시험체의 이상화를 나타낸 것으로 철근콘크리트 골조 중 콘크리트는 평면응력 상태의 2차원 4절점 셀 요소(CPS4R)를 적용하였고, 철근은 트러스 요소(T2D2)로서 모델링하였으며, 철근과 골조 및 골조와 끼움벽의 부착-슬립을 고려하기 위하여 연결 요소(Connector element)를 사용하였다. 또한, 콘크리트의 재료 모델은 최대 강도 이후의 거동을 표현할 수 있는 “Concrete damaged plasticity” 모델을 이용하였고, 철근과 골조 및 골조와 끼움벽의 부착-슬립 관계식은 CEB-FIP 1990³⁾을 사용하였다. 지점은 고정단으로 가정하였으며, 최대강도 이후의 거동을 평가하기 위해 변위제어로 가력하였다.



(a) Frame



(b) CIP

그림 2. 이상화

3. 해석결과와 실험결과와의 비교·분석

본 연구에서는 CIP 끼움벽이 보강된 철근콘크리트 골조의 거동 및 강도 특성을 해석적으로 규명하기 위하여 CIP 끼움벽 및 대각선 철근을 변수로 비선형 유한요소해석을 수행하였으며, 해석 결과는 표 2 및 그림 3이다. 표 및 그림에서 나타난 바와 같이 실험값 및 해석에 의한 예측값을 비교하면 순수 골조로 제작된 Frame 시험체는 최대내력 및 최대내력시 변위가 해석에 의한 예측값이 실험값에 비해 11% 낮았지만, 초기 강성은 33% 높은 것으로 나타나 해석에 의한 예측값이 실험값을 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다. CIP 공법으로 보강된 시험체의 경우 순수 골조에 대각선 철근이 없는 끼움벽이 보강된 CIP-1 시험체는 최대내력이 해석에 의한 예측값이 실험값과 거의 일치하였으나, 최

표 2 해석 및 실험결과의 비교 · 분석

결과 시험체명	최대내력 V_{max} (kN)			최대내력에서의 변위 $disp.$ (mm)			초기 강성 $stiff.$ (kN/mm)		
	실험값 $V_{max(exp.)}$	해석값 $V_{max(anal.)}$	$V_{max(exp.)}/V_{max(anal.)}$	실험값 $disp.(exp.)$	해석값 $disp.(anal.)$	$disp.(exp.)/disp.(anal.)$	실험값 $stiff.(exp.)$	해석값 $stiff.(anal.)$	$stiff.(exp.)/stiff.(anal.)$
Frame	140.73	127.16	1.11	9.88	8.94	1.11	24.64	36.68	0.67
CIP-1	360.50	359.57	1.00	13.22	11.21	1.18	272.77	316.64	0.86
CIP-2	591.79	583.67	1.01	13.10	11.90	1.10	296.94	307.76	0.96

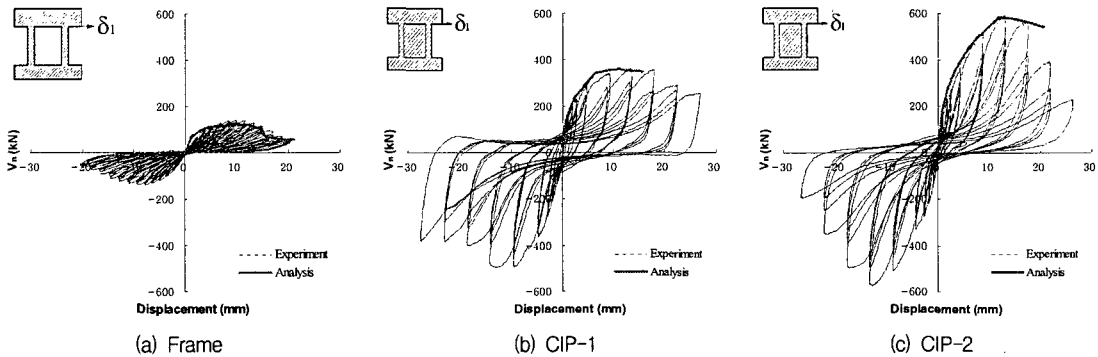
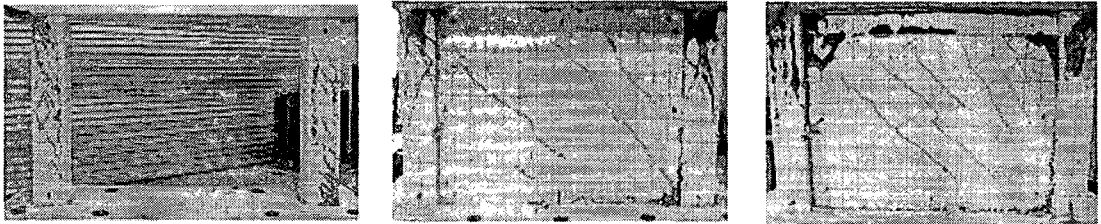
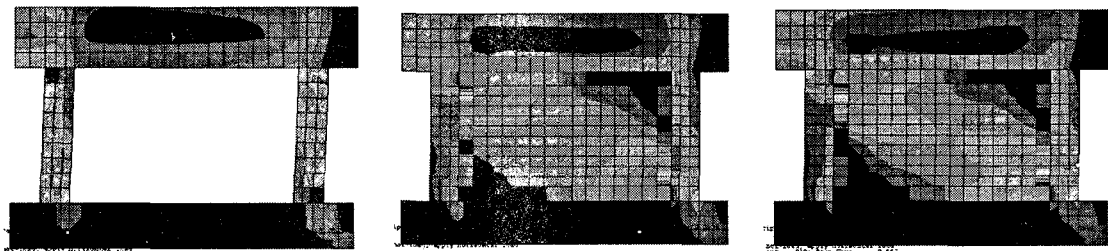


그림 3 하중-변위 관계 곡선



(a) Frame (b) CIP-1 (c) CIP-2
그림 4 실험체 파괴 형태



(a) Frame (b) CIP-1 (c) CIP-2
그림 5 Contour

대내력시 변위는 18% 정도 낮았고, 초기 강성은 14% 높았으며, 끼움벽에 대각선 철근을 배근한 CIP-2 시험체는 최대내력 및 최대내력시 변위가 해석에 의한 예측값이 실험값에 비해 각각 1% 및 10% 낮았지만, 초기 강성이 4% 높은 것으로 나타나 해석에 의한 예측값이 실험값을 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다. 다만, 해석에 의한 예측값이 CIP 공법의 보강 유무 및 대각선 철근의 보강 유무와 관계없이 최대내력시 변위는 낮고, 초기 강성은 높은 것으로 나타났는데, 이는 해석시 축력을 받

는 철근콘크리트 골조의 강성에 대해 과대평가하기 때문으로 사료된다.

이상의 실험결과에 대한 해석결과의 분석을 통하여 본 연구에서 제시된 CIP 공법으로 보강된 철근콘크리트 골조의 유한요소 해석 모델은 일정 축력과 횡력을 동시에 받는 경우 부재의 거동을 예측하는데 있어 유의성이 있는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구는 CIP 공법으로 보강된 철근콘크리트 골조에 대한 해석모델을 구축하기 위한 연구로 다음과 같은 결론 및 향후 연구방향을 얻었다.

- 1) 본 연구에서는 이상화시 철근콘크리트 골조 중 콘크리트는 평면응력 상태의 2차원 4절점 셀 요소(CPS4R)를 적용하였고, 철근은 트러스 요소(T2D2)로서 모델링하였으며, 철근과 골조 및 골조와 기움벽의 부착-슬립을 고려하기 위하여 연결 요소(Connector element)를 사용하였다. 또한, 콘크리트의 재료 모델은 최대 강도 이후의 거동을 표현할 수 있는 "Concrete damaged plasticity" 모델을 이용하였고, 철근과 골조 및 골조와 기움벽의 부착-슬립 관계식은 CEB-FIP 1990을 사용하여 실제 거동을 보다 근접하게 예측할 수 있었다.
- 2) 해석에 의한 예측값이 CIP 공법의 보강 유무 및 대각선 철근의 보강 유무와 관계없이 최대내력시 변위는 낮고, 초기 강성은 높은 것으로 나타났는데, 이는 해석시 축력을 받는 철근콘크리트 골조의 강성에 대해 과대평가하기 때문으로 사료된다.
- 3) 향후 리모델링시 요구되는 개구부를 갖는 벽체에 대한 해석 연구도 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 한국과학재단에서 시행한 2004년도 목적기초연구사업 지역대학우수과학자지원연구 「철근콘크리트 기움 전단벽을 갖는 비 내진 상세 골조의 내진성능」(과제번호 : R05-2004-000-11135-0) 연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. ABAQUS Theory Manual, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.
2. 이혜연 등, (2004), "현장타설기움벽으로 보강된 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 내진거동", 한국콘크리트학회 가을학술발표회, 제16권2호(통권 제31집), p.453~456
3. CEB-FIP model code 1990, design code.(1993), Thomas Telford, Lausanne, Switzerland.
4. 윤현도 등, (2005), "철근콘크리트 장방형 전단벽의 비선형 유한요소해석", 대한건축학회 논문집(구조계), 제21권(2), p.63~70
5. 한민기 등, (2004), "ABAQUS를 이용한 휨벽체의 비선형 유한요소 해석기법", 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제24권 제1호, p.137~140
6. 한민기 등, (2004), "철근콘크리트 벽체의 휨거동에 관한 비선형 유한요소해석", 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 제16권 제1호(통권 제30집). p.520~523
7. 한민기 등, (2004), "개구부 설치를 위한 인위적 손상을 입은 전단벽에 관한 비선형 유한요소해석", 한국콘크리트학회 가을학술발표회, 제16권 제2호(통권 제31집). p.429~432
8. 한민기 등 (2005), "패널 전단파괴형 복합 병렬 전단벽의 접합부의 비선형 유한요소해석", 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 제17권 제1호(통권 제32집). p.175~178
9. 한민기 등 (2005), "패널 전단파괴형 복합 병렬 전단벽 접합부 강도에 관한 해석적 연구", 한국구조물진단학회 봄 학술발표회, 제9권 1호, p.123~128