

# 조적채움벽이 있는 1/5 축소 3층 비연성 철근콘크리트 골조의 진동대 실험

## Shaking Table Tests of a 1/5 Scale 3-Story Nonductile infilled Reinforced Concrete Frame

이 한 선\*      우 성 우\*\*  
Lee, Han-Seon      Woo, Sung-Woo

### ABSTRACT

The objective of this research is to observe the actual response of low-rise nonseismic moment-resisting infilled reinforced concrete frame subjected to varied levels of earthquake ground motions. First of all, the reduction scale for the model was determined as 1 : 5 considering the capacity of the shaking table to be used. This model was, then, subjected to the shaking table motions simulating Taft N21E component earthquake ground motions, whose peak ground accelerations(PGA's) were modified to 0.12g, 0.2g, 0.3g, and 0.4g. The global behavior and failure mode were observed. The lateral accelerations and displacements at each story and local deformations at the critical portions of structure were measured. Before and after each earthquake simulation test, free vibration tests were performed to find the changes in the natural period of the model.

#### 1. 서론

국내건축물의 많은 부분을 차지하는 중·저층 철근콘크리트 구조물의 대부분은 내진설계 기준의 적용이 면제되어 있고 내진성에 대한 기술적인 연구나 검증이 부진한 상태이다. 특히, 이러한 구조물이 건축적이거나 미적인 이유로 조적채움벽이 사용되고 있으나 실제적으로 지진이 왔을 경우 조적벽의 구조물에 대한 기여도나 이런 건물들의 내진성능 및 지진에 대한 안정성에 관한 연구가 빈약한 실정이다. 본 연구는 우리나라에서 경찰서 건물로 사용되고 있는 3층 철근콘크리트 골조를 선택하여 이 구조물이 조적채움벽을 가졌을 때의 지진응답거동을 관찰하여 보았다. 지진모의실험에 사용된 진동대의 성능을 고려하여 1/5 축소모델을 제작하였으며 이 모델의 제작 방법은 참고문헌(2)를 참조하기 바란다. 또한 조적채움벽이 없는 경우의 지진모의실험 과정과 결과는 참고문헌(3)에 나타나 있으며, 조적채움벽이 있는 경우와 비교 관찰하여 보았다.

\* 정희원, 고려대학교 건축공학과 부교수

\*\* 정희원, 고려대학교 건축공학과 박사과정

## 2. 실험

### 2.1 실험모델과 실험장치 및 계기

본 연구를 위하여 결정된 실험모델은 기둥의 하단부에 겹침이음이 있고, 띠철근의 간격이 넓으며 접합부에 띠철근이 사용되지 않고 135° 내진후크를 사용하지 않아 전형적인 비내진 상세를 가지고 있다. 사용된 실험장치는 현대건설 기술연구소의 진동대 시스템이며 실험계측기기는 표 1에 나타낸바와 같이 비틀림 거동의 영향을 고려하여 각 층별로 변위측정기와 가속도계를 2개씩 사용하였으며, 1층 기둥의 중앙부에 로드셀을 설치하여 각 기둥별 층전단력을 측정하였고, 국부변형(소성힌지 부분의 회전각)을 측정하기 위해 16개의 변위측정기를 사용하였다. 또한 조적채움벽의 변형을 측정하기 위해 스트레인 게이지를 대각선 방향으로 사용하였다.

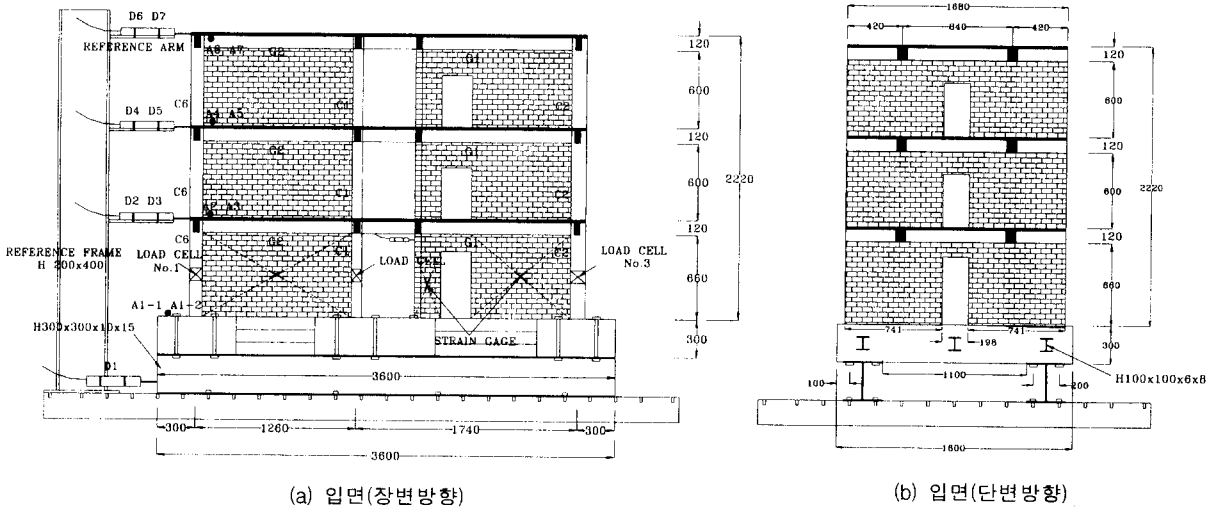


그림 1 실험모델의 상세 (단위 : mm)

표 1 계측기기의 개수

위치	층별변위 측정	가속도계	로드셀	국부변형 측정
기초	1 ea(D1)	2 ea(A1-1, A1-2)		6 ea(보의 회전각 측정)
2층 바닥	2 ea(D2, D3)	2 ea(A2, A3)	6 ea (기둥의 전단력)	10 ea(기둥의 회전각 측정)
3층 바닥	2 ea(D4, D5)	2 ea(A4, A5)		8 ea(조적조의 전단변형 및 비끄러짐)
옥상층 바닥	2 ea(D6, D7)	2 ea(A6, A7)		
계	7 ea	8 ea	6 ea	24 ea
총 채널 수 : 45 ea				

### 2.2 부가질량의 산정

본 연구에서는 하중 상사성 조건에 의해 축소율에 따라 실험모델에 부가하여야 할 질량을 아래의 표 2와 같이 산정하여  $W \times D \times L = 9\text{cm} \times 4\text{cm} \times 35\text{cm}$  (9.9kg/ea)의 철판을 설치하였다.

표 2 부가질량의 산정

	원형구조물의 하중 (ton)	실험모델의 하중 (ton)	부가질량 (ton)	철판으로 부가질량 사용 (35cm×9cm×4cm) (9.9kg/개)	
				개수	무게(ton)
1층	82.25 (벽체:30)	0.657 (벽체:0.225)	$(82.25+30) \times 1/25 - (0.657+0.225) = 3.6$ (벽체무게 포함시 약 3.6ton)	112×3 =336개	3.33
2층	81.39 (벽체:28)	0.65 (벽체:0.21)	$(81.39+28) \times 1/25 - (0.65+0.21) = 3.5$ (벽체무게 포함시 약3.5ton)	112×3 =336개	3.33
3층	81.39 (벽체:28)	0.65 (벽체:0.21)	$(81.39+28) \times 1/25 - (0.65+0.21) = 3.5$ (벽체무게 포함시 약3.5ton)	112×3 =336개	3.33
계	245 (벽체포함:331)	1.957 (벽체포함:2.602)	10.6 (벽체의 무게 포함시 약10.6ton 정도)	1008개	9.99

2.3 실험수행 프로그램

실험은 실험체의 동적특성을 알아보기 위한 자유진동실험(Free vibration test)과 지진모의실험(Earthquake simulation test)으로 나누어 실시하였으며, 지진모의실험 전과 후에 자유진동실험을 수행하여 지진에 의한 구조물의 동적특성의 변화를 살펴보았다. 지진모의실험을 위해서 사용된 지진파는 Taft N21E 성분이며 아래의 표 3에서 나타낸 바와 같이 입력지진파의 최고가속도의 크기를 조정하여 실시하여 주요부위에서의 변형을 계측하고 거동과 파괴양상을 관찰하였다.

표 3 실험수행 프로그램

실험명	실험의 종류	내용
FRV_1	자유진동실험	동적특성 계측
TFT_012	Taft N21E, PGA 0.12g	우리나라 내진설계 기준 지진
FRV_2	자유진동실험	동적특성 계측
TFT_02	Taft N21E, PGA 0.2g	우리나라의 최대지진 (Max. earthquake)
FRV_3	자유진동실험	동적특성 계측
TFT_03	Taft N21E, PGA 0.3g	우리나라에서 고려할 수 있는 최대지진
FRV_4	자유진동실험	동적특성 계측
TFT_04	Taft N21E, PGA 0.4g	강진, 비탄성 거동 파악
FRV_5	자유진동실험	동적특성 계측

3. 실험결과

3.1 고유주기

자유진동실험 결과를 토대로 실험모델의 각 단계별 지진입력실험 전과 후의 고유주기를 구해서 표 4에 나타내었고 그 변화를 그림 2에 나타내었다.

표 4 고유주기

실험명	진동수(Hz)	주기(Sec)
FRV_1	15.97	0.063
FRV_2	16.02	0.062
FRV_3	17.19	0.058
FRV_4	14.16	0.07
FRV_5	14.06	0.071

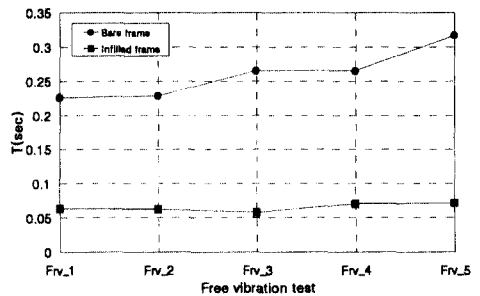


그림 2 고유주기의 변화

### 3.2 최대 층 변위와 층간 변위를 및 최대 층 가속도

표 5와 표 6에서는 각 단계별 지진입력가속도에서 3층에서의 변위와 가속도가 최대로 일어날 때의 각 층 변위와 층간 변위를 및 층 가속도를 나타내었다. 층간변위율을 비교해 보면 각 단계별 실험이 모두 우리나라 내진규준 허용 최대값인 1.5%를 넘지 않고 탄성범위내의 최대 허용값인 0.33%를 넘지 않아 탄성적으로 거동하고 있음을 알 수 있다.

표 5 최대 층 변위 및 층간 변위(3층에서의 변위가 최대로 일어날 때)

실험명	진동대 최대 가속도(g)	층	최대 층 변위(mm)	최대 층간 변위(%)
TFT_012	0.183	1	0.21	0.027
		2	0.42	0.029
		3	0.72	0.042
TFT_02	0.316	1	0.31	0.04
		2	1.07	0.106
		3	1.5	0.06
TFT_03	0.372	1	0.7	0.09
		2	1.5	0.111
		3	1.81	0.042
TFT_04	0.529	1	0.97	0.124
		2	2.32	0.188
		3	2.55	0.032

표 6 최대 층 가속도의 산정(3층에서의 가속도가 최대로 일어날 때)

실험명	진동대 최대 가속도(g)	층	최대 층 가속도(g)	동적 확대비
TFT_012	0.183	1	0.019	
		2	0.16	
		3	0.33	1.8
TFT_02	0.316	1	0.14	
		2	0.37	
		3	0.69	2.18
TFT_03	0.372	1	0.24	
		2	1.0	
		3	1.02	2.74
TFT_04	0.529	1	0.21	
		2	0.94	
		3	1.19	2.25

### 3.3 밀면전단력과 1층 층간 변위

그림 3은 각 단계별 밀면전단력(층관성력의 합)과 1층 층간 변위와의 관계를 비교해서 나타내었다. 그림 3(a)에서 보듯이 우리나라 현행 내진 설계 기준에서 예상하는 설계지진(0.12g)의 가속도에 대해서는 선형 탄성으로 거동하고 있는 것을 알 수 있으며 최대 밀면 전단력은 약 2.03t으로 나타나 만약 이 건축물이 내진설계되었다면 적용되었을 설계 밀면 전단력 0.47t의 약 4.3배 정도를 나타내고 있다. 최대 지진가속도 0.2g, 0.3g, 0.4g에 대해서는 최대 밀면 전단력이 각각 3.83t, 9.33t, 9.62t으로 나타났다.

### 3.4 유효무게에 대한 밀면 전단력의 비(V/W)의 비교

우리나라 내진 설계 기준에서의 유효무게에 대한 밀면 전단력의 비(V/W)를 살펴보면 다음과 같다.

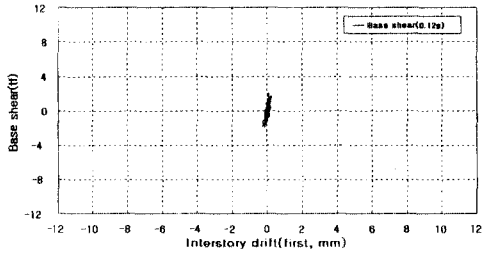
$$V/W = \frac{AISC}{R} = \frac{(0.12)(1.0)(1.39)}{4.5} = 0.037$$

$$(T = 0.23 \times \sqrt{5} = 0.514, C = \frac{1}{1.2\sqrt{T}} = 1.162 \leq 1.5, S = 1.2 SC = 1.39 \leq 1.75 \quad \therefore SC = 1.39)$$

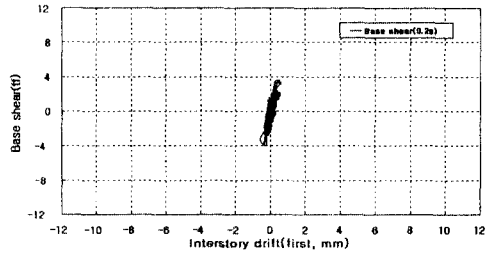
여기서 V : 밀면 전단력, W : 유효무게, A : 지역계수, I : 중요도계수, S : 지반계수

C : 동적계수, T : 고유주기, R : 반응수정계수

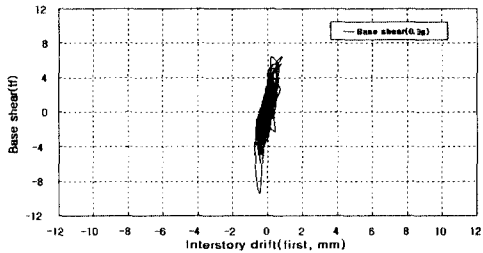
표 7에서는 각 단계별 실험에서 얻어진 유효무게에 대한 밀면 전단력의 비를 나타내었으며 우리나라 내진설계기준에서의 설계지진계수 0.037과 비교해 보면 훨씬 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.



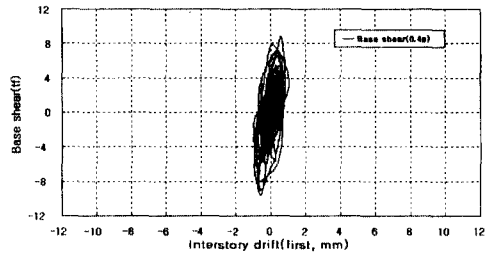
(a) TFT\_012



(b) TFT\_02



(c) TFT\_03



(d) TFT\_04

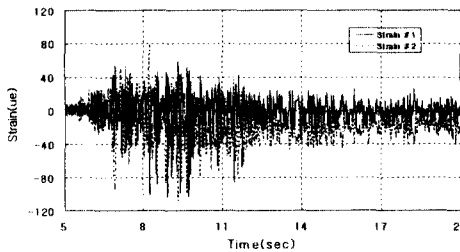
그림 3 밀면 전단력과 1층 층간 변위 이력

표 7 유효무게에 대한 밀면 전단력 비

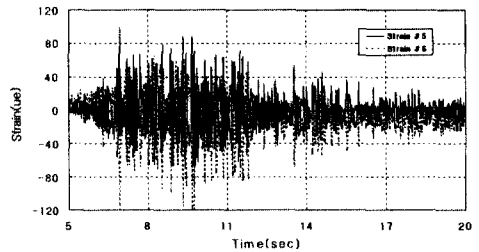
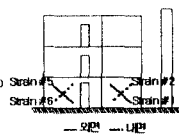
실험명	V/W
TFT_012	2.03/12.59 = 0.161
TFT_02	3.83/12.59 = 0.304
TFT_03	9.33/12.59 = 0.741
TFT_04	9.62/12.59 = 0.764

### 3.5 조적채움벽에서의 변형률

그림 4에서는 TFT\_04에 대하여 스트레인 게이지로 1층 조적채움벽에서의 변형률을 측정하여 나타내었다. 개구부가 있고 한쪽 기둥에만 접해 있는 조적채움벽에서의 변형률이 개구부가 없고 양쪽 기둥에 접해 있는 조적채움벽의 변형률보다 약간 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a) 개구부가 없는 부분



(b) 개구부가 있는 부분

그림 4 조적채움벽에서의 변형률(TFT\_04)

### 3.6 조적벽의 유무에 따른 실험결과와의 비교

표 8에서는 조적벽이 없을 때의 실험결과(참고문헌 4)와 조적벽이 있을 때의 실험결과를 비교하여 나타내었다. 조적벽이 있을 때 구조물의 최대 층 변위는 조적벽이 없을 때보다 아주 작은 값으로 나타나고 최대 층 가속도, 밀면전단력, V/W의 값은 훨씬 크게 증가하였다. 이것으로부터 조적채움벽이 구조물의 전체 강성을 크게 증가시키고 그에 따라 큰 지진력을 유발시키고 있음을 알 수 있다.

표 8 조적벽의 유무에 따른 실험결과와의 비교

실험명	Bare frame				Infilled frame			
	최대층변위 (mm)	최대층가속도 (g)	밀면전단력 (ton)	V/W	최대층변위 (mm)	최대층가속도 (g)	밀면전단력 (ton)	V/W
TFT_012	4.5	0.28	1.8	0.174	0.72	0.33	2.03	0.161
TFT_02	14.06	0.53	3.14	0.305	1.5	0.69	3.83	0.304
TFT_03	17.87	0.61	3.58	0.348	1.81	1.02	9.33	0.741
TFT_04	29.88	0.69	3.79	0.368	2.55	1.19	9.62	0.764

## 4. 결론

이상의 실험결과와의 분석에 의한 결론은 다음과 같다.

- (1) 자유진동실험 결과 실험모델의 거동이 거의 1차모드에 의해 지배되는 것을 볼 수 있으며 지진입력 실험전 초기의 실험모델의 1차모드 고유주기는 0.063초(실물크기 : 0.14초)로 나타났다.
- (2) 우리나라 현행 내진 설계 기준에서 설계 지진 즉, 0.12g의 최대 지진가속도에 대해서는 선형탄성으로 거동하며 전혀 손상이 없었고 층간 변위는 0.042%이내로 나타나 허용범위인 1.5%보다 훨씬 작았다. 최대 진동대 가속도(0.183g)에 대한 실험모델의 최상층 최대 응답가속도(0.33g)의 동적확대비는 1.8정도로 나타났다. 최대 밀면 전단력(2.03t)은 설계 밀면 전단력(0.47t)의 약 4.3배 정도로 나타났다.
- (3) 최대 지진가속도 0.2g, 0.3g, 0.4g에 대해서 최대 층간 변위는 각각 0.106%, 0.111%, 0.188%로, 최대 밀면 전단력은 각각 3.83t, 9.33t, 9.62t으로 나타났다.
- (4) 조적벽이 없을 때와 있을 때를 비교하면 조적벽이 있을 때 구조물의 최대 층 변위는 조적벽이 없을 때보다 아주 작은 값으로 나타나고 최대 층 가속도, 밀면전단력, V/W의 값은 훨씬 크게 증가하였다. 이것으로부터 조적채움벽이 구조물의 전체 강성을 크게 증가시키고 그에 따라 큰 지진력을 유발시키고 있음을 알 수 있다.

### 감사의 글

이 연구는 1996년도 건설교통부 국책과제인 “우리나라 중·저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해예측 및 보수보강법 연구”의 일부로 수행되었으며 건설교통부와 참여업체인 (주)쌍용건설, (주)동부건설, (주)현대건설 및 (주)동양구조안전기술의 지원에 감사를 표합니다. 특히 이 실험에 직접 참여한 고려대학교 건축공학과 석사과정 고동우, 허운섭, 강귀용, 김정우 씨와 (주)현대건설의 정하선 이사님, 송진규 과장님께 감사를 표합니다.

### 참고문헌

1. 김상대, 이한선, 김영문, 조순보, 우운택의 25명, “우리나라 중·저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해예측 및 보수보강법 연구”, 건설교통부 '96 연구개발사업 최종 연차 보고서, pp804, 1997. 12.
2. 이한선, 우성우의 3명, “1/5 축소 3층 철근콘크리트 골조 모델의 제작기법 및 재료특성 연구”, 한국콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집 제9권 2호, pp 575~580, 1997. 11.
3. 이한선, 우성우의 1명, “비내진 상세율 가진 3층 철근콘크리트 골조의 비탄성 거동”, 한국콘크리트 학회 봄 학술발표회 논문집 제10권 1호, pp 427~432, 1998. 5.