

1/5 축소 비연성 3층 철근콘크리트 골조의 진동대 실험

Shaking Table Tests of A 1/5-Scale 3-Story Nonductile Reinforced Concrete Frame

이 한 선*	우 성 우**	허 윤 섭***	고 동 우***
Lee, Han-Seon	Woo, Sung-woo	Heo, Yun-Sup	Ko, Dong-Woo
강 귀 용***	김 상 대*	정 하 선****	송 진 규*****
Kang, Kyi-Yong	Kim, Sang-Dae	Jung, Ha-Seon	Song, Jin-Kyu

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the behavior of a 1/5-scale 3-story nonductile reinforced concrete frame subjected to earthquake excitation. For this purpose, Taft N21E earthquake accelerogram was simulated by using 3m×5m shaking table. When the input acceleration is compared to that of output, it can be found that simulation of shaking table is excellent. From the results of test with Taft N21E earthquake accelerogram adjusted to peak ground acceleration(PGA) 0.06g and 0.12g(maximum acceleration in korea seismic code) the model reponded in elastic behavior and it is found that the existing building in our country are safe against the levels of PGA 0.06g and 0.12g.

Key words : shaking table, nonductile reinforced concrete, earthquake, peak ground acceleration

1. 서론

근래에 우리나라에서도 사람이 감지할 수 있는 지진이 거의 매년 20회 이상 발생하여 왔고 1996년 12월 13일 영월에서 발생한 지진은 건축물에 상당한 손상을 줄 만큼 큰 지진으로서 우리나라도 지진에 대하여 안전지대가 아님이 확연히 나타나고 있다. 1995년의 고베지진과 같은 예기치 못한 지진이 국내, 특히 대도시에서 발생할 경우 그 피해는 심각할 것으로 여겨지며 이러한 대형지진에 대해서 대비책을 강구하는 것이 바람직하다.

국내 건축물의 많은 부분을 차지하는 중·저층 R.C조(상가, 사무실, 학교 등)는 지진에 대해 무방비 상태이고 기술적인 연구나 검증이 부진한 상태이다. 특히 대부분이 중·저층 철근콘크리트 라멘조로 되어있는 공공시설물이 피해를 입을 경우에 국가의 기능면에 커다란 장애를 초래할 수 있을 뿐만 아니라 국가경제에 미치는 영향이 지대하리라 판단된다.

본 연구에서는 3m×5m 진동대를 이용하여 1/5 축소 비연성 상세를 가진 3층 철근콘크리트 골조의 실제 지진파에 대한 거동을 관찰하여 보았다.

*정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수 **고려대학교 건축공학과 박사과정 ***고려대학교 건축공학과 석사과정

**** 정회원, 현대건설 기술연구소 고문 ***** 현대건설 기술연구소 과장

2. 실험체의 설계 및 제작

본 연구를 위하여 우리나라 R.C 중·저층 건축물(학교, 관공서, 병원, 소방서, 다세대 주택 등)의 보편적인 구조형식을 조사하여 경찰서 표준도면을 표본으로 하여 실험체 형식을 결정하였으며, 결정된 실험체의 철근상세를 조사하여 전형적인 상세를 확정하였다. 지진모의 실험을 수행하기 위한 축소율은 1/5로 정하였고, 실험체에 필요한 모델 철근의 제작을 위해 진공 열처리 전기로를 제작·구입하여 모델 철근의 인장강도 실험을 수행하였으며 축소모델 콘크리트의 배합설계를 하여 재료실험을 수행하였다. 이에 대해서는 별도로 자세히 언급하기로 한다.⁽¹⁾ 아래의 그림 1은 실험체의 상세를 나타내었다.

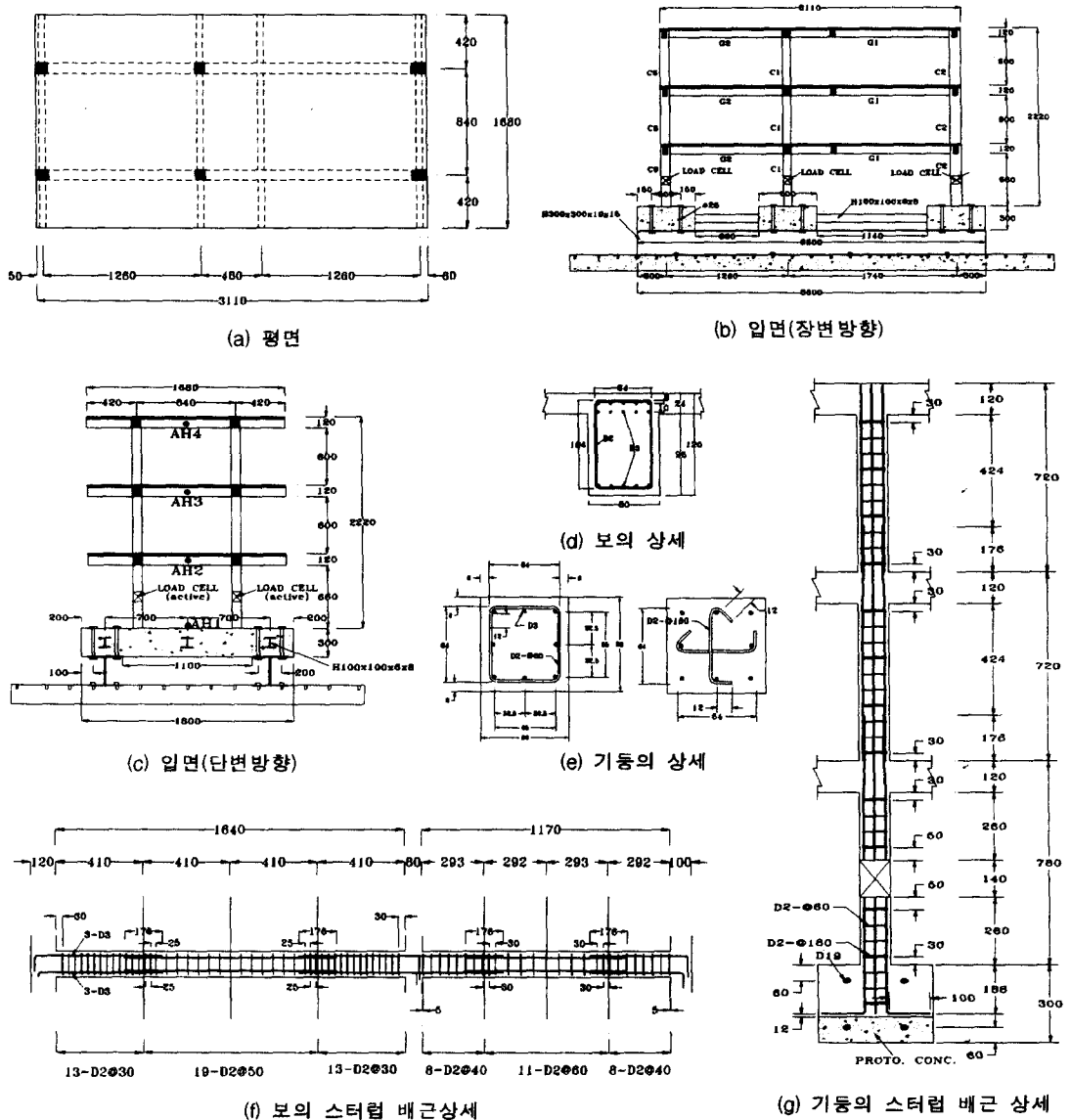


그림 1. 1/5축소 실험체의 상세 (단위 : mm)

3. 실험

3.1 실험개요

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 1에서 나타낸 바와 같이 입력지진파의 최고가속도의 크기를 조정하여 실시하였다. 본 논문에서는 Taft N21E 0.06g와 0.12g의 결과만을 수록하였다.

표 1. 실험수행 프로그램

실험순서	실험의 종류	최대지반 가속도
1	Free vibration test	
2	Taft N21E	0.06g
3	Taft N21E	0.12g
4	Free vibration test	
5	Taft N21E	0.2g
6	Free vibration test	
7	Taft N21E	0.3g
8	Free vibration test	
9	Taft N21E	0.4g
10	Free vibration test	

3.2 실험장치 및 기기

3.2.1 진동대 시스템

본 실험에서 사용한 진동대 시스템은 경기도 용인군 마북리에 위치한 현대건설 기술연구소에 설치된 것으로 지진파, 진동 등과 같은 동적하중에 의하여 구조물의 성능 및 구조적 안정성을 측정할 수 있는 실험장비이다. 진동대 시스템은 실험체를 고정시키는 2개의 테이블과 이를 움직이게 하는 총 3개의 가력기(actuator)와 유압공급 시스템, 그리고 이를 동작시키는 콘트롤 시스템 및 계측 시스템으로 구성된다.

2개의 테이블은 1방향으로만 움직이는 1축 진동대(3m×5m)와 2방향으로 움직이는 2축 진동대(2m×2m)로 구성되어 있으며, 본 실험에서는 1축 진동대를 사용하였다. 각 방향으로 움직임의 제어는 입력지진파 등에 대하여 가속도 콘트롤과 변위 콘트롤 2가지가 가능하다. 가속도 콘트롤은 입력진동의 가속도가 그대로 테이블 움직임에 재현될 수 있도록 하는 제어이며 변위 콘트롤은 입력진동의 변위가 그대로 테이블 움직임으로 나타나게 한다.

3.2.2 계측기기

본 실험에서는 변위측정기, 가속도계, 로드셀 등을 장치하여 각 층별 변위 및 가속도, 국부변형(소성흔지 부분의 회전각), 1층 기둥에서의 전단력을 측정하였다. 사용된 계측기기의 위치는 그림 2에 나타나 있고 계측기기의 개수는 표 2에 나타나 있다.

표 2. 계측기기의 개수

	변위측정기 (층별 변위 측정용)	가속도계	로드셀	변위측정기 (국부 변형 측정용)
기초	1 ea(D1)	1 ea(AH1)		
2층 바닥	1 ea(D2)	1 ea(AH2)	*3 ea (Load cell No.4, No.8, No.12)	6 ea (보의 회전각 측정)
3층 바닥	1 ea(D3)	1 ea(AH3)		12 ea (기둥의 회전각 측정)
옥상층 바닥	2 ea(D4,D5))	1 ea(AH4)		
계	5 ea	4 ea	3 ea	18 ea

총 채널 수 : 30 ea

* Load cell No. 4, No. 8, No. 12 : 전단력만 측정.

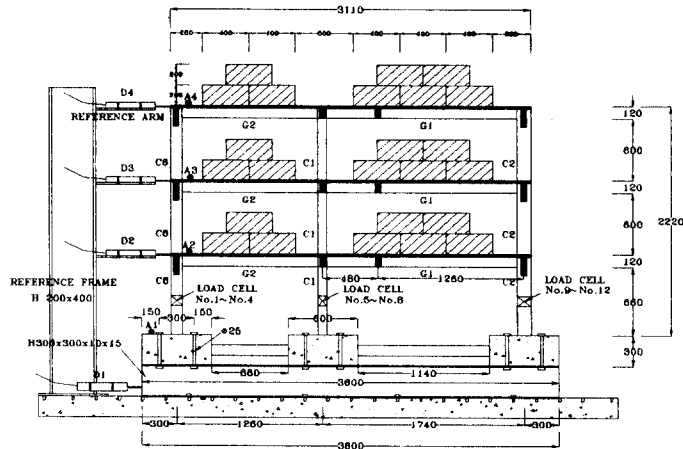


그림 2. 계측기기의 위치 (단위 : mm)

가속도 측정을 위해 사용된 가속도계기는 입력진동에 평행방향으로 각 층에 1개씩 3개가 설치되었고, 입력가속도의 정확한 재현을 검증하기 위해 기초부분에도 1개를 부착시켰다. 변위측정기는 강성이 매우 큰 기준 프레임(Reference frame)을 加震방향으로 진동대위에 실험모델에 근접하여 고정시킨 후 각 층별로 기준 팔로 수평되도록 고정하였으나 기준 프레임 자체가 완전한 강성 구조물이 아니기 때문에 22.5Hz의 고유주파수가 나타나, 실측된 변위는 기준 프레임의 반응을 포함하고 있어 후후 이를 제거하는 과정이 필요하다.

3.3 실험결과

아래의 실험결과는 Taft N21E 입력지진파의 최고가속도 크기를 0.06g, 0.12g로 조정하여 탄성범위 내에서만 실시한 실험결과만을 나타내었다.

그림 3은 PGA 0.06g인 Taft N21E 지진가속도에서 나타난 진동대의 거동을 나타낸 것으로 진동대의 입력가속도와 출력가속도를 비교하여 보면 거의 유사하게 나타나, 원하는 지진파대로 진동대가 거동함을 알 수 있고, 최대 진동대의 변위가 8mm정도인 것으로 나타났으며 주로 1차모드에 의해 거동이 지배되는 것을 알 수 있다. 그림 4는 1층 층간변위와 밀면전단력과의 관계를 나타내었으며 실험모델이 탄성거동을 하고 있음을 알 수 있다. 각 층별 최대가속도 및 최대변위는 표 3에 나타내었다.

PGA 0.12g에서는 진동대의 최대변위가 15mm로 나타났고, 실험모델이 탄성거동을 하고 있는 것으

로 나타났다. PGA 0.12g에 대한 각 층별 최대가속도 및 최대변위는 표 4에 나타내었다. 그림 5와 그림 6에서는 PGA 0.12g에서의 각 층별 가속도 응답과 층별 변위 응답을 나타내었고, 그림 10에서는 1층 층간변위와 밀면전단력과과의 관계를 나타내었다.

표 3 PGA 0.06g, Taft N21E 지진가속도에 대한 최대응답

층	최대 층 가속도(g)	최대 층 변위(mm)	최대 층간 변위(%)
1층	0.087	0.7	0.09
2층	0.101	1.26	0.078
3층	0.105	1.43	0.024

표 4 PGA 0.12g, Taft N21E 지진가속도에 대한 최대응답

층	최대 층 가속도(g)	최대 층 변위(mm)	최대 층간 변위
1층	0.162	1.85	0.237
2층	0.24	3.62	0.246
3층	0.29	4.05	0.06

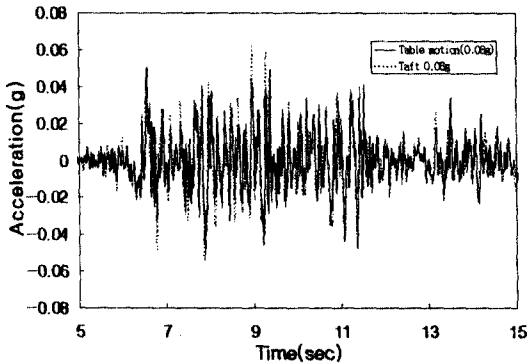


그림 3. 입력 지진가속도와 진동대의 출력 지진가속도의 비교(PGA 0.06g)

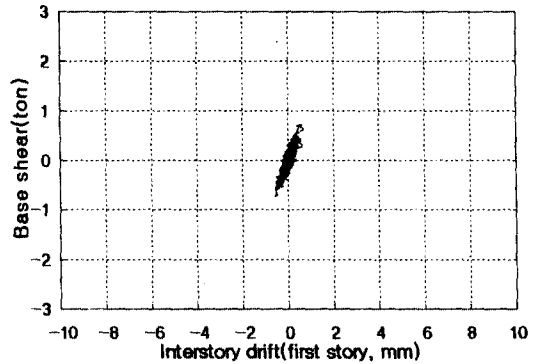


그림 4. 1층 층간변위와 밀면전단력과의 관계 (PGA 0.06g)

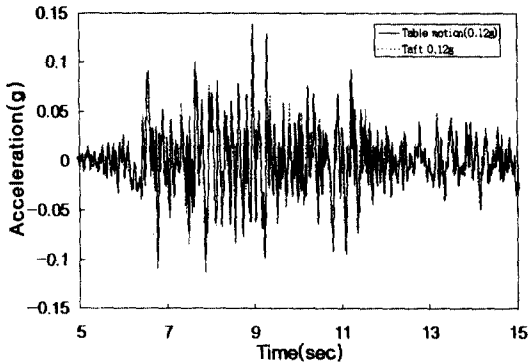


그림 5. 입력 지진가속도와 진동대의 출력 지진가속도의 비교(PGA 0.12g)

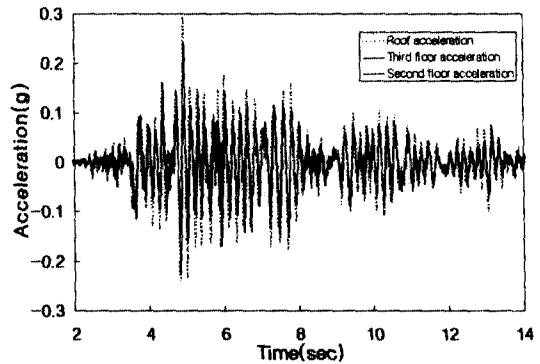


그림 6. 층별 가속도 응답의 비교(PGA 0.12g)

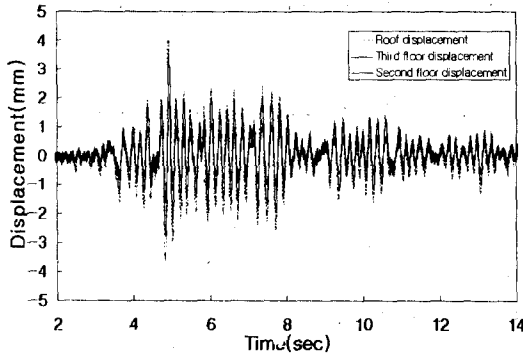


그림 7. 층별 변위 응답의 비교(PGA 0.12g)

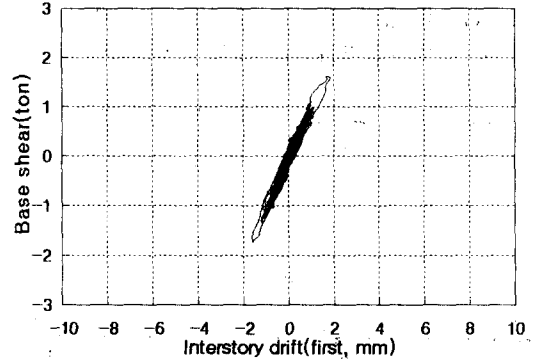


그림 8. 1층 층간변위와 밀면전단력과의 관계 (PGA 0.12g)

4. 결론

본 연구의 연구결과를 요약하여 보면 다음과 같다.

1. 진동대의 입력가속도와 출력가속도를 비교한 결과 진동대의 성능이 우수하여 원하는 지진파를 유사하게 만들어 낼 수 있었다.
2. 표준도면이 있는 관공서 건물을 우리나라 중·저층 건물을 대표하는 건물로 보고 실험대상으로 선정하여 그 축소율을 1/5로 하여 Taft N21E의 지진가속도를 0.06g와 우리나라 내진 기준 지반가속도인 0.12g로 진폭을 조정하여 실험한 결과 실험모델이 탄성거동을 하였으며, 이 수준에 대해서는 우리나라의 기존 건물이 안전함을 입증하였다.

감사의 글

이 연구는 1996년도 건설교통부 국책과제인 “우리나라 중·저층 구조물의 지진피해 예측 및 보수보강법 연구”의 일부로 수행되었으며 건설교통부와 참여업체인 (주)쌍용건설, (주)동부건설, (주)현대건설 및 (주)동양구조안전기술의 지원에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 이한선, 우성우, 고동우, 허윤섭, 강귀용, “1/5 축소 3층 철근콘크리트 골조 모델의 제작기법 및 재료특성 연구”, 1997.11, 한국콘크리트 학회 가을 학술발표회 발표예정.
2. Harris, H.G. Bertero, V.V., and Clough, R.W., “One Fifth Scale Model of a Seven-Story Reinforced Fram-Wall Building Under Earthquake Loading”, Paper Presenter at and published in the Proceedings of the Seminar on Dynamic Modeling of Structures, Joint 1. Struct. E.B.R.E., Building Research Station, Garston, England, November 1981.
3. J.M. Bracci, A. M. Reinhorn, J. B. Mander “ Seismic Resistant Concrete Frame Structures Designed Only for Gravity Loads : Part 1 - Design and Properties of a One-Third Scale Model Structure” Technical Report NCEER-92-0027 December 1, 1992.