

1/12 축소 철근콘크리트 주상복합구조물의 진동대실험

Shaking Table Tests of A 1/12-Scale Reinforced Concrete Upper-Wall Lower-Frame Structure

이 한 선* 김 상 연** 고 동 우*** 권 기 혁**** 김 병 현****
Lee, Han Seon Kim, Sang Yun Ko, Dong Woo Kwon, Ki Hyuk Kim, Byung Hyun

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the behavior of 1/12 scale upper-wall lower-frame reinforced concrete structure subjected to earthquake excitations. For this purpose, Taft N21E earthquake accelerogram was simulated by using 4m×4m shaking table. When the input acceleration is compared to that of output, it was found that simulation of shaking table is satisfactory. From the test results with peak ground acceleration(PGA) 0.22g, which corresponds to 0.11g in prototype by the similitude law, it can be observed that the model responded in elastic behavior and that large interstory drift occurred at the lower part of the structure.

1. 서론

근래에 우리 나라에서도 사람이 감지할 수 있는 지진이 거의 매년 20회 이상 발생하여 왔고, 1996년 영월에서 발생한 지진은 상당한 손상을 줄만큼 큰 지진으로서 우리 나라에서도 지진에 대비해야 할 필요성을 느끼게 하고 있다. 특히 근래에 증가추세에 있는 주상복합건물의 경우 주야에 관계없이 항상 많은 사람이 거주하고 있어 강한 지진이 발생할 경우 대형참사로 이어질 수 있기 때문에 이에 대한 대책을 강구하는 것이 바람직하다. 그러나, 현재의 주상복합 구조물 설계에서 지진하중을 구할 경우 적용하는 구조시스템이라든가 반응수정계수 등이 명확히 규정되어 있지 않고 이에 대한 기술적인 연구나 검증이 부진한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 4m×4m 진동대를 이용하여 1/12 축소 철근콘크리트 주상복합구조물의 실제 지진파에 대한 거동을 연구하였다.

2. 실험체의 설계 및 제작

본 연구를 위하여 현재 우리 나라에서 시공중인 철근콘크리트구조 주상복합건물의 시스템 및 배근상세등을 조사한 후 전형적인 모델을 선정하여 실험체 형식을 결정하였다. 단, 실험체 제작 및 실험상의 편의를 위해 상부 벽체부분을 선정한 모델과 동일한 강성과 크기를 갖는 콘크리트덩어리로 제작하였다. 실험체의 축소율은 1/12로 정하고, 철로 제작한 블럭을 상사성의 원리에 맞도록 상부구조물에 균등하게 설치하였다. 진동대의 규모와 세팅을 고려하여 상부부가질량을 요구량의 1/2만 설치하였고, 실험 시 이를 고려한 상사성의 원리를 적용하였다.⁽¹⁾

모델철근은 주근(D2)의 경우 요구되는 항복강도와 충분한 연성을 얻고, 성분의 변질을 막기 위해 강선을 이형

* 정회원, 고려대 건축공학과 부교수
** 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원
*** 정회원, 고려대 건축공학과 박사과정

**** 정회원, 서울시립대 건축공학과 조교수
***** 정회원, 한국기계연구원 책임연구원

화 시킨 후 진공전기로서 열처리하여 사용하였으며, 전단철근($\phi 1$)은 시중에서 판매하는 철사를 사용하여 항복강도는 각각 $4,689\text{kg/cm}^2$ 와 $5,001\text{kg/cm}^2$ 이다. 모델콘크리트는 골재를 축소율만큼 줄여 중량비 0.4:1:1.1 (물:시멘트:잔골재:굵은골재)로 배합하여 28일 평균강도는 352kg/cm^2 으로 나타났다. 표 1에서 실험체 단면을 보여주고 있다.

표 1 실험체 단면 (단위:mm)

부재	단면 (B×H)	주근		전단근	
기둥	67×67	16-D2		$\phi 1 @ 34$	
보	34×59		상부근	하부근	
		CEN	2-D2	3-D2	2- $\phi 1 @ 25$
		END	4-D2	3-D2	2- $\phi 1 @ 12$
전이보	67×150	10-D2	10-D2	4- $\phi 1 @ 30$	

3. 실험내용

표 2 실험수행 프로그램

3.1 실험개요

실험은 실험체의 동적특성을 알아보기 위한 백색파실험(White noise test)과 지진모의실험(Earthquake simulation test)으로 나누어 실시하였으며, 지진모의 실험 전과 후에 백색파실험을 수행하여 지진에 의한 구조물의 동적특성의 변화를 살펴보았다. 지진모의실험을 위해서 사용된 지진파는 Taft N21E성분으로 상사성의 원리에 따라 시간축을 $1/\sqrt{24}$ 로 줄이고, 표 2에 나타낸 바와 같이 입력지진파의 최고가속도의 크기를 조정하였다.

실험 순서	실험종류	최대지반 가속도
1	White Noise Test before 0.11g	
2	Taft N21E	0.11g
3	White Noise Test before 0.22g	
4	Taft N21E	0.22g
5	White Noise Test before 0.3g	
6	Taft N21E	0.3g
7	White Noise Test before 0.4g	
8	Taft N21E	0.4g
9	White Noise Test before 0.6g	
10	Taft N21E	0.6g
11	White Noise Test before 0.8g	
12	Taft N21E	0.8g
13	White Noise Test before 1.2g	
14	Taft N21E	1.2g
15	White Noise Test after 1.2g	

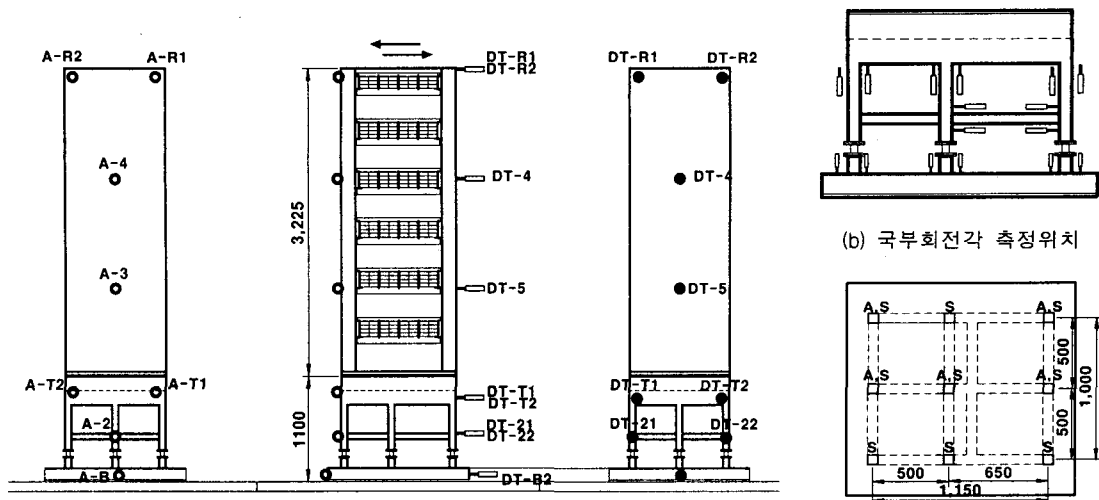
3.2 실험장치 및 기기

본 실험에서 사용한 진동대는 대덕연구단지에 위치한 한국기계연구원에 설치된 것으로 $4\text{m} \times 4\text{m}$ 의 6자유도계 진동대를 사용하였으며, 본 실험에서는 지진파를 1축으로만 가하였다.

본 실험에서는 변위측정기, 가속도계, 로드셀등을 장치하여 각 층별 변위 및 가속도, 국부변형(소성현저부분의 회전각), 1층 기둥에서의 전단력과 축력 등을 측정하였다. 사용된 계측기 위치는 그림 1에 나타나 있고 계측기 기의 개수는 표 3에 나와 있다. 가속도 측정을 위해 사용된 가속도계기는 입력진동에 평행한 방향으로 하부골조에는 각층에, 상부구조물에는 높이를 3등분하여 균등하게 설치하였다. 입력가속도의 정확한 재현을 검증하기 위해 기초부분에서 가속도계를 부착하였다. 변위측정기는 진동대 외부에 기준프레임을 설치한 후 절대변위를 측정하였기 때문에 추후 진동대변위를 뺀 상대변위로 바꾸는 과정이 필요했다.

표 3 실험체의 채널사용현황

	변위측정기 (층별변위측정용)	가속도계	로드셀	변위측정기 (국부변위측정용)
기초+진동대	2	1	전단 : 9. 축력 : 5.	보 회전각 : 4 기둥회전각 : 12
2층바닥	2	1		
전이층	2	2		
상부구조물	4	4		
계	10	8	14	16
전체 채널수	48			



(a) 층변위 및 층가속도 측정 위치

(c) 로드셀 위치

그림 1 계측기기의 위치

3.3 실험결과

아래의 실험결과는 Taft N21E 입력지진파의 최고가속도크기를 0.11g, ~ 0.8g로 조정하여 실험한 결과를 나타내었다. 여기서 0.22g는 상사성의 원리에 따라 실제구조물에 적용하면 0.11g로서 우리나라의 설계지진력에 해당하는 지진파이다. 그림 2는 PGA 0.4g인 Taft N21E 지진가속도에서 나타난 진동대의 거동을 나타낸 것으로 진동대의 입력가속도와 출력가속도를 비교하여 보면 거의 유사하게 나타나 원하는 지진파대로 진동대가 거동함을 알 수 있었다. 그림 3과 4에서 균열양상을 보여주고 있는데, 하부골조 기둥에서는 수평방향의 균열이 발생하여 하부 골조가 전단에 의한 파괴보다는 전도모멘트에 의해 야기되는 축력으로 발생했음을 추정할 수 있었고, 슬래브 상부에서도 부모멘트에 의한 균열이 발생하였다. 그림 5는 지진의 강도에 따른 층변위의 변화를 보여주고 있는데, 하부골조에서 많은 횡변형이 발생함을 알 수 있다. 그림 6은 시간이력에 따른 층변위를 비교하고 있는데, 전체적으로 1차모드의 지배를 받고 있음을 알 수 있다. 그림 7은 층간변위와 밀면전단력의 관계를 보여주는데, 0.22g까지는 탄성거동을 하였으나, 0.4g를 넘어서면서 부터는 비선형거동을 보여주었다. 그림 8은 실험 전과 후의 고유주기 변화를 보여주고 있는데, 실험이 진행됨에 따라 구조물에 손상이 발생하여 고유주기가 증가하고 있음을 알 수 있었다. 그림 9는 지진의 강도에 따른 층강성을 밀면전단력과 층간변위의 관계로부터 구한 결과를 보여주고 있는데, 0.3g를 넘어서면서 층강성이 급격하게 떨어지는 현상을 보여주고 있다. 그림 10은 기둥과 보에서 측정한 시간이력에 따른 회전각의 변화를 보여주고 있다.

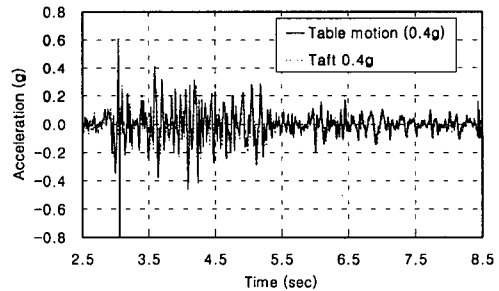


그림 2 입력지진가속도와 진동대의 출력지진가속도의 비교 (PGA 0.4g)



(a) 기둥균열 1 (b) 기둥균열 2 (c) 슬래브의 균열

그림 3 세부균열 양상

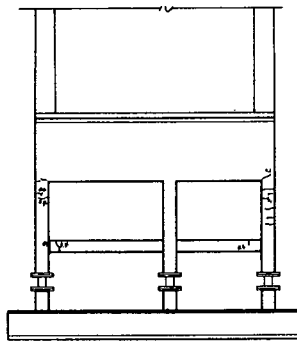


그림 4 전체균열양상

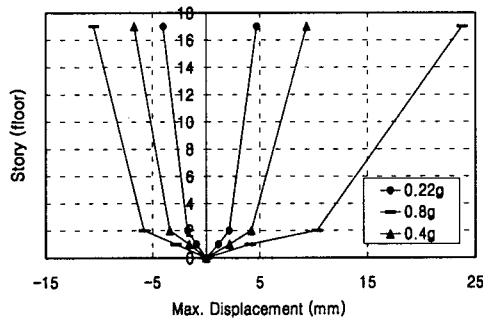
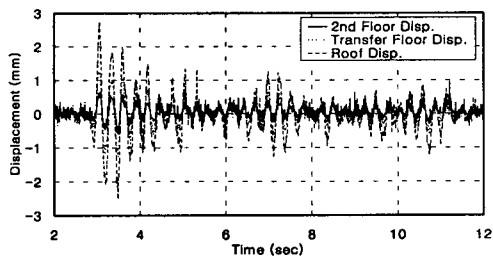
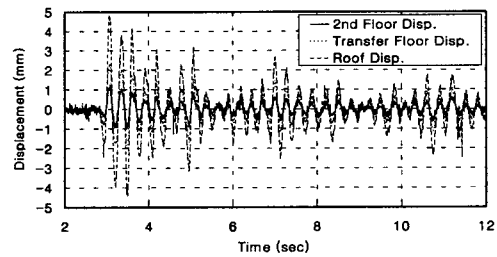


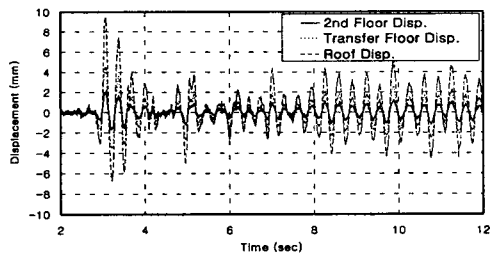
그림 5 층별 최대변위 비교



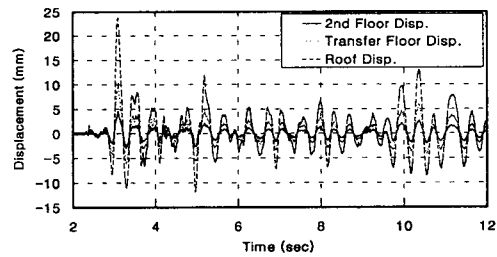
(a) PGA 0.11g



(b) PGA 0.22g

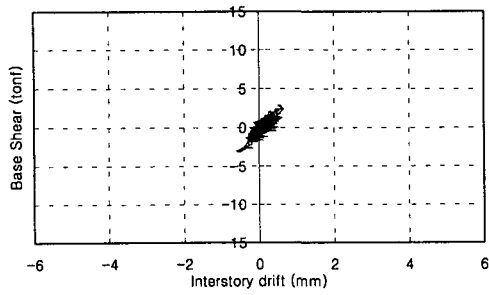


(c) PGA 0.4g

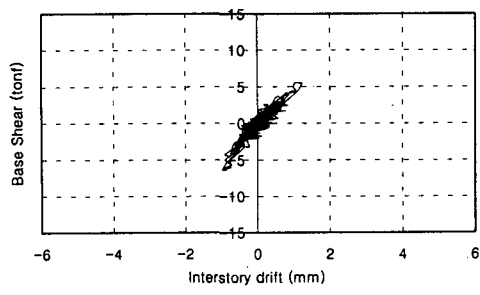


(d) PGA 0.8g

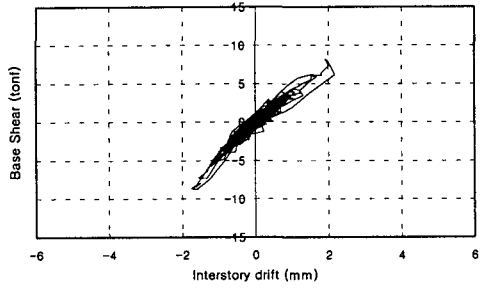
그림 6 시간이력에 따른 1층 층별 변위응답 비교



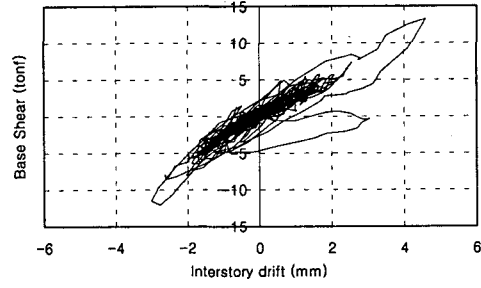
(a) PGA 0.11g



(b) PGA 0.22g



(c) PGA 0.4g



(d) PGA 0.8g

그림 7 1층 층간변위와 밑면전단력과의 관계

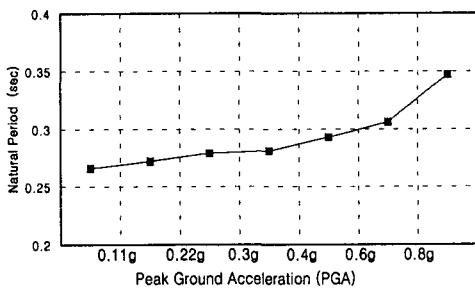


그림 8 고유주기 변화

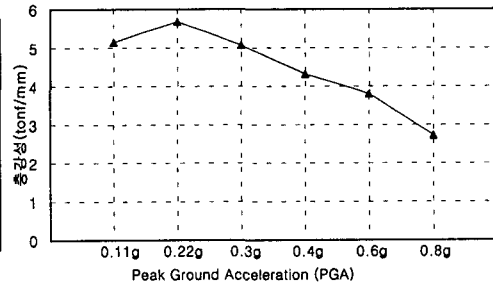
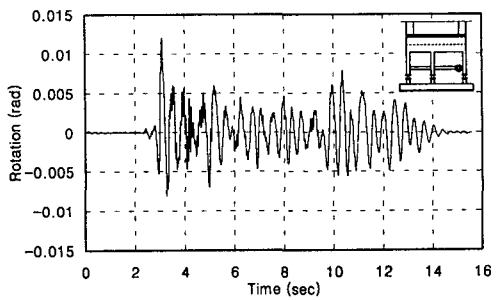
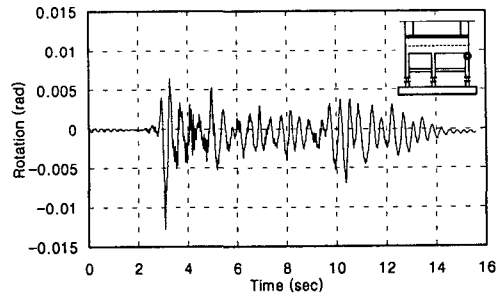


그림 9 1층 층강성의 변화



(a) 보의 회전각



(b) 기둥의 회전각

그림 10 시간이력에 따른 보의 회전각 (PGA 0.8g)

5. 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) 층변위를 비교해 보면 하부골조부분에서 큰 횡변형을 보여주었다.
- (3) 우리 나라의 설계지진력 단계에서 구조물은 탄성거동을 보여주었으나, 설계지진력을 넘어서부터는 비탄성 거동의 양상을 보여주었다.

감사의 글

이 연구는 1999년도 건설교통부 국책과제인 “복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구”의 일부로 수행되었으며, 건설교통부와 참여업체인 쌍용건설(주), 대한주택공사, 코오롱건설(주), (주)형상구조안전의 지원에 감사드리며, 진동대실험에 도움을 주신 한국기계연구원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Hiroshi Hosoya, "Shaking Table Tests of Three-Dimensional scale Models of Reinforced Concrete High-Rise Frame Structures with Wall Columns", ACI Structural Journal, Vol.92, No.6, 1995
- (2) J.M. Bracci, "Seismic Resistant Concrete Frame Structures Designed Only for Gravity Loads : Part I -Design and Properties of a One-Third Scale Model Structure", Technical Report NCEER-92-0027, December 1, 1992
- (3) 이한선, 우성우, "중력하중 설계된 1:5 축소 3층 철근콘크리트 골조의 지진모의 실험", 한국콘크리트학회지 제 10권 6호, 1998