

건축물의 진동대 실험을 이용한 국내 연구의 현황조사

Survey of Experimental Research Performed using Shaking Table Tests for Buildings in Korea

이 한 선* 정 동 욱** 이 경 보** 김 희 철*** 이 영 학*** 이 기 학****
Lee Han Seon Jung Dong Wook Lee Kyung Bo Kim Hee Cheul Lee Young Hak Lee Ki Hak

ABSTRACT

This study surveys the state of research performed using the shaking tables available in Korea for buildings. First, the parameters to describe the capacity of shaking tables are introduced. Then major shaking tables available in Korea, the size of which is larger than 2m x 2m, are summarised. Finally, the papers published in Korea which used these shaking tables are introduced. It is expected that this survey could contribute to the more active use of shaking tables in the future seismic engineering research.

요 약

본 조사연구는 건축물의 진동대 실험을 이용한 국내의 연구 상황을 조사한 것이다. 진동대 성능을 나타내는 항목을 소개하고, 국내의 2m x 2m 크기를 초과하는 진동대 실험실을 조사, 정리 하였으며 국내의 진동대 실험을 통한 논문을 정리하였다. 본 조사를 통해 추후 지진공학 연구에 진동대 실험이 좀 더 활발하게 사용되는데 보탬이 될 것을 기대한다.

* 정회원, 고려 대학교, 건축·사회환경공학과, 교수
** 정회원, 고려 대학교, 콘크리트구조연구실, 석사과정
*** 정회원, 경희 대학교, 건축공학과, 교수
**** 정회원, 세종 대학교, 건축공학과, 교수

1. 서 론

구조물의 내진설계 및 내진보강을 하는데 있어서 비교적 정확한 판단을 내리기 위해서는 발생 가능한 지진에 대해 구조물의 내진성능을 정확히 예측하는 것이 필요하다. 구조물의 내진성능을 평가하는 방법은 크게 해석에 의한 방법, 실험에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 그 중 실험에 의한 방법에는 준정적 실험, 유사동적 실험, 진동대 실험 등이 있는데 이 중 가장 신뢰성이 있는 것은 진동대 실험이다. 진동대의 특성상 실제 구조물을 올리기에는 무리가 있어 일반적으로 진동대의 크기에 맞추어 축소모형을 사용하고 구조물을 단순화시켜 실험을 진행하게 되는데 이 과정에서 실험의 신뢰성의 확보가 매우 큰 과제로 대두된다

2. 진동대의 성능

진동대는 크게 진동대, 제어 장치, 계측 장치가 필요하다. 진동대는 실험체를 올려놓는 진동판, 가력기로 되어 있다.

- (a) 테이블 - 충분한 강성을 가지도록 제작되었으며 실험체를 고정시키기 위한 볼트구멍이 있다.
- (b) 지지시스템 - 움직임이 없을때는 테이블이 수직 가력기나 공기 또는 액체위에 지지되어 있어야 한다.
- (c) 가력장치 - 가력장치는 반력시스템에 부착되어 제어시스템에 의해 자동으로 제어되며, 국내에 많이 도입된 MTS사의 가력기는 대부분 유압으로 작동한다. 압력은 서보밸브에 의해 조정되어 원하는 지진파를 입력할 수 있게 된다.
- (d) 반력시스템 - 그림1과 같이 전 시스템이 일체식 철근콘크리트 구조로 둘러싸게 된다. 이 구조체의 질량은 전체 테이블과 실험체 질량보다 훨씬 크다.
- (e) 제어시스템 - 제어 장치는 사용가능한 자유도로 기계적이나 전기적인 서보시스템에 의해 제어된다. 변위, 속도, 가속도가 연속적으로 제어되며, 입력신호와 이용된 피드백 정보를 받기 위해 대부분 아날로그 장치가 사용된다.
- (f) 데이터 수집 장치 - 많은 채널의 데이터 수집 장치가 사용된다. 실험체의 변위 및 변형 등의 자료를 전기 혹은 기계 신호로 데이터 수집 장치에 전송하게 되면 제어를 수행하고 파일로 저장하는 역할을 하게 되는데 상당히 고가 제품으로 제어 채널 수, 신호인식시간 등의 성능을 실험 전에 확인하여 사용하는 것이 중요하다.

그림2는 재하하중, 진동수에 따라 최대 변위, 속도, 가속도 값이 수정되는 것을 보여주고 있다. 진동대가 지진을 모사하기 위해서는 진동대의 크기, 실험체의 최대 중량, 제어가능한 자유도 수, 최대 진동수의 값이 중요한 설계변수이다.

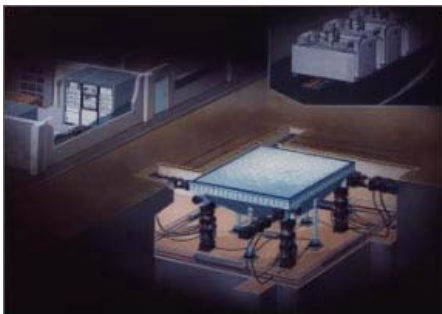


그림1 진동대 배치도

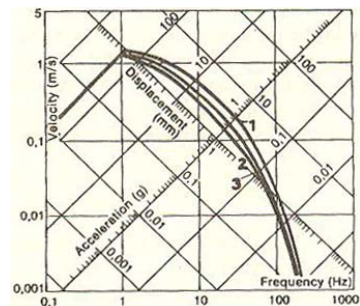


그림2 진동대의 성능곡선의 예¹⁾

2 구조실험

3. 우리나라 진동대 시설 현황

초소형 모델용(1.5m×1.5m 이내) 진동대는 이 조사에서 제외하였다. 표1은 국내 주요 진동대 시설, 표2은 국내 주요 진동대 실험을 보여주고 있다. 진동대 실험은 초기 한국기계연구원(1991년)과 현대기술연구소(1996년)의 진동대 건설을 전후하여 많이 이루어졌다. 2009년 완공 예정인 부산대학교의 진동대가 완공될 경우 건축물의 진동대 실험 실험실이 보다 많아지고 전국적으로 골고루 분포됨에 따라 보다 활발한 진동대 연구가 기대된다.

표1 국내 진동대 시설

진동대	사이즈	제어자유도수	재하하중 (ton)	변위 (mm)	진동수 (Hz)	비용 (억원)	제작사	준공년
한국기계연구원	4m × 4m	6	30	100	50	30	MTS	1991
현대기술연구소	5m × 3m	1	10	75	50	10	SHIMADZU	1996
서울시립대학교	3m × 3m	1	10	100	50	10	MTS	1997
한양대학교	3m × 3m	1	10	100	50	13	MTS	2003
한전연구원	2.5m × 2.5m	6	2	150	60	23	INSTRON	2004
부산대학교	4m × 4m	6	30	150	60	25	MTS	2009(예정)

표2 국내 진동대 사용현황

논문제목	저자	개계	실험장소	연도
지진을 받는 1/2 축소 2층 철근콘크리트 라멘 구조물의 동적 거동에 관한 연구	홍선진, 최광호, 노재선, 이한선, 정하선	대한건축학회	한국기계연구원	1991
1/3축소 3층 삼환가방 P.C모델의 진동대 실험	이한선	대한건축학회	한국기계연구원	1992
전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험(I) : 암반지반 조건	서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철	한국지진공학회	한국기계연구원	1997
전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 (II): 연약지반 조건	서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철	한국지진공학회	한국기계연구원	1997
지진격리된 철골구조물의 진동대 실험	윤정방, 정우성, 김남식, 서주원, 김두훈	한국지진공학회	현대기술연구소	1997
1/5 축소 비연성 3층 철근콘크리트 골조의 진동대 실험	이한선, 우성우, 허윤섭, 고동우, 강귀용, 김상대, 정하선, 송진규	한국지진공학회	현대기술연구소	1998
조적채움벽이 있는 1/5 축소 3층 비연성 철근콘크리트 골조의 진동대 실험	이한선, 우성우	한국콘크리트학회	현대기술연구소	1998
진동대를 이용한 구조물의 내진실험시 잡음의 영향에 관한 고찰	최인길, 서정문	한국지진공학회	한국기계연구원	1998
쌍계사 오층석탑모델에 대한 지진격리효과 진동대실험	김재관, 이원주, 김영중, 김병현	한국지진공학회	한국기계연구원	2001
1/12 축소 철근콘크리트 상부벽식-하부골조 건축물의 진동대 실험	이한선, 고동우, 권기혁, 김병현	한국지진공학회	한국기계연구원	2001
기와집 실물크기 모델의 지진 실험	류혁, 김재관, 전봉희, 허영철	한국지진공학회	한국기계연구원	2003
무량관 구조시스템의 반응수정계수 산정 및 내진성능 평가	김건우, 송호범, 송진규	대한건축학회	한양대학교	2003
적층고무형 면진 장치를 갖는 철근콘크리트 건물의 면진 특성	장극관, 천영수, 김동영	한국콘크리트학회	현대기술연구소	2005
내진설계 되지 않은 공동주택의 진동대 실험에 의한 내진성능 평가	정란, 이정우, 박태원	한국콘크리트학회	현대기술연구소	2006
유한요소모델수정기법을 통한 철근콘크리트조 벽식구조물 실험체의 강성추정	김학진, 김호근, 유은종, 이상현, 조승호, 정란	대한건축학회	현대기술연구소	2007

4. 우리나라 진동대 실험연구 조사분석

지진을 받는 1/2 축소 2층 철근콘크리트 라멘 구조물의 동적 거동에 관한 연구 - 완전한 구조체의 진동대 실험으로는 국내최초로 국내 건축물의 동적거동응답연구를 통해 내진설계기준의 정확성을 높였다.

1/3축소 3층 삼한가꾸 P.C모델의 진동대 실험 - 당시 우리나라 내진설계 기준상의 주요계수 결정 및 고유주기, 감쇠계수, 파괴 형상을 연구하여 PC시스템이 적절한 내진성능을 가지고 있음을 밝혀내었다. 전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험(I) : 암반지반 조건 / (II): 연약지반 조건, 기와집 실물크기 모델의 지진 실험 - 초가삼간 및 기와집의 진동대 실험을 통해 역사지진과 실험 결과와의 관계를 연구하여 역사지진 재해도 평가 시 합리적인 판단 근거를 만들었다.

지진격리된 철골구조물의 진동대 실험을 통해 지진격리장치의 유무에 따른 지진응답을 비교 관찰한 결과 여러 지반조건에 대해서 진동감소효과가 우수함을 보였다.

조적체움벽이 있는 1/5 축소 3층 비연성 철근콘크리트 골조의 진동대 실험을 통해 RC 구조물에서 전단벽의 유무에 따른 진동대 실험을 통해 조적체움벽이 지진력을 받아 구조물의 전체 강성을 크게 증가시킴을 알 수 있다.

진동대를 이용한 구조물의 내진실험시 잡음의 영향에 관한 고찰 - 진동대를 이용한 구조물의 내진실험시 잡음의 영향 연구한 결과 특히 10Hz 이상의 고유진동수를 갖는 구조물의 경우 요구되는 입력운동에 비해 과대평가 될 수 있음을 밝혀내었다.

1/12 축소 철근콘크리트 상부벽식-하부골조 건축물의 진동대 실험으로 근래 많이 지어지고 있는 1/12 축소 상부벽식-하부골조인 고층 RC건물의 반응수정계수값을 제시하였다.

쌍계사 오층석탑모델에 대한 지진격리효과 진동대실험을 통해 문화재 구조물에 대해 마찰진자지진격리장치, 평면마찰지진격리장치와 적축고무받침 조합의 복원장치의 경우로 실험하여 일반적인 마찰지진격리장치의 마찰계수 값을 감소시키는 것이 유리함을 밝혀내었다.

적축고무형 면진 장치를 갖는 철근콘크리트 건물의 면진 특성 - 국내 기술로 개발된 적축고무형 면진 장치를 채용한 RC 구조의 실험을 통해 지진에 의한 하중효과를 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

무량판 구조시스템의 내진설계기법 정립 및 접합부 보강상세 개발 - 무량판 구조의 내진성능 평가를 통해 규정된 계수가 작음을 밝히고 적절한 반응수정계수가 제시되어야 함을 연구하였다.

내진설계 되지 않은 공동주택의 진동대 실험에 의한 내진성능 평가 - 벽식구조 노후공동주택의 진동대 실험을 통해 지진시 취성파괴가 일어나 내진성능보강이 필요한 것으로 나타났다.

유한요소모델수정기법을 통한 철근콘크리트조 벽식구조물 실험체의 강성추정 - 진동대 실험결과와 유한요소모델수정기법을 사용하여 실험체의 거동을 거의 유사하게 모사하여 기법의 정확성을 입증하였다.

건축물의 소축척 진동대 실험의 역사는 그리 길지 않지만 다수의 정밀한 실험을 통해 우리나라의 건축물 내진설계기준 수립에 많은 도움을 줄 것으로 예상된다.

5. 결론

국내 진동대는 1990년대 이후 상당한 규모의 진동대를 보유, 운영중에 있고, 전국적으로 진동대시설이 늘어나고 있다. 이를 통해 구조물의 내진성능을 연구하는데 있어 신뢰할만한 크기의 건축 구조물 실험이 가능해졌다. 국내 진동대 실험실의 현황 파악 및 분석이 향후 보다 많은 진동대 실험을 위한 기초자료로 사용될 것을 기대한다.

감사의 글

이 연구는 2008년 한국과학재단 특정기초연구(R01-2007-000-20765-0)의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Noor F. A. and Boswell L. F., Small Scale Modelling of Concrete Structures, Elsevier Applied Sciedce, 1992