

# 적층고무형 면진장치를 갖는 RC건물의 면진효과 검증 진동대 실험

## Shaking Table Tests of the 1/3 Scaled R/C Building with the Laminated Rubber Bearings

김 동 영\*      천 영 수\*\*      황 기 태\*\*\*      장 극 관\*\*\*\*  
Kim, Dong Young      Chun, Young Soo      Whang, Ki Tea      Chang, Kug-Kwan

### Abstract

This paper reports the results of performance verification tests of the base isolated RC building with the laminated rubber bearings which is manufactured by Dongil Rubber Belt Co.. The shaking table tests were performed using a scaled 3-story model scaled to 1/3 of the prototype RC apartment building. Several major earthquake records were scaled to different peak ground accelerations and used as input base excitations. Through the verification tests, the validity of the applied base isolation device and the response reduction effect against earthquakes are confirmed.

### 1. 서론

국내의 경우 1988년 내진기준이 정립된 이후 현재까지 건설된 대부분의 건물들은 지진과 같은 동적인 하중에 대하여 안전하도록 구조부재의 연성능력을 고려한 내진설계(耐震設計)를 채용하여 왔다. 그러나, 내진은 어느 정도 건물의 피해를 허용하는 설계법이므로, 2차 재해의 예방이나 도시의 기능마비 방지라는 차원에서 공공성이 있는 건물에 대하여 지진재해 이후 확실하게 기능이 발휘될 수 있을지의 여부를 장담할 수 없다는 문제점이 있다. 더욱이, 최근에는 시설의 고 기능화와 건물의 부가가치를 유지해야 할 필요성이 증대하고 있으며, 컴퓨터, 온라인 네트워크 등의 정보 인프라설비는 물론 정보화시대를 생존하기 위한 기업의 경영자들이 항상 재해에 의한 손실이 라고 하는 위험에 노출되어 있어 내진에 있어서의 한계성을 극복하기 위한 많은 노력들이 행해지고 있다.

면진기술은 상기와 같은 문제점을 극복하기 위한 새로운 내진설계 기술의 하나로서, 건물과 지반사이에 전단변형 장치를 설치하여 지반과 건물을 분리(base isolation)시키는 방법이다. 이러한 지반분리 기술은 설치공법의 단순함 그리고 지진하중에 대한 진동제어 효과의 탁월성 등으로 인하여, 현재 세계 여러 나라에서 강진으로부터 중요한 건물들을 보호하고, 구조물의 장수명화와 내진성능 향상을 도모하기 위한 실무적인 해결책으로서 받아들여지고 있다. 하지만, 국내의 경우, 재해 시 항상 문제가 되는 정보, 통신, 의료체계 및 사회공공 시설물의 피해로 인한 혼란 방지라는 차원에서 면진구조의 도입이 종종 거론되고는 있으나 아직까지 구체적인 설계기술은 정착되지 못하고 있는 실정이다.

본 논문은 면진기술의 국내 기반구축을 위하여 최근 대한건축학회와 대한주택공사, 그리고 DRB동일에 의해 수행된 공동 프로젝트 연구결과의 일부이다. 이 프로젝트의 목적은 면진기법을 적용하기 위한 설계지침서를 개발하고, 순수 국내기술에 의한 면진장치를 채용함에 따른 면진효과를 해석적, 실험적으로 검증하는 것이며, 본 논문

\* 정회원, 동일고무벨트(주) 기술연구소 연구원

\*\* 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원, 공학박사

\*\*\* 정회원, 아키니어링 대표, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 교수, 공학박사

서는 동 프로젝트의 일부로서 지진파의 특성 및 지진동의 입력레벨에 따른 면진효과를 검증하기 위하여 수행된 1/3 축소모델 진동대 실험결과가 제시될 것이다.

## 2 실험모델 및 실험방법

본 연구에 적용된 실험모델 및 면진장치의 상세와 진동대위에 설치된 모델의 사진을 각각 그림 1과 그림 2에 나타내었으며, 표 1에 실험모델의 구성을 위한 상사법칙을 정리하여 나타내었다.

실험모델의 원형건물은 국내 주거문화를 대표해 온 일반적인 벽식구조 아파트(84m<sup>2</sup>-90세대-15층)로서 당초 목적으로는 완전한 한세대를 모델링하고자 하였으나, 사용 진동대 성능상의 제약으로 인하여 그림 1(a)와 같이 모델을 단순화하였으며, 실험체 제작상의 난이도를 고려하여 1/3의 축소율을 갖도록 원형건물의 하부 3개층만을 모델링하여 실험모델을 구성하였다. 실험모델은 단변과 장변이 각각 1.5m×2.45m이고, 전체 높이가 3.0m인 3층 건물로서, 모델의 전체 중량은 14.7 tonf이며, 상사법칙에 따라 각 층별로 1.6 tonf의 추가질량이 부과되었다. 적층고무 베어링은 실험체의 네 모서리에 설치되었는데, 직경 184mm에 두께 8mm인 16층의 천연고무로 구성되어 있으며, 전단탄성계수 값은 4.6 kgf/cm<sup>2</sup>이다. 실험모델의 면진 전·후 고유주기는 각각 0.06초와 1.43초(원형모델의 경우 0.1초

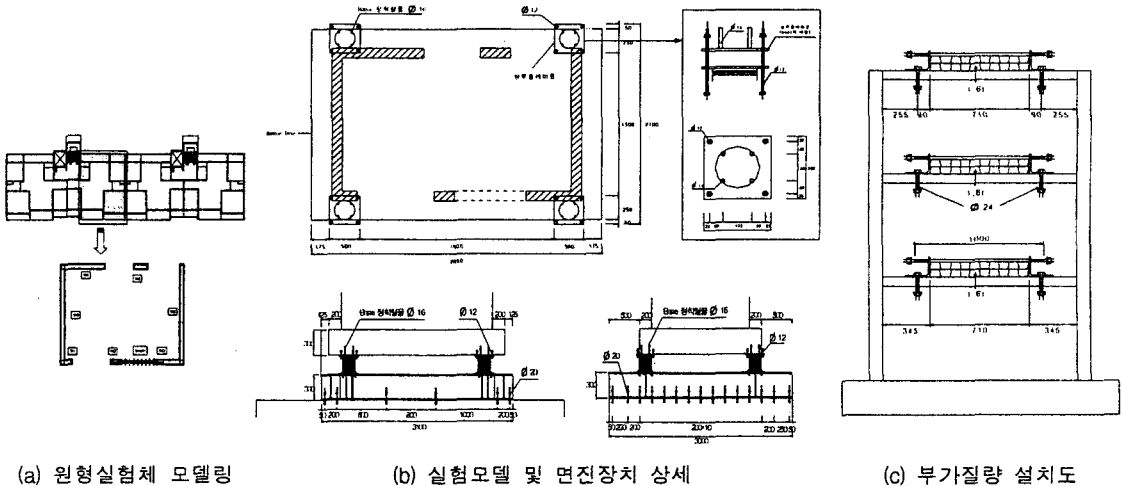


그림 1 실험체 모델 및 면진장치

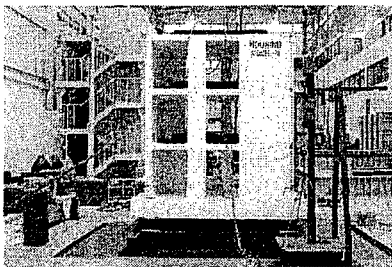


그림 2 실험체 설치상황

표 1 축소모델의 상사율(Scale Factor)

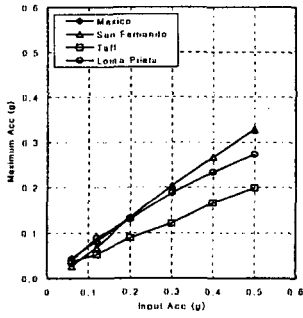
| Quantity     | Dimension | Ratio | Quantity | Dimension              | Ratio |
|--------------|-----------|-------|----------|------------------------|-------|
| Length       |           | 1/3   | Moment   | $L_s^3$                | 1/27  |
| Stress       |           | 1.0   | Period   | $m_s^{0.5} L_s^{-0.5}$ | 0.53  |
| Mass (Force) | $L_s^2$   | 1/9   | Time     | $m_s^{0.5} L_s^{-0.5}$ | 0.53  |
| Stiffness    | $L_s$     | 1/3   | Acc.     | $L_s^2/m_s$            | 1     |

와 2.48초)이다. 면진시스템의 효과와 다양한 진동수 특성을 지닌 지진파에 의한 응답특성을 얻기 위하여 Taft 1952, San Fernando 1971, Mexico City 1985, Loma Prieta 1989 등 4개의 지진파가 사용되었다. 지진동은 모델의 장변방향으로 적용되었으며, 최대지반가속도(PGA)가 0.06g, 0.12g, 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g가 되도록 점진적으로 증가시키면서 실험을 실시하였다. 지진동의 적용시간은 상사법칙에 따라 기록된 시간에 대하여 1/√3의 비율로 축소되었다. 측정은 각 층의 수평가속도와 상대변형을 계속하였다.

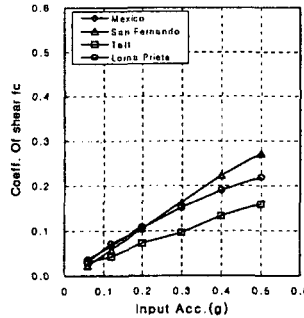
### 3. 실험결과

실험결과로서, 그림 3은 (a) 최상층의 최대응답가속도, (b) 1층의 전단력계수(V/W), (c) 면진층의 최대변위를 나타낸 것이며, 그림 4(a)는 PGA 0.5g에서 각 지진파의 최대응답가속도 분포를, 그림 4(b)는 Taft 지진에 대하여 0.06g, 0.12g, 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g에서의 층별 최대가속도 분포를 각각 나타낸 것이다. 다만, Maxico지진의 경우에는 0.2g에서 이미 설계허용변위를 넘는 변형을 나타내 안전상의 문제로 실험을 중단하였으며, 따라서 본 절에서는 0.2g의 데이터까지만을 분석대상으로 하였다.

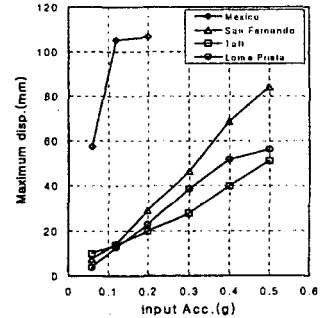
응답가속도의 경우, 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 입력가속도 0.06g에서도 작기는 하나 면진으로 인한 분명한 응답가속도 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 그 때 입력지진가속도에 대한 최대 응답가속도의 비율(가속도 감소율)은 약 0.45~0.73이었다. 이후, 입력가속도가 증가함에 따라 면진효과가 확연하게 나타났으며, 0.5g에서 0.39~



(a) 최상층 최대응답가속도

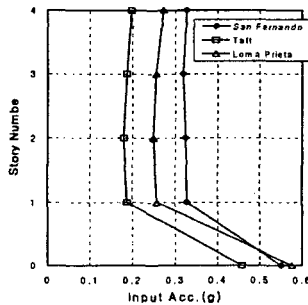


(b) 1층 층 전단력계수(V/W)

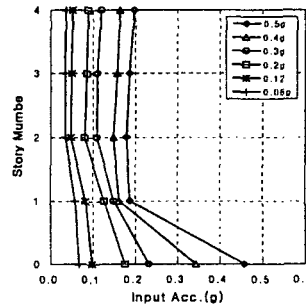


(c) 면진 최대응답변위

그림 3 실험모델의 최대응답



(a) PGA 0.5g



(b) Taft 지진의 경우

그림 4 최대응답가속도 분포

0.65의 가속도 감소율을 나타내 입력가속도의 증가에 따라 그 효과 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 1층의 전단력계수는 0.2g에서 Taft, San Fernando, Loma Prieta, Maxico 지진에 대하여 각각 0.07, 0.1, 0.1, 0.11로 낮게 나타났으며, 강진인 0.5g에서는 0.27을 기록하였다. 층 전단력의 감소는 결국 상부 구조의 부재설계에 있어서 작용하는 하중의 감소를 의미하므로 상부 구조를 보다 경제적으로 설계할 수 있음을 의미하며, 이러한 효과는 지진동의 레벨이 높아질수록 증가하는 것으로 나타났다. 면진층의 최대 수평변위는 Maxico 지진을 제외하고는 0.12g에서 약 17mm 이하였으며, 0.5g하에서도 90mm를 넘지 않는 것으로 나타나 강진상태에서도 허용설계변위인 100mm를 넘지 않는 것으로 나타났다. 다만, Maxico지진의 경우 0.2g에서 이미 허용설계변위를 넘는 변형을 나타내 실험을 중단하였으므로 이후 최대변형에 대한 데이터를 얻을 수 없었으며, 동 지진에 대해서는 감소효과를 증가시키거나 최대설계변위를 크게 하는 등 특별한 조치가 필요한 것으로 판단된다.

0.5g에서 각 층의 최대응답가속도분포를 나타낸 그림 5(a)를 보면, 각 층별로 거의 일정한 값의 분포를 나타내고 있어 강진 하에서도 사용성 면에서 향상된 거동을 기대할 수 있을 것으로 판단되며, 동 건물의 거동이 거의 1차모