

볼 베어링을 이용한 면진장치의 성능평가

Performance Evaluation of Seismic Isolation using Ball Bearing

장 준 호* · 장 광 석** · 이 영 석*** · 여 상 호****

Chang, Chun-Ho · Jang, Kwang-Seok · Lee, Young-Seok · Yeo, Sang-Ho

요 약

최근 국제적으로 지진 발생 규모가 증대하고 있으며, 우리나라를 비롯한 많은 나라에서 구조물 및 주요 시설물에 대한 내진설계에 관심이 증대되고 있다. 지진방재는 건물자체의 안전성뿐만 아니라 내부설비 및 소장품에 대한 안전성까지 종합적으로 검토되어야 하며 이를 위한 대책이 필요한 실정이다. 본 연구의 주요목적은 예측 불가한 자연재해인 지진에 대해 일반적인 면진성능을 갖는 기초격리장치로서의 기능을 충실히 수행할 수 있는지를 확인하기 위하여 면진장치를 사용한 구조물의 면진효과를 검증하는 것이다. 또한 설계된 스프링의 탄성계수에 따른 실제 지진 시 응답의 차이를 알아보기 위하여 공진실험 및 진동대 실험을 실시하여 면진테이블 시스템의 면진성능을 평가하였다. 진동대 실험은 미국 「NEBS Requirements」에서 규정하는 요구응답스펙트럼에 상응하는 임의 지진파를 적용하였고 각각 x축과 z축 가진 후, x-y-z 축을 동시에 가진하여 수행하였다. 시험응답스펙트럼(Test Response Spectrum)은 요구응답스펙트럼(RRS)에 포락하도록 시험하여 최대가속도는 x축 방향 가진 시 90%의 감쇠효과가 나타났으며, 3축 방향 가진 시 x축 방향은 58%, y축 방향은 31%의 감쇠효과가 나타났다. 최대상대변위는 설계스트로크 140mm에 대하여 최대 85.54mm의 변위가 발생하여 안정적인 거동을 나타내었다. 본 연구에서 제안한 면진테이블 시스템은 중요 첨단장비 및 문화재 등의 전도 및 파괴를 방지하는 데 효과적일 것으로 판단된다.

keywords : 면진장치, 면진성능, 응답가속도, NEBS

1. 서 론

최근 국제적으로 지진 발생 규모가 증대하고 있다. 우리나라를 비롯한 많은 나라에서 구조물 및 주요시설물에 대한 내진설계에 관심이 증대되고 있다. 지진방재는 건물자체의 안전성 뿐만 아니라 내부설비 및 소장품에 대한 안전성까지 종합적으로 검토되어야 하며 이를 위한 대책이 필요한 실정이다.

본 연구의 주요목적은 예측 불가한 자연재해인 지진에 대해 일반적인 면진성능을 갖는 기초격리장치로서의 기능을 충실히 수행할 수 있는지를 확인하기 위하여 면진장치를 사용한 구조물의 면진효과를 검증하는 것이다. 또한 설계된 스프링의 탄성계수에 따른 실제 지진 시 응답의 차이를 알아보기 위하여 공진실험 및 진동대 실험을 실시하여 면진테이블 시스템의 면진성능을 평가하였다.

* 정회원 · 계명대학교 토목공학과 부교수 chunho@kmu.ac.kr

** 계명대학교 토목공학과 박사수료 jkseok@kmu.ac.kr

*** 계명대학교 토목공학과 석사졸업 lyssyl@kmu.ac.kr

**** 계명대학교 토목공학과 석사과정 kfcmmm@kmu.ac.kr

2. 실험모델 및 진동대 실험

본 연구에서는 면진테이블 시스템의 면진성능 평가를 위해, 하중 300kg을 적용하여 공진 및 진동대 실험을 수행하였다. 면진테이블 시스템은 스프링과 슬라이딩 베어링의 조합으로 이루어져 있으며, 면진테이블 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 그림 2는 진동대 실험 전경을 나타낸 것이다.

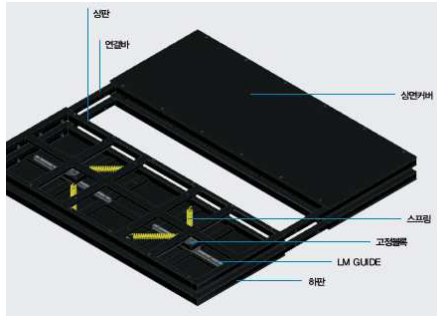


그림 1 면진테이블의 구성

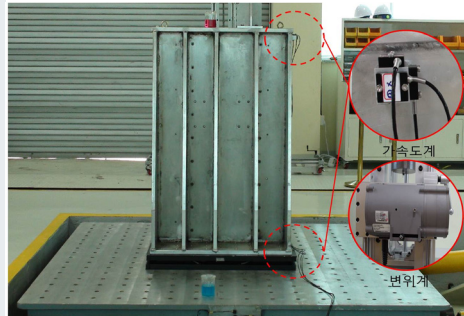


그림 2 진동대 실험 전경

공진실험은 공진을 탐색하기 위해 그림 2와 같이 상단에 가속도계를 부착하였으며, 시험조건은 Sweep sine을 이용하여 1~50Hz 주파수 범위에서 0.2g의 가속도와 1oct/min의 비율로 독립적으로 한 축씩 시험하여 3축(x,y,z)을 수행하였다. 진동대 실험은 미국 「NEBS Requirements」에서 규정하는 요구응답스펙트럼을 사용하였다. 적용된 요구응답스펙트럼은 Zone 4(50%)구역으로 각각 x축과 z축 가진 후, x-y-z 축을 동시에 가진하여 수행하였고, 시험응답스펙트럼(Test Response Spectrum)은 요구응답스펙트럼(RRS)에 포락하도록 시험하였다.

표 1 요구응답스펙트럼(RRS)

시험방향		EW(x)	NS(y)	UD(z)
주파수 범위		1~50Hz		
Total Duration		32 sec		
시험레벨	1.0Hz	29.43m/sec ³ (3.0g)		
	2.0Hz	49.05m/sec ³ (5.0g)		
	5.0Hz	49.05m/sec ³ (5.0g)		
	15.0Hz	15.70m/sec ³ (1.6g)		
	50.0Hz	15.70m/sec ³ (1.6g)		

3. 결과 및 분석

면진테이블 시스템에 300kg의 상재하중을 적용하여 공진실험을 실시하였다. 공진실험으로부터 나온 결과를 요약하면 표 2와 같다. 그림 3과 그림 4와 같이 x축과 y축 방향에 대한 공진현상은 나타나지 않았다. 그림 5는 z축에 대한 공진 탐색실험 결과를 나타낸 것이다. z축은 18.07Hz, 26.86Hz에서 공진현상이 발생하였다. 따라서 x축과 y축에 대해 1~50Hz 대의 탁월주파수 성분을 가지고 있는 지진파에서 공진현상이 발생하지 않을 것으로 판단된다.

표 2 공진탐색 실험결과

구 분	EW(x)	NS(y)	UD(z)
주파수(Hz)	No Resonance	No Resonance	18.07, 26.86
가속도배율	-	-	2.49, 3.87

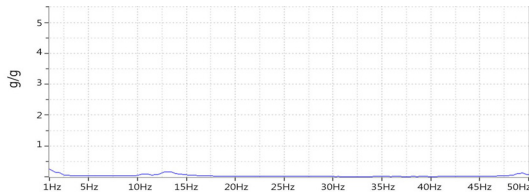


그림 3 공진탐색 실험결과(x축)

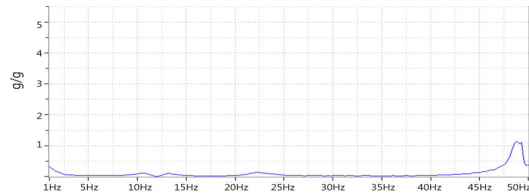


그림 4 공진탐색 실험결과(y축)

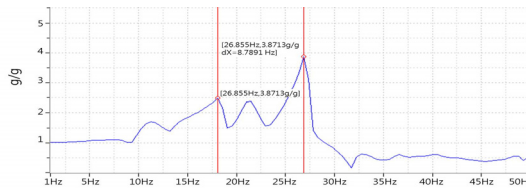


그림 5 공진탐색 실험결과(z축)

1축 방향과 3축 방향의 가진 시 응답의 차이를 비교하기 위한 진동대 실험 결과는 표 3과 같다. 면진테이블 시스템은 스프링과 볼 베어링(LM guide)을 이용하여 x축과 y축에 대한 감쇠효과를 가진 시스템으로 그림 6과 같이 x축 가진 시 지진응답비가 0.10으로 90%의 높은 감쇠효과가 나타났다. 그림 7은 z축에 대한 가속도 응답을 나타낸 것으로, z축은 지진응답비가 1.09로 시험체 최대가속도가 진동대 최대가속도보가 크게 나타났다. 그림 8은 3축을 동시에 가진 후 가속도 응답을 나타낸 것이다. 3축 방향 가진 시, x축의 지진응답비는 0.42, y축 지진응답비 0.69, z축 지진응답비는 1.10의 값을 보였다.

표 3 진동대 실험결과

가진 방향	진동대 최대가속도(g)	시험체 최대가속도(g)	상대변위(mm)	지진응답비	
x 방향가진	1.210	0.121	84.54	0.10	
z 방향가진	1.073	1.169	-	1.09	
x,y,z 방향가진	x	1.045	0.441	81.89	0.42
	y	0.949	0.654	-	0.69
	z	0.784	0.866	-	1.10

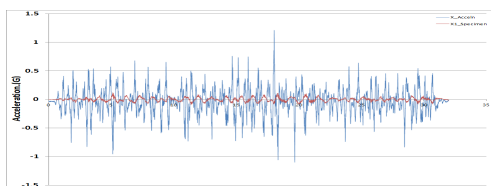


그림 6 x축 진동대 실험에 의한 가속도 응답

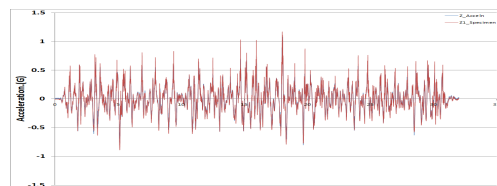


그림 7 y축 진동대 실험에 의한 가속도 응답

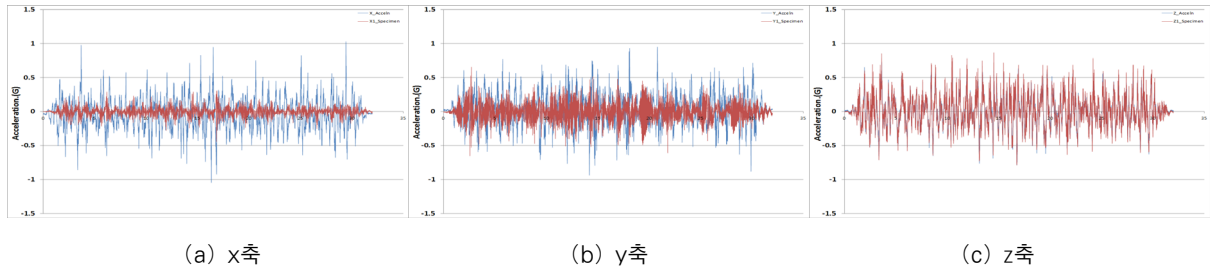


그림 8 3축 진동대 실험에 의한 가속도 응답

4. 결론

본 연구에서는 NEBS 규정에 따른 요구응답스펙트럼에 상응하는 임의 지진파를 이용하여 지진격리시스템의 면진효과를 분석하였다. 면진성능을 알아보기 위한 공진 및 진동대 실험을 수행하여 본 장치의 안정성과 면진성능을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공진 실험 결과, 1~50Hz 사이의 실험구간에서는 x축과 y축 방향은 공진현상이 나타나지 않았으며, z축의 18.07, 26.86Hz에서 공진현상이 발생하였다. 1~50Hz 대의 탁월 주파수를 가지는 지진파에서는 x축과 y축 방향 진동 시 면진테이블 시스템의 대한 공진현상이 발생하지 않을 것으로 판단된다.
2. NEBS 규정의 요구응답스펙트럼에 상응하는 임의 지진파를 적용하였을 때, 최대가속도는 x축 방향 가진 시 90%의 감쇠효과를 보이고 있으며, z축 방향 가진 시, x축 방향은 58%, y축 방향은 31%의 감쇠효과를 보였다. 또한 최대상대변위도 설계스트로크 140mm에 대하여 최대 85.54mm의 스트로크가 발생하여 안정적인 거동을 나타내었다.
3. 향후 본 연구의 면진테이블 시스템의 실험결과를 바탕으로 장치의 동적해석을 통해 정확한 비교·분석을 할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 제안한 면진테이블 시스템은 중요 첨단장비나 문화재 등의 전도 및 파괴를 방지하는 데 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 구조물-지반 상호작용을 고려한 구조물 비선형 내진 성능평가 도구 개발과제 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김민규, 전영선, 최인길 (2004) 원전기기의 면진을 위한 진동대 실험Ⅱ:FPS, **한국지진공학회 논문집**, 8(5), pp.65~75.
- 이진섭, Tanaka Hisaya, Kuroda Hidetsugu, Suzuki Toru (2006) 直動베어링免震받침(CLB)의力學的 特性 및 設計 事例, **대한건축학회 논문집**, 26(1), pp.89~92.
- Telcordia Technologies. (2002) NEBS Requirements: Physical Protection, GR-63-core, An SAIC Company, Issue2, pp.5-31~5-39.