

# 압전 가력기 기반 복합형 마운트 시스템을 이용한 제진 테이블 개발

## Development of the vibration isolation table

### using piezo actuator-based hybrid mount system

문영중\* · 장동두\*\* · 문석준\*\*\* · 최상민\*\*\* · 오정근\* · 박병근\* · 정형조†

Y.-J. Moon, D.-D. Jang, S.-J. Moon, S.-M. Choi, J. Oh, B. Park and H.-J. Jung

#### 1. 서 론

반도체 및 광학 분야 기술의 빠른 성장으로 인해 생산설비나 연구개발 설비에 대한 요구조건은 계속 엄격해지고 있다. 특히나 이런 하이테크 산업에 있어 미진동은 작은 크기일지라도 제품의 질이나 성능에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다. 이런 미진동의 영향을 감소시키기 위해 제진 테이블이나 절연 바닥 같은 방법이 많이 사용되고 있다. 특히나 미진동의 고주파 성분은 코일스프링이나 공기스프링을 이용한 수동 마운트 시스템을 이용하여 상당히 감소시킬 수 있다. 그러나 수동 시스템만으로는 저주파 영역에서 성능에 한계가 있고 오히려 증폭시키기도 한다. 본 논문에서는 수동 마운트 시스템의 한계를 극복하기 위하여 압전 가력기와 공기스프링으로 이루어진 복합형 마운트 시스템을 이용한 제진 테이블을 개발하고자 한다.

#### 2. 제진 테이블

그림 1 은 제작된 제진테이블을 보여주고 있다. 테이블의 크기는 800mm x 1200mm 이며 무게는 약 244kg 이다. 테이블의 네 모서리에는 압전가력기와 공기스프링이 직렬로 연결된 하이브리드 마운트 시스템을 설치하였다. 하이브리드 마운트 시스템은 테이블 상판에 설치된 센서로부터 측정된 테이블의 응답을 이용하여 제어알고리즘에 의해 필요 제어력을 계산한 후 이를 압전가력기에 의해 발현시키게 된다. 그림 2 는 이와 같은 시스템의 개념도를 보여주고 있다.

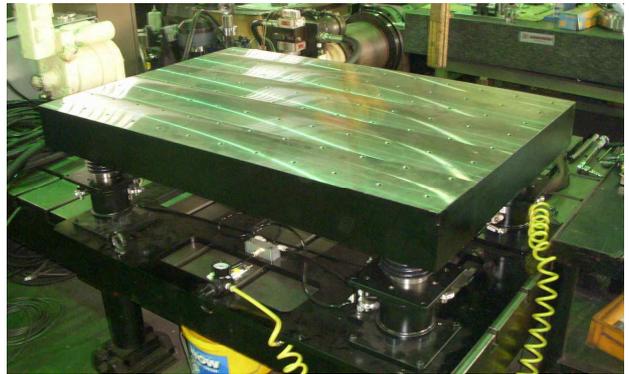


그림 1 제진테이블 형상

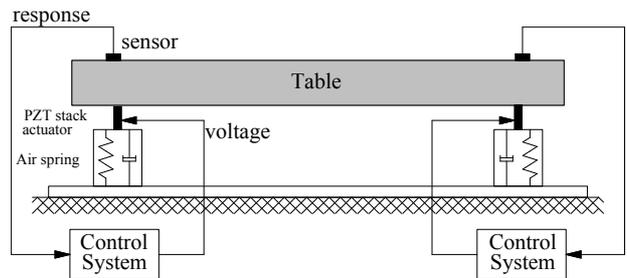


그림 2 시스템 개념도

#### 3. 압전 가력기 성능확인 실험

본 연구에서는 하이브리드 마운트 시스템을 이용하여 테이블의 응답을 정밀장비를 위한 허용 한계 기준으로 수동마운트 시스템 대비 Class 1 단계 이상 하락을 목적으로 한다. 또한 공기스프링과 압전 가력기, 테이블이 직렬로 연결되어 있어 압전 가력기의 가진력이 테이블에 전달되지 못하고 공기스프링에서 흡수할 우려가 있다. 따라서 선택한 압전 가력기가 우리가 목적으로 하는 Class 1 단계 이상 하락이 가능하도록 테이블에 가진력을 전달하는지 확인할 필요가 있다. 이를 위하여 그림 1 과 같이 제작된 제진 테이블을 이용하여 압전 가력기에 일정한 전압을 입력하고 테이블의 가속도를 측정하여 가진

† 교신저자; KAIST 건설 및 환경공학과  
E-mail : hjung@kaist.ac.kr  
Tel : (042) 350-3626, Fax : (042) 350-3610  
\* 삼성물산 건설부문 기술연구센터  
\*\* KAIST 건설 및 환경공학과  
\*\*\* 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

력을 검토하였다.

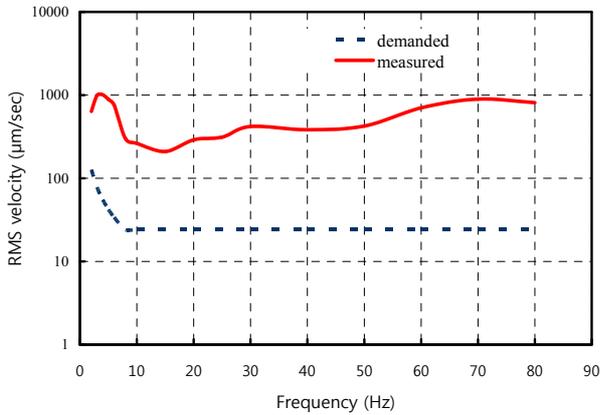


그림 3 주파수별 RMS velocity

그림 3 은 Class 1 단계 하락을 위해 요구되는 주파수별 RMS velocity 의 감소량과 실험을 통해 구한 압전 가력기에 의한 RMS velocity 발생량을 비교한 그래프이다. 그림에서 확인하듯이 전 주파수 영역에서 요구되는 이상을 압전 가력기가 발현하고 있음을 알 수 있다. 즉, 압전 가력기를 통해 목표로 하는 제어성능을 만족시키기 위한 충분한 가진력을 발현할 수 있을 것으로 보인다.

#### 4. 하이브리드 마운트 시스템의 제어성능

##### 제어알고리즘

적절한 제어력을 산정하기 위한 제어알고리즘으로 가장 일반적이며 범용적으로 사용되는 PID 제어알고리즘을 사용하였다. PID 는 Proportional(비례), Integral(적분), Derivative(미분)의 약자로 다음의 식 (1)로 표현되어 현재의 편차  $e$  에 비례한 수정량을 내는 비례동작(P 동작), 과거의 편차의 누적치에 비례한 수정량을 내는 적분동작(I 동작), 편차  $e$  가 증가 혹은 감소하는지 그 경향의 크기에 비례한 수정량을 내는 미분동작(D 동작)의 3 개를 가산 합성한 것이다.

$$y = K_p \left( e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \right) \quad (1)$$

여기서,  $y$  는 수정량,  $K_p$  는 비례계수,  $e$  는 편차 (목표치-실효치),  $T_i$  는 적분시간,  $T_d$  는 미분시간이다.

본 수치해석에서는 테이블 각 모서리에서의 속도를 편차로 두고 필요한 제어력을 산정하였다.

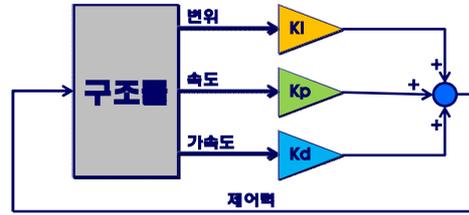


그림 4 PID 제어 블록선도

##### 수치해석

제안한 하이브리드 마운트 시스템의 미진동 제어 성능을 수치적으로 미리 확인하기 위하여 MATLAB 을 이용하여 수치해석을 수행하였다. 지반입력은 6~80Hz 구간 내에서 일정한 파워를 갖는 white 를 사용하였고 같은 하중에 마운트 바닥의 네 지점에 시간 간격을 두고 동시에 작용하도록 하였다. 수치 해석 결과 하이브리드 마운트 시스템을 이용한 결과 수동 마운트 시스템에 비해 최소 70%에서 90% 이상의 진동 저감 성능을 보였다.

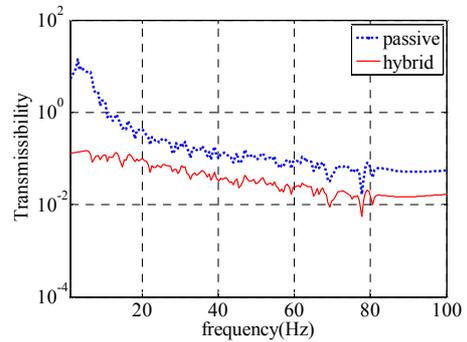


그림 6 전달율 곡선

##### 제어성능 실험

실제 실험을 통해 제어성능을 확인하기 위한 실험적 연구를 현재 진행 중에 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 압전가력기 기반의 하이브리드 마운트 시스템을 이용하여 미진동 저감을 위한 제진테이블을 개발하고자 하였다. 제안된 시스템의 성능 검증을 위해 압전 가력기에 대한 특성실험을 통해 목표성능 달성을 위한 충분한 제어력이 가능함을 확인하였다. 또한 수치해석을 통해 수동 마운트 시스템에 비해 월등한 성능을 보임을 확인하였다. 현재 실제 시작품을 대상으로 제어성능을 확인하기 위한 실험적 연구가 진행 중에 있다.

##### 후 기

이 논문은 삼성물산주식회사 건설부문의 연구비 지원으로 수행되었으므로 이에 감사를 드립니다.