

# 압전 가력기 기반 복합형 마운트 시스템이 설치된 방진 테이블의 성능 검증

## Control performance of the vibration isolation table using piezo actuator-based hybrid mount system

문영종\* · 장동두\*\* · 신윤호\*\*\* · 문석준\*\*\* · 정형조†

Yeong-Jong Moon, Dong-Doo Jang, Yun-Ho Shin, Seok-Jun Moon and Hyung-Jo Jung

### 1. 서론

최근 마이크로를 넘어 나노영역이 된 반도체 기술의 빠른 성장세와 더불어 정밀장비의 정밀도는 점점 높아지면서 미진동 방진이 중요한 문제가 되고 있다. 정밀장비의 경우 아주 작은 미진동만으로도 제품 성능 및 질에 큰 영향을 미치기 때문에 방진성능을 높여야 하는데, 기본적으로 스프링과 같은 수동 마운트 시스템이 사용되어 왔다. 그러나 수동 마운트 시스템의 제한된 제어성능으로 인해 능동적인 제어가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 수동 마운트 시스템의 한계를 극복하기 위하여 압전가력기와 공기스프링으로 구성된 복합형 마운트 시스템을 개발하고 이의 방진성능을 실험적으로 검증하였다.

### 2. 제진 테이블

그림 1 은 제작된 방진테이블을 보여주고 있다. 테이블의 크기는 600mm x 600mm, 재질은 알루미늄으로 제작되었으며 무게는 약 35kg 이다. 방진마운트는 공기스프링과 압전가력기가 직렬형태로 연결되어 있으며 테이블의 네 모서리에 설치되었다. 압전가력기는 가력 스트로크가 작다는 단점이 있지만, 빠른 응답속도와 높은 동적 힘을 낼 수 있으며 미진동의 경우 큰 스트로크가 필요치 않는 점을 고려하여 본 연구에서는 제어 가진기로서 선택되었다. 테이블 상부에는 가속도계가 설치되어 테이블의 응답을 계측하며 계측된 정보를 이용하여 제어알고리즘을 통해 필요한 제어력을 계산한 후 압전가력기를

통해 제어력을 테이블에 전달하게 된다. 테이블의 바닥에는 편심질량을 가진 가진모터를 설치하여 바닥으로부터의 진동을 모사하도록 하였다.



그림 1 방진테이블 형상

### 3. 제어알고리즘

본 연구에서 사용된 제어 알고리즘은 Filtered-X LMS 알고리즘이다. Filtered-X LMS 알고리즘은 전체 주파수 영역에서 고르게 발생하는 진동에 대해서는 제어성능이 떨어지지만, 특정 주파수가 지배적인 진동에 대해서는 탁월한 성능을 보인다. 실제 방진테이블이 필요한 공장의 경우 주변 장비의 작동으로 인한 주기적인 진동, 혹은 바닥 슬라브의 고유진동수에 의한 진동 등 특정한 주파수의 진동이 문제가 되는 경우가 많기 때문에 이에 대해 효과적으로 대처할 수가 있다. Filtered-X LMS 알고리즘은 적응신호처리 기법의 하나로 능동소음제어에 널리 사용되어 왔다. 외부하중에 의해 구조물에 진동이 발생하게 되면, 기 설정한 기준신호에 대한 구조물의 응답을 제어알고리즘을 통해 제거하게 된다. 기준신호는 FIR 필터를 통과하여 가진기의 입력으로 사용되는데, FIR 필터계수는 테이블의 바닥진동에 의한 응답과 제어력에 의한 응답의 합, 즉, 테이블 상부에서 계측된 가속도를 오차로 사용하여 least mean square (LMS) 알고리즘을 통해 매 단계 갱신된다. 기준신호는 바

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

탁진동과 상관관계를 가지고 있지만 하면 되며, 본 연구에서는 방진테이블이 설치될 환경에서 문제가 되는 진동의 주파수를 미리 계측하여 알고 있다고 가정하여 그 주파수의 사인신호를 기준신호로 사용하였다. 그림 2 는 본 연구에서 사용한 Filtered-X LMS 알고리즘의 블록선도를 나타낸다.

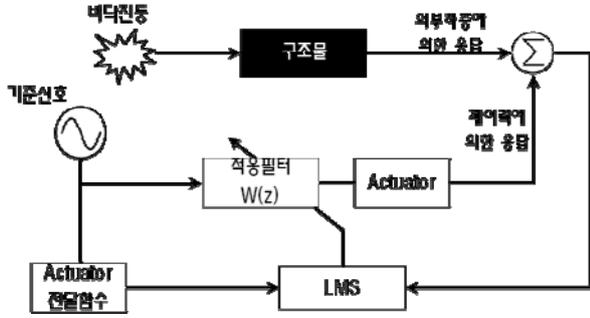


그림 2 Filtered-X LMS 블록선도

#### 4. 방진테이블 성능검증

제안된 방진테이블에 대해 방진성능을 실험적으로 평가하였다. 그림 3 은 전체적인 실험 setup 에 대한 구성도를 나타내고 있다. 데이터 계측 및 압전 가력기 입력신호 출력을 위한 A/D, D/A 변환장비는 dSPACE 1104 를 사용하였다.

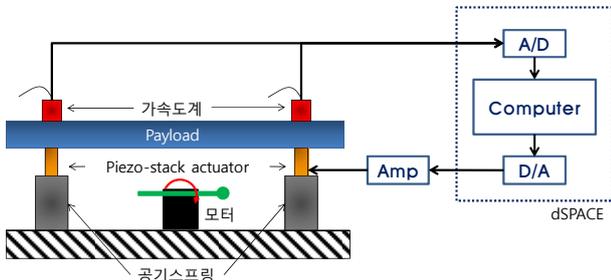


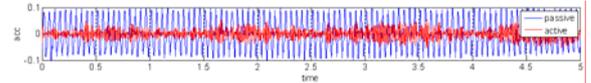
그림 3 실험 setup 구성도

실험은 20Hz 에 대해 수행하였으며 기준신호를 20Hz 와 40Hz 두 개를 두어 두 주파수 성분의 진동을 저감시키도록 하였다.

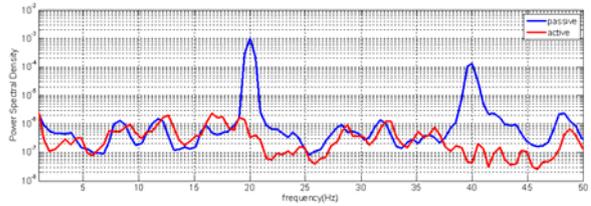
그림 4 는 시간영역과 주파수영역에서의 실험결과를 수동마운트 시스템의 결과와 비교하여 보여주고 있다. 시간영역 결과에서 볼 수 있듯이 수동마운트 시스템 결과에 비해 복합형 마운트 시스템을 사용했을 경우 진동이 큰 폭으로 저감됐음을 알 수 있다. 주파수 영역의 결과를 보면 다른 주파수 성분의 진동에 대해서는 큰 효과가 없지만, 타겟으로 잡은 20Hz 와 40Hz 성분의 진동은 90% 이상 저감시켰음을 확인할 수 있다.

그림 5 는 테이블의 가속도를 속도로 변환하여 '정

밀장비를 위한 진동 허용한계 기준'에 맞춰 1/3 octave band 해석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 수동마운트 시스템의 경우 20Hz 성분이 Class A 를 크게 초과하고 있으며 40Hz 성분도 Class A 에 근접한 응답을 보이고 있다. 그러나 복합 마운트 시스템을 이용하여 진동을 저감시킨 결과 두 부분에서 각각 Class B, Class D 이하로 내려감을 확인 할 수 있다.



(a) Time history



(b) PSD of table acceleration

그림 4 성능검증 실험 결과

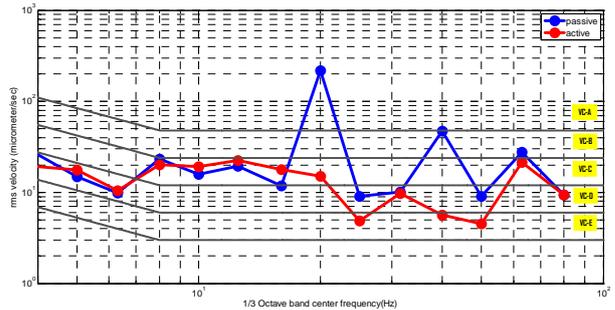


그림 5 허용한계기준 비교

#### 5. 결 론

본 연구에서는 압전가력기 기반의 복합형 마운트 시스템을 이용하여 미진동 저감을 위한 방진테이블을 개발하였으며 개발된 테이블을 이용하여 방진성능을 실험적으로 검증하였다. 제어알고리즘으로는 특정주파수 성분이 탁월한 진동에 대해 제어효과가 우수한 Filtered-X LMS 알고리즘을 사용하였다. 가진모터를 이용하여 바닥에서 20Hz 주파수를 갖는 미진동을 발생시켜, 이에 대한 제어실험을 수행하였으며 실험결과 타겟으로 잡은 20Hz, 40Hz 성분의 진동을 대부분 저감시켜 수동마운트 시스템에 비해 월등한 성능을 보임을 확인하였다.

#### 후 기

이 논문은 삼성물산주식회사 건설부문의 연구비 지원으로 수행되었으므로 이에 감사를 드립니다.