

# MR-Damper를 이용한 반능동형 제진대의 매개변수 규명

## Parameter Estimation of Semi-Active Vibration Isolation Table using MR-Damper

이규섭† · 안채현\* · 김도영\*\* · 전종균\*\*\* · 이홍기\*\*\*\*

GyuSeop Lee, ChaeHun An, DoYoung Kim, ChongKeun Chun and HongKi Lee

### 1. 서 론

디스플레이 및 반도체 등 초정밀 가공 및 생산 검사 장비의 운용이 고집적화 및 대형화됨에 따라 이를 구현하기 위한 장비들의 정밀도가 급격히 높아지고 있다. 진동은 수율 및 정밀도를 크게 저해하는 요인으로 부각된다. 따라서 생산품질 측면에서는 외부에서 장비로 전파되는 진동의 차단 및 내부 진동원에 따른 과도 응답의 저감이 매우 중요시 되고 있다. 이에 공기스프링 등 방진재를 이용하여 방진 영역을 확보하고 있다. 그러나 낮은 고유진동수에 기인하는 과도 응답을 제어해야 하는 문제가 발생된다. 따라서 비교적 작은 크기와 적은 동력으로 효과적인 진동제어가 가능한 MR댐퍼를 도입하여 제진대 하부에 지지하는 반능동형 제진대 시스템을 구성하였다. 본 연구에서는 반능동형 제진대를 3자유도 선형 시불변 시스템으로 가정하고, 실험적인 데이터를 이용하여 매개변수 규명을 수행하여, MR댐퍼의 전류 변화에 따른 특성을 분석하였다.

### 2. 시스템 모델링

#### 2.1 모델링 및 좌표 변환

반능동형 제진대는 Fig. 1과 같이 6 자유도로 표현된다. 그러나 큰 강성으로 인하여 거동이 적은 자유도를 제외하면 3 자유도로 모델링할 수 있다.

† 교신저자; 정회원, 알엠에스 테크놀로지(주)

E-mail : rmstech@rmstech.co.kr

Tel : (041) 556-7601, Fax : (041)556-7603

\* 정회원, 한국생산기술연구원

\*\* 선문대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 정회원, 선문대학교 기계공학과

\*\*\*\* 정회원, 알엠에스 테크놀로지(주)

운동방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

$$[M] \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\alpha} \\ \ddot{\beta} \end{Bmatrix} + [C] \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} x \\ \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_z \\ T_\alpha \\ T_\beta \end{Bmatrix} \quad (1)$$

무게중심(C.G)을 중심 좌표로 구성하여 운동방정식이 유도되는 형식이다. 따라서 센서의 위치를 제진대의 무게중심 위치로 좌표변환이 요구된다. Fig. 2와 같이 부착된 센서 출력은 식(2)와 같이 기하조건에서 추출된 좌표 변환 행렬을 이용한다.

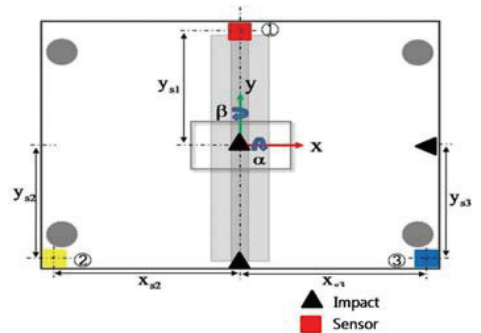


Fig. 1 Sensor position on table (z-axis)

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & y_{s1} & 0 \\ 1 & y_{s2} & -x_{s2} \\ 1 & y_{s3} & -x_{s3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z \\ \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} \quad (2)$$

또한 식(2)의 역행렬은 좌표계의 역변환으로 이용된다.

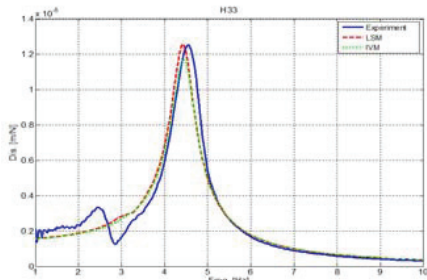
### 3. 실험 및 매개변수 규명

#### 3.1 제진대의 모달테스트

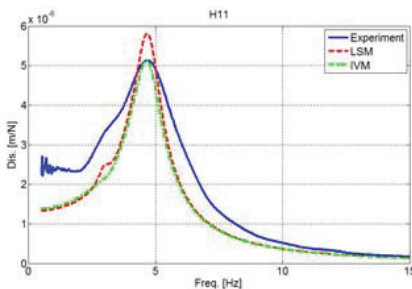
제진대 시스템의 모달테스트를 위하여 Fig. 1과 같은 위치에 가속도 센서를 부착하였고, 임팩트 해머를 이용하여 충격 입력을 가하였다. MR댐퍼의 전류를 0.4 A 단위로 1.2 A까지 변화시켜가면서 같은 실험을 반복 수행하였다. 가진점의 위치는 모델링에서 가정한 자유도 방향으로만 입력되도록 선정하였다. 추출된 결과는 식(2)의 좌표 변환 행렬을 이용하여 무게 중심점에서의 주파수 응답 함수로 변환하였다.

#### 3.2 매개변수 규명 방법

최소자승법(least square method)을 이용한 실험 데이터의 매개변수 규명은 결과가 참값에 잘 추종하는 것으로 알려져 있다. 또한 노이즈의 영향을 보완하기 위하여 보조 변수법(instrumental variable method)을 도입하였다. 실험으로 추출된 주파수 응답 함수를 적용한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 보는 바와 같이 작은 오차 범위 내에서 실험값에 추종하는 것을 확인할 수 있다.



(a) 0 A



(b) 0.4 A

Fig. 2 Comparison experiment with estimation

Table 1 parameter estimation result

(a) 0A

Parameter	Value		
C	4449.7	1094.0	-2913.8
	-7433.6	5403.94	356.9
	-3256.4	-87.67	2546.8
K	959340.6	35404.7	-2913.8
	-47954.3	342562.6	7635.1
	-12206.4	-16575.8	5632043.7

(b) 0.4A

Parameter	Value		
C	18428.9	2202.2	2249.1
	-17241.1	6717.3	-1579.2
	-13878.2	456.32	5202.2
K	1191285.4	-50013.8	15902.2
	-160934.3	380434.5	-6270.1
	-114434.41	-95549.8	608837.2

매개변수 추출 결과는 Table 1에 나타내었다. 전류 증가에 따라 강성행렬과 감쇠행렬이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히 감쇠행렬은 비선형 특성이 매우 큰 것을 확인하였다.

### 3. 결론

MR댐퍼를 적용한 반능동형 제진대의 매개변수를 규명하기 위해 모달 테스트를 수행한 후, 주파수 응답 함수를 추출하여 최소자승법 및 보조변수법을 적용하여 매개변수를 규명하였다. 전류에 따라 강성행렬과 감쇠 행렬이 비선형적으로 증가하는 것을 확인하였으며, 특히 감쇠 행렬이 큰 비선형성을 보이는 것을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 제조기반 산업원천기술개발 사업의 지원으로 작성 되었습니다.