

## 통합제진마운트용 MR 댐퍼의 설계 및 성능 평가

### Design and Performance Evaluation of MR Damper for Integrated Isolation Mount

성민상\* · 임승구\* · 최승복† · 김철호\*\*

Min-Sang Seong, Seung Gu Lim, Seung-Bok Choi and Cheol-Ho Kim

#### 1. 서론

디스플레이 및 반도체 분야와 같이 세계 기술을 선도하는 국내 성장 동력분야에 있어서 발전 방향의 큰 줄기는 장비의 대형화, 집적화, 다기능화 등으로 요약될 수 있다. 이를 구현하기 위하여 가공/생산/검사장비에 요구되는 정밀도가 점차 높아지고 있으며, 이에 따라 정밀도를 저해시키는 주변 미세진동 및 장비 자체에서 발생하는 진동의 제어가 중요한 문제로 부각되고 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 일반적으로 공기스프링과 같은 유연한 탄성 받침을 사용하여 방진처리를 하는 방법을 사용한다. 그러나 최근 정밀장비의 진동 허용치가 매우 낮아지고, 장비 자체의 이동 질량에 의한 동하중이 진동원으로 작용함으로써 방진 만으로는 허용치를 만족시킬 수 없게 되었다. 따라서 외부에서 제어력을 가해줄 수 있는 위치제어 및 진동제어를 위한 제어 시스템의 개발 및 적용이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 제안된 수동형 공기스프링, 능동형 전자기작동기, 반능동형 MR (magnetorheological) 댐퍼를 통합적으로 연동시켜 진동을 방진/제진하는 통합제진마운트 중 반능동형 작동기인 MR 댐퍼의 설계 및 성능평가를

수행한다. 이를 위하여 통합제진마운트 시스템의 구조 및 특이성을 확인하고 이로부터 통합제진마운트에 적합한 형태의 MR 댐퍼를 설계한다. 설계된 MR 댐퍼의 성능을 해석할 수 있는 해석적 모델을 구축하고, 이를 이용해 MR 댐퍼의 성능을 평가한다.

#### 2. 통합제진마운트

Fig. 1은 이동질량을 갖는 스테이지의 제진/방진을 위한 공기스프링, 전자기작동기, MR 댐퍼로 구성된 통합제진마운트의 구성도이다. 그림에서 보여지는 바와 같이, 스테이지에 전달되는 진동은 크게 두 가지로, 첫째는 바닥을 통해 전달되는 진동이며, 둘째는 스테이지의 이동질량으로 인해 발생하는 과도응답이다. 이 중 스테이지의 이동질량으로 인해 발생하는 과도응답 진동은 장비의 진동 허용치를 크게 초과하여, 공정에 악영향을 끼치게 된다. 이러한 과도응답을 능동형 작동기로 제어하기 위해서는 작동기의 크기가 매우 커져야 하며, 많은 동력을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 비교적 작은 크기와 적은 동력으로 효과적인 진동제어가 가능한 반능동형 작동기인 MR 댐퍼를 이용하여 이동질량으로 인한 과도응답을 제어한다. 한편, 능동형 작동기는 반능동형 작동기로 제어하기 어려운 미세진동의 제어를 담당하는데, 바닥을 통해 전달되는 미세진동의 경우 MR 댐퍼를 통해 스테이지로 전달되면 진동 규제치를 만족시킬 수 없게 된다. 따라서 통합제진마운트의 MR 댐퍼는 미세 진동의 전달을 방지하기 위한 고려가 필요하다. 이를 위해 MR 댐퍼의 하우징과 피스톤 사이에 고체마찰이 발생하지 않는 설계가 요구된다.

#### 3. MR 댐퍼

일반적인 구조의 MR 댐퍼는 하우징과 피스톤 사이의 실링 및 운동 고정부에 의해 고체마찰이 발생하게 된다. 이러한 고체마찰은 미세진동의 방진에 악영향을 끼치며, 이에 따라 본 연구에서는 이러한 고체마찰을 제거하기 위해 Fig. 2와 같이 새로운 구조의 MR 댐퍼를 제안, 설계하였다. 제진마운트용

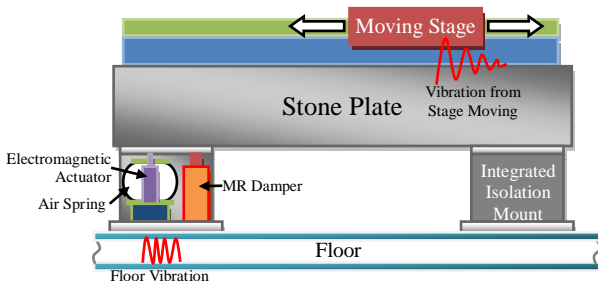


Fig. 1 Configuration of integrated isolation mount

† 교신저자; 정회원, 인하대학교 기계공학부  
E-mail : seungbok@inha.ac.kr  
Tel : (032) 860-7319, Fax : (032) 868-1716  
\* 인하대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 한국생산기술연구원

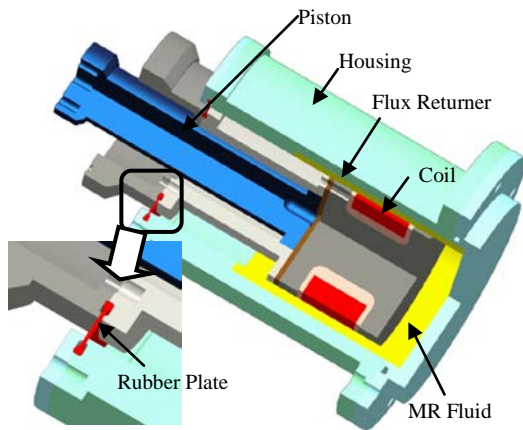


Fig. 2 Design MR damper

MR 댐퍼는 정밀하게 설계된 구조하에 수직방향 운동을 하기 때문에, 수평 방향 흔들림을 방지하기 위한 운동 고정부를 생략하고 하우징에 flux returner 를 설치하여 하우징과 피스톤 헤드 사이의 공간을 유로로 활용하였다. 또한 제진마운트용 MR 댐퍼는 일반 댐퍼에 비해 수직방향 작동 변위가 매우 적은 점을 활용하여 피스톤과 하우징 양쪽에 고정되어 탄성이 큰 고무판으로 상부 실링을 대체하였다. 이 고무판은 피스톤의 움직임에 따라 인장/수축하여 피스톤의 자유로운 움직임을 보장하며, 일반적인 MR 댐퍼에서 가스챔버가 담당하던 피스톤의 부피보상역할을 수행할 뿐 아니라 미세진동에서 고체마찰이 발생하지 않도록 하는 역할을 수행한다.

이와 같이 구축된 MR 댐퍼의 댐핑력은 다음과 같이 모델링될 수 있다.

$$F_d = k_e x_p + C_e \dot{x}_p + F_{MR} \quad (1)$$

여기서  $x_p$ ,  $\dot{x}_p$  는 각각 피스톤의 변위와 속도이며,  $k_e$  는 고무판의 스프링상수로, 선형으로 가정하였다. 또,  $C_e$  는 유체의 댐핑 계수로 피스톤과의 접촉 면적과 유체저항에 의해 결정되는 값이다.  $F_{MR}$  은 자기장에 의해 발생하는 힘으로, 다음과 같이 표현된다.

$$F_{MR} = (A_p - A_r) P_{MR} \text{sgn}(\dot{x}_p) \quad (2)$$

여기서  $A_p$ ,  $A_r$  은 각각 피스톤과 피스톤 로드 면적이며,  $P_{MR}$  은 자기장에 따른 유체의 항복응력 변화로 인한 댐퍼 내 압력 강하로, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{MR} = 2 \frac{c L_p}{h} \alpha H^\beta \quad (3)$$

여기서,  $H$  는 인가되는 자기장이다.  $c$  는 유체의 속도와 관계된 계수이며,  $L_p$  는 자극의 길이이고,  $h$  는 유로의 간극이다. 또한  $\alpha$ ,  $\beta$  는 인가 자기장에 의한 MR 유체의 항복응력을 나타내는 빙햄(Bingham) 모

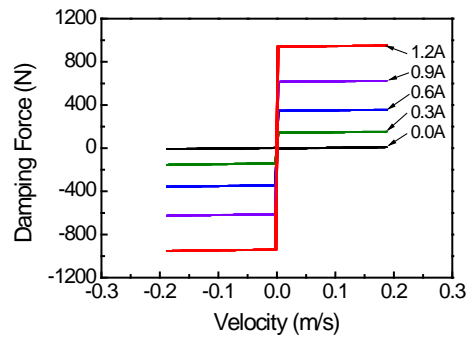


Fig. 3 Damping force characteristics

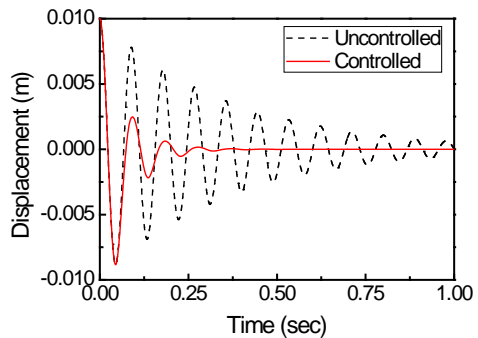


Fig. 4 Control Result

델의 계수이다.

Fig. 3 은 위의 모델로부터 해석한 MR 댐퍼의 성능이다. 본 연구에서 제안한 MR 댐퍼는 유로를 넓혀 유체 점성에 의한 영향을 줄이고, 고체마찰을 제거함으로써 MR 효과에 의한 댐핑력이 지배적으로 나타나도록 하였다.

이와 같은 MR 댐퍼의 성능을 기반으로 정밀 생산 스테이지의 진동 제어를 수행하였다. Fig. 4 는  $1t$  의 스테이지에 상부 질량의 이동으로 impulse 가진 인가되었을 때 PID 제어를 수행한 결과로, 본 연구에서 제안한 MR 댐퍼를 적용하였을 경우 진동이 효과적으로 저감되는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 정밀 생산/계측 장비용 통합제진마운트 시스템에 적용하기 위하여 고체 마찰을 제거한 새로운 형태의 MR 댐퍼를 설계, 모델링하였으며, 이의 성능 평가 및 진동제어를 수행하였다. 본 연구를 통해 제안된 MR 댐퍼는 통합제진마운트의 일부로서 정밀 생산/계측장비에 적용하여 과도응답을 제어하기에 적합한 성능을 지닌 것으로 확인되었다.

#### 후 기

이 연구는 지식경제부 산업기술개발사업(10032329) 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.