

통합제진마운트용 MR 댐퍼의 모델링 및 해석

Modeling and Analysis of MR Damper for Integrated Isolation Mount

성민상* · 최승복† · 김철호**

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

1. 서론

세계 기술을 선도하는 국내 성장 동력 중 하나인 디스플레이 분야 및 반도체 분야 등에 있어 발전 방향의 큰 줄기는 장비의 대형화, 집적화, 다기능화 등으로 요약될 수 있으며, 이를 위하여 가공/생산/검사 장비에 요구되는 정밀도가 점차 높아지고 있다. 현재 고정밀 생산 현장에서 발생하는 난제들 중의 하나는 정밀 생산 장비 및 검사 장비들이 주변 미세진동에 의하여 기능저하가 됨으로써 수율이 감소하는 것이다. 이러한 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.

이에 본 연구에서는 수동형 공기스프링, 능동형 전자기작동기, 반능동형 MR (magnetorheological) 댐퍼를 통합적으로 연동시켜 진동을 방진/제진하는 통합제진마운트에서 반능동형 작동기인 MR 댐퍼의 설계, 모델링 및 해석을 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

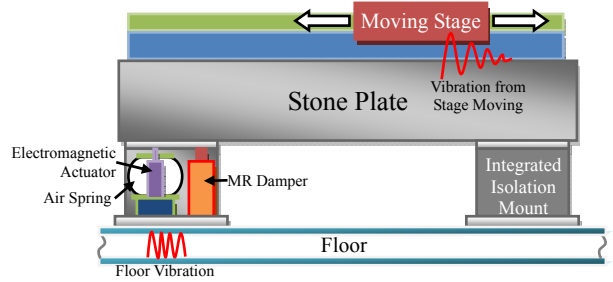


Fig. 1 Configuration of integrated isolation mount

통합제진마운트의 구성도이다. 그림에서 보여지는 바와 같이, 스테이지에 전달되는 진동은 크게 두 가지로 구분된다. 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. 능동형 작동기로 이러한 과도응답을 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, 바닥을 통해 전달되는 미세진동은 능동형 작동기를 이용해 제어하게 되는데, 이 때 미세진동이 MR 댐퍼를 통해 스테이지로 전달될 경우 적절한 제어가 되지 않아 진동 규제를 만족시킬수 없게 된다. 따라서 통합제진마운트의 MR 댐퍼는 상부와 하부의 연결부에 고체마찰이 발생하지 않도록 하여 진동의 전달을 막아야 한다.

3. MR 댐퍼

일반적인 MR 댐퍼는 하우징과 피스톤 사이에서 고체마찰이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 고체마찰을 제거하기 위해 Fig. 2와 같이 피스톤헤드와 하우징 사이에 공간을 두고 이 공간을 유로로 하여 MR 효과가 발생토록 하였으며, 통합제진마운트의 가진변위가 크지 않음에 착안하여 피스톤과 하우

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

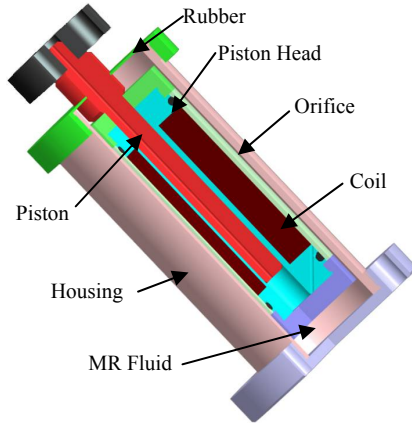


Fig. 2 Configuration of MR damper

징 사이의 실링을 얇은 고무막으로 대체하고, 고무막을 하우징과 피스톤 양쪽에 고정시켰다. 이 고무막은 피스톤의 움직임에 따라 인장/수축하여 피스톤의 자유로운 움직임을 보장하며, 또한 일반적인 MR 댐퍼에서 가스챔버가 담당하던 피스톤의 부피보상 역할을 수행하여 가스챔버를 생략할 수 있도록 하였다. 이와 같이 구축된 MR 댐퍼는 다음과 같이 모델링 될 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 로드의 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 α , β 는 인가 자기장에 의한 MR 유체의 항복응력을 나타내는 빙햄(Bingham) 모델의 계수이다.

위의 모델로부터, 통합제진마운트에 적합한 MR 댐퍼를 설계하고, MR 효과를 최대화하기 위하여 피스톤 헤드의 최적설계를 수행하였다. Fig. 3 은 피스톤 헤드의 유로에 발생하는 자기장을 해석한 것으로, 유로에 약 0.5T의 자기장이 형성되어 요구치를 만족시키는 것으로 확인되었다. Fig. 4 는 모델을 이용해

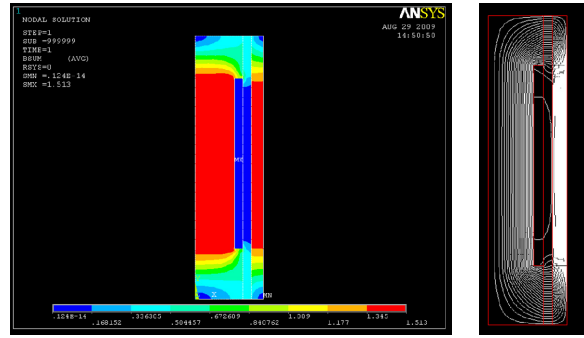


Fig. 3 Analysis of magnetic field

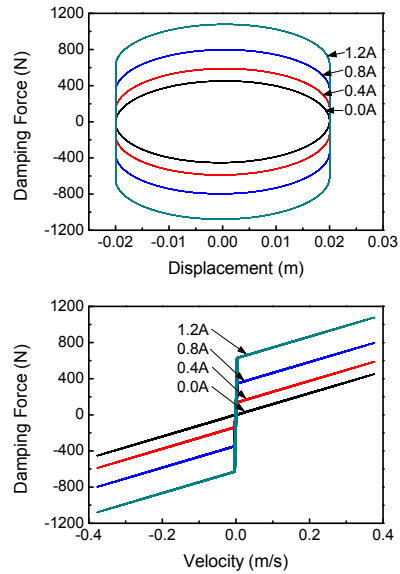


Fig. 4 Damping force characteristics

MR 댐퍼의 특성을 시뮬레이션 한 결과이다. 최대 1.2A의 전류(자기장) 인가 시 약 1080N의 댐핑력이 발생하여, 요구 댐핑력인 1000N을 만족시키는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 정밀 생산/계측 장비용 통합제진마운트 시스템의 구성을 확인하고, 통합제진마운트에 적용하기 위한 MR 댐퍼를 설계, 모델링하였으며, 이의 최적설계 및 해석을 수행하였다. 본 연구 결과 제안된 MR 댐퍼는 정밀 생산/계측장비에서 과도응답을 제어하기에 적합한 성능을 지닌 것으로 확인되었다.

후 기

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