

# 와전류 감쇠기를 고려한 정밀 스테이지용 반발력 보상 장치의 최적 설계

## Optimal design of reaction force compensation device for precision stage considering eddy current damper

\*유요한<sup>1</sup>, Pham Minh Nha<sup>1</sup>, #안형준<sup>1</sup>, 최동수<sup>2</sup>, 조규중<sup>2</sup>

\*Y.H. You<sup>1</sup>, Pham Minh Nha<sup>1</sup>, #H. J. Ahn(ahj@ssu.ac.kr)<sup>1</sup>, D.S.Choi<sup>2</sup>, K.J.Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>숭실대학교 기계공학과, <sup>2</sup>(주)저스텍 기술연구소

Key words : 1-DOF, Reaction compensation, Damping, Optimal design, Eddy current damper

### 1. 서론

정밀제조공정은 선형모션시스템의 고속 및 고가속 운동을 요구한다. 시스템 고가속 운동의 추력은 작용 반작용에 의해 기계 베이스에 큰 반발력을 전달하고, 수평 잔류진동을 유발한다.

베이스에 전달되는 반발력을 줄이기 위해 수동 반발력 보상 장치가 제안되었고 이 장치는 이동 가능한 마그넷 트랙, 스프링, 추가 질량으로 구성되며 추가 질량과 스프링 강성을 조절하여 베이스에 전달되는 힘을 감소시킨다[1]. 본 논문에서는 와전류 감쇠기를 모델링하고 이를 고려하여 수동 반발력 보상 장치를 최적설계 하였다.

### 2. 수동 반발력 보상장치

Fig.1은 이동 가능한 마그넷 트랙, 스프링, 추가 질량 그리고 와전류 감쇠기로 구성된 수동 반발력 시스템을 보여준다. 추력이 힘( $f_t$ )이 반발력 보상 장치를 통해 힘 전달률과 마그넷 트랙의 최대 변위는 추가질량( $m_D$ ), 스프링 ( $k_s$ ), 와전류 감쇠기( $c_s$ )에 의해 결정된다. 추가 질량은 마그넷 트랙의 변위와 힘 전달률을 동시에 줄이고 스프링 강성과 와전류 감쇠기는 마그넷 트랙의 변위는 줄이나 힘 전달률은 높인다. 반발력 보상 시스템은 추가 질량과 스프링 강성을 조절하여 설계하고 모션 입력에 의한 마그넷 트랙의 공진 진폭을 저감하기 위해 와전류 감쇠기를 설치한다 [2].

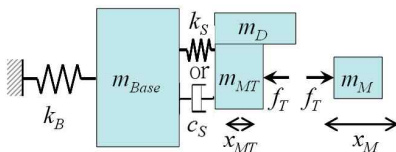
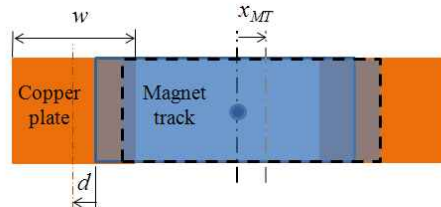


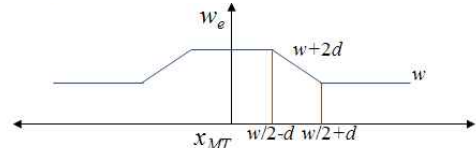
Fig. 1 Reaction force compensation

### 3. 와전류 감쇠기

모션 입력에 의해 반발력 보상 기구의 공진이 발생할 때 이 공진 진폭을 줄이기 위해 Fig. 2(a)와 같이 마그넷 트랙 양단에 겹치도록 구리판, 즉, 와전류 감쇠기를 설치한다. 마그넷 트랙의 변위( $x_{MT}$ )에 따라 와전류 감쇠기의 유효 폭( $w_e$ )이 변하는데 이것은 와전류 감쇠기의 설치 위치( $d$ )와 폭( $w$ )의 함수로 Fig. 2(b)와 같이 표현된다.



(a) Magnet track and eddy current damper



(b) Effective width ( $w_e$ )

Fig. 2 Eddy current damper

와전류 감쇠력( $F_d$ )은 식 (1)과 같이 도체판 형상 계수( $\alpha$ ), 자기장의 세기( $B$ )의 제곱, 전기전도율( $\sigma$ ), 두께( $\delta$ ), 높이( $l$ ), 도체판 유효 폭( $w_e$ ), 자장 내부로 진입하는 속도( $v$ )에 비례한다.

$$F_d = \alpha \sigma \delta B^2 l w_e v \tag{1}$$

### 3. 와전류 감쇠기를 고려한 모의실험

와전류 감쇠기가 포함된 반발력 보상 장치의

모델을 만들고 모션 명령을 이용하여 모의 시험을 수행하였다. 모의 시험 대상은 정밀 XY stage의 Y 축으로 최대추력 1500N, 600mm 작동 범위를 가진다. 1m/s의 최대 속도와 10m/s<sup>2</sup>의 가속도를 가지는 명령 입력을 사용하였고 이 명령 입력과 그에 해당하는 추력을 그림 3에 나타내었다.

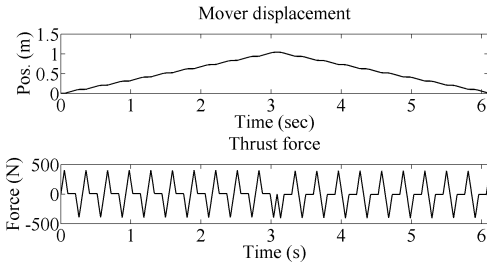


Fig. 3 Motion input profile

#### 4. 모의 시험 결과

와전류 감쇠기 설치위치는 0.01m, 추가 질량을 150kg으로 고정하고 스프링의 강성과 와전류 감쇠기(ECD)의 폭을 변화시키며 모의 시험한 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 마그넷 트랙의 공진이 발생하는 구간 근처에서 힘 전달률과 마그넷 트랙의 변위가 크게 증가하며, 이러한 현상을 피하려면 와전류 감쇠기를 반드시 설치해야 한다 [2].

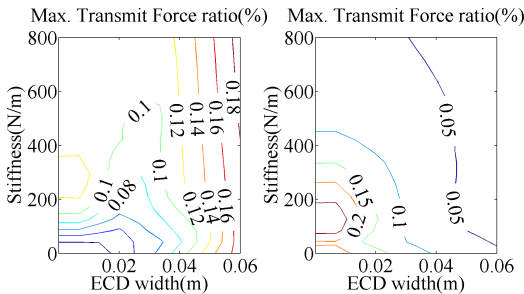


Fig. 4 Stiffness and ECD width

설계가 자유롭지 않고 조립이 어려운 단점의 스프링 대신 와전류 감쇠기만으로 반발력 보상 시스템을 구성할 수 있다. 공진 구간 이외에서는 스프링의 강성과 와전류 감쇠기가 변위를 줄이고 힘 전달률은 증가시키는 동일한 역할을 수행하기 때문이다.

Fig. 3의 모션 입력을 이용하여 각각 스프링과 와전류 감쇠기만으로 최적 설계된 반발력 보상

시스템을 모의 시험하여 그 결과를 Fig.5에 나타내었다. 설계 조건은 힘전달률을 20% 이하와 마그넷 트랙 최대변위가 0.1m이고, 이를 만족하는 스프링의 최소 강성은 500N/m이었고 와전류 감쇠기의 최소 감쇠는 폭(w)이 0.04m이었다. 스프링의 강성은 마그넷 트랙의 변위에만 지배되지만 와전류 감쇠기의 경우 마그넷 트랙의 변위와 함께 속도에도 큰 영향을 받는다.

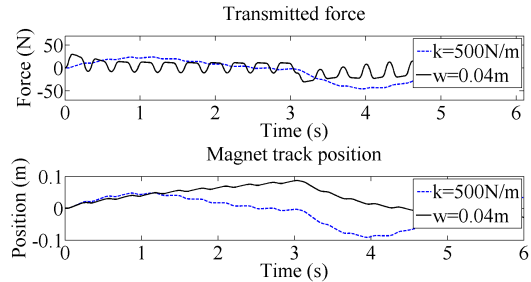


Fig. 5 Motion profile and result

#### 5. 결론

본 논문에서는 와전류감쇠기를 고려한 정밀스태이지용 반발력 보상장치의 최적설계를 수행하였다. 스프링 없이 와전류 감쇠기만으로 반발력 보상 장치의 구현이 가능함을 보였고, 주어진 모션 입력에 대해 설계 조건을 만족하는 최적의 와전류 감쇠기를 설계하였다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2012-C6 150-1101-0004)과 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업 (No. 00044211)의 지원으로 수행 되었습니다.

#### 참고문헌

1. 조규중, 최동수, 안형준, “XY선형 모션 스테이지 시스템의 반발력 보상 기구와 제어,” 대한기계학회논문집A권, 제35권(6), pp 599-607, 2011.06.01.
2. 유요한, 안형준, 최동수, 조규중, 김경록, “선형 모션 스테이지용 수동 반발력 보상 장치의 마그넷 트랙 공진 저감” 2011 한국윤활학회 춘계학술대회 논문집, 2011.10.21.