

# 자기효과 감쇠를 갖는 TMD를 이용한 외팔보의 수동형 진동제어에 관한 연구

## A Study on the Passive Vibration Control of a Cantilever Beam Using TMD with Magnetic Damping

김종혁\* · 배재성† · 황재혁\*\*

Jong-hyuk Kim, Jae-sung Bae and Jai-hyuk Hwang

### 1. 서 론

진동으로부터 보호 받아야 하는 시스템에 적용될 수 있는 효과적인 수동형 진동제어 장치로서 동조질량감쇠기(TMD, tuned mass damper)를 들 수 있다. 동조질량감쇠기는 일종의 진동흡진기로 주 장치에 부가적인 흡진 시스템을 적용함으로써 주 장치에 가해지는 진동을 흡수하여 일정한 주파수의 정상 상태 조화외란으로부터 주 장치를 보호할 수 있는 수단이다. 이러한 동조질량감쇠기는 어느 특정한 주파수에 대해서는 진동을 흡수하는 성능이 뛰어나나 그 이외의 다른 주파수에 대해서는 성능이 나빠지며 공진을 발생시킬 수 있는 문제가 있다. 따라서 흡진 시스템에 감쇠력을 더함으로써 진동을 흡수하는 대역폭을 개선시킬 수 있다 [1]. 이러한 감쇠력을 더하는 방안으로 여러 방법들이 있으며 자석과 전도체 사이의 상대적 운동에 의해 발생하는 전자기력을 사용할 수 있다[2-5]. 본 연구에서는 외팔보의 진동을 제어하기 위해 TMD를 적용하였으며 TMD의 진동흡수 성능을 향상시키고자 자기효과를 이용하여 감쇠력을 더한 MTMD(magnetic effect tuned mass damper)를 제안하였고 실험을 통하여 개선된 진동흡수 성능을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 자기효과 감쇠

자기효과 감쇠는 ECD(eddy current damping)로, 상대적인 운동과 자기장이 존재 할 때 형성되는 와전류에 의해 감쇠력이 발생한다. Fig. 1에서 나타낸 바와 같이, 자석과 상호진동하고 있는 전도체가 존재 할 때 전도체 내부에는 유도전류가 발생하게 되며 이는 식(1)의 패러데이 법칙

(Faraday's law)에 의해 설명되어질 수 있다. 이렇게 발생한 유도전류는 다시 자기장과의 관계에 의해 자석과 전도체의 상대운동의 반대되는 방향으로 반발력이 발생하게 되며 이는 식(2)의 로렌츠 법칙(Lorentz law)에 의해 설명되어질 수 있다. 이러한 유도전류는 전도체의 전기저항 (electrical resistance)에 의해 열로 사라지게 되고 반발력 또한 사라지게 된다. 자석과 전도체 간의 상대적인 운동이 반복적으로 일어날 때 반발력은 생성과 소산을 반복하게 되고 결과적으로 감쇠력의 역할을 하게 된다.

$$\vec{J} = \sigma(\vec{V} \times \vec{B}) \quad (1)$$

$$\vec{F} = \int_V \vec{J} \times \vec{B} dV \quad (2)$$

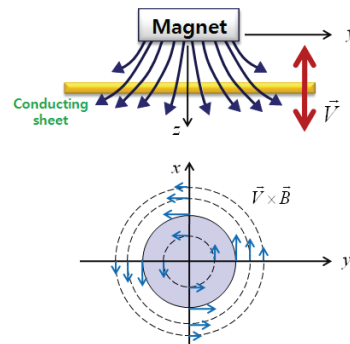


Fig. 1 Model of Magnetic effect

#### 2.2 자기효과 감쇠를 갖는 TMD의 외팔보 적용

본 연구에서 제안한 자기효과 감쇠를 갖는 TMD를 외팔보에 적용한 모습을 Fig. 2에 나타내었다.

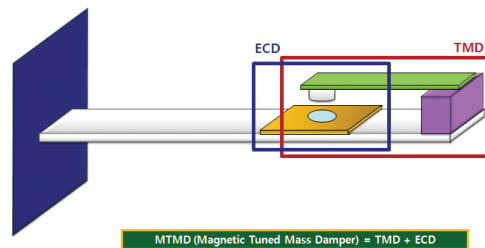


Fig. 2 Schematic showing MTMD

† 교신저자; 한국항공대학교 항공우주및기계공학부  
E-mail : jsbae@kau.ac.kr  
Tel : (02) 300-0112, Fax : (02) 3159-0406

\* 한국항공대학교 일반대학원 항공우주및기계공학과

\*\* 한국항공대학교 항공우주및기계공학부

외팔보에 추가적인 구조물을 부착시킴으로써 TMD를 구성하였으며 TMD의 집중질량으로 영구자석을 사용하고 진도체를 자석의 자기장 영향이 미치는 부분에 부착함으로써 ECD(eddy current damping)를 구성하였다. 이러한 기본적인 TMD와 ECD의 결합을 MTMD(magnetic tuned mass damper)라 명명하였다.

### 2.3 실험 및 고찰

진동 실험을 위해 실험 구성을 하였으며 이에 대한 개념도를 Fig. 3에 나타내었고 실제 구성된 모습을 Fig. 4에 나타내었다. 레이저 센서를 사용하여 외팔보의 끝단에서의 변위를 측정하였으며 작동기로 압전재료(Piezo)를 사용하여 0~120Hz의 sine sweep 신호를 주어 가진 하였다. 이러한 입력에 대한 출력의 비에 해당하는 FRF(Frequency Resoponse Function) 분석을 수행하였으며 이를 통하여 각 경우들에 대한 진폭의 크기를 비교하였다.

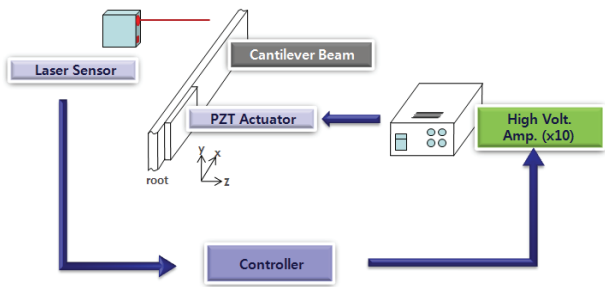


Fig. 3 Schematic showing experiment setup

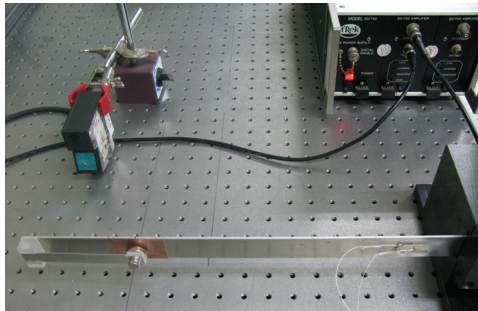


Fig. 4 Experiment setup

Fig. 5에 실험 FRF 결과를 나타내었다. TMD의 진동 흡수 성능이 어느 특정한 주파수 구간에 대해 매우 우수함을 알 수 있다. 반면에 그 특정한 주파수를 중심으로 진동흡수 성능이 감소함을 확인할 수 있다. 특정 주파수에 대해서는 MTMD에 비해 TMD가 더 우수한 성능을 최대 진폭이 MTMD의 경우가 TMD에 비해 크게 감소한 것을 확인할 수 있으며, 특정 주파수를 중심으로 진동흡수 성능이 감소하는 TMD의 문제를 MTMD를 적용함으로써 해결할 수 있음을 알 수 있다. Fig. 6는 각 경우들의 1차 모드에 해당하는

진동수로 sine 가진 후 자유응답을 얻은 결과 이다. 결과에서 알 수 있듯이 같은 진폭의 입력 신호에 대해 발생할 수 있는 최대 변위 결과가 MTMD의 경우가 가장 작은 것을 확인할 수 있다.

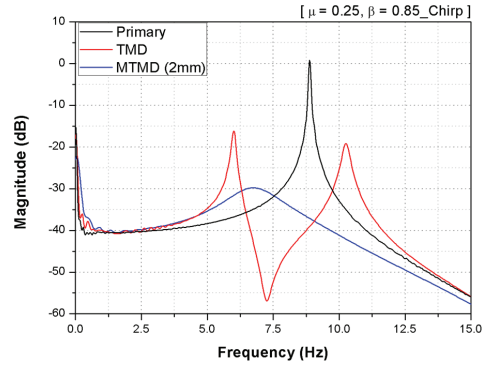


Fig. 5 FRF results of MTMD

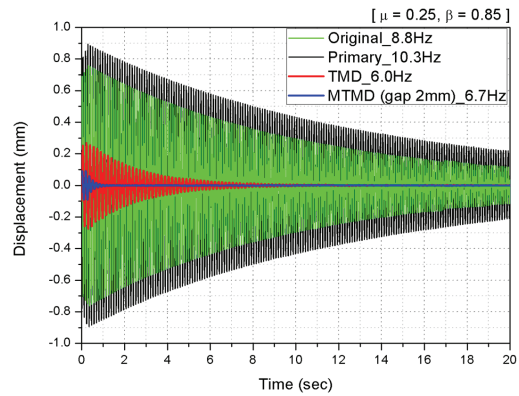


Fig. 6 Comparison of Displacement results

## 4. 결론

본 연구에서는 자기효과 감쇠를 갖는 TMD를 이용하여 외팔보의 수동형 진동제어를 수행하였다. TMD의 경우 특정한 주파수에 대해서는 진동을 흡수하는 성능이 뛰어나지만 이를 중심으로 근접한 주파수에서 진동흡수 성능이 감소하는 문제가 있다. 이는 흡진기에 감쇠를 더함으로써 해결할 수 있으며 감쇠를 더하는 방안으로 자기효과 감쇠를 적용하였다. 외팔보에 부가 구조물을 부착시킴으로써 구성된 TMD에 대해 실험을 수행하였고 TMD의 진동흡수특성인 특정 주파수를 중심으로 근접한 주파수에서 진동흡수 성능이 감소하는 문제를 확인하였다. 이러한 TMD의 진동흡수 성능을 개선시키기 위해 본 연구에서 제안된 자기효과 감쇠를 적용한 MTMD를 구성하였으며 이에 대한 실험을 수행함으로써 기존 TMD 보다 진동흡수 성능이 개선된 결과를 얻을 수 있다. 이에 따라 MTMD가 기존 TMD의 진동흡수 성능을 향상시키는 데 효과가 있음을 검증하였으며 MTMD의 감쇠특성을 확인하였다.