

# 선형자기액추에이터를 장착한 능동동조질량시스템의 개발과 능동진동제어

## Development of Active Tuned Mass Damper System Equipped Linear Magnetic Actuator and Active Vibration Control

이행우\* · 광문규† · 김기영\*\*

Haeng Woo Lee, Moon K. Kwak, Ki Young Kim

### 1. 서론

동조 진동 흡수장치(Tuned Vibration Absorber, TVA)는 20 세기 초부터 각종 문헌에서 다루어진 대표적인 진동 억제 방법이다. 이 진동 흡수장치는 동적 흡수장치(Dynamic Vibration Absorber, DVA) 또는 동조 질량 댐퍼(Tuned Mass Damper, TMD)등으로 불리기도 한다. 이 방법은 기존 구조물에 질량, 스프링, 댐퍼로 구성된 소규모 구조물을 첨가함으로써 주 구조물의 특정 진동수에서의 진동응답을 억제하는 방법이다. 일자유도 진동계와 유사한 진동 흡수장치의 특성으로 인해 일반적으로 이 장치는 협대역의 진동을 억제하는데 사용된다. 그러나 최근에는 흡수장치에 능동제어 개념을 추가시킨 능동동조질량 댐퍼(Active Tuned Mass Damper, ATMD)가 개발되었는데 이를 통해 보다 넓은 진동수대역의 외부 교란에 대한 대응이 가능해지게 되었다.

ATMD 는 질량, 스프링, 댐퍼와 질량을 움직이는 액추에이터로 구성된다. ATMD 의 용량에 따라 사용되는 액추에이터와 진동을 생성하는 메커니즘에 차이가 있다. 액추에이터로는 유압실린더, 서보모터 등이 사용되며, 리니어 가이드를 이용한 수평 이동 메커니즘이나 단진자 형태의 메커니즘을 이용하는 방법등이 사용된다. 시드니에 있는 Chifley Tower 는 유압실린더를 이용한 ATMD 가 사용되고 있으며, 나고야의 Higashiyama SKY Tower 는 Inverted-pendulum 원리를 이용한 ATMD 가 사용되고 있다. 최근에는 ATMD 를 해양구조물, 철도, 교량 등과 같은 다양한 구조물에 적용한 연구 결과가 발표되고 있다.

ATMD 를 구현하는데 있어 가장 중요한 부품은 질량을 구동하는 액추에이터이다. 본 연구에서는 이전 연구에서 개발된 자기 액추에이터(Linear Magnetic Actuator, LMA)를 이용해 동조질량감쇠기

의 구현 가능성을 조사하였다. 본 연구에서 사용한 LMA 는 영구자석과 코일로 이루어져 있으며 간단한 구조로 되어 있어 보다 손쉽게 구조물에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 LMA 를 이용해 ATMD 를 구성하고 이를 간단한 구조물에 부착시켜 능동진동제어 효과를 조사하였다. 능동진동제어 방법으로는 양변위 피드백(Positive Position Feedback, PPF)와 PID 제어가 고려되었다. 실험 결과는 LMA 가 ATMD 에 적합함을 보여준다. 본 연구를 통해 LMA 가 진동억제에 효과적으로 사용될 수 있음이 입증되었다.

### 2. 장치구성

LMA 를 이용한 능동진동제어 실험을 위해 Fig. 1 과 같이 실험을 구성하였다.

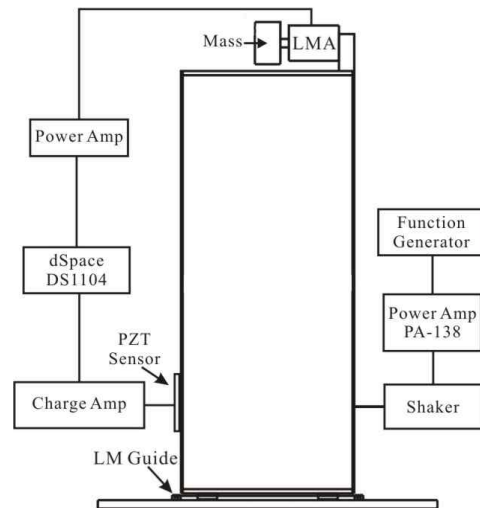


Fig. 1 Block diagram for ATMD experiment

그림에서 알 수 있듯이 Linear Motion Guide 위에 일층 건축물과 유사한 일자유도 진동계 장치를 부착하고 이 구조물의 상단에 LMA 를 액추에이터로 사용하는 ATMD 를 장착하였다. 자유진동실험을 통해 전체 구조물의 기본 진동수는 4.3Hz 임을 알 수 있었다. 구조물의 진동 변위를 감지하기 위해 PZT 센서를 구조물의 보 하단에 부착하였다. PZT 센서의 신호는 Charge 앰프를 증폭되고 Charge 앰프의 신

† 교신저자; 동국대학교 기계로봇에너지공학과

E-mail : kwakm@dongguk.edu

Tel : (02) 2260-3705, Fax : (02) 2263-9379

\* 동국대학교 기계공학과 석사과정

\*\* 동국대학교 기계공학과 박사과정

호는 dSpace 사의 DS1104 보드의 A/D 로 전달된다. 제어 알고리즘은 Simulink 를 이용해 구현되었으며 A/D 값을 이용 적절한 제어 값을 산출하게 되어 있다. 제어 값은 D/A 단자를 통해 구동 앰프(B & K , 2706)로 연결되어 LMA 를 움직이게 된다. 구조물을 수평 방향으로 가진 하기위해 함수발생기, 가진기 앰프, Mini Shaker(B&K, 2706)가 사용되었다. Fig. 2 는 실제로 구성된 실험 장치를 보여주고 있다.

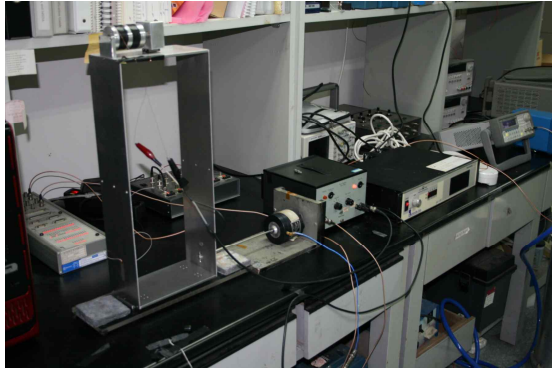


Fig. 2 Experimental setup

### 3. 능동진동제어 실험결과

첫 번째로 시도된 능동진동제어 알고리즘은 PPF 제어기이다. Simulink 로 구현한 PPF 제어 알고리즘은 Fig. 3 과 같다.

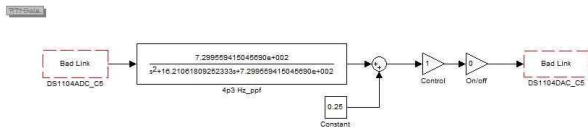


Fig. 3 PPF controller using Simulink

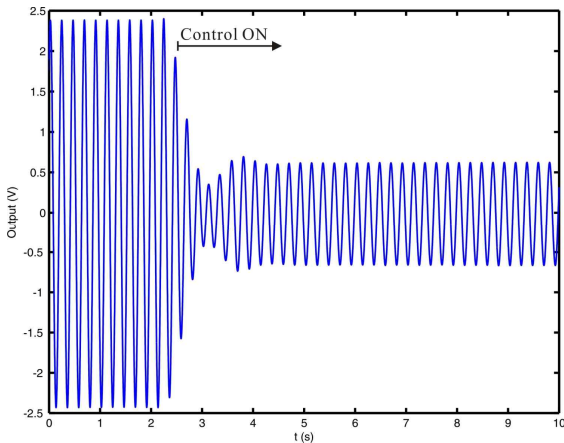


Fig. 4 Time history of sensor output

Fig. 4 는 구조물을 구조물의 기본진동수인 4.3Hz

로 가진하고 PPF 제어기를 구동한 후의 센서 응답을 보여준다. 제어된 후의 센서 진폭을 관찰해보면 원래 진폭의 25% 정도로 감소 되는 것을 확인할 수 있다.

두 번째로 시도된 제어 알고리즘은 PID 제어기이다. Fig. 5 는 Simulink 로 구현되어 능동진동제어에 적용된 PID 제어 알고리즘을 보여주고 있다. 실험에서 사용된 P 이득은 0.9, I 이득은 0.001, D 이득은 0.01 이다.

Fig. 6 는 PID 제어 알고리즘을 사용한 실험 결과이다. PPF 제어 알고리즘보다는 약간 성능이 저하됨을 알 수 있다.

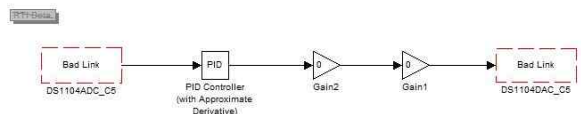


Fig. 5 PID controller using Simulink

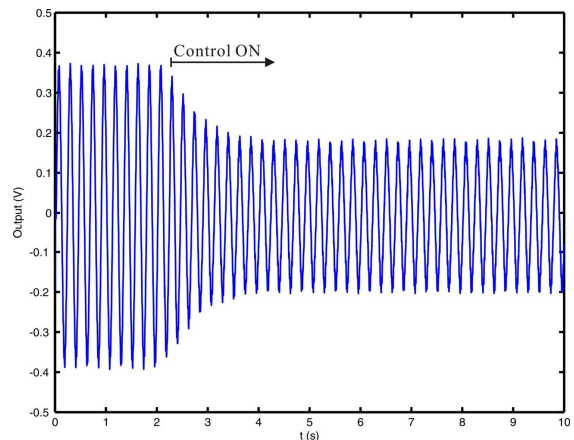


Fig. 6 Time history of sensor output

### 4. 결론

본 연구에서는 이전에 개발된 LMA 를 이용하여 능동동조질량감쇠기를 구현하고 이를 구조물의 능동진동제어에 응용하는 방법을 조사하였다. 간단한 능동진동제어실험을 통하여 LMA 가 ATMD 의 부품으로 사용 가능함을 확인하였으며 능동진동제어 효과 또한 충분함을 확인하였다. 차후 LMA 의 이론모델을 정립하고 좀 더 나은 성능을 위한 구조로 개선할 예정이다.

### 후기

본 연구는 국방과학 연구소가 지원하는 수중 운동 특화 연구센터의 수중/구조 진동 연구실의 지원으로 이루어졌다. 관계자 여러분께 감사 드립니다.