

주행질량하에 MR 댐퍼와 스프링 지지된 보 구조물의 진동제어

Vibration Control of a Beam Structure with MR damper-Spring Supports under a Traveling Mass

류봉조† · 오부진* · 이영신** · 윤지환***

B. J. Ryu, B. J. Oh, Y. S. Lee and J. H. Yoon

1. 서 론

최근 운송수단의 발달과 더불어 철도차량, 경전철 등의 역사 부근에서 제동 및 기동에 의한 동하중으로 진동이 심하게 발생한다. 따라서 역사 부근의 건물에서는 빈번히 진동 및 소음에 대한 문제점이 발생하고 있다. 또한, 반도체 및 LCD 생산 공장에서는 웨드레일의 자동이송장치가 이동함에 따라 발생하는 진동에 대한 방진과 제진의 배리적인 문제로 인하여 그 효율성이나 경제성이 제한을 받고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 실험적 연구 결과를 토대로 주행질량 하에 MR 댐퍼와 스프링 지지된 보 구조물에 대한 동적 거동을 규명하고, 보 구조물의 진동을 효과적으로 제어하는데 그 목적이 있다.

2. 이론해석

2.1 수학적 모델과 운동 방정식

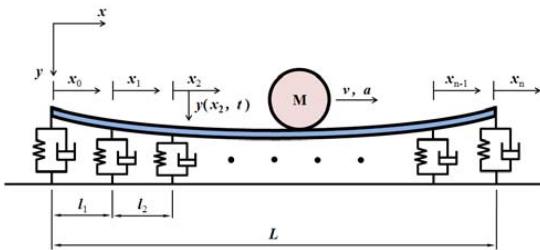


Fig. 1 A mathematical model of a beam structure under a traveling mass

Fig. 1은 주행질량에 의한 코일 스프링과 MR 댐퍼로 이산지지된 보 구조물 운동의 해석을 위한 수학적 모델을 나타내며, 이에 대한 운동 지배방정식은 식 (1)과 같다. 식 (1)을 정리하여 행렬식으로 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 각 행렬의 요소들은 식 (3)에서 식 (6)과 같이 표현된다.

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + \sum_{j=0}^n c_j \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} \delta(x-vt) = Mg \delta(x-vt) - M \left[\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} v^2 + 2 \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x \partial t} v + \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} a + \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} \right] \delta(x-vt) \quad (1)$$

$$[M(\tau)]\{\ddot{q}(\tau)\} + [C(\tau)]\{\dot{q}(\tau)\} + [K(\tau)]\{q(\tau)\} = \{f(\tau)\} \quad (2)$$

$$m_{ij}(\tau) = \int_0^1 \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \phi_{k,j}(\xi_j) d\xi_j + \mu \phi_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \quad (3)$$

$$c_{ij}(\tau) = \frac{\pi \mu}{\omega_1 M} \sum_{j=0}^n c_j \phi_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) + 2\mu v \phi'_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \quad (4)$$

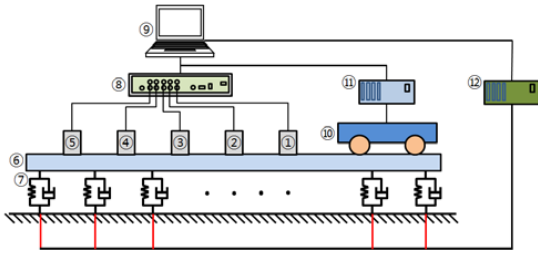
$$k_{ij}(\tau) = \left(\frac{\beta_i}{\beta_1} \right)^4 \pi^2 \int_0^1 \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \phi_{k,j}(\xi_j) d\xi_j + \mu v^2 \phi''_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) + \mu a \phi'_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \quad (5)$$

$$f_i(\tau) = \left(\frac{\pi}{\omega_1} \right)^2 \mu g \phi_{k,j}(\xi_M) \quad (6)$$

여기서, m 은 보의 단위길이 당 질량, L 은 보의 전체 길이, EI 는 보의 굽힘 강성, g 는 중력가속도, ξ_M 은 주행질량 M 의 위치를 나타내고, 무차원화된 매개변수 μ 는 주행질량과 보 질량의 질량비, τ 는 시간, v 는 속도, a 는 가속도 매개변수를 나타낸다.

† 교신저자; 정희원, 한밭대학교 기계공학부
E-mail : bjryu701@hanbat.ac.kr
Tel : (042) 821-1159, Fax : (042) 821-1159
* 충남대학교 기계설계공학과 대학원
** 충남대학교 기계설계공학과
*** 한밭대학교 기계설계공학과 대학원

3. 실험



- ①~⑤ Accelerometer(B&K)
- ⑥ Test beam structure
- ⑦ Coil spring & MR damper
- ⑧ Pulse sch. analyzer(B&K)
- ⑨ Computer for analyzation
- ⑩ traveling mass
- ⑪ Control box of a traveling mass
- ⑫ Control box of MR dampers

Fig. 2 Experimental setup for vibration control

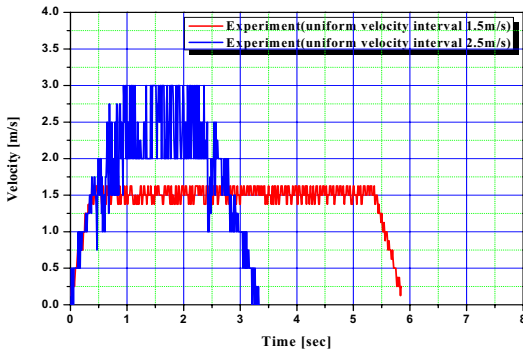


Fig. 3 Velocity profiles of the traveling mass

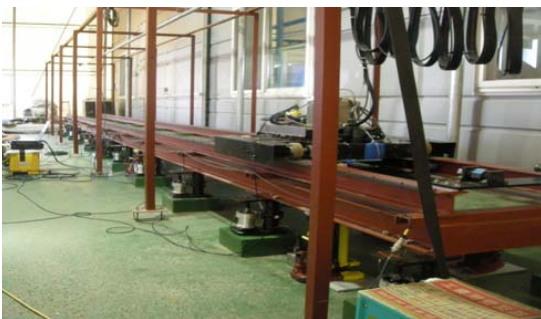


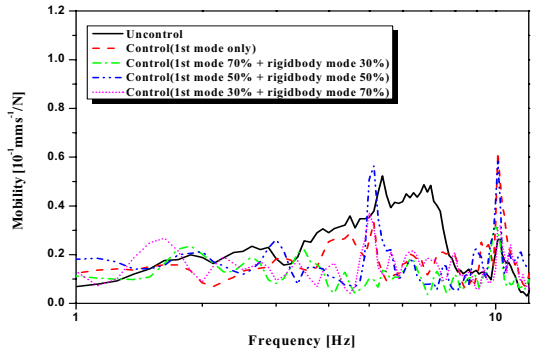
Photo 1 Experimental setup for vibration control test

Fig. 2는 MR 댐퍼를 이용한 주행질량에 의한 보 구조물 진동 제어를 위해 실험 장치를 나타낸다.

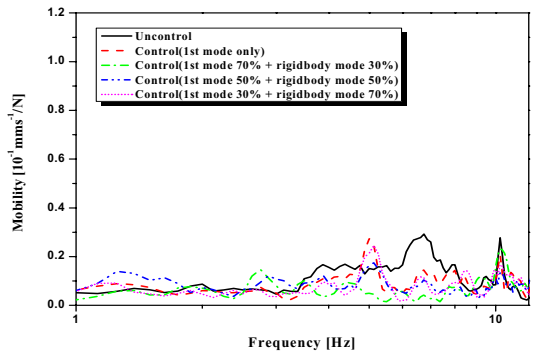
Fig. 3은 시간변화에 따른 주행질량의 속도 프로파일을 나타내고 있으며, Photo 1은 보 구조물의 주행 질량 진동제어 실험장치 사진을 나타내고 있다.

본 연구에서는 MR 댐퍼와 스프링 지지된 보 구조물이 주행질량의 주행으로 인한 보 구조물의 진동이 바닥으로 전달되는 경우, 보 구조물의 진동 진폭에 가장 영향을 주는 강제모드와 1차 모드를 제어하는 방법을 사용하였다.

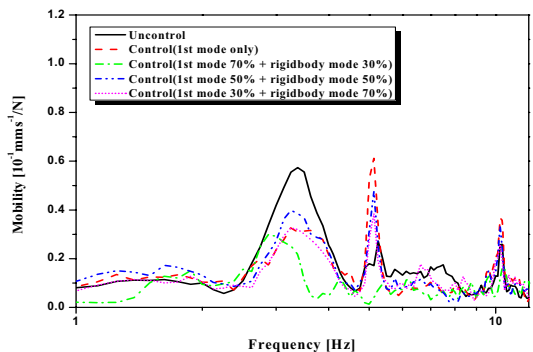
4. 실험결과



(a) At the start position

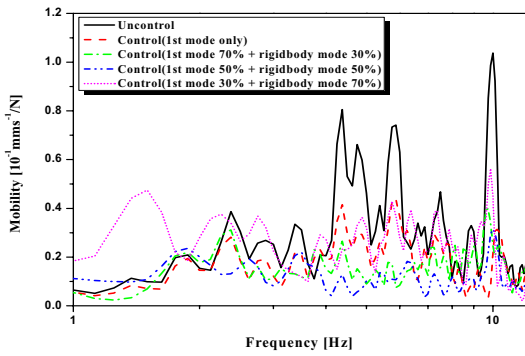


(b) At the center position

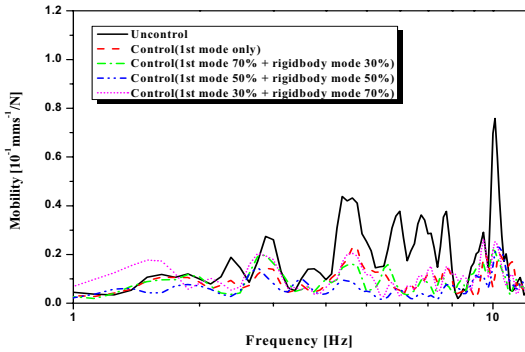


(c) At the end position

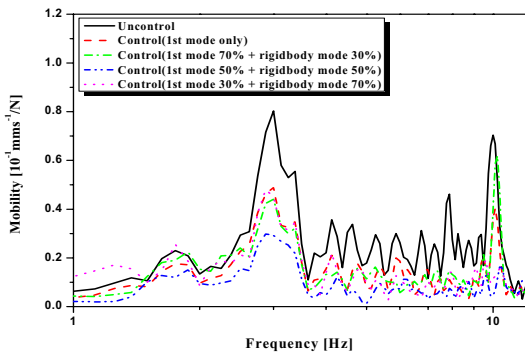
Fig. 4 Frequency response function of the beam structure(uniform velocity interval 1.5 m/s)



(a) At the start position



(b) At the center position



(c) At the end position

Fig. 5 Frequency response function of the beam structure(uniform velocity interval 2.5 m/s)

Fig. 4는 주행질량의 속도가 1.5 m/s의 등속구간을 갖는 속도 프로파일로 주행 시, 보 구조물의 선단, 중간, 끝단 위치의 센서에서 측정된 보 구조물의 주파수 응답 함수를 나타낸 그림이다.

Fig. 4(a)에서 강체 모드의 고유진동수는 7:3 제어를 수행한 경우 가장 크게 감소되고, 4 가지 경우의

제어 모두에서 대역폭은 크게 줄어든다. 그러나 1차 고유진동수는 4 가지 경우의 제어 모두에서 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 4(b)에서 선단 위치와 마찬가지로 강체 모드의 고유진동수는 7:3 제어를 수행한 경우 가장 크게 감소되고, 4 가지 경우의 제어 모두에서 대역폭은 크게 줄어든다. 또한, 1차 고유진동수는 4 가지 경우의 제어 모두에서 크기가 다소 감소하고, 5:5 제어를 수행한 경우에 가장 크게 감소함을 보이고 있다. Fig. 4(c)에서 3 Hz 대역의 진동수는 줄어들지만, 강체 모드와 1차 고유진동수는 크게 나타나고 있다. 그러나 7:3 제어를 수행한 경우, 강체와 1차 고유진동수가 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5(a)~(c)는 주행질량의 속도가 2.5 m/s의 등속 구간을 갖는 속도 프로파일로 주행 시, 보 구조물의 선단, 중간, 끝단 위치의 센서에서 측정된 보 구조물의 주파수 응답 함수를 나타낸 그림이다.

Fig. 5(a)에서 강체 모드와 1차 고유진동수의 크기는 크게 줄어들고 있다. 특히, 5:5 제어를 수행한 경우에 크기가 현저히 감소함을 보이고 있으므로 다른 경우보다 제어 성능이 좋게 나타나고 있다. Fig. 5(b)에서 강체 모드와 1차 고유진동수의 크기가 현저히 줄어들고, 또한 5:5 제어를 수행한 경우가 다른 경우보다 제어 성능이 다소 좋은 결과를 보이고 있다. Fig. 5(c)에서 강체 모드와 1차 고유진동수 모두 크기가 크게 줄어들고, 선단 및 중간 위치와 마찬가지로 5:5 제어를 수행한 경우가 다른 제어의 경우보다 좋은 제어 성능을 보인다.

5. 결론

주행질량에 하의 MR 댐퍼-스프링으로 지지된 보의 진동제어를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, MR 댐퍼를 이용하여 주행질량에 의한 보 구조물의 진동을 제어함으로써 보 구조물의 강체 및 1차 고유진동수가 감소됨을 확인하였다. 둘째, 주행질량의 속도가 1.5 m/s의 등속구간을 갖는 속도 프로파일로 주행 시, 강체모드와 1차 모드를 7:3으로 제어한 경우가 제어 성능이 다소 좋은 결과를 확인하였다. 셋째, 주행질량의 속도가 2.5m/s의 등속구간을 갖는 속도 프로파일로 주행 시, 강체모드와 1차 모드를 5:5로 제어한 경우가 제어 성능이 다소 좋은 결과를 확인하였다.