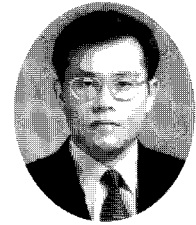


MR 감쇠기에 대한 성능평가 실험

Experimental Test of MR Dampers



김기철*
Kim, Gee-Cheol



강주원**
Kang, JooWon

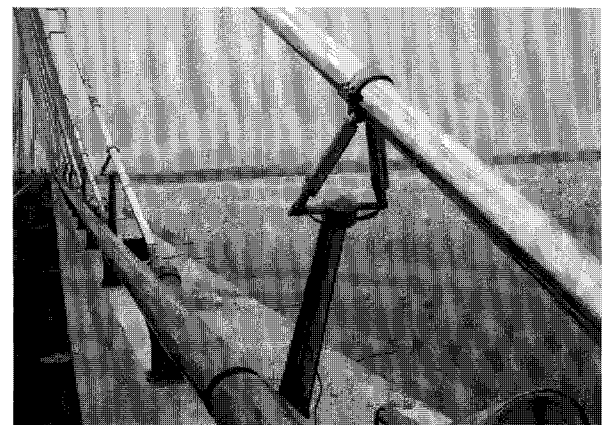
1. 구조물의 진동제어를 위한 MR 감쇠기의 적용

최근 지진이나 바람 등과 같은 동적하중에 의하여 야기되는 구조물의 진동응답을 줄이고자하는 국내의 학자들에 의하여 많이 연구되고 있다. 그 결과 다양한 종류의 제어장치와 제어기법이 개발되고 실용화 되어가고 있다. 그 중에서 준능동 감쇠장치는 적은 전력으로 우수한 제어성과 안정성을 확보할 수 있어 고층건축물과 같은 건축구조물은 물론 교량과 같은 토목구조물의 진동제어에 널리 적용될 것으로 전망된다. 이러한 준능동 감쇠기 중에 하나인 MR 감쇠기는 자기신호에 따라서 MR 유체의 점성을 쉽게 바꿀 수 있고 대용량의 감쇠력도 쉽게 구현할 수 있어 구조물의 진동제어에 활용성이 높은 장치 중에 하나이다.

최근에는 MR 감쇠기에 대한 실험적 연구를 넘어서 200kN 크기의 감쇠기를 노틀담 대학교의 Yang 이 설계/제작하여 실험을 수행하였다.¹⁾ 실제 구조물의 진동제어에 있어서 MR 감쇠기 적용은 이제



〈그림 1〉 National Museum



〈그림 2〉 Dongting Bridge

* 서일대학 건축과 조교수, 공학박사

** 정회원 · 영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사

시작단계에 있으나 MR 감쇠기의 효율성과 신뢰성 및 경제성으로 인하여 그 적용 늘어날 것이다. 건축물 분야에서는 일본 동경의 National Museum of Emerging Science and Innovation, 교량분야에서는 중국 후난의 Dongting Bridge에 MR 감쇠기를 설치하여 구조물의 진동을 제어 활용하였다.

2. MR 감쇠기의 특성

자기유변 유체(magnetorheological fluid)의 본질적인 특성은 유체에 자기장이 가해지면 자유롭게 유동하던 선형 점성 유체가 수백분의 일초 사이에 반고체 상태로 변환되고 자기장을 제거하면 다시 자유롭게 유동이 되는 점성 유체가 되는 것이다.

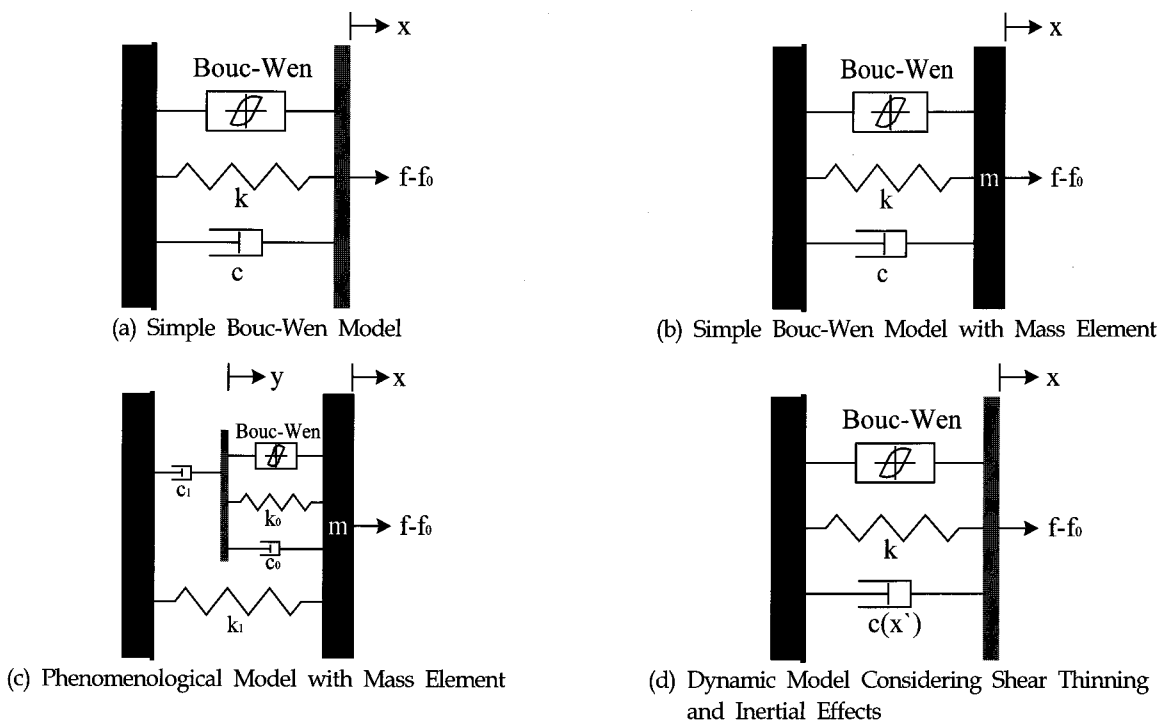
MR 감쇠장치는 기계적으로 단순하며 감쇠장치의 구동에 필요한 전력용량이 매우 작다. 또한 자기장의 변화에 따라 감쇠력의 변화량과 감쇠능력이 매우 크다. 따라서 MR 감쇠기는 기존의 진동 제어장치들 보다 가격대비 우수한 성능과 신뢰성을 가지고 있어 경제적인 제어장치로 평가되고 있다.

MR 감쇠기는 비선형 힘-변위 그리고 힘-속도 관계를 가지고 있다. 이러한 비선형성은 일반적인 선형감

쇠기와 다르게 가진 하중의 주파수 및 크기 그리고 하중에 따른 응답의 주파수 및 크기 특성에 따라 크게 좌우된다. 따라서 MR 감쇠기는 반드시 대상하중과 대상구조물을 고려하여 설계되어야 하며 그에 따른 설계절차도 매우 어려워진다. 만일, 이러한 MR 감쇠기의 성능을 등가의 선형시스템으로 치환하여 평가할 수 있다면 설계절차의 단순화와 함께 MR 감쇠기를 사용하는데 많은 시간과 노력을 줄일 수 있을 것이다. 그러나 이 경우에 가장 중요한 것은 비선형 MR 감쇠기와 등가의 선형 시스템과의 오차를 최소화하는 것이다.

3. MR 감쇠기의 동적모델

MR 감쇠기는 탄성, 점성 그리고 마찰 특성을 가지고 있으며 자기장의 크기에 따라 감쇠력이 변하기 때문에 비선형성을 가지고 있다. 유사 정적모델은 감쇠기의 힘-변위 거동을 잘 표현하지만 비선형 힘-속도 거동을 표현하는데 충분하지 못한다. 따라서 MR 감쇠기의 거동을 보다 잘 표현할 수 있는 동적모델이 많은 연구자들에 의하여 연구되고 있다. MR 감쇠기의 비선형 힘-속도 관계를 나타내기 위한 동적모델로 Bingham, 이력이점성, 그리고 Bouc-Wen 이력모델을



〈그림 3〉 MR 감쇠기의 동적 모델

기초로 한 Simple Bouc-Wen Model, Simple Bouc-Wen Model with Mass Element, Phenomenological Model with Mass Element, Dynamic Model Considering Shear Thinning and Inertial Effects 등이 있다.²⁾

Bouc와 Wen은 일반적인 이력특성을 표현할 수 있는 미분방정식을 제안하였으며 이를 사용하여 MR 감쇠기의 이력특성을 나타내었다.

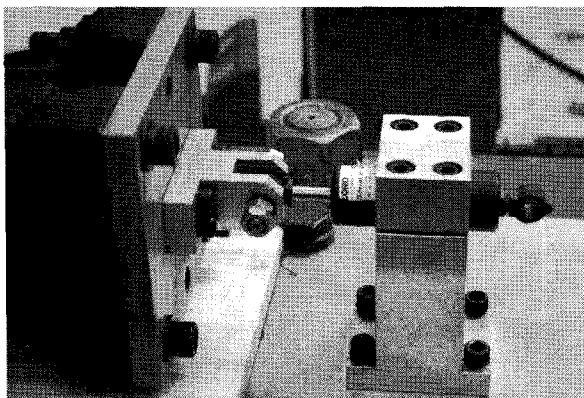
$$F_{MR} = \alpha z + c(\dot{x})\dot{x} + kx + m\ddot{x} + f_0$$

Dynamic Model Considering Shear Thinning and Inertial Effects Model에 의한 MR 감쇠기의 감쇠력은 다음 식과 같이 표현할 수 있다. 이 모델에서 유체의 stiction 현상 및 관성 효과들은 등가 질량 m 에 의하여 표현되고 accumulator의 강성은 k , 마찰력은 f_0 그리고 항복 후 소성 감쇠는 $c(\dot{x})$ 로 표현한다. 여기서 변수 z 는 다음과 같다.

$$\dot{z} = -\gamma|\dot{x}|z|z|^{n-1} - \beta\dot{x}|z|^n + A\dot{x}$$

4. MR 감쇠기의 성능실험

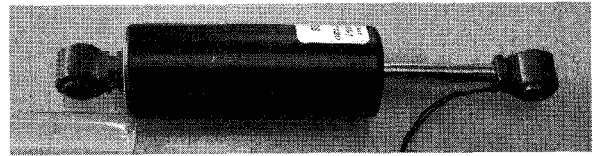
MR 감쇠기의 성능을 평가를 목적으로 MTS 장비를 사용한 정현파 압축 및 인장 실험을 실시하였다. 속도, 변위 및 자기장에 따른 MR 감쇠기의 감쇠력을 로드셀을 통하여 계측하고 이를 분석하였다. 성능실험에 100kN 용량의 MTS, 로드셀, 전류조정장치, 데이터 수집장치 등을 사용하였다.



(a) MR 감쇠기 샤프트 길이 조절

4.1 MR 감쇠기 사양

본 실험에 사용한 MR 감쇠기는 Lord사의 RD-1005-3으로 실린더 직경과 길이는 각각 41.39mm와 114.3mm이다.³⁾ 그리고 MR 감쇠기의 샤프트는 최소 154.9mm에서 최대 208.2mm까지 변위 흡수가 가능하다. 감쇠력은 최소 667N에서 최대 2224N까지 전류량에 따라서 변화한다.



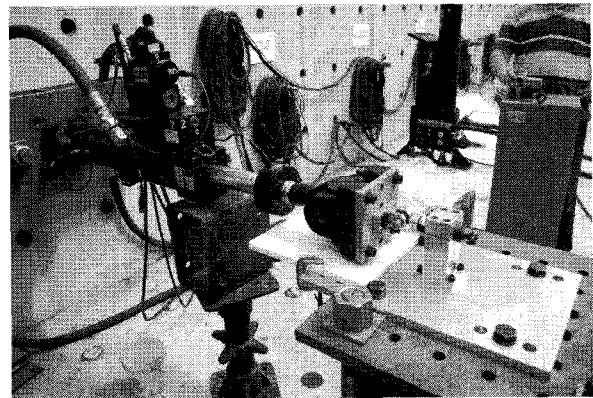
〈그림 4〉 MR 감쇠기(RD-1005-3)

4.2 MR 감쇠기 성능실험 방법

전류, 변위 및 속도(진동수)에 따른 MR 감쇠기의 감쇠력을 계측하여 MR 감쇠기의 성능을 평가한다.

〈표 1〉 전류, 변위(Sinusoidal) 및 진동수 데이터

Current(Amps)	Displacement(mm)	Frequency(Hz)	비고
0.0			각각의 Input 데이터를 조합하여 case별로 10 cycle 실시
0.1			
0.2	±05		
0.3	±10	1.0	
0.4	±12	2.0	
0.5	±15	3.0	
0.7	±20	4.0	
0.9			
1.2			
1.6			



(b) 정현파 가진 실험

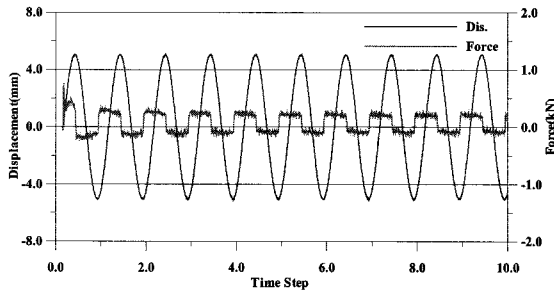
〈그림 5〉 MR 감쇠기 성능실험

전류는 수동 전압 및 전류 변환기를 사용하여 전류의 양을 변화시켰으며 변위와 진동수는 MTS control kit에 의하여 조절하였다. MR 감쇠기(RD-1005-3) 샤프트의 변위량은 최대 53.3mm이므로 MR 감쇠기의 샤프트 변위가 최대 $\pm 20\text{mm}$ 가 될 수 있도록 MR 감쇠기의 샤프트 길이를 적절하게 조절하였다.

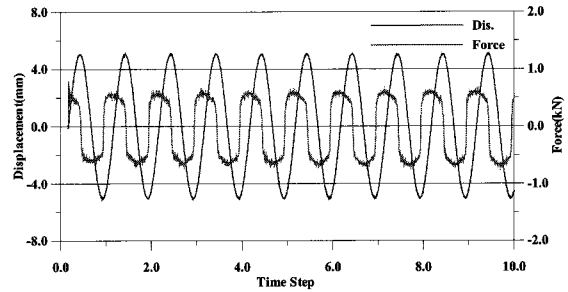
4.3 MR 감쇠기 성능실험 결과

MR 감쇠기의 성능실험을 변위 및 감쇠력과 변위의 시간이력 양상을 분석하고자 하며 또한 감쇠력과 변위와의 관계를 분석하였다.

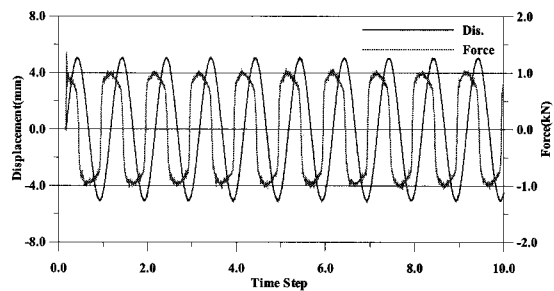
성능실험에 대한 결과의 일부를 <그림 6>과 <그



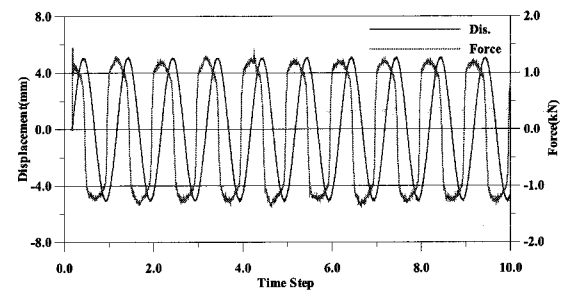
(a) 전류-0.0Amp



(b) 전류-0.5Amp

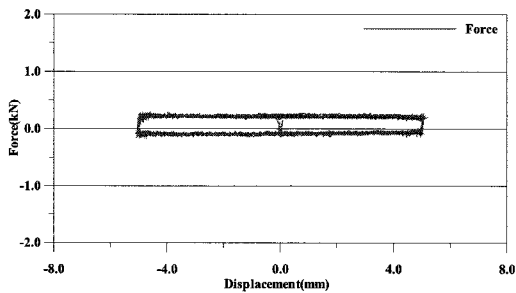


(c) 전류-0.9Amp

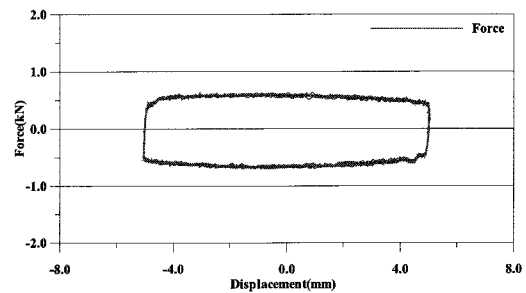


(d) 전류-1.6Amp

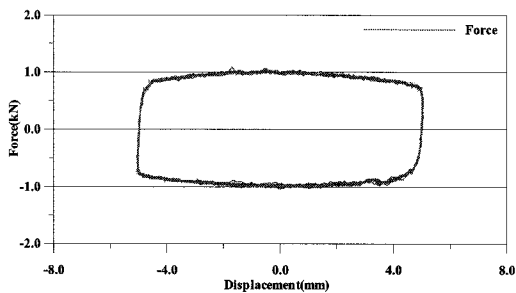
<그림 6> 감쇠력에 대한 시간이력



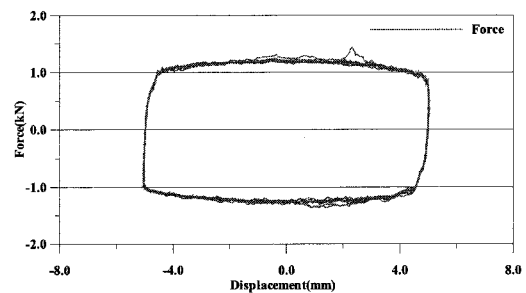
(a) 전류-0.0Amp



(b) 전류-0.5Amp



(c) 전류-0.9Amp



(d) 전류-1.2Amp

<그림 7> 감쇠력-변위 이력곡선

림 7>에 나타내었다. <그림 6>은 변위 $\pm 5\text{mm}$ 이며 진동수가 1Hz인 경우에 전류량에 따른 감쇠력에 대한 시간을 나타낸 것이며 <그림 7>은 변위-감쇠력을 나타낸 것이다.

자기장의 변화에 따라서 MR 유체의 점성이 변화하기 때문에 전류량이 높을수록 감쇠력이 커지는 것을 볼 수 있다. 변위에 대한 감쇠력 이력곡선을 살펴보면 MR 감쇠기의 특성을 잘 묘사하고 있는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

MR 감쇠기는 자기신호에 따라서 감쇠력의 조절이 가능하며 대용량의 감쇠력도 쉽게 구현할 수 있고 반응속도 또한 매우 빠르기 때문에 구조물의 진동제어에 있어서 그 활용성이 높은 장치이다. 이러한 MR 감쇠기를 구조물의 제어에 활용하기 위해서는 MR 감쇠기에 대한 정확한 특성과 성능 분석이 필요하다. 따라서 본 실험에서는 전류, 변위 및 속도(진동수)에 따른 MR 감쇠기의 감쇠력을 계측하여 MR 감쇠기의 동적특성을 알아보았다. 추후 연구

에서는 성능실험에서 얻은 결과를 바탕으로 다양한 MR 감쇠기 동적모델에 대한 검증을 하고자 한다.

감사의 글

본 기사는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(#06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Guangqiang Yang et al., 'Dynamic Modeling of Large Scale Magnetorheological Damper System for civil Engineering Application, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, pp. 1107-1114, September, 2004.
2. B. F. Spencer et al., 'Phenomenological Model for Magnetorheological Dampers', Journal of Engineering Mechanics, ASCE, pp. 230-238, March, 2004.
3. RD-1105-3 Spec, LORD company.