

MR댐퍼의 고속 충격 응답에 대한 실험적 평가

Experimental Evaluation of High-Speed Impact Response for a MR-Damper

*안재현¹, #이규섭¹, 설창원², 김태형², 김윤재², 한현희¹, 라현흠¹

*C.H. An¹, #G.S. Lee(rmstech@rmstech.co.kr)¹, C.W. Shul², T.H. Kim², Y.J. Kim², H.H. Han¹, H.H. Ra¹
¹ 알엠에스테크놀로지(주), ² 국방과학연구소

Key words : MR-Damper, Damping Force, Impact

1. 서론

기계 및 전자 복합 시스템들은 일반적인 산업 현장 뿐 만 아니라, 항공, 해양, 국방 등 다양한 분야에서 여러 형태로 사용되고 있다. 이러한 시스템들은 여러 형태의 외부 환경에 노출되어 사용되게 된다. 따라서 실제 환경을 예상하여 이에 대한 시험 및 평가를 수행하고, 취약 부분을 개선하는 일은 시행착오를 줄이고, 제품의 수명과 기능을 보증할 수 있는 방법이다. 충격 입력은 제품의 기능 수행 및 수명에 치명적인 영향을 주는 환경 인자로 이에 대한 강건성 평가는 충격 환경이 예상되는 제품에 필수적으로 요구된다.

충격 시험 장치는 일반적으로 고속 충동을 이용하며, 충돌하는 물체 사이에 삽입되는 프로그래머의 소재 특성을 조절하여 입력 파형을 조절하게 된다. 그러나 다양한 요구 파형에 대하여 개별적인 설계 및 시험을 거쳐야 하는 단점이 있다.

MR유체는 페라이트 입자를 점성 오일에 분산시킨 현탁액으로 자기장의 작용에 따라 고속으로 결합하여 고속에서 반고체 상태로 상변화가 일어나는 스마트 재료이다. MR댐퍼는 기존의 점성 댐퍼의 구조에 전자석을 삽입하고 MR유체를 주입한 댐퍼로써 공급되는 전류량의 크기에 따라 MR유체의 상변화가 유도됨에 따라 감쇠력이 가변되는 지능형 댐퍼이다.

본 연구에서는 MR댐퍼를 이용하여 충격파형의 형상을 제어하는 충격시험기 개발에 앞서서 이에 대한 특성을 실험적으로 연구하였다. MR댐퍼의 수학적 모델은 간단한 bing-ham모델, 비선형성을 고려한 Bouc-Wen 모델 등 다양한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다. 그러나 대부분의 연구는 주로 5 Hz 이하의 저주파 특성에 국한되어 있어서, 고속 충격 응답에 대한 연구는 활발히 수행되지 않았다.

따라서 고속 충돌 환경 하에서의 선행연구로 MR댐퍼의 감쇠력 특성을 실험적으로 분석하였다.

2. 시스템 모델링

Fig. 1은 MR댐퍼의 구조 및 설계변수를 나타낸 것이다. bing-ham모델을 적용하면 MR댐퍼의 감쇠력 F_d 는 식(1)로 표현되며, 유체의 점성항과 전단력 항은 각각 식(2)와 (3)으로 표현된다.

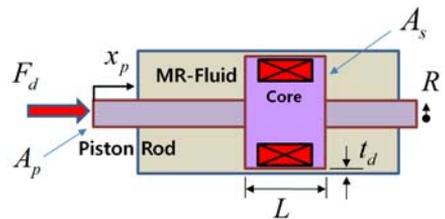


Fig. 1 Design variable of a MR-damper

$$F_d = C_{vis} \dot{x}_p + F_{MR} \operatorname{sgn}(\dot{x}_p) \quad (1)$$

$$C_{vis} = \frac{12\eta L}{\pi R_d t_d^3} (A_p - A_s)^2 \quad (2)$$

$$F_{MR} = (A_p - A_s) \frac{2cL_p}{t_d} \tau_y \quad (3)$$

3. 실험 장치의 구성

Fig. 2는 실험 장치의 개략도이다. 속도 발생기 (velocity generator)는 유압 시스템을 이용하여 충격 질량 (m_1 , impact mass)를 가속하게 된다. 가속된 충격 질량은 등속 운동으로 정지해 있는 시험용 정반(m_2 , test table)를 가격하게 된다. 이때 고무 계열의 재질로 구성된 프로그래머(k_i , programmer)

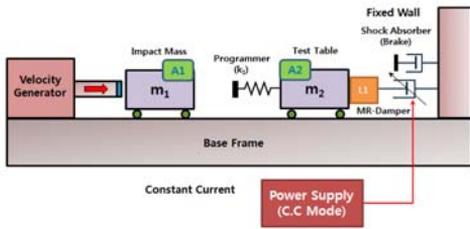


Fig. 2 Block diagram of MR-damper impact tester

가 충격 파형의 크기 및 지속시간을 변환하게 된다. MR댐퍼는 시험용 정반 뒤편에 부착되어 있으며 반대쪽은 고정된 벽면에 고정되어 있다. 전원 공급 장치는 정전류 모드로 일정한 전류를 MR댐퍼에 공급하는 구조이다. 각각의 질량물에는 가속도 센서(A1,A2)를 부착하였으며, MR댐퍼에는 감쇠력 측정을 위하여 로드셀(L1)을 장착하였다.

MR댐퍼는 오리피스 간극을 1mm와 3mm로 하였으며, 점성 감쇠력의 크기를 조정하기 위하여 실린더 양단에 별도의 관로를 부착하고, 차단 밸브를 이용하여 조작할 수 있도록 하였다. Fig. 3은 실험장치의 전체적인 형태를 표현하고 있다.

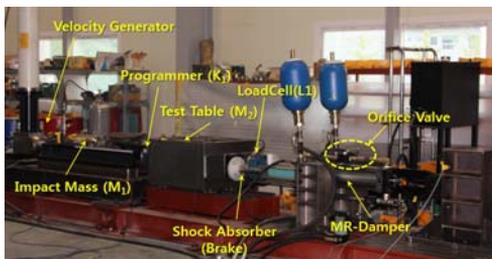
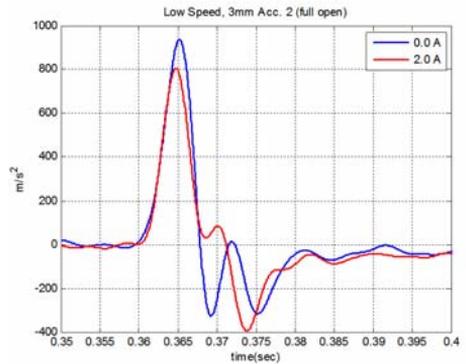


Fig. 3 A picture of MR-damper impact tester

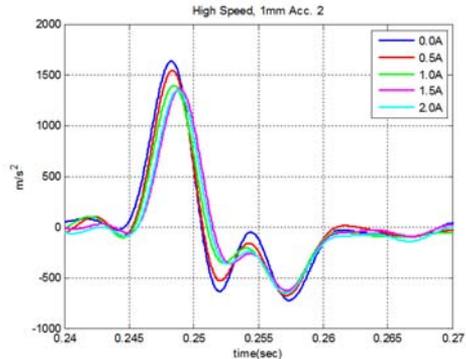
4. 실험 결과 및 분석

속도 발생기의 발사 속도는 저속(8 m/sec) 및 고속(13 m/sec)로 조작하였으며, 공급 전류는 저속에서 0 A일 때와 2 A일 때로 구분하였으며 고속에서는 0.5 A 단위로 조정하며 실험을 수행하였다.

MR-damper는 식(1)~(3)의 bing-ham 모델에서 보이는 바와 같이 오리피스 간극(t_g)가 작을수록 MR 유체에 공급되는 자속밀도가 커지게 되므로 전단력이 증가하는 성향을 보이며, 또한 점성 감쇠력도 급격히 증가하는 특성을 보이게 된다. Fig. 4는 실험 결과 중 시험용 정반의 가속도를 나타낸 것이다. MR-damper에 공급되는 전류에 따라 최대 가속도가 약 15% 수준의 변화를 확인할 수 있다.



(a) Low speed



(b) High speed

Fig. 4 Acc. of test table with MR-damper

MR댐퍼에서 발생하는 감쇠력 중 점성 감쇠력이 전단력에 비하여 매우 크면 MR댐퍼의 효과를 기대하기 어렵다. 이러한 경우는 MR유체의 점도가 높거나, 유속이 빠른 경우 즉 오리피스 간극이 좁은 경우에 해당된다. 따라서 이에 대한 최적 설계 개념이 요구된다.

5. 결론

MR댐퍼의 고속 충격에 대한 응답을 확인하기 위하여 고속 충격 실험 장치를 구성하였으며 이를 이용하여 MR댐퍼의 설계 변수와 전류를 변경 시켜 가면서 실험을 수행하였다.

가속도 측면에서 전류량에 따라 MR댐퍼의 감쇠 효과를 확인하였다. 이는 여러 설계 변수 조건에 큰 영향을 받음으로 이에 대한 추가 연구가 필요하다.