

MR 유체의 동특성

Identification of Dynamic property of MR Fluid

안영공*·하종용**·안경관***·양보석**·白石俊彦****·森下信****

Young Kong Ahn, Jong-Yong Ha, Kyoung Kwan Ahn, Bo-Suk Yang
Toshihiko Shiraishi and Shin Morishita

Key Words : Magneto-Rheological Fluid, MR damper, Magnetic Fluid

ABSTRACT

MR (Magneto-Rheological) fluids are well known as a smart fluid and their application researches to control vibration have been conducted by many researchers. However, their dynamic properties have not been identified clearly yet. Therefore, the MR effect is investigated by using a rotational viscometer and a single degree of freedom system with an MR damper. The results obtained from the experimental study show that stiffness and viscous damping coefficients of the system with an MR damper are changed according to the variation of the applied current.

1. 서론

외부에서 부가하는 전장과 자장의 세기에 따라서 유체의 점도 특성이 변화하는 유체인 ER(Electro-Rheological)과 MR(Magneto-Rheological) 유체는 진동 제진 소재로서 잘 알려져 있다. 특히 MR 유체는 ER 유체에 비해서 점도특성의 변화 폭이 크고, 또한 내구성이 우수하여 산업계에 적용 가능성이 높은 유체로 평가되어 MR 유체를 이용한 응용연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.^(1, 2) 유체의 특성을 올바르게 파악해야만 보다 효과적으로 이용할 수 있지만, 이들 유체의 동특성을 명확하게 제시하고 있는 문헌은 없는 상태이다. 따라서 본 연구에서 MR 유체의 동특성을 검토하였다. 일반적으로 자장의 세기가 변화함에 따라서 MR 유체의 항복응력이 변화하는 특성을 나타내므로 이 항복응력은 MR 유체가 적용된 시스템에서 쿨롱 감쇠가 변화하는 것으로 간주하고 있다. 그러나 본 연구의 실험장치인 MR 감쇠기에서는 자장이 변화함에 따라서 쿨롱감쇠의 특성보다는 등가 점성감쇠 및 강성이 변화하는 것으로 나타났다.

2. MR 유체의 특성

Fig. 1에 MR 유체의 특성을 규명하기 위한 회전식 점도계를 나타내고 있다. 일반 유체의 점도를 측정하는데 널리 사용되는 회전식 점도계 내부에

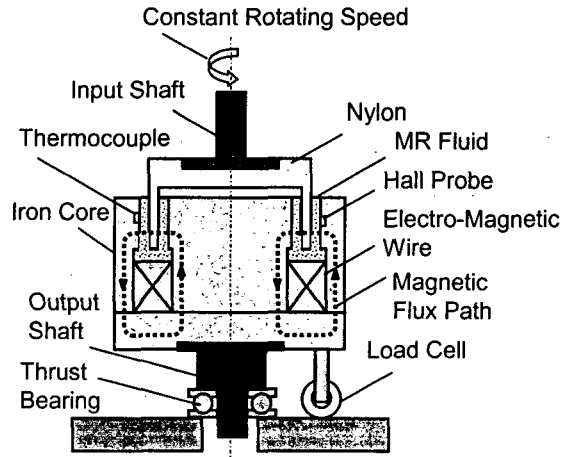


Fig. 1 Schematic view of the rotational viscometer for MR Fluids

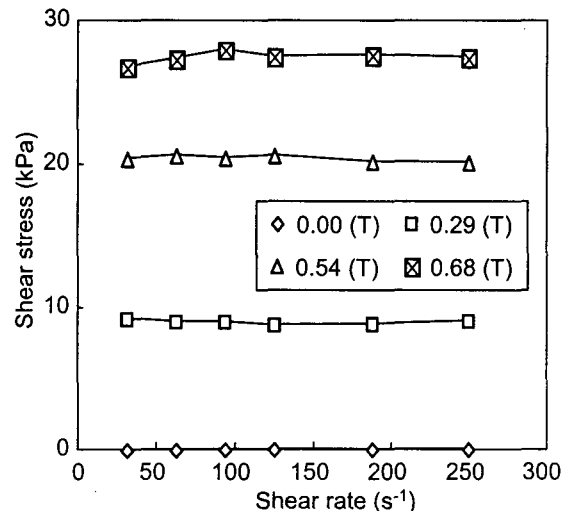


Fig. 2 Shear stress vs. shear rate of MR fluids

* 울산대학교, 기계부품 및 소재특성 평가 연구센터

E-mail : ahn@mail1.pknu.ac.kr

Tel : (052) 259-1501, Fax : (051) 259-1680

** 부경대학교, 기계공학부

*** 울산대학교, 기계자동차 공학부

**** 요코하마 국립대학, 생산공학과

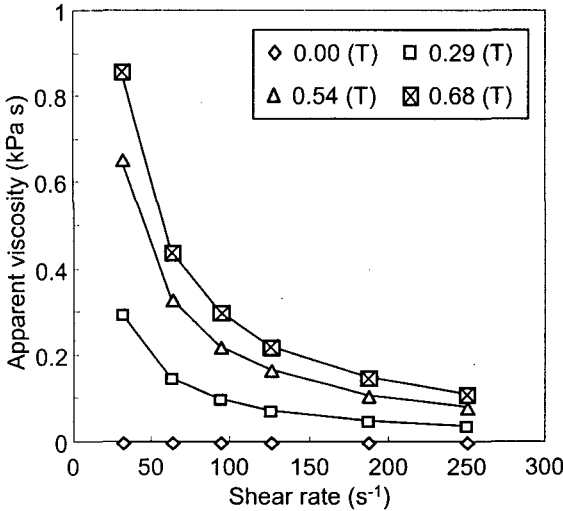


Fig. 3 Apparent viscosity vs. shear rate of MR fluids

채워진 MR 유체에 자장을 부가하기 위한 전자석이 설치되어 있고, 전자석에서 발생하는 자속밀도는 홀 센서(Hall Probe)로, 온도변화는 온도센서에 의하여 측정된다. 회전식 모터에 의해 상부의 축이 일정하게 회전하면 MR 유체에 의한 유체의 저항력이 하부의 전자석이 설치된 코어부분에 전달되어지고 로드 셀을 통하여 전단력이 측정된다. Fig. 1의 점도계에 의해 측정된 MR 유체의 점도특성을 Fig. 2에 나타내었다. 부가하는 자속밀도가 증가함에 따라서 MR 유체의 항복응력이 증가함을 알 수 있다. 한편 Fig. 2를 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있으며 MR 유체의 특성은 전단속도의 함수임을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 MR 유체는 미국의 Lord 사의 제품인 132-LD이다.

3. MR 댐퍼를 이용한 1 자유도계

Fig. 4에 MR 유체를 이용한 감쇠 시스템의 기초부를 가진할 수 있도록 가진기가 설치된 개략도, Fig. 5에는 MR 댐퍼의 상세도를 나타내고 있다. MR 댐퍼는 MR 유체를 채워 넣을 수 있는 용기와 전자석 코일이 감겨 있는 요소 사이에 전단운동이 발생하고 자장을 부가하면 전단운동에 대한 저항력이 발생하게 된다. MR 효과가 작동하는 공간의 간격을 조절할 수 있도록 코일은 한쪽 측면에만 삽입하였다. 또한 경우에 따라서 고무판을 MR 댐퍼 내부에 삽입하면 점탄성 댐퍼로 사용할 수 있다. Fig. 4의 실험장치로부터 측정된 시스템 변수 중 질량은 5.24 kg, 판 스프링(spring plate)의 강성계수는 13,243 N/m, MR 유체가 없는 경우의 감쇠계수는 0.62 N·s/m 이고, 비 감쇠 공진주파수 ω_n 은 8 Hz 이다. 한편 MR 유체를 주입한 상태이고 자장을 부가하지 않았을 경우의 감쇠계수를 실험적으

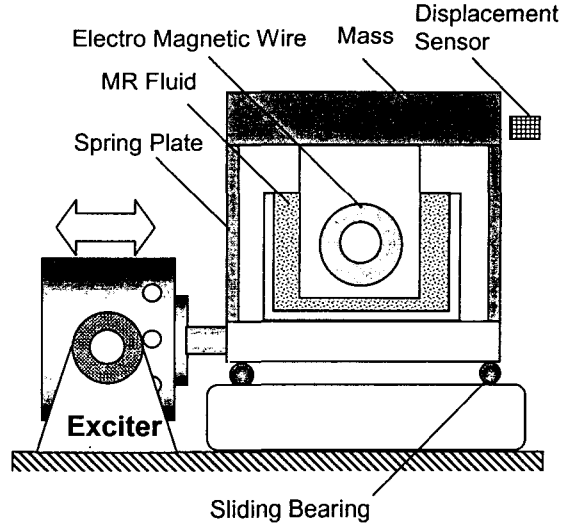


Fig. 4 One degree of freedom system with MR damper

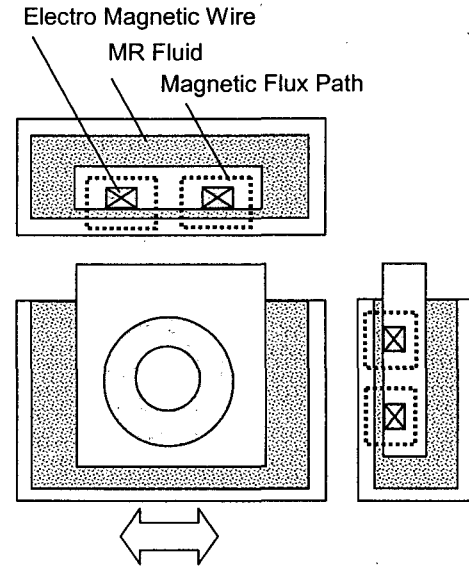


Fig. 5 Schematic view of MR Damper

로 구하면 18.6 N·s/m 정도였다. 이들 파라미터는 수치시뮬레이션에 이용된다. 본 시스템은 가장 단순한 1 자유도계이므로 MR 유체의 특성을 검토하는데 편리한 시스템으로서 MR 유체의 특성변화를 질량부의 운동을 검토함으로써 파악할 수 있다. 즉 MR 유체에 의해서 쿨롱감쇠 효과가 발생하면, 전달률은 Fig. 6과 같이 나타난다. Fig. 6은 수치적 분법 중에서 뉴마크 베타법을 사용하여 얻은 결과로서 횡축은 ω_n 에 대한 가진 진동수 ω 의 비를 나타낸다. 그림에서 나타내고 있듯이 쿨롱 감쇠력 F_d 가 증가함에 따라서 전달률이 감소함과 동시에 공진주파수는 증가하지만 진동수 비가 1.4 이상에

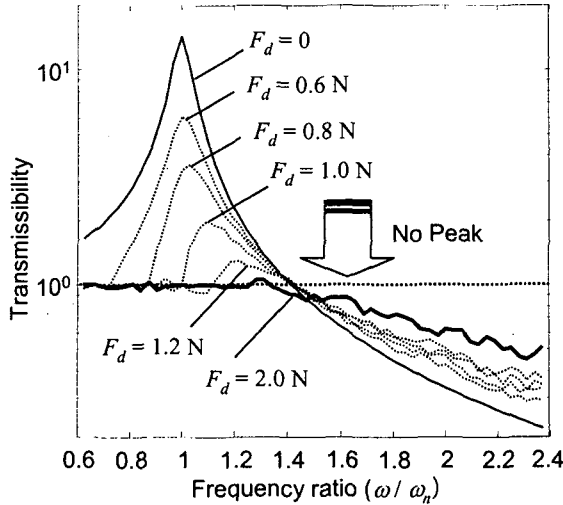


Fig. 6 Transmissibility of a single degree of freedom with combined viscous and Coulomb damping

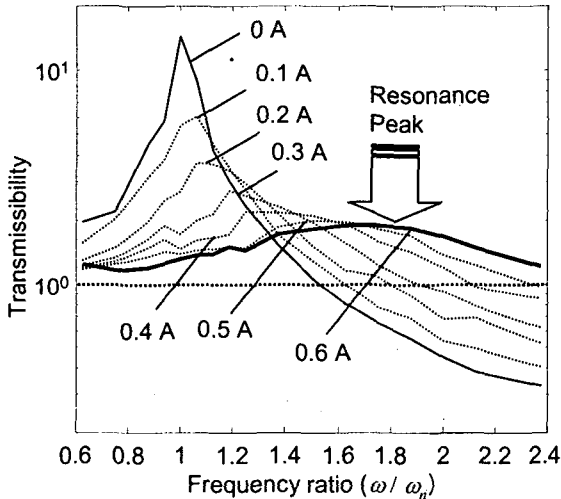


Fig. 7 Transmissibility obtained experimental study

서는 공진피크가 나타나지 않는다.

한편, Fig. 7은 실험결과로부터 얻은 전달률로서 부가 전류가 증가함에 따라서 전달률이 감소하고, 동시에 공진주파수는 증가하지만 Fig. 6과는 달리 진동수 비가 1.4 이상에서도 공진피크가 나타난다. 이는 전류가 증가함에 따라서 감쇠력이 증가하고 또한 강성력이 증가함을 Fig. 8의 실험적으로 얻은 자유진동 파형에서 알 수 있다. 부가 전류가 증가함에 따라서 진동 수렴시간이 감소하고, 진동 진폭의 수렴형태는 쿨롱감쇠가 작용할 때 선형적으로 감소하는 것과는 달리, Fig. 8에서는 지수함수에 가까운 형태로 감소함을 알 수 있다.

이와 같은 현상을 올바르게 파악하기 위해서는 MR 유체가 적용된 다양한 장치를 통하여 MR 유체의 특성을 종합적으로 검토해야 할 필요가 있고,

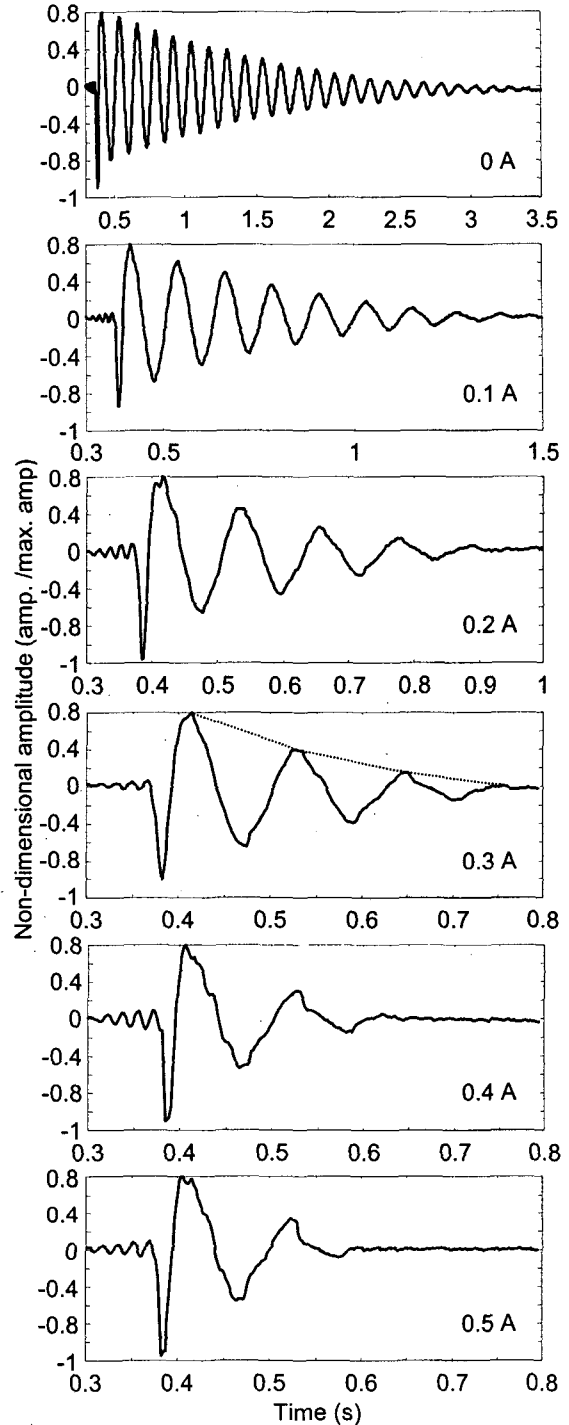


Fig. 8 Time history for free vibration

또한 일정방향의 전단이 발생하는 회전식 점도계와 달리 왕복식 전단이 발생하는 장치로써 MR 유체의 특성을 검토해야 할 필요성이 있다.

이상의 실험결과를 바탕으로 MR 댐퍼를 이용한

1 자유도계는 Fig. 9 와 같이 모델링 할 수 있고, 이를 바탕으로 얻은 지배방정식은 아래의 식과 같다.

$$M\ddot{x} + \{C + C_{MR}(H, \dot{x})\}(\dot{x} - \dot{y}) + \{K + K_{MR}(H, x)\}(x - y) = 0$$

위의 식에서 M 은 질량이고 K 와 C 는 각각 MR 유체가 없는 상태의 강성 및 점성감쇠계수이고, H 는 외부에서 MR 유체에 추가하는 자장이다. K_{MR} 과 C_{MR} 은 MR 댐퍼의 강성 및 점성감쇠계수이다.

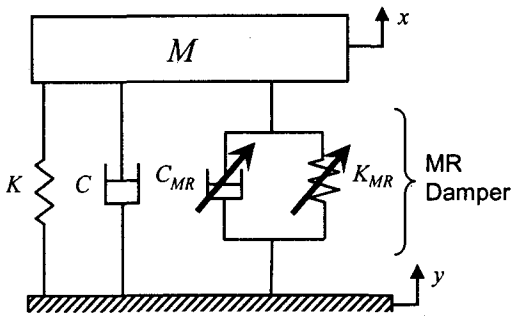


Fig. 9 Model of a single degree of freedom with MR damper

4. 결론

MR 유체를 이용한 장치 및 MR 유체의 특성을 올바르게 파악해야만 MR 유체의 효과를 높일 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 가장 단순한 시스템에 MR 유체를 적용하여 MR 효과를 실험적으로 검토하였다. 얻어진 연구 결과는, 일반적으로 MR 유체를 이용한 장치에 추가하는 자장이 증가함에 따라서 쿨롱 감쇠력이 증가하는 것으로 간주하고 있지만, 본 실험장치에서는 등가 점성감쇠 및 강성이 증가하는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 한국과학 재단 지정 울산대학교 기계 부품 및 소재 특성 평가 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- (1) 최승복, 홍성룡, 2005, "MR 유체의 특성과 진동분야에 관한 응용연구 사례 및 연구 동향," 한국소음진동공학회지 『소음·진동』, Vol. 15, No. 1, pp. 9~19
- (2) 안영공, Shin Morishita, 2004, "스마트 유체 (ER and MR fluids)의 기본 특성과 응용기술", 유공압시스템학회지, Vol. 1, No. 1, pp. 40~49.