

MR 유체를 이용한 스퀴즈필름 댐퍼의 응답특성 Performance of Squeeze Film Damper Using Magneto-Rheological Fluid

안영공*, 양보석*, 신동춘**, 김동조*

Young Kong Ahn, Bo-Suk Yang, Dong-Choon Sin and Dong-Jo Kim

Key Words : Squeeze Film Damper(스퀴즈필름 댐퍼), Magneto-Rheological Fluid(MR 유체), Variable Damping(가변 감쇠), Vibration Control(진동 제어)

ABSTRACT

This paper presents the property of the Squeeze Film Damper (SFD) using Magneto-Rheological fluid (MR fluid). The damping property of a SFD for a flexible rotor system varied according to vibration mode. MR fluid is known as a functional fluid with controllable apparent viscosity of the fluid by applied magnetic field strength. When the MR fluid is applied in the SFD, the SFD using MR fluid can effectively reduce vibrations of the flexible rotor in a wide range of rotating speed by control of the applied magnetic field strength.

To investigate in detail the SFD using MR fluid, the SFD to support one mass was constructed and its performance was experimentally investigated in the present study. The damping property of the SFD using MR fluid has viscous damping by Newtonian fluid, but not Coulomb friction by Bingham fluid. Therefore, The system damped by the SFD can be considered as a linear system.

1. 서 론

스퀴즈필름 댐퍼(Squeeze Film damper, SFD)는 유연지지 회전체의 휘돌림 진동을 감쇠시키기 위한 댐퍼로서 잘 알려져 있고, 지지부의 불베어링 바깥 부분에 설치하여 회전체의 감쇠특성을 개선하고, 주운전주파수에서 회전체의 안정성을 높이는 작용을 한다.

SFD에 의해 부가되는 감쇠효과는 회전체의 휘돌림 모드에 따라 차이가 있고, 이는 각 모드에 대응하는 최적 감쇠치가 존재하는 것을 의미한다.^(1, 2) 수동형 SFD 설계는 SFD의 형상과 사용 유통유의 점도를 알맞게 선택하여 주 운전주파수에서 회전체의 최적 지지조건이 되도록 하였다.

MR 유체(Magneto-Rheological fluid)⁽³⁾는 자기장의 세기를 변화시킴으로써 유체의 겉보기 점도를 제어 할 수 있는 기능성유체로 잘 알려져 있다. 종래의 SFD에 사용되는 유통유대신에 MR 유체를 적용함으로써 회전체의 진동모드에 따라서 최적 지지감쇠 조건을 적응적으로 부여하는 것이 가능하게 된다.

본 연구에서는 자장의 변화에 따라서 MR 유체를 이용한 스퀴즈필름 댐퍼 (MR SFD)의 특성이 Bingham 유체의 특성을 나타내는지를 파악하고자 한다. 다자유도계의 회전체에 MR SFD에 설치된

상태에서 댐퍼만의 특성을 정확하게 평가하기는 어렵다. 왜냐하면, SFD의 감쇠특성은 회전체의 진동 모드의 함수이기 때문이다.^(2, 4) 따라서, 회전체에 MR SFD를 하나의 질량만을 지지하는 MR 유체를 이용한 SFD를 제작하고, 실험적으로 이의 특성평가를 행하였다. 그 결과로, 자장의 변화에 따른 Bingham 유체의 특성은 나타나지 않았고, Newtonian 유체에 의한 점성 감쇠특성이 나타났다. 그래서 MR 유체를 이용한 감쇠기가 적용된 시스템을 선형시스템으로 간주할 수 있음을 확인하였다.

2. MR 및 ER 유체를 이용한 감쇠기

기능성 유체로서 잘 알려진 MR과 ER 유체는 부가하는 자장이나 전장의 변화에 따라서 유체의 항복응력이 변화하는 Bingham 유체의 특성을 나타내는 것으로 일반적을 알려져 있다.⁽⁵⁾ Bingham 유체의 특성을 가진다는 것은 MR 및 ER 유체에 자장이나 전장이 증가함에 따라서 Coulomb 마찰이 증가한다는 것을 의미한다.

이들 유체를 이용한 댐퍼의 특성에 Coulomb 마찰의 특성이 지배적으로 나타난다는 보고가 있다.^(6, 7) 그러나 이들 논문에서는 댐퍼 내부에는 기본적으로 Seal의 마찰과 실린더 벽면과 피스톤 가이드 사이에서 마찰이 일어나고 있으나, 이들 마찰력에 대한 정확한 평가 없이 자장 및 전장변화에 대한 마찰력의 증가는 이들 MR 및 ER 유체의 특성변화에 의한 것으로만 간주하고

* 부경대학교 기계공학부

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

Tel : (051) 620-1618, Fax : (051) 620-1405

** 부경대학교 기계공학부 대학원

있다. 즉 유체의 항복응력이 변화하여 Coulomb 마찰이 작용하는 것으로 간주하고 있다. 그러나 ER 유체를 이용한 SFD 및 MR 유체를 이용한 마운트 내부에 외부적인 마찰이 없는 경우이므로 자장을 부가함에 따라서 Coulomb 마찰의 특성은 보이지 않고, 점성감쇠의 특성이 지배적이다.^(5, 8, 9) 그런데, ER 유체를 이용한 SFD의 점성감쇠의 특성을 고려하지 않고 오히려 Coulomb 마찰을 고려한 이론적인 연구도 있다.^(10, 11)

3. MR 효과의 메커니즘

Fig. 1은 MR 유체의 MR 효과에 관한 메커니즘을 나타내고 있다. (a)와 같이 자장을 부과하지 않았을 경우 유체내부의 미립자는 불규칙적으로 분산되어 있으나, 자장을 부과하였을 경우에는 그 미립자들은 사슬구조를 형성하여 (b)의 전단모드(shear mode), (c)의 유체 유동모드(flow mode), (d)의 스queeze 모드(squeeze mode)에서 외력에 저항하는 모습을 나타내고 있다. 이 현상은 전장에 응답하여 사슬구조를 형성하는 ER 유체의 메커니즘과 유사하다. 유체의 점도특성을 평가하는 데에 일반적으로 사용되는 회전식 점도계를 이용하여, 부가 전류 및 자장을 변화시키면서 MR 와 ER 유체의 유동학적 특성을 측정하면, 부가 전류가 증가함에 따라서 유체의 항복응력이 증가하는 Bingham 유체의 특성이 나타난다.^(12, 13)

그러나 이 회전식 점도계의 전단은 Fig. 1 (b)와 같이 한쪽 방향으로만 일어나고, 또한 전단속도 역시 일정하다. 그러나, 진동감쇠기의 작동 모드인 진동모드에서는 입자의 사슬구조가 파괴되는 현상이 일어나고, 더욱이 전단속도가 변화하므로, 회전식 점도계로써 측정한 결과를 그대로 이용할 수 없다.

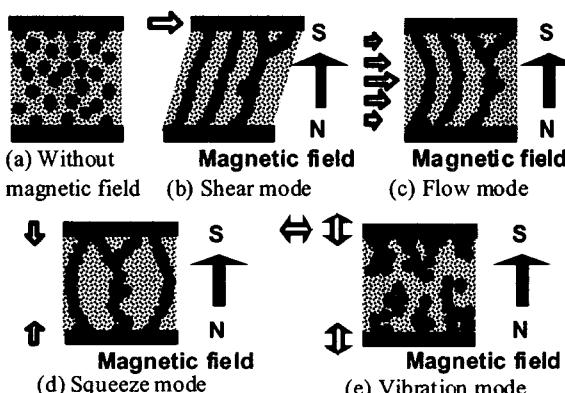


Fig. 1 Mechanism of MR effect in MR fluid

또한 진동모드에서는 입자의 사슬구조가 파괴되므로 Bingham 유체의 특성은 미소하고, Newtonian 유체의 특성은 지배적으로 나타난다.^(5, 8, 9)

4. 실험장치

하나의 질량을 지지하는 MR 유체를 이용한 SFD의 사진을 Fig. 2에 나타내었고, 또한 SFD의 상세구조의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 질량 지지부 주위에 규소강판으로 구성된 센터링 (centering) 스프링의 리테이너(retainer)를 설치하고, 그 외측에 전자석 코일을 감았다. 댐퍼의 내외측 사이에 MR 유체가 채워지게 되며, 고무판을 이용하여 MR 유체를 밀봉하였다. 전자석 코일은 구리선으로 전체 저항이 8.4Ω이고 코일의 감은 수는 42회이다. 센터링 스프링에 의해 지지된 총 질량은 약 5.16kg이고, MR SFD의 주요 치수 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Principal dimensions of SFD type mount

Inner damper diameter	70 mm
Electric coil turns	420
Electric coil resistance	8.4
Electric coil diameter	0.5 mm
Radial clearance	5 mm
Inner damper width	30 mm
Centering spring diameter	2 mm

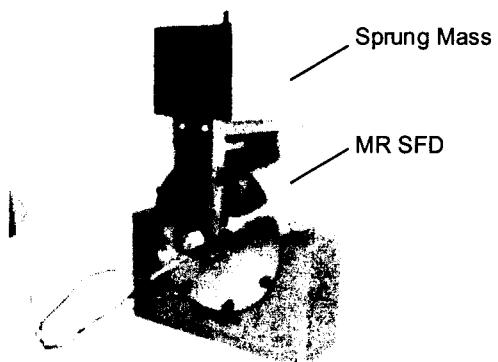


Fig. 3. Experimental apparatus of the MR SFD with a mass

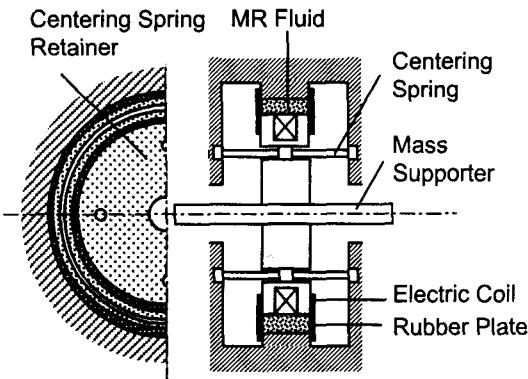


Fig. 3. Schematic of the SFD using MR fluid without ball bearing

5. 실험 결과 및 고찰

실험은 MR 유체를 이용한 SFD에 부가하는 전류를 변화시키면서 임팩트햄머에 의한 타격시험을 수행하였다. 응답은 임팩트햄머와 변위센서를 이용하여 임팩트햄머의 힘과 질량부의 변위를 측정하였고, 임팩트햄머의 최대 힘으로 변위파형을 나누어서 표현한 자유 진동파형을 Fig.4에 나타내었다. 전류가 증가함에 따라 수렴 시간이 짧아지고 타격에 의한 피크가 작아짐을 알 수 있다.

이 현상은 전류가 증가함에 따라서 MR 유체의 걸보기 점도가 증가되어 결과적으로 감쇠비가 상승하는 것에 기인하는 것이다. 측정된 힘과 변위파형으로부터 계산된 컴플라이언스를 Fig. 5에 나타내었다.

전류가 증가함에 따라, 공진 주파수의 피크와 공진주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이 실험결과는 Newtonian 유체에 의한 점성감쇠에 의한 특성과 일치한다.

만약 MR 유체가 자장의 증가에 따라서 유체의 항복응력이 증가한다면 Coulomb 마찰력의 의한 영향이 나타나야 한다. MR 유체가 적용된 감쇠기에는 Coulomb 마찰과 기본유체에 의한 점성감쇠가 동시에 존재하는 경우이므로, 이와 같은 시스템을 이론적으로 평가하면 Coulomb 마찰이 증가하면 공진주파수가 증가하는 것으로 나타난다.⁽¹⁴⁾ 이 결과를 토대로 MR 유체특성을 평가 하면, Fig. 1 (e)의 진동모드에서는 자장이 변화함에 따라서 Bingham 유체의 특성인 유체의 항복응력이 변화하기 보다는 Newtonian 유체의 특성인 점도변화가 지배적임을 알 수 있다.

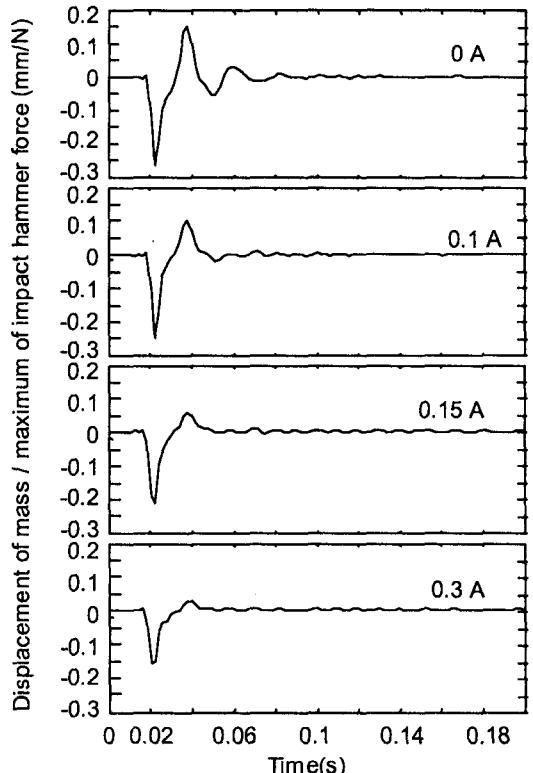


Fig. 4. Response to impact test with variation of applied magnetic field

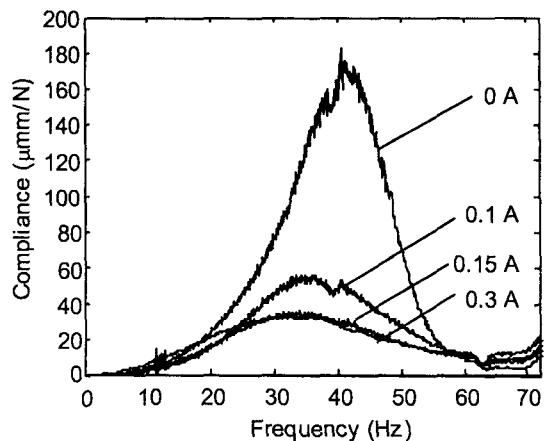


Fig. 5. Transmissibility of impact response under various magnetic field

6. 결론

본 논문에서는 유연지지 회전체에 감쇠력을 외부적으로 부가하는 수동형 SFD에 MR 유체를 이용한 SFD를 개발하기 위한 기초 연구를 수행하였다. MR 유체를 이용한 SFD 자체의 특성을 상세하게 파악하기 위해서 하나의 질량을 지지하는 SFD를 설계, 제작하였고, 이에 대한 감쇠특성을 실험적으로 조사하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

MR SFD의 감쇠특성은 전류가 변화함에 따라서 Newtonian 유체의 특성인 점도변화에 따른 점성감쇠 특성이 나타났다. 따라서, MR SFD로 지지된 회전체의 지배방정식은 Coulomb 마찰이 없는 선형방정식으로 고려할 수 있음을 됨을 본 연구를 통하여 확인하였다.

참고문헌

- Master thesis, Mechanical Engineering Department, Taxes A&M University.
- (9) Kim, J. H., Lee, C. W. and Lee, S. K., 1996, "Modeling of Magneto-Rheological Fluid Based Semi-Active Mount," 3rd International Conference On Motion and Vibration Control, Japan, pp. 164~169.
- (10) Tichy, J. A., 1993, "Behavior of a Squeeze Film Damper with an Electrorheological Fluid," Tribology Transactions, Vol. 36, No. 1, pp. 127~133.
- (11) S. Y. Jung and S. B. Choi, , 1995 "Analysis of a Short Squeeze -Film Damper Operating with Electro-Rheological Fluids," Tribology Transaction Vol. 38, pp.857~862.
- (12) 안영공, 신동춘, 양보석, 김동조, 2001, "MR 유체를 이용한 비틀림진동 감쇠기," 한국소음진동학회 춘계학술논문집, pp. 313~317.
- (13) Weiss, K. D., Duclos, T. G., 1994, "Controllable Fluids: The Temperature Dependence of Post-Yield Properties," International Journal of Modern Physics B, Vol. 8, Nos. 20 and 21, pp. 3015~3032.
- (14) J. E. Ruzicka and T. F. Derby, 1971 "Influence of Damping in Vibration Isolation," The shock and Vibration Information Center United States Department of Defense
- (1) Thomsen, K. K. and Andersen, H., 1974, "Experimental Investigation of a Simple Squeeze Film Damper," Journal of Engineering for Industry, Transactions ASME, Vol. 96, No. 2, pp. 427~430.
- (2) Satio, S., and Kobayashi, M., 1982, "On the Vibration of a Rotor Supported by Squeeze Film Damper," Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol. 48, No. 436, pp. 1883-1888.
- (3) Winslow, W. M. 1947, "Method and Means for Translating Electrical Impulses into Mechanical Forces," US Patent Specification 2417850.
- (4) Y. K. Ahn, B. S. Yang and S. Morishita, Directionally Controllable Squeeze Film Damper Using Electro-Rheological Fluid.
- (5) K. D. Weiss, T. G. Duclos, J. D. Carlson, M. J. Chrzan and A. J. Margida, 1993 "High Strength Magneto- and Electro-Rheological Fluids, "Society of Automotive Engineers, SAE Paper #932451
- (6) Carlson, J. D. and Spencer Jr., B. F., 1996, "Magneto-Rheological Fluid Dampers for Semi-Active Seismic Control," Proceedings of the 3rd International Conference on Motion and Vibration Control, pp. 35~40.
- (7) N. M. Wereley, L. Pang, 12~14 May 1997."Nondimensional Analysis of Semi-Active Electro-rheological Dmapers Using Approximate Parallel Plate Models," 11th VPI&SU Symposium on Structural Dynamics and Control
- (8) Hoque, M. S., 1988, "Experimental Investigation of an Electroviscous Damper for Rotordynamics Applications,"