

전자석을 이용한 가제어형 스퀴즈필름댐퍼 Controllable Squeeze Film Damper Using an Electromagnet

안영공*·하종룡**·양보석*·김동조*

Young Kong Ahn, Jong Yong Ha, Bo-Suk Yang and Dong-Jo Kim

Key Words : Squeeze Film Damper (스퀴즈필름댐퍼), Electromagnetic Damper (전자석댐퍼), Rotor Dynamics (회전체 역학)

ABSTRACT

The paper represents the stability of a rotor system with the squeeze film damper (SFD) using an electromagnet. The electromagnet is installed in the inner damper of the SFD. The proposed SFD has basically property of a conventional SFD and variable damping property according to variation of the applied electric current. Therefore, when the applied current is controlled, the whirling vibration of the rotor system can be effectively reduced in a wide operational speed range. In the present work, the performance of the SFD was experimentally investigated according to changing the magnetic field strength. When the applied current increased, the whirling amplitude greatly reduced and the damping ratio also increased.

1. 서론

발전기, 압축기, 펌프 등의 육상용 대형 회전기계는 일반적으로 견고한 기초 지지대를 바탕으로 한 저널 베어링으로 지지 되어있다. 한편 항공기용 제트엔진이나 가스터빈 등의 유연한 기초 지지대를 갖는 회전체의 지지베어링으로는 볼베어링이 사용되는 경우가 많다. 볼베어링은 지지강성은 높지만, 감쇠작용은 거의 없으므로, 감쇠작용을 외부적으로 부가하여 회전체의 진동을 줄이기 위해 볼베어링의 외부부에 스퀴즈필름댐퍼(Squeeze Film Damper; SFD)를 설치한다.

SFD의 설계는 형상과 사용 윤활유의 점도를 알맞게 선택하여 주 운전주파수에 서 회전체의 최적 지지조건이 되도록 한다. 이와 같은 수동형 SFD의 성능을 향상시키기 위하여 종래의 윤활유 대신에 기능성 유체인 ER(Electric-Rheological) 및 MR(Magneto-Rheological) 유체를 이용한 SFD⁽¹⁻⁶⁾나 전자석을 이용한 감쇠기⁽⁷⁻⁹⁾에 대한 연구들이 수행되었다. 이와 같은 기능성 유체를 이용한 SFD의 감쇠특성을 회전체의 휘둘림 주파수에 따라서 변화시킴으로써 보다 효과적으로 회전체의 진동을 줄일 수 있는 특징이 있다.

그러나, ER 유체는 불순물에 민감하며 또한 내구성의 문제가 완전히 해결되지 못한 상태에 있고, MR 유체는 기본점도가 종래의 유체에 비해서 지나치게 높고 또한 유체의 밀봉에 따른 문제점 등으로 MR 유체를 이용한 SFD의 설계과정이 종래의 SFD 제작을 위한 설계과정에 비해 고려되어야

할 사항이 많이 있다.

더욱이 ER 유체나 MR 유체의 동특성에 대해서 아직까지 명확하게 설명하는 연구가 이루어져 있지 않다. 이와 같은 여러가지 이유 때문에 산업현장에 실제로 적용된 예는 없다.

따라서 본 연구에서는, 기존의 SFD에 단순한 전자석을 설치함으로써 ER이나 MR 유체를 이용한 SFD와 같이 가제어성 감쇠특성을 가지며, 종래의 유체를 그대로 이용함으로써 내구성, 부식 산화문제 등이 발생하지 않는 SFD를 개발하고, 그 특성을 실험적으로 평가하였다.

기존의 SFD내부에 전자석 코일을 감아서, 전류를 부가하지 않을 경우는 종래의 SFD와 동일한 감쇠특성을 가지고, 부가하는 전류를 변화시킴에 따라서 SFD의 감쇠특성을 제어할 수 있도록 하였다. 그 결과로서 전류를 변화시킴에 따라서 회전체의 휘둘림 진폭은 급격하게 감쇠됨을 실험적으로 확인하였고, 또한 단순한 제어이론을 도입하여 전류를 회전체의 회전주파수에 따라서 제어함으로써 보다 효과적으로 회전체의 진동을 감쇠시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

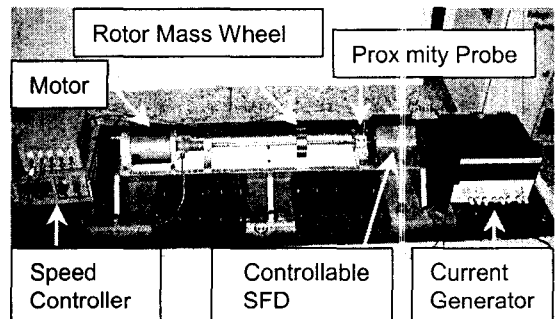


Fig. 1 Rotor test rig with a controllable SFD

* 부경대학교

E-mail : ahn@mail1.pknu.ac.kr
Tel : (051) 620-1618, Fax : (051) 620-1405

** 부경대학교 대학원

2. 가제어형 스퀴즈필름댐퍼

Fig. 1 은 전자석을 이용한 가제어형 SFD 가 설치된 회전체의 실험장치를 나타내고 있다. 양쪽 지지베어링으로부터 중앙에 한 개의 디스크가 설치되어져 있고, 축은 Flexible 커플링에 의해 가변 모터에 연결되어져 있다. 모터측의 베어링은 Bushing 베어링, 반대편에는 가제어형 SFD 가 설치되어 있다. 또한 응답특성은 SFD 와 인접한 부분에 설치된 변위계로 측정되었다.

Fig. 2 에는 가제어형 SFD 의 개략도를 나타내었다. 전류를 부가함에 따라서 자장은 댐퍼의 내륜과 외륜사이에 발생하며, 전류를 증가시킴에 따라서 SFD 의 지지감쇠력은 증가하게 된다. 본 연구에서는 실험상 편의를 위하여 SFD 내부에 윤활유를 공급하지 않았지만, 윤활유를 공급하면 종래의 SFD 특성을 유지하면서 전류에 의해서 SFD 의 감쇠특성에 제어성을 부여하게 되며, 전자석에 문제가 발생하여도 기본적으로 SFD 본래의 감쇠성을 유지하기 때문에 성능에 대한 신뢰성이 높다.

3. 회전체의 불평형 응답

Fig. 3 은 1 차 위험속도 1820rpm 에서 측정된 휘돌림 궤도를 SFD 에 부가하는 전류의 세기에 따라서 나타낸 그림이다. 전류가 증가함에 따라서 휘돌림 궤도가 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다. 0 A 에 비해서 1 A 의 전류를 부가했을 때 종방향에 대한 진폭감소는 약 78 % 이고, 횡방향의 진폭감소율은 81 % 감소하였다. 종방향과 횡방향의 진폭감소율의 차이는 댐퍼의 간격이 서로 일치하지 않았기 때문으로 추정된다.

Fig. 4 는 부가하는 전류의 변화에 따른 주파수 응답특성을 나타낸 그림이다. 전류가 증가함에 따라서 공진주파수에서의 진폭이 크게 줄고 있음을 알 수 있고, 0 A 에 비해서 0.85 A 의 전류를 부가했을 경우 양 방향은 약 40 % 씩 감소하였다. 그러나 Fig. 3 에서 0.85 A 에서 종축방향의 경우에 차이가 있는데, 그 이유는 가변모터를 이용하여 회전체의 회전수를 Sweep 시키면서 주파수응답을 얻을 경우에 하나의 진동 모드를 제대로 유지하지 못하였기 때문에 차이가 생긴 것으로 판단된다. 양 방향의 1 차 위험속도는 1820 rpm 에서 일치하며, ON-OFF 제어이론을 이용하여 최대 전류를 0.85 A 로 규정하고 제어를 할 경우에 약 1760 rpm 보다 회전체의 운전속도가 낮은 경우에는 전류를 OFF 로 하고 그 이상에서는 ON 을 함으로써 보다 효과적으로 진동진폭을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

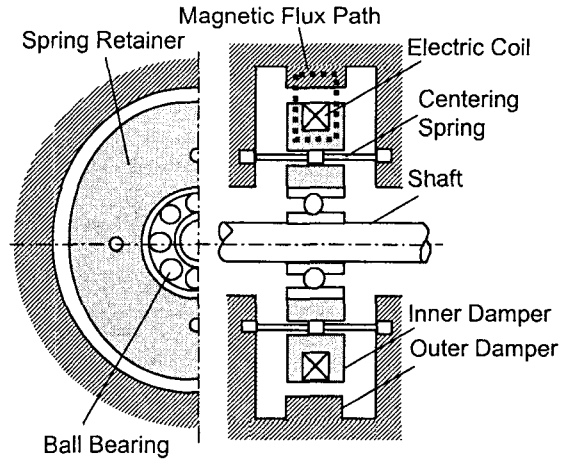


Fig. 2 Controllable SFD with magnetic damper

Table 1. Principal dimensions of controllable SFD

Inner damper diameter	73 mm
Electric coil turns	450
Electric coil resistance	23.4 Ω
Electric coil diameter	0.3 mm
Radial clearance	1.5 mm
Inner damper width	10 mm
Centering spring diameter	2 mm

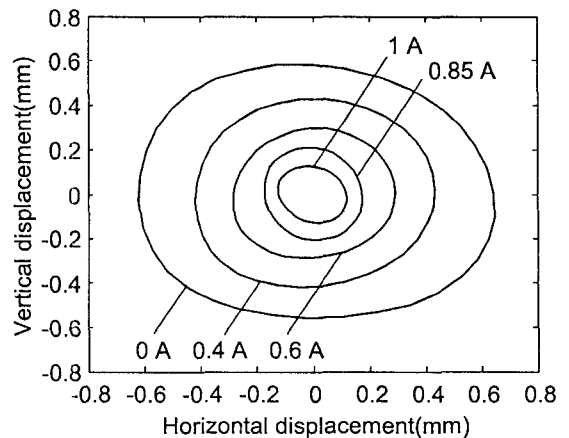


Fig. 3 Whirl orbits at first critical speed for different currents

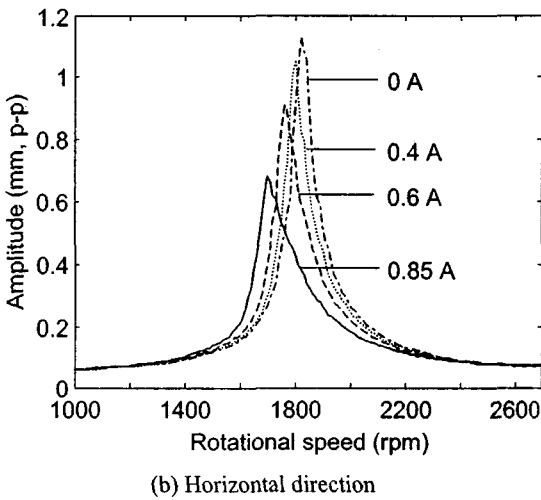
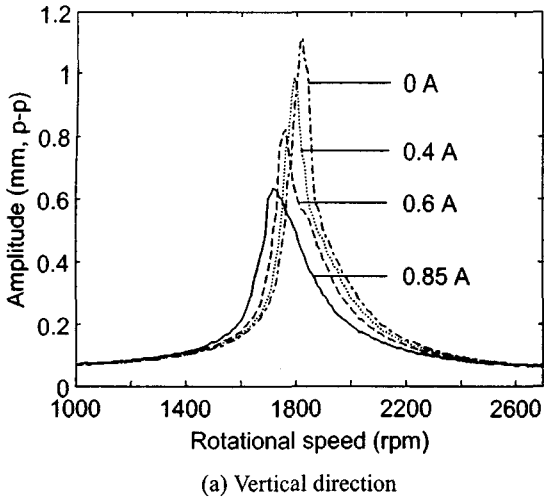


Fig. 4 The effect of magnetic field on the rotor unbalance response for different currents

한편, 전류가 증가함에 따라서 위험속도가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 ER 혹은 MR 유체를 이용한 SFD 에 전장이나 자장을 증가시킴에 따라서 SFD 의 감쇠 및 강성력의 증가로 인하여 공진주파수가 증가하는 현상과는 상반되는 결과이다.⁽¹⁻³⁾ 본 전자석을 이용한 SFD 는 전류를 부가함에 따라서 자장이 발생하여 SFD 의 내륜과 외륜 사이에 흡입력이 작용한다. 이 흡입력에 의해서 지지강성이 낮아지기 때문에 위험속도가 낮아지는 것으로 판단된다.

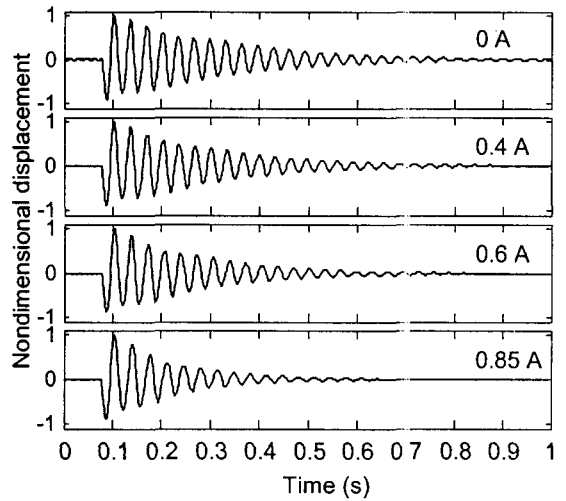
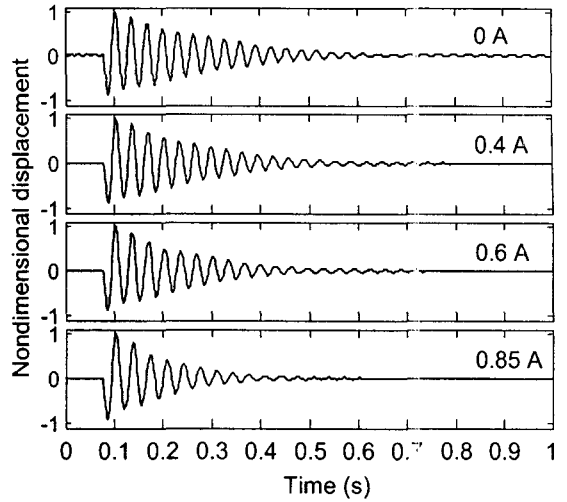


Fig. 5 Time responses for different currents

4. 회전체의 자유진동응답

회전체가 정지한 상태에서 부가하는 전류를 변화시키면서 충격해머로 양쪽 지지베어링으로부터 중앙에 있는 원판에 타격을 가하여 얻은 자유진동 파형을 Fig. 5 에 나타내었다. 종축은 각 파형에 대해서 초기의 진동피크로서 나누어서 무차원화 하였으며, 부가하는 충격력은 같은 초기진폭을 가하기 위해서는 전류가 낮은 경우에 비해서 높은 경우에 증가되어졌다. (a)는 수직방향, (b)는 수평방향의 응답파형이고, 진동모드는 각각의 1 차 위험속도의 모드에 해당된다. 양방향 모두가 전류의 강

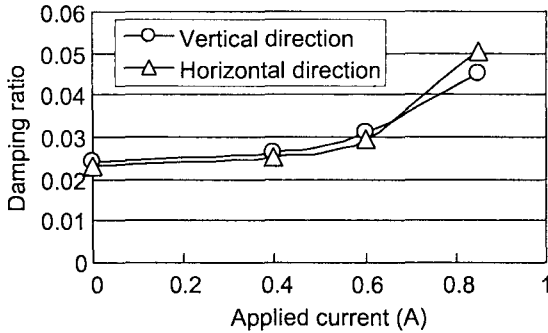


Fig. 6 Damping ratios for different currents

도가 증가함에 따라서 진동수렴시간이 짧아지고 진동은 지수 함수적으로 수렴하는 형태임을 알 수 있다. 이 현상은 점성감쇠가 작용하는 계의 감쇠비가 증가하여 진동수렴시간이 짧아지는 것과 같다. 따라서, Fig. 5로부터 감쇠비를 구하여 전류에 대한 감쇠비의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 양 방향에서 감쇠비가 약 0.6 A까지는 큰 변화가 없고, 그 이상의 전류를 부가했을 때 급격하게 증가함을 알 수 있다.

5. 결론

SFD의 성능을 향상시키기 위해서 SFD의 내륜이 전자석 코일을 삽입하였다. 따라서 부가하는 전류를 변화시킴에 따라서 SFD 내부의 지지감쇠력의 변화를 실험적으로 확인하였고, 회전체의 운전 주파수에 따라서 전류를 제어함으로써 보다 효과적으로 회전체의 휘둘림 진폭을 줄일 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 전자석을 이용한 SFD는 ER 혹은 MR 유체를 이용한 SFD보다 내구성이 우수하고 제작이 간단하기 때문에 산업계에 적용하기가 용이하다. 향후 연구계획으로는 유체를 SFD에 공급하였을 때의 부가전류에 따른 응답특성을 실험적으로 평가할 계획이다.

향후 연구로서는 SFD에 유체를 주입하면서 전자석에 부과하는 전류의 변화에 따른 SFD의 특성을 검토할 계획이다.

참고 문헌

- (1) Nikolajsen, J. L. and Hoque, M. S., 1988, "An Electroviscous Damper for Rotor Applications," Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 112, No. 3, pp. 440-443.
- (2) Morishita, S. and Mitsui, J. "Controllable Squeeze Film Damper (An Application of Electro-Rheological Fluid)," Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 114, No. 3, pp. 354-357.
- (3) 안영공, 양보석, Morishita, S., ER 유체를 이용한 이방성 스킴즈필름 댐퍼의 특성," 한국소음진동공학회 논문집, 제 11권 제 2호, pp. 301-306.
- (4) Ahn, Y. K., Morishita, S., Yang, B. S., 1998, "Directionally Controllable Squeeze Film Damper Using Liquid Crystal," KSME International Journal, Vol. 12, No. 6, pp. 1097-1103.
- (5) Zhu, C., Robb, D. A. and Ewins, D. J., 2002, "Dynamics of Over-Hung Rotor with a Disc-Type Magneto-Rheological Fluid Damper," IFTOMM Sixth International Conference on Rotor Dynamics, pp. 607-614.
- (6) Vance, J. M. and Ying, D., 2000, "Experimental Measurements of Actively Controlled Bearing Damping with an Electrorheological Fluid," Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 122, pp. 337-344.
- (7) Frederick, J. R. and Darlow, M. S., 1994, "Operation of an Electromagnetic Eddy-Current Damper with a Supercritical Shaft," Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 116, pp. 578-580.
- (8) Kligerman, Y. and Gottlieb, O., 1998, "Dynamics of a Rotating System with a Nonlinear Eddy-Current Damper," Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 120, pp. 848-853.
- (9) Vance, J. M., Ying, D., Nikolajsen, J. L., 2000, "Actively Controlled Bearing Dampers for Aircraft Engine Applications," Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 122, pp. 466-472.