

# 磁性 流體를 利用한 1自由度 系의 共振減少에 關한 實驗的研究

## An experimental study on resonance reduction of system with one degree of freedom by magneticfluid

전운학\*, 이봉규\*\*, 황승식\*\*, 이희상\*\*, 김중\*\*  
C. H. Chun, B. K. Lee, S. S. Hwang, H. S. Lee, J. Kim,

### ABSTRACT

Under magnetism, as the magneticfluid is being itself magnetized, increase the apparent viscosity because of its body force and has the magnetic characteristics in response to magnetism, the magnetic fluid is getting attention in various field.

The magnetic fluid has the fluidity, which is a special characteristics of fluid and the magnetism, which is a special one of solid. Using this characteristics, this study has been proceeded to show the basic data for developing of a viscous damper with magnetism fluid as hydraulic fluid.

Experimental study shows that the application of magnetic field is effective reducing the resonance characteristics of the spring-mass system.

주요기술용어 : Magneticfluid(자성유체), Magnetism(자화), Body force(체적력), Resonance characteristics(공명특성), Spring-Mass System(스프링-질량 계)

### Nomenclature

- B : 자속밀도(Gauss)
- k : 스프링상수(N/m)
- M : 스프링-질량 계의 전질량(g)
- u : 가진진폭(mm)
- a : 응답진폭(mm)

- $p_0$  : 공진각주파수(s-1)
- $\omega$  : 각주파수(s-1)

### 1. 서론

자성 유체의 역사는 1938년 Elmore가 마그네 타이트(Fe3O4) 미립자를 비누로 안정화하여 물에 분산시켜 합성화하면서 부터이다. 그러나 본격적으로 연구 개발이 시작된 것은 NASA의 아폴로 계획 때였는데, 1965년 S. S. Papell<sup>1)</sup> 이 기

\* 정회원, 국민대학교 기계공학부  
\*\* 국민대학교 대학원

계적 습식분쇄법(濕式 粉碎法)으로 고농도의 마그네타이트 미립자 콜로이드 자성 유체를 제작하여 우주복 가동부의 진공 봉합(sealing)에 사용되었다.

자성 유체란 콜로이드크기의 마그네타이트, 철 및 니켈 등과 같은 강자성 분말을 안정하게 분산시킨 현탁액으로 원심력이나 자장을 인가하여도 유체와 고체의 분리가 일어나지 않고 겔보기에 액체 자신이 자성을 갖는 것처럼 거동하는 성질을 갖고 있다.

자성유체의 가장 큰 특징은 외부에서 가하는 자계에 반응하여 겔보기 비중 (자장강도에 따라 0~25)을 증가시키고 자기압력을 발생시킨다.<sup>2)</sup>

자성유체는 응답성이 좋고, 자계에서 겔보기 비중이 증대함에 따라 감쇠력이 증대하며, 전력 소모가 적은 이유로 점성댐퍼로 이용될 수 있다. 하지만 고온에서 유체의 점성과 전단력, 열전도 등의 변화는 여전히 연구단계에 그치고 있다.<sup>3)~8)</sup>

특히, 자성유체를 이용한 진동 감쇠분야에서 자기디스크, 로봇캠, IC폰더의 응답은 동특성(고유진동수의 감쇠)의 개선이 중요한 대책으로 요구되며, 자성유체를 이용한 점성댐퍼는 응답성이 좋고 겔보기 점도의 증가에 의한 감쇠율이 좋아서 제진장치로서의 가능성을 더욱 높여주고 있다.<sup>9)</sup>

또한, 기술의 진보에 따라 새로운 진동문제도 많이 발생하고 있어서, 기계의 진동대책은 이후 점점더 중요성이 증가할 것으로 생각된다. 따라서 제진장치의 연구도 다양성을 갖추고 있고, 그 설계법도 계속 확충되고 있다.

자성유체 댐퍼는 진자력과 유체의 점성력을 동시에 이용하는 특수한 형태의 댐퍼로서 크게 수동형과 능동형 타입으로 분류하는 것이 가능하다.

본 실험에서는 직진운동을 하는 스프링-질량계의 수동형 리니어 댐퍼로서 영구자석을 이용하여 자성유체에 자장을 인가하고, 모터와 캠을 이용하여 기반에 강제진동을 주고 있으며, 전자석을 이용한 능동형 댐퍼의 연구 등은 앞으로 계속

진행될 전망이다.

겔보기상, 강한 자성을 가진 유체로서의 자성 유체를 이용한 응용기기의 개발에, 진동유의 특성을 이용한 자성유체 댐퍼가 거론되고 있지만, 이들의 응용개발을 목적으로 자장 하에서의 자성 유체를 이용한 진동특성에 관한 연구는 아직 미흡한 것이 사실이다.<sup>10)</sup>

따라서, 본 논문에서는 자성유체의 응용기기 개발을 위한 연구로서, 가장 기본적인 스프링-질량계의 진동특성에 미치는 자장의 영향에 대하여 실험적으로 검토하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

실험장치는 크게 스프링-질량계와 Vision system, 진동여자장치 및 작동 유체로 구성되어 있으며, 스프링-질량계는 내부환봉을 포함한 전체질량 M을 스프링과 연결되어 작동유체가 들어 있는 대시포트형의 외부실린더 내부에서 감쇠진동을 하도록 설계하였고, Vision system은 이 감쇠진동의 폭을 측정할 수 있도록 설치하였다.

또한, 진동여자장치는 기반의 가진진동을  $u=1.0\text{mm} \sim 2.5\text{mm}$ 까지 0.5mm씩 주기 위해 4개의 캠으로 설계되었으며, 모터의 구동에 의해 회전하며 가진을 할 수 있도록 설계하였다.

실험장치의 개략도와 스프링-질량계의 주요 치수를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

스프링-매스 시스템의 진동특성을 스프링에 의한 진동과 외부실린더 및 내부환봉 사이의 작동유체의 점성에 의해 스프링의 진동을 감쇠시키도록 설계되었다. 또한 스프링-매스 시스템에 사용된 스프링, 영구자석, 내부환봉, 카메라, Vision system으로 구성되어 있다.

진동여자장치는 기반진동을 주기 위한 DC모터와 DC전원공급기, 캠, 진동수를 측정하기 위한 Tachometer 센서, Tachometer 디스플레이로 구성되어 있으며, 가진진폭을 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm까지 조절하도록 캠이 4종류로 설계되었다.

본 실험에서 사용된 자성유체는 페러클로이드의 일종으로서 대체로 안정된 자화의 특성을 갖고, water base 자성유체보다 작동가능온도범위가 큰 ( $-20^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ ) HC-50 (Kerosene base,  $\rho = 1390\text{kg/m}^3$ ,  $\mu = 25 \pm 5\text{cp}$ )을 사용하였고, 사용된 오일은 댐퍼용 오일이다.

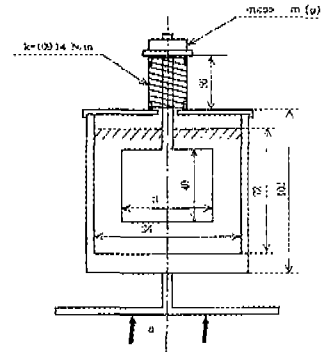
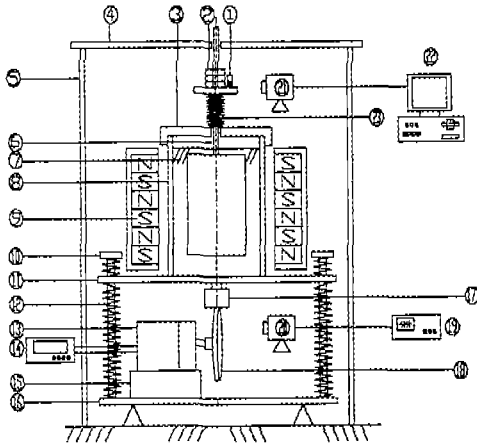


Fig. 2 Schematic diagram of spring-mass system(length unit : mm)

스프링-질량 계에 자장을 인가하기 위해 영구자석을 이용하였으며, 자속밀도의 최대값은 영구자석의 중심점에서 4200Gauss이고 자속밀도의 분포를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다.



- |                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. Output amplitude measurement board | 12. Lower support spring |
| 2. Mass                               | 13. DC motor             |
| 3. Spring guide                       | 14. DC power supply      |
| 4. Upper board                        | 15. DC motor board       |
| 5. Upper board support stand          | 16. Lower support board  |
| 6. Inner cylinder                     | 17. Rotator              |
| 7. Working fluid                      | 18. Cam                  |
| 8. Outer cylinder                     | 19. Tachometer displayer |
| 9. Permanent magnet                   | 20. Tachometer           |
| 10. Spring support board              | 21. Camera               |
| 11. Outer cylinder support board      | 22. Vision system        |
|                                       | 23. Working spring       |

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

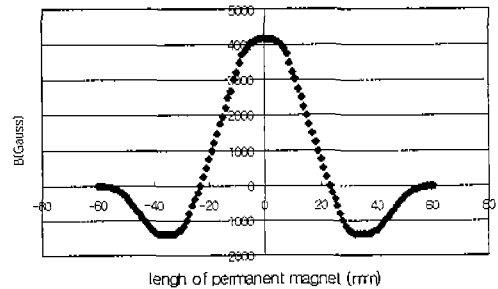


Fig. 3 Distribution diagram of magnetic flux density

실험방법은 다음과 같다.

먼저 유체가 없는 경우의 진동특성을 알아보기 위해 모터와 캠을 이용하여 가진진폭  $u = 1.0\text{mm}$ ,  $1.5\text{mm}$ ,  $2.0\text{mm}$ ,  $2.5\text{mm}$ 에서의 진동특성을 순서대로 측정하였다.  $u = 1.0\text{mm}$ 에서 가진진동수  $f = 1 \sim 10\text{Hz}$ 까지  $0.8\text{Hz}$ 씩 변화를 주고, 스프링-질량 계의 전질량  $M = 62.2\text{g}$ ,  $72.2\text{g}$ ,  $82.2\text{g}$ 으로 변화를 주어 각각의 응답진폭을 측정하였다.

$u = 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm$ 에서도 마찬가지로 스프링-질량계의 전질량을 10g씩 증가시키면서 그에 따른 고유진동수의 변화를 검토하였다. 다음으로는 자성유체에 자장을 가하지 않은 경우, 내부환봉직경의 변화 즉  $d = 14mm, 18mm$ 에서의 진동특성을 알아보기 위해 다음과 같이 실험이 진행되었다.

먼저 내부환봉직경  $d = 14mm$ 인 경우 가진 진폭  $u = 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm$ 의 진동특성을 순서대로 측정하였으며, 가진진폭  $2.5mm$ 에서는 스프링-질량 계의 전질량  $M$ 의 영향을 검토하기 위해  $M = 62.2g, 72.2g, 82.2g$ 으로 변화를 주어 실험을 행하였다.

내부환봉직경  $d = 18mm$ 인 경우도 마찬가지로 가진진폭의 변화와 스프링-질량 계에서 전질량  $M$ 의 변화에 따라 실험이 진행되었다.

자성유체의 경우와 오일의 경우는 위와 동일한 방식으로 실험이 진행되었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 스프링-질량 계의 전질량 변화 ( $M = 62.2g, 72.2g, 82.2g$ )에 따른 응답특성을 고찰하였으며, 다음으로는, 자장의 영향에 의해 자성유체의 진동특성의 변화를 유체가 없는 경우와 오일을 작동유체로 한 경우를 비교 검토하였다. 마지막으로 내부환봉직경의 변화가 각종 유체의 진동특성에 미치는 영향을 검토하였다.

Fig. 4과 Fig. 5에 나타난 바와 같이 가진진폭에 따라 자성유체에 자장을 인가한 경우, 인가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 1Hz만큼 일정하게 감소하고, 공진현상은 22.1~35.9%사이에서 감소하는 것으로 나타났다. 이는 자장의 인가에 의한 자성유체의 겉보기 점성계수의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

질량의 변화에 따라 자성유체에 자장을 인가한 경우, 자장을 가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 0.67~1Hz사이에서 감소하고, 공진현상은

10.7~22%사이에서 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 6에는 자장이 없는 경우에서 자성유체의 진동특성을 나타낸 것으로, 질량이 20g 정도 증가함에 따라 고유진동수의 감소가 0.34Hz로 유체가 없는 경우에 비해 적고, 고유진동수에서의 최대진폭의 증가도 13%정도로 다소 낮은 경향을 보이고 있다.

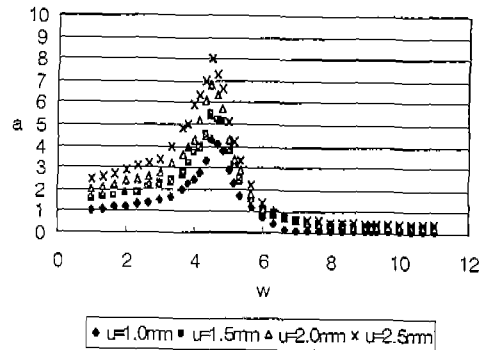


Fig. 4 Influence of input oscillation amplitude

(non-magnetism,  $d = 18mm, a = 2.5mm$ )

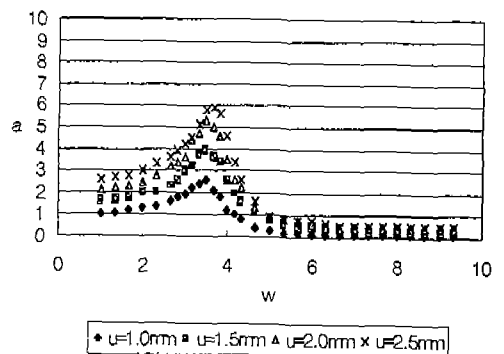


Fig. 5 Influence of input oscillation amplitude

(magnetism,  $d = 18mm, a = 2.5mm$ )

Fig. 7에 자장을 인가한 경우 자성유체의 진동특성을 나타낸 것으로, 질량이 20g 증가함에 따라 자장을 인가하지 않은 경우보다 최대진폭의 증가는 27.1%로 자장이 없는 경우보다 더 크게 영향받는 것으로 나타났다.

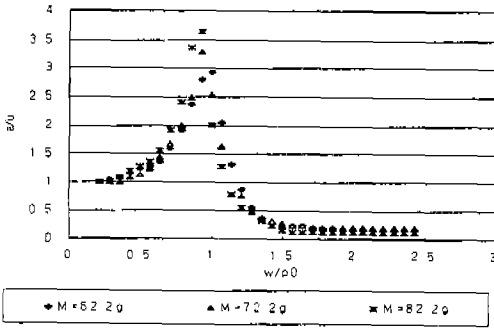


Fig. 6 Influence of total mass

(non-magnetism,  $d=18\text{mm}$ ,  $a=2.5\text{mm}$ )

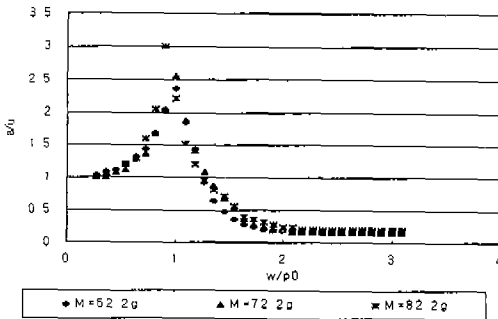


Fig. 7 Influence of total mass

(magnetism,  $d=18\text{mm}$ ,  $a=2.5\text{mm}$ )

스프링-질량 계의 진동특성에서 자장의 영향을 전체적으로 살펴보면, 자성유체에 자장을 인가함에 따라 공진현상을 감소시키고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 내부환봉직경이 14mm인 경우, 자성유체에 자장을 인가함에 따라 유체가 없는 경우에 비해 최대진폭을 60.2% 감소시키며, 자장을 인가하지 않은 경우에 비해서는 35.6% 감소시키고 있는 것으로 나타났으며, 이는 자장의 인가에 의한 겉보기 점성계수의 증가에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig. 9에 나타난 바와 같이 내부환봉직경이

18mm인 경우, 자성유체에 자장을 인가함에 따라 유체가 없는 경우에 비해 최대진폭을 82.5%나 감소하는 것으로 나타나고, 자장을 인가하지 않은 경우에 비해서는 19.2% 감소시키고 있는 것으로 나타났다. 이는 내부환봉직경이 14mm인 경우가 18mm인 경우에 비해 자장의 의한 영향을 크게 받는 것으로 생각된다.

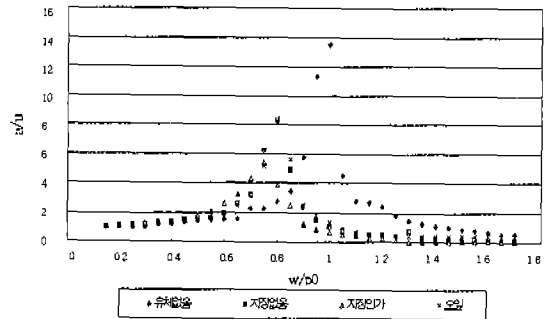


Fig. 8 Influence of magnetic field

( $d=14\text{mm}$ ,  $M=62.2\text{g}$ ,  $a=2.5\text{mm}$ )

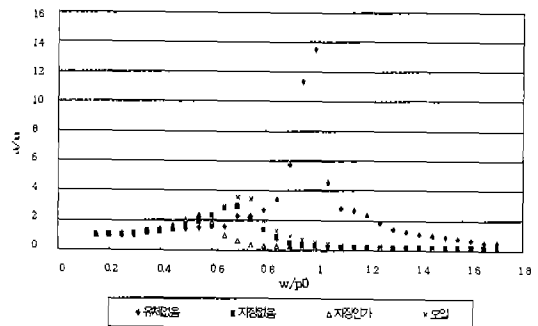


Fig. 9 Influence of magnetic field

( $d=18\text{mm}$ ,  $M=62.2\text{g}$ ,  $a=2.5\text{mm}$ )

내부환봉직경 14mm에서 자성유체에 자장을 인가한 경우, 가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 0.33Hz 감소하고, 공진현상은 35.6% 감소하는 것으로 나타났다. 내부환봉직경 18mm에서 고유진동수는 1Hz 감소하고, 공진현상은 19.2%

감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 10의 자장을 인가하지 않은 자성유체의 진동특성을 살펴보면 내부환봉직경이 14mm에서 18mm로 증가함에 따라 고유진동수는 1.34Hz 감소하고, 최대진폭은 64.9%로 감소시키고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 11의 자장을 인가한 자성유체의 진동특성을 살펴보면 내부환봉직경이 14mm에서 18mm로 증가함에 따라 고유진동수는 1Hz정도 감소하며 최대진폭은 56% 감소시키고 있는 것으로 나타났다.

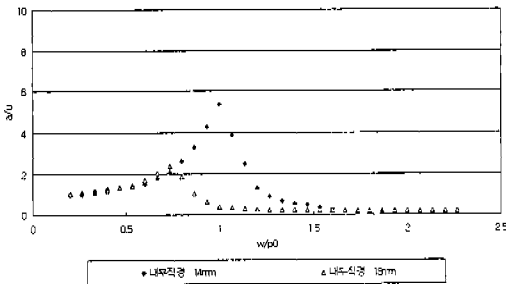


Fig. 10 Influence of inner cylinder

(non-magnetism,  $M=62.2g$ ,  $a=2.5mm$ )

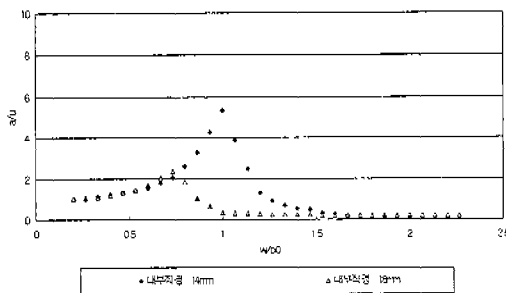


Fig. 11 Influence of inner cylinder

(magnetism,  $M=62.2g$ ,  $a=2.5mm$ )

#### 4. 결 론

본 실험에서 자성유체를 이용한 스프링-질량

계의 진동특성을 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 가진진폭에 따라 자성유체에 자장을 인가한 경우가 가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 1Hz만큼 일정하게 감소하고, 공진현상은 22.1~35.9% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 자장의 인가에 의한 자성유체의 겔보기 점성계수의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

2) 질량의 변화에 따라 자성유체에 자장을 인가한 경우가 가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 0.67~1Hz 감소하고, 공진현상은 10.7~22% 감소하는 것으로 나타났다.

3) 내부환봉직경 14mm에서 자성유체에 자장을 인가한 경우가 가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 0.33Hz 감소하고, 공진현상은 35.6% 감소하는 것으로 나타났다. 내부환봉직경 18mm에 따라 자성유체에 자장을 인가한 경우, 자장을 가하지 않은 경우에 비해 고유진동수는 1Hz 감소하고, 공진현상은 19.2% 감소하는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. Papell, magnetic ink, US. Pat. No. 3215572, 1965.
2. 島田, 神山, 日本機械學會論文集, 4111~4115, 57, 544, 1991-12.
3. C. A. Rogers, D. K. Barker and C. A. Jaeger, Introduction to smart materials and structure, Proc. of U.S. ARO workshop, pp. 17~28, 1988.
4. W. Konig, Bestimmung einiger reibungs-coefficienten and versuche uber den einfluss der magnetisierung und electrisingung auf der reibung der flussigkeiden, Annals of physics, vol. 25, pp. 618~624, 1985.

5. W. H. Winslow, Induced fibrillation suspensions, J. of Applied physics, vol. 20, pp. 1137~1140, 1949.
6. N. G. Steven, J. L. Sproston and R. Stanway, An experimental study on electro-rheological torque transmission, ASME J. of Mechanism, Transmission and automation in design, vol. 110, pp. 182~188, 1988.
7. T. G. Duclos, Electro-rheological fluids and device, Automotive engineering, vol. 96, pp. 45~48, 1988.
8. M. V. Grandhi, B. S. Thompson and S. B. Choi, A new generation of innovative ultra-advanced intelligent composite materials featuring electro-rheological fluid, J. of composite materials, vol. 23, pp. 1232~1255, 1989.
9. 背戸一登, 機械의 研究, '最近의 制振裝置의 研究와 그 課題', 473~478, 4, 58, 1986.
10. 島田, 神山, 日本機械學會論文集, 3493~3497, 59-567, 1993-11.